

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado



*Reducción en la generación de impurezas de aluminio por
cambio de geometría en el área de cierre de la carcasa de
guía para amortiguadores Monotubo Modular Concept*

TESINA QUE PRESENTA

L. I. I. Emilio Gonzalez Ortiz
Asesor: M. Sc. José Galen Drury Zamora

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Zapopan, Jalisco
febrero, 2021

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



Santiago de Querétaro, Querétaro, 06 de diciembre del 2021.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del Ing. Emilio Gonzalez Ortiz, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Reducción en la generación de impurezas de aluminio por cambio de geometría en el área de cierre de la carcasa de guía para amortiguadores Monotubo Modular Concept" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestro**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Firma

M. Sc. José Galen Drury Zamora
Asesor Académico

F31a Revisión: 01-Jun-2021



CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Aguascalientes, Ags, 21 de enero del 2022.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno **Emilio Gonzalez Ortiz**, cuyo título es:

“Reducción en la generación de impurezas de aluminio por cambio de geometría en el área de cierre de la carcasa de guía para amortiguadores Monotubo Modular Concept”

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

M.C. Rodolfo Rivera Barbosa.

DEDICATORIA

Esta Tesina esta especialmente dedicada a:

A mi esposa Silvia y a mis hijos Valentina, Emilio y Matías, quienes pacientemente me acompañaron a lo largo de esta hermosa etapa, que con su amor, tolerancia, esfuerzo y comprensión me apoyaron en todo momento para nunca desistir.

A mis padres Ofelia y Emilio, por ser el ejemplo vivo de que con tenacidad y perseverancia podemos lograr todas nuestras metas.

A mis hermanas Naye, Conchita y Dalía, así como a sus familias, por su cariño y respaldo para impulsarme siempre a seguir adelante.

A Dios, por todas las bendiciones recibidas sin las cuales esto no sería posible.

A todos ellos mi eterno amor y gratitud, mis logros son suyos también.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a:

A CIATEQ A.C. Centro de Tecnología Avanzada y en especial a Posgrados CIATEQ, por brindarme la oportunidad de aprender y darme las herramientas para desarrollar esta Maestría, así como por abrir estos espacios vinculados con la industria, los cuales contribuyen con el desarrollo de los profesionistas de este país.

A CONACYT, por todo el apoyo y la beca otorgada para hacer posible este posgrado.

A ZF Suspension Technology Guadalajara por todas las facilidades y soporte otorgados para el desarrollo de este proyecto de tesina en sus instalaciones.

Al Mtro. Sc. José Galen Drury Zamora, por su comprensión y paciencia, así mismo por compartir su experiencia para guiarme y desarrollar esta tesina de manera exitosa.

A mis compañeros de Posgrado por todo lo vivido durante esta travesía llamada Maestría.

A todos ellos, mi reconocimiento y gratitud, siempre.

* * *

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra como un cambio en la geometría en el área de cierre de la carcasa de guía, así como una correcta selección en el recubrimiento de la herramienta de cierre, puede reducir la cantidad de partículas de aluminio generadas durante el proceso de cierre del ensamble guía para el amortiguador Monotubo Modular Concept en las dimensiones evaluadas en la prueba de contaminación realizada a amortiguadores ZF Suspension Technology Guadalajara, con lo cual es posible tener un diseño y proceso estandarizado, factible y aplicable para todas las sedes de producción de este tipo de ensambles, utilizando a manera estratégica, materia prima regional para cada sede.

Mediante el análisis de las condiciones tribológicas del proceso de cierre, se hace constar la influencia de sus principales componente en los resultados de salida del sistema, por lo que se realizan una serie de pruebas tales como, intercambiando carcasas de guía con otra sede, cambiando de materia prima de la carcasa de guía, agregando un proceso de pulido superficial en la zona de cierre de la carcasa de guía, además de probar diferentes geometrías en la área de cierre de la carcasa de guía, así como diferentes recubrimientos en el herramental de cierre del ensamble guía, teniendo que; modificando la geometría en el área de cierre de la carcasa a un chaflán de 1.0 mm x 60° y utilizando recubrimiento tipo C en la herramienta de cierre del ensamble guía, es posible tener un nuevo sistema capaz de satisfacer los objetivos planteados.

Palabras clave: Partículas, Geometría, Tribología.

ABSTRACT

The present document shows how a change in the geometry in the closing area of the rod guide housing, as well as a correct selection of the coating of the crimp tool, can reduce the quantity of aluminum particles generated during the closing process of the rod guide assy for the Monotube Modular concept damper for the dimensions evaluated in the contamination test carried out on ZF Suspension Technology Guadalajara dampers, with which it's possible to have a standardized design and process, feasible and applicable for all production locations of this type of assemblies, strategically using regional raw material for each location.

Through the analysis of the tribological conditions of the closing process, the influence of its main components on the output result of the system is recorded, so a series of trials are carried out such as, exchanging rod guides housings with another site, changing of raw material of the rod guide housing, adding a surface polishing process in the closing area of the rod guide housing, in addition to testing different geometries in the closing area of the guide housing, as well as different coatings in the tooling of closing process of the rod guide assy, having to, modifying the geometry in the closing area of the rod guide housing to a chamfer of 1.0 mm x 60 ° and using type C coating in the closing tool of the guide assembly, is possible to influence the results to have a new system capable of satisfying the established goals.

Keywords: Particles, Geometry, Tribology.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
GLOSARIO	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.5. HIPÓTESIS.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. AMORTIGUADOR	7
2.2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE AMORTIGUADORES	10
2.3. AMORTIGUADOR MONOTUBO	15
2.4. PROCESO DE CIERRE DEL ENSAMBLE GUÍA	23
2.6. TRIBOLOGÍA	30
3. RESULTADOS	40
3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONDICIONES DE PROCESO.....	41
3.2. PRUEBA DE VERIFICACIÓN CRUZADA.....	43
3.3. PRUEBA DE CARCASAS PRODUCIDAS POR PROVEEDOR MX.....	51
3.4. ALISADO DE SUPERFICIE DE ZONA DE CIERRE	57
3.5. PROCESO DE MANUFACTURA DE LA CARCASA DE GUÍA	62
3.6. PRUEBAS EN CENTRO DE DESARROLLO ZF: MODIFICACIÓN DE GEOMETRÍA DE ZONA DE CIERRE	68
3.7. CONFIRMANDO RESULTADOS DE PRUEBAS	69
3.8. RÉPLICA DE PRUEBA CON DISEÑO A: CHAFLÁN DE 1.0 mm x 60° EN ZF ESPAÑA	76
3.9. LA INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO EN LA HERRAMIENTA DE CIERRE DEL ENSAMBLE GUÍA	79

3.10. PRUEBAS TecSa A ENSAMBLES GUÍA	86
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
APORTACIÓN DE LA TESINA.....	92
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESINA.....	93
REFERENCIAS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo del desarrollo de amortiguadores	8
Figura 2. Principales industrias de aplicación del amortiguador mecánico.....	10
Figura 3. Modelo de amortiguador hidráulico Bitubo	11
Figura 4. Esquema de amortiguador Monotubo con gas.....	12
Figura 5. Conjunto típico de módulo de amortiguador Strut.....	13
Figura 6. Amortiguador Semiactivo con válvula solenoide (Sachs)	14
Figura 7. Sistema de suspensión hidractiva Citroën C5.....	15
Figura 8. Componentes principales del amortiguador Monotubo	17
Figura 9. Principales cámaras del Amortiguador Monotubo.....	18
Figura 10. Principio de compresión del amortiguador Monotubo	19
Figura 11. Principio de tracción del amortiguador Monotubo	19
Figura 12. Esquema del proceso de cierre del ensamble guía	23
Figura 13. Representación deformación plástica (a) y elástica (b)	25
Figura 14. Vistas atómicas y macroscópicas de estructura cristalina.....	26
Figura 15. Representación atómica de deformaciones de la red cristalina	27
Figura 16. Gráfico de relación fuerza-alargamiento y límite de elasticidad	29
Figura 17. Sistema Tribológico	31
Figura 18. Tipos de fricción dependiendo el tipo de movimiento.....	33
Figura 19. Diagrama secuencia de investigación	40
Figura 20. Partículas de aluminio	41
Figura 21. Partículas de aluminio en toalla de limpieza; condición inicial	41
Figura 22. Esquema de zona de medición	44
Figura 23. Comparativo de geometría inicial de zona de cierre	45
Figura 24. Herramental de cierre en ZF España.....	48
Figura 25. Partículas detectadas en la prueba realizada en ZF España	49
Figura 26. Partículas de aluminio impregnadas en la mano.....	49
Figura 27. Comparativo de zona de cierre, prueba en ZF España	50
Figura 28. Partículas desprendidas de los ensambles guía fabricados en ZF STG....	51
Figura 29. Comparativo de zona de cierre, prueba en ZF STG	51
Figura 30. Filamentos detectados en pruebas con materia prima Al 6082	53

Figura 31. Partículas detectadas en pruebas con materia prima Al 6061	54
Figura 32. Filamentos detectados en segunda prueba con materia prima Al 6082	56
Figura 33. Imagen de zona de cierre detectada por el rugosímetro	57
Figura 34. Proceso de alisado de zona de cierre	58
Figura 35. Comparativo de zona de cierre sin y con proceso de alisado	59
Figura 36. Sin partículas detectadas la prueba con material Al 6082 y proceso de alisado	60
Figura 37. Comparativo de zona de cierre con y sin proceso de alisado	61
Figura 38. Partículas detectadas en prueba con material Al 6061 y proceso de alisado	62
Figura 39. Chablán inicial de la zona de cierre	63
Figura 40. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa.....	64
Figura 41. Medición de chablán de -0.3, -0.5 mm.....	65
Figura 42. Partículas detectadas en prueba con $f= 0.15$ mm y chablán de -0.3, -0.5 mm Elaboración propia	65
Figura 43. Medición de radio de 0.40 mm	66
Figura 44. Partículas detectadas en prueba con $f= 0.15$ mm y radio de 0.4 mm....	66
Figura 45. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa.....	67
Figura 46. Partículas detectadas en prueba con $f= 0.20$ mm y radio de 0.4 mm....	68
Figura 47. Esquema de variantes de geometría inicial de zona de cierre	69
Figura 48. Imágenes de las diferentes pruebas realizadas en ZF SCW	69
Figura 49. Esquema de geometría diferente a probar en ZF STG	70
Figura 50. Imagen y medición de carcasa con chablán 1.0 mm x 60°.....	71
Figura 51. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa.....	71
Figura 52. Partículas de aluminio detectadas en prueba con chablán 1.0 mm x 60°	72
Figura 53. Imagen y medición de carcasa con radio de 0.40 mm	73
Figura 54. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa.....	73
Figura 55. Partículas de aluminio detectadas en la zona de radio de 0.4 mm.....	74
Figura 56. Esquema de prueba de extracción de inserto.....	75
Figura 57. Imagen y medición de carcás con chablán de 1.0 mm x 60°	76

Figura 58. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre	77
Figura 59. Partículas de aluminio detectadas en prueba con chaflán de 1.0 mm x 60°	78
Figura 60. Imagen y medición de carcasa con chaflán 1.0 mm x 60°	80
Figura 61. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa.....	81
Figura 62. Partículas de aluminio detectadas en prueba con recubrimiento B	82
Figura 63. Zona de cierre irregular en pruebas con recubrimiento B	82
Figura 64. Herramental con recubrimiento B después de la prueba.....	83
Figura 65. Partículas de aluminio detectadas en prueba con recubrimiento C.....	84
Figura 66. Zona de cierre lisa en pruebas con recubrimiento C	84
Figura 67. Herramental con recubrimiento de C después de la prueba	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de diseño	42
Tabla 2. Comparativa de proceso de cierre	43
Tabla 3. Comparativa de rugosidad Rz entre proveedurías.....	45
Tabla 4. Composición química de carcasa de guía utilizada en ZF GDL	46
Tabla 5. Composición química de carcasa de guía utilizada en ZF España.....	47
Tabla 6. Resultados de ensayos de traccion de materia prima.....	47
Tabla 7. Mediciones de rugosidad Rz de carcasas fabricadas con Al 6082	52
Tabla 8. Mediciones de rugosidad Rz de carcasas fabricadas con Al 6061	54
Tabla 9. Comparativa de rugosidades Rz.....	55
Tabla 10. Rugosidad Rz de carcasas con Al 6082, con y sin proceso de alisado	58
Tabla 11. Rugosidad Rz de carcasas con Al 6061, con y sin proceso de alisado	60
Tabla 12. Comparativo de resultados de pruebas de extracción de inserto.....	75
Tabla 13. Resultados de medicion de chaflán 1.0 x 60°	77
Tabla 14. Resultados de pruebas de extraccion de inserto en ZF España.....	78
Tabla 15. Comparativo de recubrimientos para herramienta de cierre.....	80
Tabla 16. Resultados pruebas de extracción.....	86
Tabla 17. Condiciones tribológicas entre sistemas.....	87
Tabla 18. Resultados de prueba TecSa de sistema tribológico inicial vs nuevo.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ley de Hooke	27
Ecuación 2. Ecuación para cálculo de fricción.....	32

GLOSARIO

Al: Abreviación de aluminio.

Avance de la herramienta de corte: feed por su nombre en inglés y comúnmente abreviado como f, es la distancia que avanza la herramienta de corte sobre una pieza de trabajo por cada giro de 360° del husillo.

Desviación estándar: indica que tan separados están los datos respecto a la media de estos datos.

Elongación: se obtiene de la resta de la longitud final después de la prueba menos la longitud inicial de la probeta antes de la prueba, y dividiendo el resultado entre la longitud inicial de dicha probeta.

Ensayo de tracción: ensayo estándar para conocer el límite de cedencia, la resistencia a la tensión y el porcentaje de elongación de un material en forma de probeta.

Escáner VR-5000: equipo marca Keyence, para escaneo en 3 dimensiones de rugosidad, planitud, volumen de desgaste, etc. de una superficie.

Impureza: hace referencia a las partículas ajenas que se encuentran en un cuerpo que pierde su pureza cuando se mezclan con él.

Límite de cedencia: también conocido como límite de fluencia, es el punto en donde finaliza el límite elástico de un material e inicia la zona de fluencia.

Monotubo: hace referencia a un solo tubo.

NAFTA: Abreviación de los vocablos en inglés North American Free Trade Agreement, que en español significa Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

Perfilometría mecánica: técnica para el análisis de una superficie en 2 dimensiones, donde se mide verticalmente por medio de un estilete, el cual realiza un barrido lineal, mientras mantiene una fuerza constante sobre la superficie de muestra.

Probetas: Trozo de material con dimensiones normalizadas para realizar ensayos de tracción

Productos específicos: hace referencia a un producto que se manufactura para satisfacer necesidades particulares de un solo cliente, solo se fabrica en una sede del grupo.

Productos globales: en la industria su abreviación más común es PG, y hace referencia a un mismo producto que se manufactura en varias sedes o regiones de la misma empresa, el cual se comercializa en la región en la que se produce.

Resistencia a la tensión: también conocida como resistencia a la tracción, es el punto de fuerza máxima donde finaliza la zona plástica dividido entre la sección inicial de una probeta de un material.

Revolución: En procesos de mecanizado, es como se le conoce a un giro 360° de una pieza.

Revoluciones por minuto: Abreviación de revoluciones por minuto

SUV: abreviación de los vocablos e inglés Sports Utility Vehicle, que en español significa Vehículo deportivo de utilería, y el cual hace referencia a vehículos como las miniván, pero diseñada para la conducción fuera del asfalto.

TecSa: Abreviación de los vocablos alemanes Technische Sauberkeit, que en español significa: Limpieza Técnica y hace referencia a una serie de pruebas que se realizan en ZF para determinar la cantidad de elementos contaminantes que hay en el interior de un amortiguador.

Velocidad de corte: en procesos de mecanizado, hace referencia a la velocidad en la que un punto de circunferencia de la pieza de trabajo pasa a través de la herramienta de corte en un minuto. La velocidad de corte se expresa en pies o metros por minuto.

Verificación cruzada: Se refiere a la verificación de datos, informes, entre otros, desde varios ángulos o fuentes para determinar su validez o precisión de los resultados.

ZF: Abreviación de los vocablos alemanes Zahnradfabrik Friedrichshafen que en español significa: Fábrica de engranaje Friedrichshafen, es una empresa de tecnología global que suministra sistemas para vehículos de pasajeros, vehículos comerciales y tecnología industrial.

1. INTRODUCCIÓN

El avance en el desarrollo de nuevos productos que cumplan con los niveles de calidad requeridos por los clientes ha guiado a la industria a generar procesos que puedan estandarizarse a fin de asegurar la calidad en todos sus aspectos. De igual manera, la globalización ha venido a replantear las soluciones que se dan a los problemas que estos nuevos productos y exigencias requieren.

El Grupo ZF Suspension Technology (ZF) en su división de fabricación de amortiguadores, tiene presencia en varios países y ciudades, con el fin de cubrir las necesidades particulares de cada región, ya sea con productos específicos o productos globales (PG). Los PG, es fabricar el mismo producto en diferentes países los cuales se comercialicen en la región en la que se produce, lo que significa que el nivel de proceso y calidad de un producto ensamblado en una sede es equiparado con el mismo producto fabricado en otra sede. Esto garantiza el cumplimiento de los requerimientos del cliente sea cual sea la sede de fabricación. Con este contexto, una solución o mejora que se plantee debe ser: factible, eficiente y eficaz para las diferentes sedes donde se procese el mismo tipo de productos.

En el caso de ZF Suspension Technology Guadalajara (ZF STG), empresa dedicada a la fabricación de amortiguadores para el mercado NAFTA, es la empresa de mayor volumen de producción de amortiguadores del grupo ZF, misma donde se producen algunos PG, por lo que comparte la fabricación del mismo producto con otras sedes del grupo.

Adicionalmente, ZF STG es la sede donde se fabrica la mayor variedad de tecnologías que se tienen en el grupo:

- Bitubo (37% del volumen total de ZF STG).
- Strut (37% del volumen total de ZF STG).
- Nivomat (3% del volumen total de ZF STG).
- CDC (Continuos Damping control) (12% del volumen total de ZF STG).

- Monotubo:
 - Convencional (con soldadura GMAW para la unión de la tapa inferior el tubo) (7 % del volumen total de ZF STG).
 - Modular Concept (con proceso de "crimpado" para la unión de la tapa inferior al tubo) (4 % del volumen total de ZF STG).

Para Monotubo Modular Concept, se tiene la primera línea de fabricación en serie de amortiguadores en su tipo a nivel global, siendo punta de lanza para esta tecnología. Actualmente su uso se está popularizando dentro del grupo ZF, razón por la cual se está próximo a instalar una segunda línea en Shanghái, China, para satisfacer el creciente mercado asiático.

1.1. ANTECEDENTES

Desde las primeras fabricaciones realizadas en la línea de Monotubo Modular Concept en ZF STG, se detectan impurezas por partículas de aluminio en el interior de sus amortiguadores, las cuales son potencialmente nocivas para la vida útil y funcionamiento del amortiguador. Esto compromete sustancialmente la adopción de los amortiguadores Monotubo Modular Concept en futuros clientes y proyectos.

La finalidad del presente trabajo es contribuir con una solución eficiente, eficaz y factible en los aspectos productivos y económicos para el problema presentado. Además, esta solución debe ser estandarizable en los futuras aplicaciones y proyectos de amortiguadores Monotubo, con el fin de evitar daños prematuros en la vida útil y funcionamiento del amortiguador incrementando la calidad del producto de manera que se sea una tecnología deseable para los clientes.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En ZF STG, la contaminación en el interior de los amortiguadores ha generado históricamente reclamos de clientes, lo cual repercute en altos costes que absorbe la compañía al tener que realizar inspecciones al 100% de los productos que se encuentran en la cadena de suministros una vez que es detectado un problema.

Esta problemática no es exclusiva de ZF STG por lo que desde la segunda mitad del año 2018 se inició una campaña en todo el Grupo ZF con la introducción de la evaluación TecSa (Technische Sauberkeit = Limpieza Técnica) donde es posible visualizar el grado de limpieza que tienen los productos fabricados en ZF. En la evaluación TecSa se obtienen datos sobre la cantidad y el tamaño de las impurezas o partículas que se tienen en el interior del amortiguador, y las clasifica de manera general en partículas metálicas y no metálicas. Esta evaluación muestra información suficiente sobre cuáles pueden ser los componentes que contribuyen a esta contaminación. Debido a la experiencia adquirida por ZF en esta problemática, se ha identificado que el grado de nocividad que puede tener una partícula contaminante es proporcional al tamaño de esta, a mayor tamaño se presenta mayor potencial de generar problemas en la vida útil y funcionamiento del amortiguador. De esta manera se determinó para esta prueba, evaluar solo las partículas mayores a 400 μm . También se ha identificado que las partículas metálicas de mayor tamaño son las más nocivas para el amortiguador, ya que pueden provocar fugas de aceite, fugas de gas, pérdida de funcionamiento, entre otros y, por lo tanto, tener reclamaciones de los clientes.

Al inicio de operaciones de la línea Monotubo Modular Concept se detectan problemas de contaminación por cantidad y tamaño de partículas metálicas de aluminio. Se determina que la carcasa del ensamble guía es el componente del que cual se genera esta contaminación ya que es el único componente de aluminio en este tipo de amortiguadores. De esta manera se realiza un análisis preliminar sobre el diseño del producto y del proceso de ensamble con este componente.

Como diseño del producto se precisa que, al pertenecer a un PG con fabricación en ZF España y ZF STG, se utilizan en la mayoría de los subensambles y componentes, dibujos y especificaciones estándar, a excepción de la fijación de la tapa inferior que depende de la tecnología de la sede de fabricación, España utiliza soldadura KES (soldadura por descarga eléctrica) y ZF STG utiliza el diseño Modular Concept por medio de crimpado. El tipo de fijación de la tapa inferior no tiene influencia

con el problema detectado ya que forma parte de otro subensamblable por lo que se descarta del análisis. Para el ensamble guía, la mayoría de los componentes comparten el mismo dibujo, material y proveeduría por lo que se descarta su influencia en el problema. Solo en el dibujo de la carcasa de guía difiere la materia prima, España utiliza material europeo (AI 6082) y Guadalajara su equivalente en NAFTA (AI 6061), ambos en su variante T6.

Como proceso de ensamblaje del ensamble guía, se precisa que en ambas sedes utilizan el mismo dibujo y proveeduría de la herramienta para el cierre del ensamble guía, el cual se detecta como el proceso generador de las partículas contaminantes. Con el fin de evitar que las partículas generadas sean introducidas al amortiguador, la compañía realiza actividades adicionales previo a la utilización del ensamble guía en la línea de producción, tales como: limpieza de los ensambles guía después del proceso de ensamblaje, esto implica un operario adicional con un coste mensual de \$1348,6 USD. También se realizan paros frecuentes de maquina con el fin de retirar las partículas de la estación de cierre y de la máquina en general, lo cual se traduce en una eficiencia promedio del 60% para esta operación. Estos paros de maquina tienen como resultado que se utilicen dos operarios en tiempo extra (un turno adicional), lo que genera un coste mensual de \$2697,20 USD a fin de cumplir con el volumen requerido para satisfacer la demanda del cliente. Adicionalmente, se tiene un alto riesgo de que, durante la manipulación de las piezas contaminadas, las partículas de aluminio lleguen al interior del amortiguador, razón por la cual, existe un alto riesgo de tener reclamaciones de cliente.

Así mismo, cuando se trata de PG, existen algunos lineamientos por parte del grupo ZF los cuales deben considerarse, como son: tener un diseño estándar global, realizar un proceso estándar global (principales parámetros de proceso y herramientas) para el mismo tipo de subensamblable y utilizar de manera estratégica en los principales componentes del amortiguador, materia prima de la región en que se ensamble.

Con esta información y análisis preliminar, es necesario plantear una solución factible que pueda ser estandarizada, eficiente & eficaz, y que además sea capaz de seguir los lineamientos marcados por el corporativo sin generar costes adicionales para ZF.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La estandarización es vital en la industria, ya que nos ayuda a trabajar con eficiencia, reducir los costos y mejorar la rentabilidad. Aplicado a procesos productivos, esta garantiza la repetibilidad y calidad en los productos. Por esta razón, cuando se presenta algún problema en productos globales (PG), la complejidad se incrementa debido a que se deben tomar en cuenta gran variedad de factores para lograr una solución estándar.

El PG donde se presenta este problema de contaminantes de aluminio en el interior del amortiguador se producirá en un total de 3 sedes:

- ZF España (Primer sede donde se lanzó este producto).
- ZF STG (Segunda sede en lanzar el producto y donde se detecta el problema de generación de partículas de aluminio).
- ZF Shanghái (Próxima a iniciar producción en serie del mismo producto en tecnología Monotubo Modular Concept igual a ZF STG).

Todo esto nos obliga a que la solución que se plantee debe asegurar, ante todo, la calidad de los productos producidos enfocándose en minimizar y/o prevenir la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía, con el fin de evitar costes derivados de calidad no deseada; debe ser efectiva y sostenible tomando en cuenta todos los factores relacionados en cada sede de producción, evitando esfuerzos y/o costes adicionales para todas las áreas involucradas a fin de mantener los objetivos financieros planteados inicialmente para este proyecto por parte de la organización.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Reducir la cantidad de partículas de aluminio generadas en el proceso de cierre del ensamble guía Monotubo Modular Concept como mínimo en un 70% en las dimensiones evaluadas en las pruebas TecSa realizadas en amortiguadores.

1.4.2. Objetivos específicos

- Mantener un diseño estándar para los componentes y el ensamble guía.
- Utilizar materia prima NATFA para la carcasa de guía.
- Mantener estandarizados los principales parámetros definidos para este proceso de ensamble.
- Eliminar la limpieza de las partículas de aluminio de los ensambles guías generadas en el proceso de cierre.
- Eliminar los paros para limpiezas técnicas de equipo generadas por este problema a fin de incrementar la eficiencia de este proceso como mínimo a un 80%.
- Evitar costes adicionales para ZF por parte del proceso de fabricación.
- Evitar un incremento en el costo-pieza de la carcasa de aluminio para ZF.

1.5. HIPÓTESIS

Modificando la geometría en el área de cierre en la carcasa de guía es posible obtener un diseño estándar que pueda ser utilizado globalmente, manteniendo los lineamientos requeridos como lo son: materia prima en cada región para carcasa de guía, herramientas estándar para cierre de guía, parámetros de proceso de cierre estándar, con el cual, se minimice la cantidad de partículas de aluminio generadas durante el proceso de cierre del ensamble guía, a fin de minimizar el riesgo de tener reclamaciones de cliente por este tipo de contaminación.

2. MARCO TEÓRICO

Para efectos de mejorar la comprensión de esta investigación, se considera la siguiente teoría relacionada.

2.1. AMORTIGUADOR

El propósito principal del amortiguador es amortiguar el ruido y las vibraciones. De acuerdo con la Real Academia Española se define como hacer que algo sea menos vivo, eficaz, intenso o violento tendiendo a la extinción. En la industria automotriz, el propósito de un amortiguador es reducir el ruido creado por el vehículo en movimiento y reducir la cantidad de vibraciones que viajan del cuerpo del vehículo para proporcionar un suave y confortable viaje (Benaziz et al., 2015). Otros autores en el ramo automotriz se refieren a este como un elemento de acción mecánica (por roce o fricción) e hidráulica (por líquidos o aceites especiales), para amortiguar o neutralizar las vibraciones de un motor estacionario o las sacudidas del vehículo por las depresiones del camino (Müller, 1957).

En la industria automotriz, el confort indica hasta qué punto los sistemas y características del vehículo pueden reducir las molestias al conducir. Existen algunos parámetros relacionados con el confort que admiten la medición, como la intensidad de las vibraciones causadas por las irregularidades del terreno (Helloauto.com, 2021).

Los primeros automóviles utilizaban el principio de suspensión por muelles utilizada en los carruajes tirados por animales. Las suspensiones a partir de muelles de ballesta son usadas desde el inicio mismo de la industria automotriz, por sus características de costo, durabilidad, fácil mantenimiento, entre otros (Rodríguez Matienzo & Otero Pereiro, 2006).

2.1.1. Primeros desarrollos

Una parte esencial en los vehículos automotrices es la suspensión. El amortiguador es uno de sus componentes principales. La necesidad de amortiguadores surge debido al balanceo y cabeceo asociados con las maniobras de los vehículos, y a la irregularidad de las carreteras. La instalación de dispositivos de amortiguación en las suspensiones de los vehículos siguió después de la llegada del propio automóvil. Desde aquellos primeros tiempos el amortiguador ha pasado por un siglo de evolución, las etapas básicas que pueden considerarse son (Dixon, 2007):

- Fricción seca
- Sistema hidráulico de soplado
- Hidráulica progresiva
- Ajustables (alteración manual)
- Adaptativos lentos (alteración automática)
- Adaptativos rápidos (semiactivos)
- Electrofluídicos.

Históricamente el *zeitgeist* (periodo particular de la historia) con respecto a los amortiguadores ha cambiado considerablemente a lo largo de los años (Dixon, 2007), aproximadamente en los periodos que se indican en la Figura 1.

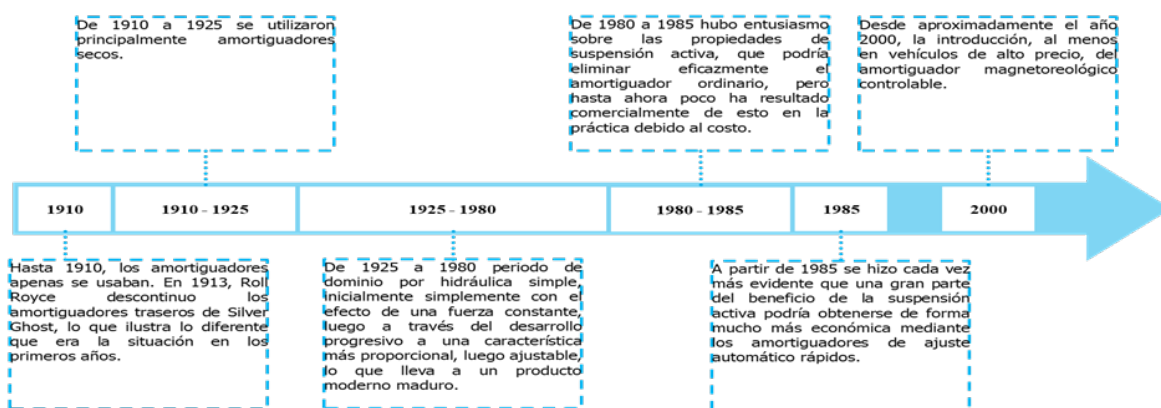


Figura 1. Línea de tiempo del desarrollo de amortiguadores (Dixon, 2007)

2.1.2. Aplicaciones generales

Los amortiguadores tienen diferentes aplicaciones dependiendo de la industria en la que se utilice. A continuación, las principales industrias de aplicación:

- Automotriz: Sin duda una de las industrias mayormente conocidas por su uso es la automotriz donde no solo se utilizan para absorber la vibración generada por movimiento del vehículo, si no que dependiendo del tipo de vehículo su aplicación puede ser más específica, por ejemplo: en el caso de los amortiguadores traseros de las motocicletas de pista, en donde además de suavizar y absorber las irregularidades que el vehículo encuentre a su paso, debe de controlar y asegurar una correcta dirección en la conducción, procurar una correcta alineación de las ruedas, entre otras (Escribano Beitia, 2015)
- Marina: Los barcos y botes utilizan amortiguadores en los asientos, ruedas de dirección, motores y ejes de accionamiento. Los amortiguadores en los asientos y el volante se utilizan principalmente en botes personales para absorber el impacto, ya que tienden a ser más susceptibles al movimiento de las ondas debido a su pequeño tamaño. Los muelles también tienen amortiguadores que ayudan a absorber el impacto durante el acoplamiento (Spiteri, 2019).
- Estructuras: En la fabricación de edificios, puentes y otras estructuras son utilizados para la protección anti-sismos, reducción de movimientos no deseados debido a los vientos fuertes y la energía peatonal, entre otros, ya que cortan la deflexión, al tiempo que reducen la tensión mecánica de la estructura (Berquist et al., 2020).
- Aeroespacial y de defensa: Son utilizados como elementos de absorción y control de energía. Se utilizan como sistemas de aislamiento de vibraciones en plataformas de lanzamiento, o como amortiguadores para vuelos espaciales, aislamiento de efectos de armas, manejo de carga, entre otros (Berquist et al., 2020).
- En la industria: Uno de sus usos más característicos en la industria, es en la reducción progresiva de la energía cinética. En los procesos productivos, inherentemente se utilizan movimientos lineales, rotativos progresivos,

avances rápidos, entre otros, para el manejo de los productos. Estos movimientos cambian o se detienen en algún punto. Como resultados de este movimiento, los objetos poseen energía cinética. Si el objeto cambia de dirección o se detiene, la disipación de esta energía puede provocar fuerzas de choque destructivas en los elementos estructurales u operativos de la máquina. Al reducir progresivamente la energía cinética, se genera una desaceleración constante por lo que se eliminan estas fuerzas de choque destructivas (Aircontrol.es, 2021).

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de las principales industrias de aplicación del amortiguador mecánico.

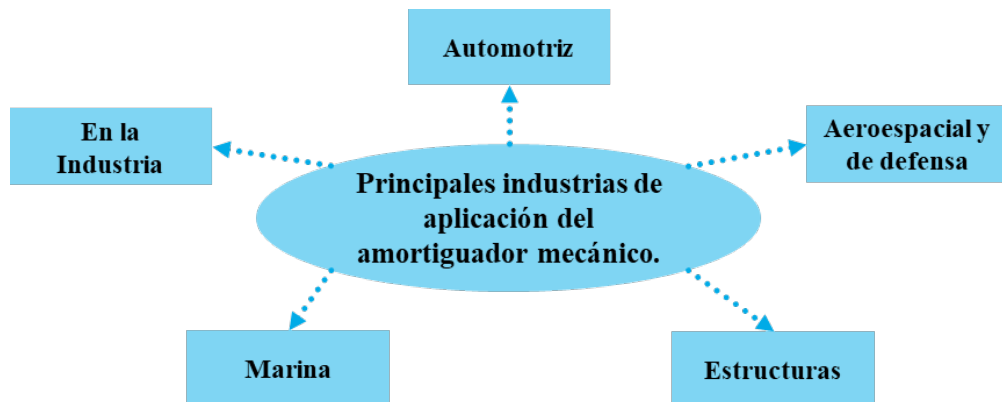


Figura 2. Principales industrias de aplicación del amortiguador mecánico
Elaboración propia

2.2. CLASIFICACIÓN GENERAL DE AMORTIGUADORES

En ZF STG, empresa donde se desarrolla el presente trabajo de tesina; los productos que ahí se fabrican y se clasifican de manera general en amortiguadores convencionales (pasivos), semi-activos y activos.

2.2.1. Amortiguador convencional

Los amortiguadores pasivos se caracterizan principalmente por ser un sistema no controlado externamente, es decir su funcionamiento solo depende de su configuración y del perfil de la carretera. Estos son los productos más comerciales dentro del grupo ZF y se dividen en amortiguador Bitubo, Monotubo y Puntuales (Struts).

- Los amortiguadores Bitubo, constan en dos cilindros: uno externo (cámara de compresión) y otro interno (de trabajo). Dentro del cilindro de trabajo, se ubica un pistón unido al vástago. El vástago del pistón está equipado con la guía del vástago que limita su movimiento con respecto a los cilindros, solo en la dirección longitudinal. En la parte inferior del cilindro interno se ubica una válvula básica. Así mismo, se pueden distinguir cuatro cámaras principales: cámara sobre el pistón o cámara de extensión(A), cámara debajo del pistón o cámara de compresión(B), el tanque compensador o cámara de depósito, que consta de dos partes: cámara (C) ubicado sobre el nivel de aceite, cámara (D) ubicada debajo. La cámara (D) se llena con nitrógeno a baja presión (4-8 bares) (Ferdek & Łuczko, 2012). En la Figura 3 se aprecian la ubicación de los elementos mencionados.

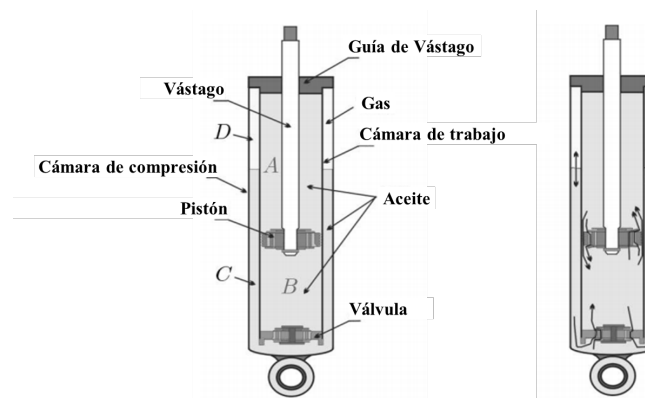


Figura 3. Modelo de amortiguador hidráulico Bitubo (Ferdek & Łuczko, 2012)

En el mercado existen dos tipos de amortiguadores Bitubo: los de aceite, conocidos como no presurizados y los de aceite y gas, denominados presurizados.

- En el caso de los amortiguadores Monotubo trabajan bajo el mismo principio básico que los hidráulicos, pero contienen en uno de sus extremos nitrógeno a alta presión. Un pistón flotante separa este gas del aceite impidiendo que se mezclen y cuando el aceite, al desplazarse el vástago, comprime el gas, este sufre una variación de volumen que permite dar una respuesta instantánea y un funcionamiento silencioso (Beltrán Ruiz & Fernández Pallo, 2014). En la Figura 4 podemos apreciar un esquema de un amortiguador Monotubo con gas.

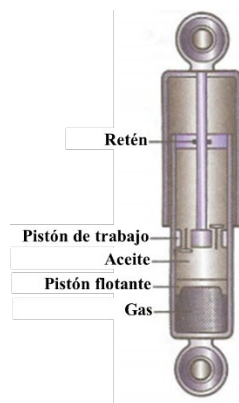


Figura 4. Esquema de amortiguador Monotubo con gas (Beltrán Ruiz & Fernández Pallo, 2014)

- Los amortiguadores puntuales o Struts además de tener el funcionamiento de un amortiguador común (Bitubo o Monotubo) son una importante pieza estructural de la suspensión ya forman parte de un módulo de amortiguación, el cual generalmente consta de un amortiguador puntual, un resorte helicoidal, asientos de resorte, soporte superior, cojinete de dirección y parachoques de rebote. Sus funciones principales son: soportar la masa del vehículo, controlar el movimiento vertical del vehículo y definir los límites de recorrido de la suspensión (Tao, 2002). Sus principales componentes se muestran en la Figura 5.

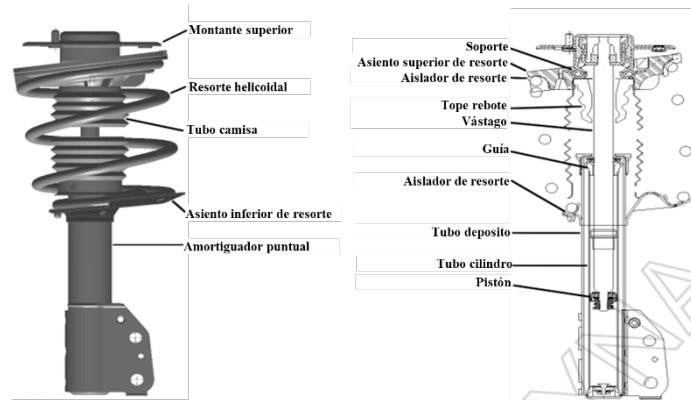


Figura 5. Conjunto típico de módulo de amortiguador Strut (Tao, 2002)

2.2.2. Amortiguador semiactivo

Los amortiguadores semiactivos son dispositivos de control hidromecánico con la capacidad de variar la cantidad de energía que disipan utilizando una pequeña fuente de energía. Por ejemplo, los amortiguadores hidráulicos pasivos están diseñados de tal manera que la fuerza controlable es proporcional a la velocidad de la vibración que los actúa. Dichos sistemas amplían la gama posible de características de amortiguación que se pueden obtener de un amortiguador pasivo. Con el fin de controlar la amortiguación semiactiva, se han utilizado varios dispositivos de disipación de energía tales como amortiguadores con válvula solenoide/servo, amortiguadores Magnetoreológico (MR), Electrorreológicos (ER) y amortiguadores electromagnéticos (Soliman & Kaldas, 2021).

El amortiguador semiactivo ajusta los niveles de amortiguación a través de una válvula solenoide de derivación unida al tubo exterior del amortiguador. El ajuste de amortiguación más suave se logra a aproximadamente 0,3 amperes, mientras que el ajuste de amortiguación duro se obtiene a aproximadamente 1,6 amperes. En el caso del a prueba de fallas, el amortiguador semiactivo proporciona aproximadamente las características del amortiguador pasivo sin energizar la válvula (0,0 A) (Soliman & Kaldas, 2021).

Un ejemplo de un amortiguador semiactivo con válvula solenoide se aprecia en la Figura 6.



Figura 6. Amortiguador Semiactivo con válvula solenoide (Sachs)
(ZF Friedrichshafen AG, 2020)

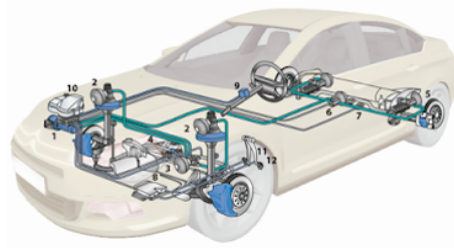
2.2.3. Sistemas activos

Son mejor conocidos como un sistema de amortiguación y utilizan un actuador que incorpora energía para modificar la respuesta al sistema ante distintas perturbaciones del terreno (Ezeta et al., 2013).

Un sistema es un conjunto de elementos que funcionan como un todo, si bien cada uno de los elementos puede funcionar de manera independiente, siempre formarán parte de una estructura mayor (Significados.com, 2021).

Los sistemas de amortiguación activos almacenan, disipan, activan, e introducen energía por medio de actuadores, cuyo accionar es regulable a través de sensores y controladores, y que supone unos requisitos de energía y costo que constituyen el principal obstáculo en su comercialización (Ezeta et al., 2013).

Para ejercer la fuerza de control se pueden utilizar actuadores electro-hidráulicos, neumáticos, y electromagnéticos (Xinjie & Shengjin, 2009). Como ejemplo tenemos el sistema de suspensión activa del Citroën C5 en la Figura 7.



Los elementos principales son:

1. Bloque hidro electrónico integrado.
2. Elementos portadores delanteros.
3. Regulador de rigidez delantero con su esfera.
4. Sensor de altura delantero.
5. Cilindros hidroneumáticos traseros.
6. Regulador de rigidez trasero con su esfera.
7. Sensor de altura trasero.
8. Unidad de mando.
9. Sensor de medición del ángulo del volante.
10. Depósito de líquido hidráulico.
11. Sensor de posición del pedal del acelerador.
12. Sensor de presión de frenado.

Figura 7. Sistema de suspensión hidractiva Citroën C5
(Ezeta et al., 2013)

2.3. AMORTIGUADOR MONOTUBO

En 1953 el investigador e inventor francés Christian Bourcier de Carbon solicita la patente para el amortiguador Monotubo de gas de alta presión, misma que le fue concedida al año siguiente. Poco tiempo después, la licencia fue vendida a la empresa alemana Bilstein Company quien perfeccionó el diseño. Daimler-Benz AG, Stuttgart, Alemania, colocaron los primeros amortiguadores cargados con gas en algunos modelos del 58' (Krehl, 2008).

El amortiguador Monotubo se caracteriza principalmente por tener sus dos cámaras de trabajo (cámara de aceite y cámara de gas) ubicadas en el interior de un mismo tubo. La cámara de aceite y la cámara de gas a presión están separadas por un pistón separador móvil que tiene un O´ring como sello. Las válvulas de amortiguación tanto para las etapas de tracción y compresión están ubicadas en la válvula pistón. Sus principales ventajas son: un excelente rendimiento de manejo debido a su capacidad de respuesta en pequeñas amplitudes y alta frecuencia, lo que genera una mejor sensación de amortiguación, tiene posición de instalación flexible sin limitaciones de ángulo con la posibilidad de montarse invertido, además de tener un buen rendimiento a altas temperaturas (Breun & Krill, 2017).

2.3.1. Componentes principales del amortiguador Monotubo

- Vástago: Es una de las partes estructurales del amortiguador. En uno de sus extremos, y en el interior del cilindro principal sujeta la válvula pistón y el otro extremo se utiliza para la fijación de los elementos de sujeción al vehículo (Breun & Krill, 2017).
- Ensamble guía de vástago: Es el sello superior del amortiguador. Su función es guiar el vástago, a la vez que mantiene la estanqueidad entre la cámara de aceite con el exterior.
- Válvula de pistón: Contiene las válvulas necesarias para las etapas de compresión y tracción del amortiguador. Su función principal es la de generar las cargas de amortiguación necesarias para satisfacer las necesidades de confort requeridas por el cliente.
- Aceite: Es el fluido mediante el cual se desplaza la válvula pistón para realizar la función de amortiguar. Su densidad tiene un importante papel para el correcto desempeño del amortiguador.
- Cilindro principal: Otra parte principal en la estructura del amortiguador, ya que en su interior se realiza todo el trabajo de amortiguación y su exterior, al tener contacto directamente con el ambiente, si este es colocado en una zona aireada tiene una mejor disipación del calor generado debido al funcionamiento del mismo amortiguador.
- Pistón separador: Su función principal es mantener la estanqueidad entre las cámaras de aceite y gas, además de comprimir o expandir la cámara de gas de acuerdo con los movimientos de la válvula pistón durante el funcionamiento del amortiguador.
- Cámara de Gas: Está ubicada entre el pistón separador y la tapa inferior. Su función es la de crear una fuerza de reacción cuando la válvula pistón se desplaza hacia esta y el aceite comprime el gas (Breun & Krill, 2017).

En la Figura 8 podemos apreciar los principales componentes del amortiguador Monotubo.

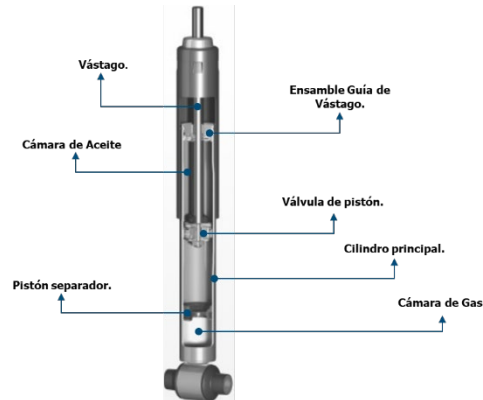


Figura 8. Componentes principales del amortiguador Monotubo (ZF Friedrichshafen AG, 2021)

2.3.2. Principales aplicaciones

Debido a sus características, el amortiguador Monotubo tiene muchos campos de aplicación, dentro de los que destacan el automotriz, en donde está presente en una amplia gama de vehículos, desde deportivos hasta SUV, e inclusive camiones ligeros, y el industrial, donde lo podemos encontrar en maquinarias de alta velocidad y aplicaciones de robótica.

2.3.3. Principio de funcionamiento

Tiene dos cámaras principales: la cámara de gas y la cámara de aceite. Esta última se divide en dos partes: la cámara de la cabeza y la cámara del vástago (Mollica, 1997). La ubicación de estas en el amortiguador Monotubo se puede apreciar en la Figura 9.

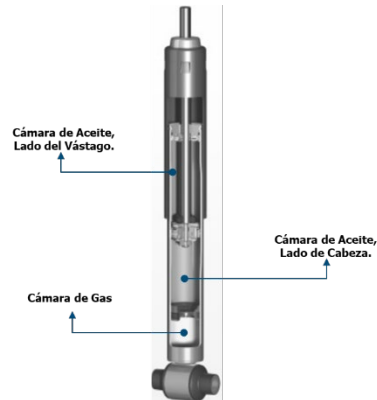


Figura 9. Principales cámaras del Amortiguador Monotubo (ZF Friedrichshafen AG, 2021)

Durante su funcionamiento, cuando el amortiguador se comprime (recorrido de compresión), el aceite que está en la cámara de lado de la cabeza es forzado a pasar por una disposición valvular y orificios a través de la válvula pistón hacia el lado la cámara del lado del vástago, tal y como se aprecia en la Figura 10. Primero, el aceite ingresa a los puertos de la válvula pistón cuando la diferencia de presión a través de una válvula de retención excede un valor establecido. Luego, el aceite entra en un pequeño volumen de unión dentro de la válvula pistón antes de pasar al otro lado de esta a través de un conjunto de oficios conocidos como sangrado (o fuga). Cuando la diferencia de presión excede un valor preestablecido, un segundo conducto se abre desde el volumen de unión de adentro de la válvula pistón hacia el otro lado, a través de una válvula de desahogo de presión (o purga). También habrá paso de aceite en el espacio entre el sello de la válvula pistón y el diámetro interior del tubo. La incompresibilidad relativa del aceite y el hecho de que el volumen desplazado en el lado de la cabeza sea mayor que el del lado del vástago, da como resultado una reducción en el volumen de gas para tener en cuenta el volumen de aceite adicional en el lado de la cabeza que no se pudo forzar al lado de la varilla (Mollica, 1997).



Figura 10. Principio de compresión del amortiguador Monotubo (ZF Friedrichshafen AG, 2021)

Cuando el amortiguador Monotubo se extiende, se produce el recorrido de tracción. El aceite en la cámara del vástago aumenta de presión en relación con el lado de la cabeza y el aceite fluye a través de la válvula pistón hacia el lado de la cabeza por un conjunto de orificios diferentes a los activos de la carrera de compresión. Los puertos de compresión están cerrados por un sistema de válvula de retención durante la carrera de tracción y viceversa (Mollica, 1997). En la Figura 11 podemos observar un esquema del paso del aceite durante la etapa de tracción.



Figura 11. Principio de tracción del amortiguador Monotubo (ZF Friedrichshafen AG, 2021)

Otros autores describen el funcionamiento de una manera más simplificada: Cuando el vástago del pistón se mueve hacia adentro (acción de compresión), el pistón separador comprime el colchón de gas en la cantidad de aceite

correspondiente al volumen del vástago del pistón. Cuando el vástago del pistón se retrae (acción de tracción), la presión del gas nitrógeno empuja hacia atrás el pistón de separación. La amortiguación de vibraciones en ambas direcciones se realiza a través de la válvula pistón (ZF Friedrichshafen AG, 2021).

2.3.4. Principales pruebas al amortiguador Monotubo

Durante el proceso de ensamblaje del amortiguador Monotubo en ZF STG, se realizan una serie de pruebas y validaciones a fin de asegurar la calidad de los productos que se están manufacturando.

En el caso de los nuevos proyectos, se realizan validaciones durante las primeras fases de desarrollo. En estas validaciones se busca que el producto cumpla con las especificaciones estándar y con las indicadas en los planos desarrollados para cada subensamble específico, con el fin de definir y confirmar los parámetros adecuados en cada una de las estaciones de ensamblaje previo a su lanzamiento de producción en serie.

Para los productos que ya son producción en serie o producción ordinaria en las líneas de ensamblaje, se realizan validaciones, ya sea solo al inicio del lote y/o turno de fabricación, y en algunos otros casos también se realizan periódicamente de acuerdo con las instrucciones internas de calidad, a fin de confirmar que se cumple con las especificaciones necesarias para obtener productos con la calidad deseada.

Las características para verificar pueden ser dimensionales, visuales, con calibres (pasa - no pasa) o de desempeño. La mayoría de estas verificaciones son realizadas por el mismo operario con la ayuda de equipos de medición e inspección dispuestos en la línea de ensamblaje. También existen algunas otras que necesitan el apoyo de equipos o dispositivos especializados, por lo que estas son realizadas en laboratorios internos por técnicos capacitados para el uso de estos.

Medición de características dimensional o magnitud: en procesos de fabricación más o menos complejos es suficiente que los elementos fabricados cumplan con intervalos de valores admisibles o tolerancias previamente especificadas para asegurar la funcionalidad del conjunto fabricado. Esto asegura la intercambiabilidad de elementos análogos, por lo que no es necesario establecer valores exactos para las magnitudes, sino que es suficiente cumplir con las especificaciones previamente establecidas. Cada vez que hay que decidir si el valor concreto de una magnitud está dentro de dichos intervalos de valores admisibles, es preciso medir, y para ello, es necesario acotar el valor de la magnitud medida entre un mínimo y un máximo, puesto que resulta humanamente imposible encontrar el valor verdadero de cualquier magnitud medida (López Rodríguez, 2011).

Entre los elementos principales que intervienen en una medición de cualquier magnitud física se pueden encontrar los siguientes (López Rodríguez, 2011):

- Magnitud a medir o "mensurado"
- Instrumento de medida
- Proceso de medición, y
- Personal responsable del proceso

Inspección visual: este tipo de inspecciones son realizadas por los mismos operarios directamente en sus estaciones de trabajo. Pueden hacerlas tanto a componentes entrantes al proceso como a partes procesadas con el objetivo de detectar condiciones anormales tales como defectos, daños o deformaciones en las partes inspeccionadas. No se necesita ningún aparato de medición para realizarla. Las inspecciones visuales dependen de las condiciones de trabajo (iluminación, ángulo de visión y contraste entre objeto y superficie) y la aptitud visual (agudeza visual y cromaticidad). Estas condiciones también son llamados factores ergoftalmológicos. La Ergoftalmología es la ciencia que nace de la unión de la ergonomía y la oftalmología, fue propuesta por Hans Jürgen Merté en 1966 y trata de optimizar las condiciones de trabajo en relación a la salud visual de los trabajadores (Reyes & Solano, 2005).

Inspección con calibres (pasa – No Pasa): la inspección con calibres pasa–no pasa se realiza con el fin de verificar las dimensiones de una parte en sus límites de tamaño superior e inferior, de acuerdo con las tolerancias especificadas. Este tipo de calibres solo indican si la parte inspeccionada está dentro de tolerancia o no (atributos). Con la inspección por calibres no obtenemos resultados sobre el grado de conformidad o desviación de las condiciones límite, el control de la pieza es la aceptación o rechazo de esta sin que se tenga resultado numérico de la cota (Bonilla Olmedo, 2008).

Pruebas de desempeño: una prueba de desempeño permite simular escenarios de funcionamiento típico de un ensamble o subensamble a fin de evaluar su comportamiento y/o resistencia (Toledo et al., 2008).

Las pruebas que evalúan el desempeño no agregan valor al producto, solamente sirven como comprobaciones del funcionamiento para el que fueron creados. Mientras que las pruebas de resistencia son pruebas destructivas en las que se somete dicho ensamble a su límite de esfuerzo a fin de comprobar su durabilidad y/o resistencia.

Prueba de contaminación: la contaminación es la causa número uno de fallo de cualquier elemento mecánico lubricado. Un control efectivo de desgaste se consigue controlando los contaminantes presentes (Bilbao & Málaga, 2012).

Hay cuatro fuentes primarias de la contaminación de partículas en los sistemas lubricados. Los contaminantes incorporados, los cuales son agregados al sistema por los componentes, líquidos, depósitos, etc. Los contaminantes generados, resultan del ensamble de componentes del mismo sistema. Los contaminantes externos, entran a un sistema por ventilas de depósitos, sellos, etc. Los contaminantes relacionados con el mantenimiento, son introducidos cuando algún equipo de ensamblaje es desmontado o montado y se agrega aceite a la tarea (RELIABILITYWEB.COM, 2021).

En ZF se realizan pruebas de contaminación interna a los ensamblajes que ahí se fabrican. Su propósito comprobar el grado de limpieza de estos con el fin de generar planes de acción que puedan estandarizarse y que contribuyan a la disminución o eliminación de los contaminantes ahí encontrados, para asegurar la fabricación de productos de gran desempeño, evitando costes generados por la no calidad.

2.4. PROCESO DE CIERRE DEL ENSAMBLE GUÍA

Al inicio de operaciones de la línea de ensamble de los amortiguadores Monotubo Modular Concept se detecta problemas de contaminación por partículas metálicas de aluminio. Después de un análisis preliminar, se determina que el proceso de cierre del ensamble guía es el generador de dichos contaminantes de aluminio.

El proceso de cierre del ensamble guía es donde se fijan los componentes internos de esta. Consiste en realizar un proceso de deformación plástica en frío sin lubricación, en el borde del cuerpo de la guía, al presionar una herramienta de forma con una fuerza definida como estándar para esta aplicación.

Un esquema del inicio del proceso de cierre del ensamble guía se muestra en la Figura 12.

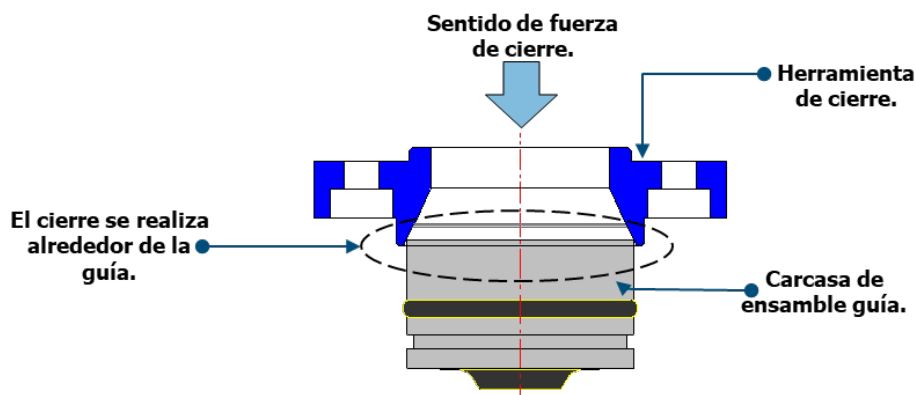


Figura 12. Esquema del proceso de cierre del ensamble guía
Elaboración propia

2.4.1. Procesos de formado de metales

El formado de metales, también llamado conformado o deformado incluye varios procesos de manufactura en los cuales se usa la deformación plástica para cambiar la forma de las piezas metálicas. La deformación es el resultado del uso de una herramienta que generalmente es un troquel, el cual aplica esfuerzos que exceden la resistencia a la fluencia del metal. Por tanto, el metal se deforma para tomar la forma del troquel. En general, se aplica el esfuerzo de compresión para deformar plásticamente el metal. Para formar exitosamente un metal, éste debe poseer ciertas propiedades. Las propiedades convenientes para el formado son por lo general una baja resistencia a la fluencia y alta ductilidad. Estas propiedades las afecta la temperatura. La ductilidad se incrementa y la resistencia a la fluencia se reduce cuando aumenta la temperatura de trabajo. El efecto de la temperatura da lugar a la distinción entre trabajo en frío y trabajo en caliente. La velocidad de formación y la fricción son factores adicionales que afectan el desempeño del formado de metales (Groover, 2007).

2.4.2. Clasificación de formado de metales

Los procesos de formado se pueden clasificar en procesos de deformación volumétrica y procesos de trabajo de láminas metálicas. Los procesos de deformación volumétrica son: Proceso de rolado, proceso de forjado, proceso de extrusión y de estirado de alambre y barra. Los procesos de trabajo en laminas metálicas son: operaciones de doblado, proceso de estirado en copa o en profundo, procesos de corte y procesos misceláneos. Estos últimos incluyen procesos tales como formado recto, doblado laminar, repujado y doblado de tubos. El proceso de doblado implica la deformación de una lámina metálica o placa para que adopte un ángulo respecto a un eje recto, en la mayoría de los casos (Groover, 2007).

En los procesos de conformación se mantiene inalterado el volumen del cuerpo. En la deformación elástica, el cuerpo recupera su forma inicial después de que ha cesado la fuerza que modifica su forma (por ejemplo, goma). En el caso de la

deformación plástica, la forma obtenida por la acción de la fuerza y la herramienta se conserva (pieza forjada) después de que ha cesado la actuación de dicha fuerza. La deformación plástica presupone la existencia de materiales plásticos. Solamente los materiales plásticos pueden experimentar una deformación permanente y considerable, sin destrucción de los enlaces moleculares. Los metales plásticos son, sobre todo, el acero y los metales no ferrosos maleables, por ejemplo el aluminio (Gerling, 1979).

Una representación simplificada de la deformación plástica y elástica la podemos apreciar en la Figura 13.

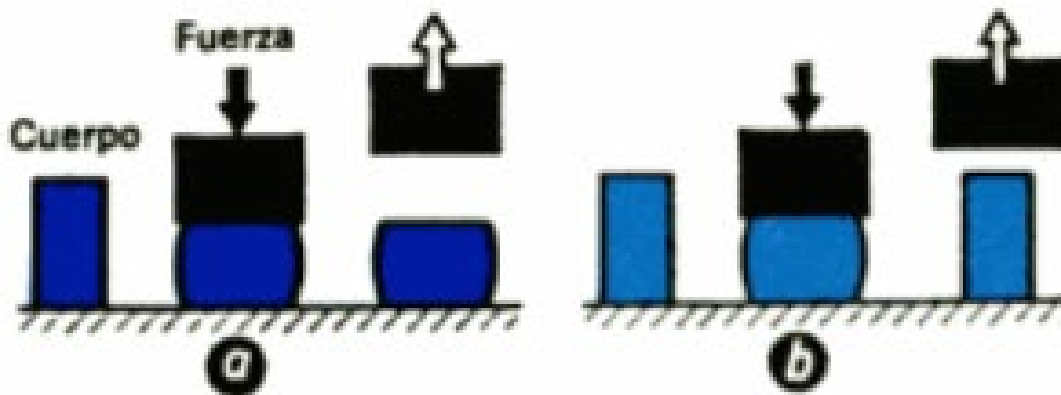


Figura 13. Representación deformación plástica (a) y elástica (b)
(Gerling, 1979)

2.4.3. Estructuras cristalinas de los metales

Los metales constituyen el grupo más grande entre los materiales de las piezas de trabajo. La propiedad común de todos los metales ferrosos y no ferrosos es su estructura cristalina, es decir, su disposición regular y definida de átomos. La física de metales ha desarrollado modelos de estructura cristalina como se muestra en la Figura 14 en vistas atómicas y macroscópicas usando la celda unitaria del hierro como ejemplo. La mayoría de los metales tienen un sistema cristalino cúbico o hexagonal. En el caso de los sistemas de cristales cúbicos, distinguimos entre una estructura de enrejado centrada en el cuerpo y una centrada en la cara. Como ejemplo de cada tipo de estructura tenemos que: el aluminio (Al) pertenece al

grupo de *fase-centred cubic* o cúbica centrados entre caras (Fcc), el cromo (Cr) pertenece al de *body-centred cubic* o cúbica centrada en el cuerpo (Bbc) y el berilio pertenece al de *Hexagonally structure* o estructura hexagonal compacta (Hcp) (Klocke, 2013). Un ejemplo de las vistas atómicas y macroscópicas de una estructura metálica de grano esquemática y real se aprecia en la Figura 14.

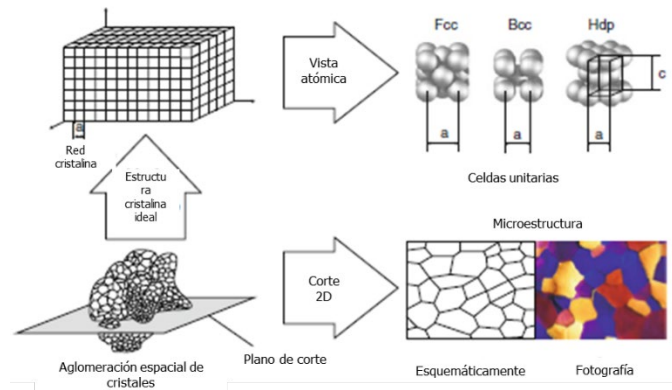


Figura 14. Vistas atómicas y macroscópicas de estructura cristalina (Klocke, 2013)

Si un cuerpo deformado vuelve completamente a la forma y dimensiones iniciales después de que se elimina la tensión externa, se denomina tensión elástica. Esto resulta de un desplazamiento de los átomos de su posición estable de equilibrio donde exhiben un mínimo de energía potencial (Figura 15). La cantidad respectiva de desplazamiento es menor que una distancia interatómica. Desde la mecánica de materiales, la ley de Hooke para esfuerzos de tracción y compresión es bien conocida por la descripción funcional de este proceso. En la tecnología de conformado, la deformación elástica es generalmente muy pequeña en comparación con la deformación plástica. Por esta razón, a menudo se puede despreciar la deformación elástica. Una propiedad indeseable del comportamiento elástico durante los procesos de conformado se conoce como recuperación elástica. Este fenómeno se produce especialmente cuando se realizan embutidos profundos de componentes a gran escala. En el caso de la deformación plástica, hay una dislocación de átomos en una nueva posición de equilibrio estable. La cantidad de dislocación puede ser mucho mayor que una distancia atómica y la deformación permanece después de que se hayan

eliminado las fuerzas externas. La metalurgia reconoce esencialmente dos mecanismos de deformación plástica: deslizamiento (traslación) y hermanamiento (Figura 15). Al considerar estos procesos, primero se procede de un monocristal de modo que se puedan desprestigiar las diferentes orientaciones y límites de grano. El hermanamiento mecánico implica un desplazamiento de átomos que se encuentran en planos paralelos al plano gemelo (Klocke, 2013).

En la Figura 15 se muestra una representación atómica de la deformación elástica y plástica de una red cristalina de un alambre elástico.

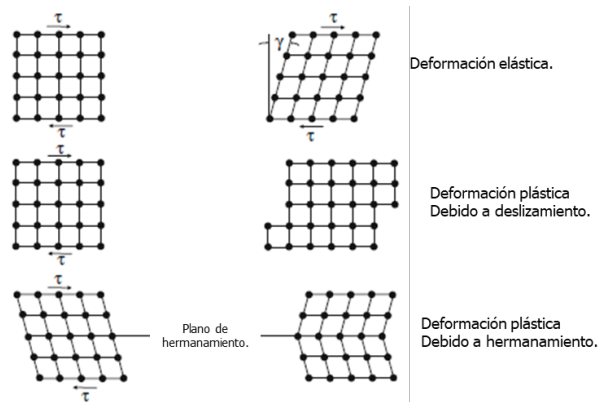


Figura 15. Representación atómica de deformaciones de la red cristalina (Klocke, 2013)

2.5.4. Ley de Hooke

Ley de Hooke, publicada en 1678 menciona que: “La fuerza que devuelve un resorte su posición de equilibrio es proporcional al valor de la distancia que se desplaza de esa posición”. Esta ley afirma que la deformación elástica que sufre un cuerpo es proporcional a la fuerza que produce tal deformación, siempre y cuando no se sobre pase el límite de elasticidad de dicho material (Sanger, 2005).

Su fórmula se muestra en la Ecuación 1.

$$F = K * \Delta x$$

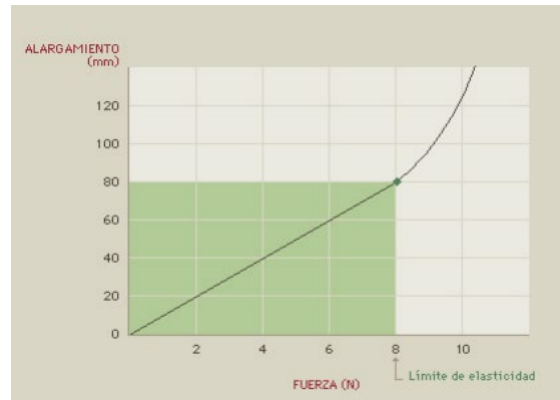
Ecuación 1. Ley de Hooke

Donde:

- F = fuerza externa aplicada (N)
- K = constante de proporcionalidad (N/m)
- Δx = variación de la longitud (m)

Si la fuerza externa aplicada supera el límite de elasticidad el material queda deformado permanentemente. El máximo esfuerzo que un material puede soportar antes de quedar permanentemente deformado se denomina límite de elasticidad. La relación entre el esfuerzo y la deformación, denominada módulo de elasticidad, así como el límite de elasticidad, están determinados por la estructura molecular del material. Por debajo del límite de elasticidad, cuando se deja de aplicar la fuerza, las moléculas vuelven a su posición de equilibrio y el material elástico recupera su forma original. Más allá del límite de elasticidad, la fuerza aplicada separa tanto las moléculas que no pueden volver a su posición de partida, y el material queda permanentemente deformado o se rompe (Sanger, 2005).

La Figura 16 muestra un gráfico del aumento de longitud (alargamiento) de un alambre elástico a medida que aumenta la fuerza ejercida sobre el mismo. En la parte lineal de la gráfica, la longitud aumenta 10 mm por cada newton (N) adicional de fuerza aplicada. El cambio de longitud (deformación) es proporcional a la fuerza (tensión), una relación conocida como ley de Hooke. El alambre empieza a estirarse desproporcionadamente para una fuerza aplicada superior a 8 N, que es el límite de elasticidad del alambre. Cuando se supera este límite, el alambre reduce su longitud al dejar de aplicar la fuerza, pero ya no recupera su longitud original (Sanger, 2005).



(Sanger, 2005)

2.5.5. Conformado en caliente

Cuando al metal se le trabaja en caliente, las fuerzas requeridas para deformarlo son menores y las propiedades mecánicas se cambian moderadamente. Durante las operaciones de trabajo en caliente, el metal está en estado plástico y es formado rápidamente por presión. Adicionalmente, el trabajo en caliente tiene las siguientes ventajas: la porosidad en el metal es considerablemente eliminada, la mayoría de los lingotes fundidos contienen pequeñas sopladuras, las impurezas en forma de inclusiones son eliminadas y distribuidas a través del metal, los granos gruesos o prismáticos son refinados, la ductilidad y la resistencia se incrementan, su resistencia mecánica disminuye y se desarrolla una gran homogeneidad en el metal, la cantidad en energía es mucho menos que la requerida cuando el acero está frío. Algunas de sus desventajas son: rápida oxidación o escamado de la superficie, pobre acabado superficial, equipo y costos de mantenimiento necesarios son altos, entre otros (IZA, 2007).

2.5.6. Conformado en frío

Cuando un metal se trabaja en frío se requieren grandes fuerzas para deformarlo. Se dice que un material es conformado en frío, cuando la temperatura de deformación no llega a producir cambios en las estructuras. Sus ventajas son: una

mejor precisión, buenos acabados superficiales, incremento de la resistencia y dureza de la parte deformada, entre otros (IZA, 2007).

2.6. TRIBOLOGÍA

El termino tribología viene del término griego *tribos*, que significa frotamiento o rozamiento y *logía* que viene a ser ciencia, por tanto, la traducción literal será "la ciencia del frotamiento". La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida de los elementos de máquinas (Linares, 2010). Esta se identifica por ser un campo multidisciplinario que incluye áreas como la ciencia y la tecnología de materiales, tecnologías químicas, biología y biomedicina, así como también una gran variedad de áreas como lo son el diseño, mecánicas de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, lubricación, metalurgia, entre otros (Acevedo et al., 2010).

2.6.1. Sistema tribológico

El sistema tribológico consta de cuerpos y contra cuerpos (herramienta y pieza de trabajo en el caso de la tecnología de fabricación), así como medios intermedios y circundantes (lubricante y aire como regla). La suma de los efectos de la carga externa, como las fuerzas del proceso, la temperatura o la velocidad de deslizamiento, constituye el colectivo de esfuerzos tribológicos, que puede entenderse como la entrada del sistema desde el enfoque de un sistema (Klocke, 2013).

Tanto la fricción como el desgaste dependen de la estructura del sistema tribológico y del colectivo de esfuerzos. Por lo tanto, constituyen la respuesta del sistema o la salida del sistema. El desgaste progresivo y las condiciones de fricción consecuentemente alteradas afectan retroactivamente tanto a la estructura del sistema como al colectivo de esfuerzos (Czichos et al., 2003).

El objetivo de los diseños y optimizaciones de procesos tribológicos es la mejora de uno o más de los factores anteriores. Por ejemplo, cambiar las condiciones de fricción puede tener un efecto importante en el flujo de material. Este último determina la geometría final obtenible de las piezas de trabajo y, por lo tanto, también los límites del proceso. Además, la fricción afecta las fuerzas del proceso. Una reducción de las fuerzas del proceso contribuye a la conservación de recursos debido al ahorro de energía. Además, la vida útil de la herramienta aumenta con cargas más bajas, lo que tiene un efecto positivo en la rentabilidad de un proceso de conformado. Una consecuencia de la fricción es el desgaste de la herramienta, cuyo tipo y características afectan la vida útil de las herramientas utilizadas (rentabilidad) y la calidad de la superficie de las piezas formadas producidas. Con un conocimiento preciso de las condiciones tribológicas dentro de un proceso de conformado, la fricción y el desgaste pueden ser influenciados y minimizados seleccionando cuidadosamente los componentes individuales del sistema tribológico. Esencialmente, esta selección incluye los materiales de la herramienta que se utilizan, los recubrimientos de la herramienta y los lubricantes, que a su vez co-determinan el respeto al medio ambiente de un proceso (Klocke, 2013). En la Figura 17 es posible apreciar los elementos de un sistema Tribológico.

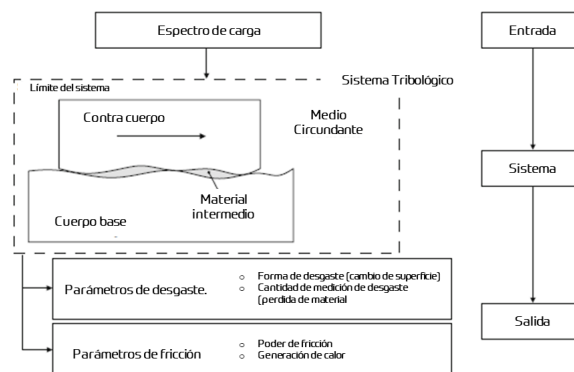


Figura 17. Sistema Tribológico (Klocke, 2013)

2.6.2. Fricción

La fricción es la oposición que presentan dos zonas materiales en contacto, durante el inicio, desarrollo y final del movimiento relativo entre ellas, conlleva a consumo de energía, generación de calor, desgaste y en algunos casos a fallas catastróficas. Se define que la fuerza de fricción (F), es negativa y se opone al movimiento y refleja que tanta energía mecánica se pierde cuando dos cuerpos inician el movimiento o se mueven entre sí y es paralela y opuesta al sentido del movimiento. Refleja que tan eficiente energéticamente es el mecanismo durante su funcionamiento. La fuerza de fricción se calcula en base a la Ecuación 2 (Aguillon, 2007):

$$F = f * W$$

Ecuación 2. Ecuación para cálculo de fricción

Donde:

F: fuerza de fricción kgf (lbf)

f: coeficiente de fricción metal-metal. Sólido, mixto o fluido, dimensional

W: fuerza normal que actúa sobre una de las superficies de fricción, kgf (lbf)

En la Figura 18 se observan que la fuerza W que presiona un cuerpo sobre una superficie horizontal es equivalente a su peso y se denomina fuerza normal. Cuando el cuerpo descansa sobre un plano inclinado, la magnitud de la fuerza normal depende del ángulo de inclinación y es menor que el peso de dicho cuerpo ($W \cos \theta$). Cuando el cuerpo reposa sobre una superficie horizontal dicho cuerpo presiona sobre la superficie con todo su peso y si la superficie está inclinada, por ejemplo 60° , solo presiona con la mitad de su peso y la fuerza normal es de cero cuando el plano está en posición vertical, puesto que el cuerpo y la superficie no se presionan entre sí (Aguillon, 2007).

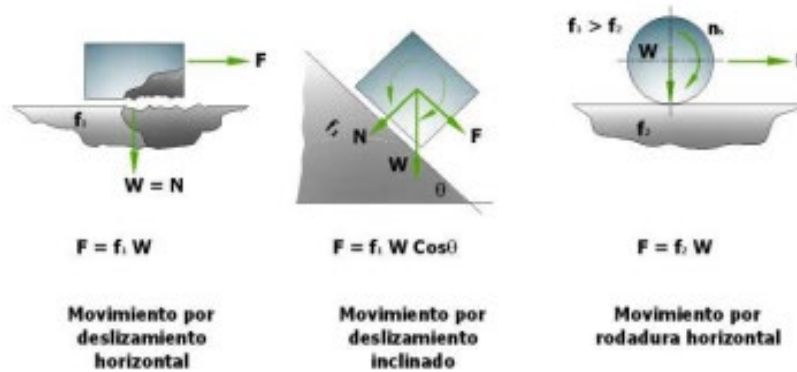


Figura 18. Tipos de fricción dependiendo el tipo de movimiento (Aguillon, 2007)

La fricción puede ser estática (F_e) o cinética (F_c).

- Fuerza de fricción estática (F_e): Es una fuerza negativa mayor que la fuerza aplicada la cual no es suficiente para iniciar el movimiento de un cuerpo estacionario. Se genera debido a la rugosidad microscópica de las dos superficies, que interactúan y se entrelazan, y entre las cuales se generan enlaces iónicos y microsoldaduras formadas por la humedad y el oxígeno del aire (Aguillon, 2007).
- Fuerza de fricción cinética (F_c): Es una fuerza negativa que se presenta cuando un cuerpo se mueve con respecto a otro, se opone al movimiento y es de magnitud constante (Aguillon, 2007).

Existen varios tipos de fricción cinética:

- Fricción cinética metal-metal: Tiene lugar cuando la rugosidad de una superficie metálica desliza directamente sobre la otra y el sistema tribológico está constituido por dos cuerpos sólidos, entre los cuales no hay un tercer elemento sólido o fluido que los separe. Puede ser de alta o de mediana intensidad, dependiendo del tipo de materiales en contacto (Aguillon, 2007).
- Fricción sólida cinética: Se presenta de manera transitoria siempre que los componentes de la máquina inician su movimiento o paran. Esta depende del tipo de aditivo anti-desgaste que tenga el lubricante utilizado, es de regular intensidad, implica un bajo nivel de desgaste adhesivo, puede

conllevar a altos niveles de desgaste adhesivo cuando la película lubricante es fluida y se rompe debido a condiciones mecánicas u operacionales anormales en el mecanismo lubricado (Aguillon, 2007).

- Fricción fluida cinética: Tiene lugar cuando las superficies de fricción se mueven la una con respecto a la otra completamente separadas por un tercer elemento que por lo regular es un fluido y presenta las siguientes características: para un mismo espesor de película lubricante, depende de si el lubricante utilizado es mineral, sintético o vegetal, en el caso del aceite mineral se define como la resistencia que presentan al corte las laminillas que constituyen la película lubricante, un valor típico es de 0.008, en el caso de los aceites sintéticos como la resistencia a la rodadura de las esferas de igual diámetro que constituyen la película lubricante, un valor típico es de 0.006, en el caso de los aceites vegetales como la resistencia a la rodadura de las esferas de diferente diámetro que constituyen la película lubricante, un valor típico es de 0.007 (Aguillon, 2007).

La rugosidad en el campo de la física viene a ser aquellas imperfecciones, irregularidades, desniveles o desigualdades que de una manera u otra se han formado en estos espacios. Un rugosímetro es un instrumento de medición encargado de cuantificar la rugosidad que presenta una superficie o en su defecto una perforación. Se puede afirmar que el rugosímetro mide la micro geometría, lo que se traduce como la profundidad que presentan esos desniveles, imperfecciones u ondulaciones en una superficie de distintas piezas, artefactos, entre otros, después de haber sido fabricadas (materialeslaboratorio.com, 2021).

2.6.3. Desgaste

Es el daño de la superficie o remoción de material de una o ambas superficies solidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rodadura o impacto. Se considera como la pérdida progresiva de la barrera superficial de operación de un cuerpo que ocurre, como resultado de los efectos de la carga y el movimiento

relativo de la superficie. Se clasifica de acuerdo con la naturaleza física del proceso subyacente como: abrasión, adhesión y fatiga principalmente (Linares, 2003).

El desgaste abrasivo o abrasión se refiere a la pérdida de material causada, entre otras cosas, por la acción mecánica de un agente de fricción o por un medio fluido. También se le llama desgaste por estriación. Las partículas se han separado del material durante este proceso llamado frotamiento. Durante el desgaste abrasivo, los picos ásperos de un agente de fricción penetran en las capas superficiales de otro. De manera alternativa, las partículas duras de un intermediario (lubricante) penetran en las capas superficiales de ambos agentes de fricción. Esto resulta en un micro astillado, rallado o estriado. Para prevenir la abrasión, se debe asegurar en la etapa de diseño que se use una combinación adecuada de materiales. Los metales son menos susceptibles al desgaste por abrasión cuando se combinan con cerámica o plástico en lugar de otro metal. Sin embargo, el desgaste erosivo también se puede reducir cuando los agentes de fricción metálicos muestran una relación de resistencia a la tenacidad favorable. El desgaste causado por frotamiento en el lubricante se puede prevenir usando la tecnología de filtro adecuada, llevando a cabo revisiones regulares y reemplazando el lubricante. La hidro abrasión es el desgaste abrasivo causado por los sólidos transportados en un líquido que fluye. Este tipo de abrasión prevalece particularmente en tuberías, bombas y agitadores para suspensiones que contienen sólidos (glossar.item24.com, 2021a).

El desgaste adhesivo ocurre principalmente en las superficies deslizantes de los cuerpos o contra cuerpos (como los materiales de corte) hechos de materiales metálicos similares o idénticos que se muevan relativos el uno del otro. La lubricación inadecuada o incorrecta y las herramientas calientes a menudo agravan el desgaste adhesivo. Esto ocurre cuando los cuerpos en fricción están en contacto cercano (presión de contacto). En dichos casos, los esfuerzos de corte permisible son excedidos en áreas localizadas y la difusión en la interfaz resulta en transferencia de masa. Esto a su vez conduce a depósitos de soldadura de microescala y micro fusiones debido al rápido calentamiento y enfriamiento. A

menudo ocurre una abrasión adicional. Las partículas que han sido cortadas (frotamiento) también pueden conducir a una fusión. Durante este proceso, la unión sólida se rompe en el área afectada y las partículas se rompen del material (incluyendo en áreas grandes). Combinar los diferentes materiales reduce la adhesión. La combinación de metales cristalizantes bcc (cúbicos centrados en el cuerpo) y hx (hexagonalmente), las estructuras heterogéneas y las combinaciones de materiales que involucran metales y materiales cerámicos o plásticos son menos adhesivas (glossar.item24.com, 2021b).

El termino desgaste por fatiga se reserva para identificar la falla de contactos lubricados en casos como los rodamientos de bolas o rodillo, engranes, levas y mecanismos impulsores de fricción. La pérdida de material es por desprendimiento de capas superficiales y por picaduras, como en los engranes. Se piensa que las grietas por fatiga aparecen debajo de la superficie en un punto en que el esfuerzo cortante es máximo. Es posible lograr una mejoría en la vida de estos elementos, si trabaja a una carga de contacto baja y si se producen componentes con la profundidad óptima de capa endurecida y buen acabado superficial. El propósito de esta capa externa dura tal como se obtiene por carburación, nitruración o sulfuración es proporcionar una superficie con un alto límite de resistencia en una región vulnerable a la iniciación de grietas (Sampén, 2003).

2.6.4. Lubricación en procesos de conformado

El flujo de material durante los procesos de conformado depende principalmente del lubricante utilizado, porque afecta las fuerzas de fricción entre la interfase herramienta-pieza. El uso de lubricantes adecuados es crítico al realizar operaciones de embutido, estampado, formado o punzonado, tanto en piezas de componentes de aceros convencionales, como con los aceros de alta resistencia de bajas aleaciones (HSLA, High Strenght Low Alloy), además de los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS, Advanced High Strenght Steel), el lubricante reducirá la fricción en la interfase y ayudará a obtener piezas de alta calidad. Los lubricantes utilizados en la industria metalmeccánica suelen clasificarse de acuerdo

con la naturaleza de la base (del aceite) en: Minerales, Sintéticos y Semisintéticos (Castillo Müller, 2012).

2.6.5. Influencia de la herramienta

El material de la herramienta tiene una influencia decisiva en el sistema tribológico de conformado. El material de la herramienta y especialmente las características de su zona de borde y superficie determinan su resistencia al desgaste y afectan las condiciones de fricción en el espacio de lubricación. Para retrasar la aparición del desgaste tanto como sea posible, es importante también se tenga en cuenta las propiedades tribológicas del material al seleccionar el material de la herramienta. Dependiendo del mecanismo principal de desgaste, se pueden aprovechar las propiedades correspondientes del material para reducir el desgaste (Klocke, 2013). Dependiendo del material de la herramienta se puede influenciar los siguientes factores:

- **Abrasión:** la dureza de un material es una medida de su resistencia al desgaste abrasivo. Por tanto, desde el punto de vista de la protección contra el desgaste abrasivo, los elementos activos de las herramientas de conformado sometidos a fricción deberían ser lo más duros posible. El tratamiento térmico también es importante en este contexto, ya que determina la dureza final de la herramienta (Klocke, 2013).
- **Adhesión:** la agresión del desgaste adhesivo y la formación de enlaces interfaciales se ve afectada, entre otras cosas, por la configuración electrónica de los materiales del compañero de fricción, respectivamente, de sus elementos de aleación. Cuanto más diferente sea el carácter del material de la herramienta y los materiales de la pieza de trabajo, menor será la probabilidad de desgaste del adhesivo (Klocke, 2013).
- **Rotura de la superficie:** los requisitos previos para una alta resistencia a la rotura de la superficie son buenas propiedades de tenacidad y una alta resistencia a la fatiga mecánica y térmica del material de la herramienta. Estas propiedades pueden suprimir el agrietamiento. La tenacidad se mejora mediante elementos de aleación como el cobalto o el níquel. El

agrietamiento se puede disminuir minimizando las inclusiones y defectos en el acero de la herramienta y por medio de una superficie que sea lo más lisa y libre de ranuras posible. La propagación de grietas se puede obstaculizar con una microestructura de grano fino. Los aceros fabricados pulvimetalúrgicamente son especialmente importantes en este contexto (Klocke, 2013).

- Desgaste triboquímico: las reacciones triboquímicas surgen debido a la reacción del material de la herramienta con el lubricante y / o el oxígeno del aire circundante. El desgaste se origina cuando los productos de reacción se eliminan por frotamiento de la superficie de la herramienta. Por tanto, el material de la herramienta debe ser tan resistente a la oxidación y tan inerte como sea posible. Además, la alta conductividad térmica conduce a una eliminación más rápida del calor, lo que reduce las temperaturas de la superficie. Esto generalmente desacelera las reacciones químicas (Klocke, 2013).

Modificación de la zona del borde de la herramienta: Con la ayuda de la tecnología de superficies, podemos afectar las propiedades tribológicas de las herramientas de conformado de una manera específica cambiando la composición de la zona del borde de la herramienta o recubriendo la herramienta. En este contexto, se puede distinguir entre tratamiento térmico puro, pretratamiento termoquímico o pretratamiento termomecánico. El pretratamiento termoquímico es una medida adicional con la que se puede aumentar la resistencia al desgaste de las herramientas de conformado y se puede influir positivamente en el efecto de los revestimientos de las herramientas. El tratamiento termoquímico de superficie se puede utilizar para realizar las siguientes propiedades dentro de la zona del borde de la herramienta: aumento de la dureza, aumento de la resistencia a las altas temperaturas, aumento del efecto de apoyo frente a los revestimientos de las herramientas y modificación del material para disminuir la adherencia (Klocke, 2013).

Recubrimiento de la herramienta: La tecnología moderna de película fina nos brinda la posibilidad de mejorar las superficies de herramientas de conformado con procesos de deposición física de vapor y de deposición de vapor químico mediante la aplicación de capas de soporte de manera específica. La alta dureza de las capas de material duro obtenibles de este modo proporciona una mayor resistencia contra el desgaste abrasivo, mientras que sus propiedades de material no metálico conducen a una tendencia reducida a la adhesión. El uso de revestimientos para herramientas tiene un efecto drástico en el proceso de conformado como sistema tribológico, ya que, por regla general, la superficie metálica de la herramienta se reemplaza por una no metálica y mucho más dura. Esto significa un gran cambio en los procesos físicos y químicos involucrados en el contacto tribológico, es decir, durante el proceso de conformado, afectando los mecanismos de fricción y desgaste. Aunque el desgaste está muy limitado por los revestimientos como regla, solo unos pocos sistemas de revestimiento son capaces de reducir la fricción (Klocke, 2013).

3. RESULTADOS

El presente trabajo de investigación se centra en el análisis de los principales componentes y condiciones tribológicas del sistema que intervienen en el proceso de cierre del ensamble guía, se confirma la influencia de cada uno de ellos en la generación de partículas de aluminio en el proceso de cierre del ensamble guía, se prueban individualmente nuevas condiciones de cada componente del sistema, se evalúan los resultados obtenidos en cada prueba y se seleccionan las condiciones de cada componente que contribuyen al cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, obtenido así un nuevo sistema tribológico. En la Figura 19 se muestra el diagrama secuencial a seguir durante la investigación.

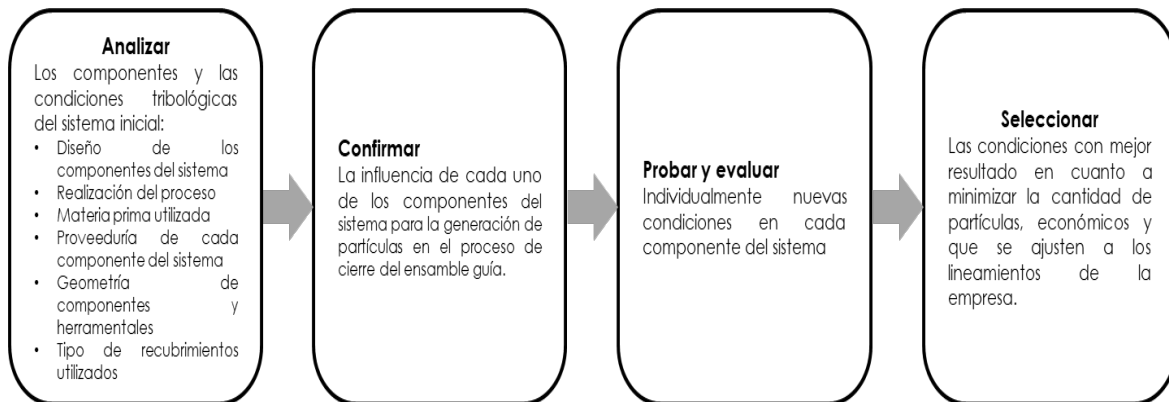


Figura 19. Diagrama secuencia de investigación
 Elaboración propia

A continuación, se mostrarán y explicarán los resultados obtenidos de esta investigación.

Durante las fases iniciales de producción del amortiguador Monotubo Modular Concept en ZF STG, se detecta un problema de generación de partículas de aluminio en el proceso de cierre del ensamble guía. Un ejemplo de estas partículas lo tenemos en la Figura 20.



Figura 20. Partículas de aluminio
Elaboración propia

Al inspeccionar visualmente la zona de cierre de algunos ensambles guía después de ser procesadas, se detectan partículas desprendibles de aluminio. Se limpia la zona de cierre de los ensambles guía procesados con el apoyo de una toalla desechable para limpieza y se detecta una cantidad considerable de partículas y filamentos de aluminio tal y como se aprecia en la Figura 21. Cada figura de color amarillo corresponde a la limpieza de un ensamble guía.



Figura 21. Partículas de aluminio en toalla de limpieza; condición inicial
Elaboración propia

3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONDICIONES DE PROCESO

A fin de conocer la causa raíz del problema de generación de las partículas de aluminio, se realiza un análisis inicial sobre el diseño y las condiciones de proceso para el ensamble guía realizado en ZF GDL, en comparación con ZF España, primera sede en iniciar producción de esta aplicación y donde no se genera dicho problema, con el que se obtiene la siguiente información:

3.1.1. Análisis de diseño

Como análisis del diseño, se precisa que solo existen diferencias para la carcasa de aluminio: la proveeduría (cada sede utiliza proveedor de su región correspondiente) y la materia prima utilizada (ZF España utiliza material con especificación europeo, Al 6082, y ZF STG utiliza su equivalente para la región NAFTA, Al 6061). La información comparativa se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparativa de diseño

Componente	Ítem	ZF STG	ZF España
Carcasa de aluminio	Diseño:	Estándar	Estándar
	Localidad del proveedor:	México	Europa
	Materia prima de:	NAFTA (Al 6061)	Europa (Al 6082)
Retenes	Diseño:	Estándar	Estándar
	Localidad del proveedor:	Europa	Europa
	Materia prima de:	Europa	Europa
O´ring	Diseño:	Estándar	Estándar
	Localidad del proveedor:	Europa	Europa
	Materia prima de:	Europa	Europa
Guía sinterizada	Diseño:	Estándar	Estándar
	Localidad del proveedor:	Europa	Europa
	Materia prima de:	Europa	Europa

Elaboración propia

3.1.2. Análisis de Proceso

Para el análisis del proceso cierre (ver Tabla 2), se precisa que se utilizan herramientas y parámetros estándar en ambas sedes. Se descarta del estudio la influencia de la lubricación (uno de los factores tribológicos) debido a que este proceso de conformado se realiza en seco (sin lubricante alguno).

Tabla 2. Comparativa de proceso de cierre

Descripción	Ítem	ZF STG	ZF España
Herramental de cierre de guía	Diseño:	Estándar	Estándar
	Proveedor:	ZF AG	ZF AG
	Recubrimiento:	Estándar	Estándar
Porta Herramental	Diseño:	Estándar	Estándar
	Proveedor:	ZF AG	ZF AG
	Recubrimiento:	Estándar	Estándar
Sistema de succión	Diseño:	Estándar	Estándar
	Proveedor:	ZF AG	ZF AG
	Parámetros:	Estándar	Estándar
Parámetros de cierre	Fuerza:	Estándar	Estándar
	Tiempo de permanencia de fuerza:	Estándar	Estándar
Lubricación	Tipo de lubricante:	No aplica	No aplica

Elaboración propia

3.2. PRUEBA DE VERIFICACIÓN CRUZADA

Esta revisión inicial no indica diferencias significativas en el proceso de cierre de ensamble guía que se realiza en ambas sedes, aunque en la práctica se obtienen resultados distintos; en ZF STG se tiene un problema de importante generación de partículas de aluminio en el proceso de cierre del ensamble guía, caso contrario en ZF España. Esto motiva a realizar una prueba de verificación cruzada intercambiando entre sedes solo el elemento en el que difieren. En la Tabla 1 se aprecia que es la carcasa de aluminio, ya que es manufacturada por proveedores diferentes, ZF STG utiliza proveeduría México (MX) y ZF España utiliza proveeduría de España (ESP) y la materia prima del aluminio utilizada también es diferente, ZF STG utiliza Al 6061 y ZF España utiliza Al 6082.

Para llevar a cabo esta verificación cruzada, se envió 1 caja con 300 carcasas de guía de proveedor MX a ZF España y viceversa con el objetivo de procesarlas en ambas sedes bajo las condiciones estándar previamente verificadas. Los resultados fueron los siguientes:

3.2.1. Revisión de componentes

En ZF STG, previo a iniciar las pruebas de ensamble con las carcasas de guía de proveedor ESP, se realiza la medición de rugosidad de la zona de cierre (con el apoyo de un rugosímetro) y la geometría inicial de la zona de cierre a una muestra de 5 piezas seleccionadas aleatoriamente de los diferentes niveles que contiene la caja, con el fin de conocer si existe una diferencia significativa (diferencia mayor a Rz10) entre las piezas del proveedor ESP y MX, las cuales puedan contribuir a la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. La medición de la rugosidad se realiza con el rugosímetro marca Mitutoyo modelo SJ-301 instalado en el laboratorio interno de ZF STG, con parámetros Rz 0.8x5 lo que significa que se evalúan 5 segmentos de 0.8 mm de longitud. Este equipo y parametrización se definen como estándar para las mediciones necesarias de rugosidad para el presente caso de estudios. El requerimiento mencionado en el plano de la carcasa de guía para la rugosidad en esta zona es de máximo Rz25. La medición y análisis de la rugosidad se realiza debido a su influencia en los factores de fricción y desgaste, los cuales forman parte de la respuesta a la estructura del sistema tribológico. En la Figura 22 se aprecia un esquema de las zonas a medir.

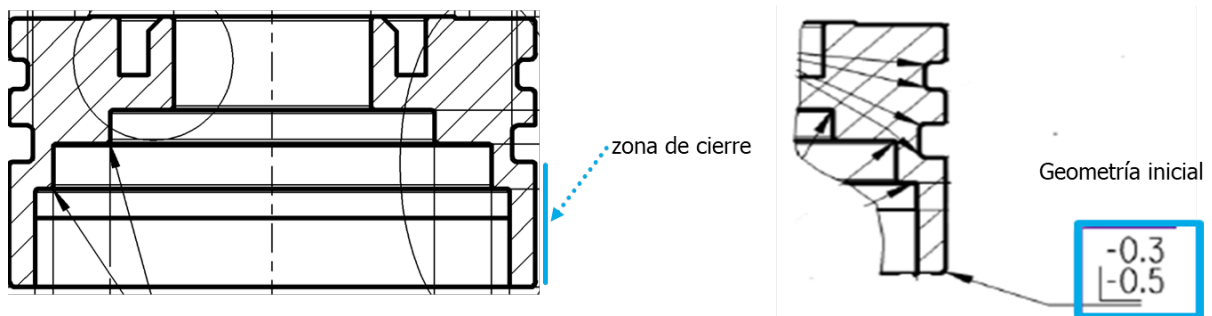


Figura 22. Esquema de zona de medición
Elaboración propia

En la Tabla 3, los resultados de estas muestras indican que no existe diferencia significativa entre los resultados de rugosidad Rz de las carcasas del proveedor MX y el proveedor ESP. En los resultados para la carcasa del proveedor MX es posible apreciar una desviación estándar de 0.18, lo que significa una menor dispersión en los resultados de medición de rugosidad Rz, y que indica una mayor estabilidad en

el proceso de mecanizado de dicho componente. Los datos demuestran que las carcasa de guía que fabrican ambos proveedores tienen valores que oscilan entre el 20% y 35% de la rugosidad máxima permitida en la zona del cierre (Rz 25).

Tabla 3. Comparativa de rugosidad Rz entre proveedorías

	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6061	Carcasa de guía Proveedor ES Al 6082
No. de prueba	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz
1	7.41	6.26
2	7.57	8.84
3	7.64	5.09
4	7.78	5.53
5	7.86	6.84
Media Rz:	7.65	6.51
Desviación estándar:	0.18	1.46

Elaboración propia

Se mide la geometría inicial en la zona de cierre de una carcasa de cada proveedor y se realiza un comparativo de estos resultados, los cuales son muy similares, cercanos entre sí y al nominal de la especificación indicada en el plano (-0.3, -0.5 mm) y que se muestra en la Figura 22. Esta medición se realiza por medio del escáner VR-5000 instalado en el laboratorio interno de ZF STG. Las dimensiones para el chaflán de la carcasa del proveedor MX es de 0.37, 0.57 mm, mientras que el chaflán de la pieza del proveedor ESP es de 0.32, 0.59 mm, esto se aprecia en la Figura 23.

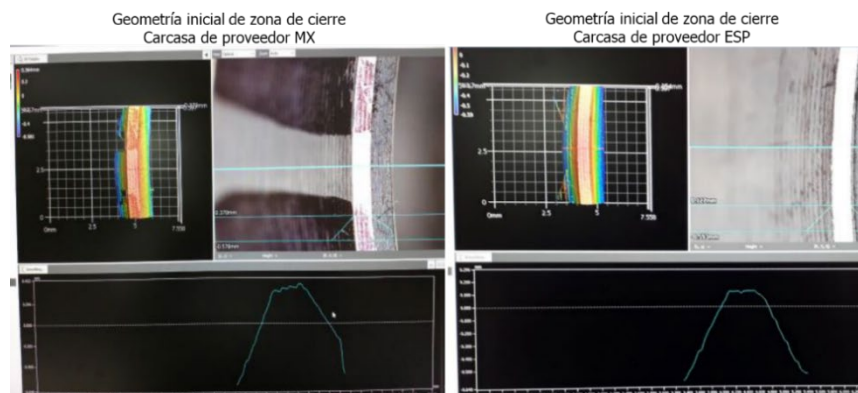


Figura 23. Comparativo de geometría inicial de zona de cierre
Elaboración propia

Teniendo en cuenta que se utiliza materia prima diferente para cada sede, se realiza una verificación a los certificados de materia prima de las carcasas a probar con el fin de conocer si existen diferencias contra la especificación aplicable a cada una de ellas, así como identificar las diferencias existentes comparando los resultados de estas.

Los resultados mostrados en la Tabla 4 indican que la composición química de la materia prima utilizada para la fabricación de las carcasas a probar y que se suministra a ZF GDL por parte del proveedor MX, están de acuerdo con la especificación para Aluminio 6061.

Tabla 4. Composición química de carcasa de guía utilizada en ZF GDL

Composición química Al 6061			
ZF STG			
Elemento	Max.	Min.	Resultado %
Fe	0.700	-	0.400
Cr	0.350	0.040	0.046
Cu	0.400	0.150	0.360
Si	0.800	0.400	0.640
Mn	0.150	-	0.060
Mg	1.200	0.800	0.840
Zn	0.250	-	0.228
Ti	0.150	-	0.017

Elaboración propia

En la Tabla 5 podemos observar los resultados de la composición química de la materia prima utilizada para fabricar las carcasas a probar que se suministran a ZF España por parte del proveedor ESP, los cuales muestran que todos los elementos están de acuerdo con la especificación para Al 6082.

Tabla 5. Composición química de carcasa de guía utilizada en ZF España

Composición química Al 6082			
ZF España			
Elemento	Max.	Min.	Resultado %
Fe	0.500	-	0.330
Cr	0.250	-	0.134
Cu	0.100	-	0.100
Si	1.300	0.700	0.920
Mn	1.00	0.400	0.780
Mg	1.200	0.600	0.830
Zn	0.200	-	0.228
Ti	0.100	-	0.035

Elaboracion propia

En comparativa es posible observar que existe una diferencia entre las especificaciones aplicables para cada material. También se observa que existen diferencias destacables entre los resultados obtenidos para cada material en los elementos Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Silicio (Si).

Como parte del análisis, también se analizan los resultados de los ensayos de tracción realizadas a probetas por parte de los proveedores que suministran la materia prima a cada proveedor que manufactura las carcasas con el fin de conocer el comportamiento mecánico que tiene el material, el cual puede influir a la respuesta del sistema tribológico.

En la Tabla 6 se observan los resultados comparativos de los ensayos de tracción, donde se resalta la diferencia entre los valores obtenidos para cada materia prima.

Tabla 6. Resultados de ensayos de traccion de materia prima

Prueba	Carcasa de guía de ZF STG	Carcasa de guía de ZF España
	Al 6061	Al 6082
Límite de cedencia (Mpa):	298.50	331.00
Resistencia a la tensión (Mpa):	324.70	352.00
Elongación (%):	16.20	11.00

Elaboración propia

Una vez que se obtuvo la información de rugosidad, composición química y de ensayos de tracción correspondiente de las carcasas a probar en la verificación cruzada, se realizan las pruebas de ensamble obteniendo los siguientes resultados:

3.2.2. Prueba de ensamble y cierre en ZF España

En ZF España, se realiza una prueba de ensamble y cierre de 28 piezas seleccionadas de manera aleatoria de la caja de carcasas enviadas desde ZF STG. La prueba se realiza con las condiciones de proceso estándar, con ciclos de proceso automáticos y sin incidentes detectados durante el desarrollo de esta. Se verifica visualmente el herramental de cierre antes y después de la prueba sin que se detecten partículas de aluminio tal y como se muestra en la Figura 24.

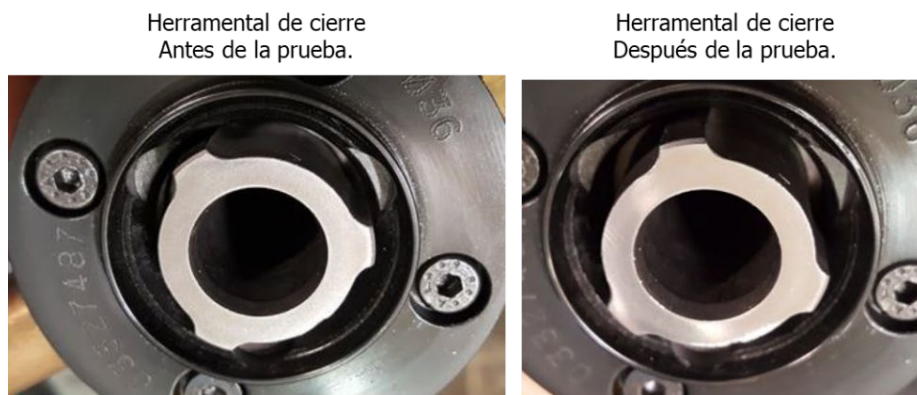


Figura 24. Herramental de cierre en ZF España
Elaboración propia

Al inspeccionar visualmente los ensambles guía realizados durante la prueba, se detectan numerosas partículas y filamentos de aluminio las cuales se pueden apreciar en la Figura 25.

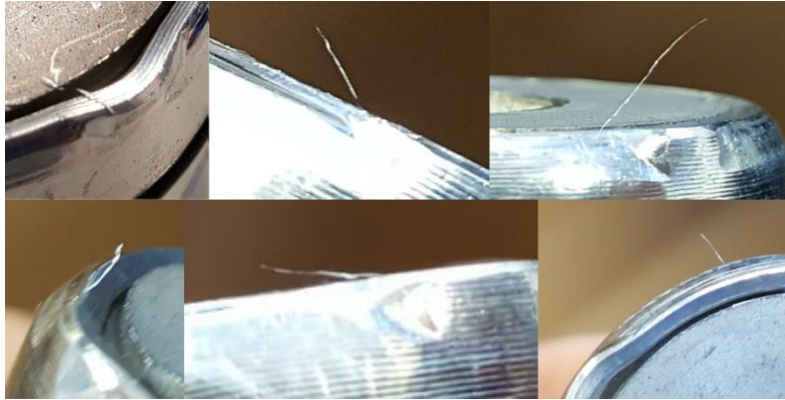


Figura 25. Partículas detectadas en la prueba realizada en ZF España
Elaboración propia

Algunas observaciones realizadas por el equipo de ingeniería de ZF España que participó en estas pruebas mencionan que, si se toca o se pasa el dedo por la zona de cierre de los ensambles guía procesados, el dedo se impregna de pequeñas partículas de aluminio, tal y como se observa en la Figura 26.



Figura 26. Partículas de aluminio impregnadas en la mano
Elaboración propia

Una observación adicional realizada por el equipo de ingeniería de ZF España es que visualmente se aprecia irregular (rugosa) la zona de cierre de los ensambles guía de ZF STG en comparación con la zona de cierre los ensambles guía que utilizan para la producción de ZF España donde se aprecia uniforme (lisa). Ver comparativo en Figura 27.



Figura 27. Comparativo de zona de cierre, prueba en ZF España
Elaboración propia

Los resultados muestran que las carcasas que se utilizan en ZF STG probadas en ZF España continúan generando partículas de aluminio.

3.2.3. Prueba de ensamble y cierre en ZF STG

En ZF STG, se realiza una prueba de ensamble y cierre de 25 piezas seleccionadas de manera aleatoria de la caja de carcasas enviadas desde ZF España. La prueba se realiza con las condiciones de proceso estándar, con ciclos de proceso automáticos y sin incidentes detectados durante el desarrollo de esta. Se verifica visualmente el herramental de cierre y no se detectan partículas de aluminio después de la prueba. Se inspeccionan visualmente todos los ensambles guía después de ser procesadas y no se aprecian partículas y/o filamentos de aluminio. Se limpia la zona de cierre de todos los ensambles guía procesados con el apoyo de una toalla desechable para limpieza a fin de saber si se desprenden partículas de aluminio, sin embargo, solo se detectan pocas y diminutas partículas de aluminio las cuales son apenas perceptibles visualmente, tal y como se aprecia en la Figura 28. Cada figura de color amarillo corresponde a la limpieza de un ensamble guía.

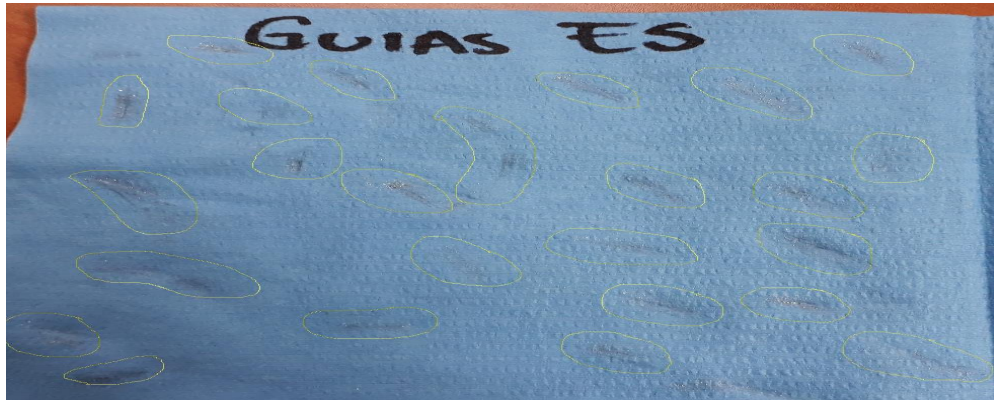


Figura 28. Partículas desprendidas de los ensambles guía fabricados en ZF STG
Elaboración propia

Se realiza un comparativo visual de las zonas de cierre entre los ensambles guía procesados con las carcassas recibidas desde ZF España y las que se utilizan en producción de ZF STG y como se observa en la Figura 29, esta zona es irregular (rugosa) en las piezas con material utilizado en ZF STG y es más uniforme (liso) en los ensambles procesados con material que se utiliza en ZF España.



Figura 29. Comparativo de zona de cierre, prueba en ZF STG
Elaboración propia

3.3. PRUEBA DE CARCASSAS PRODUCIDAS POR PROVEEDOR MX

Los resultados de la prueba de verificación cruzada indican que, con condiciones de proceso estándar, la materia prima utilizada en las carcassas suministradas a ZF STG (Al 6061) tiene una influencia negativa en la creación de partículas y filamentos de aluminio durante el proceso de cierre. Con esta consideración se plantea la

realizar una prueba con materia prima Al 6082 fabricadas por el proveedor MX a fin de confirmar los resultados obtenidos en la prueba anterior.

3.3.1. Carcasas fabricadas con materia prima Al 6082

Se solicita al proveedor de carcasa de guía MX, fabricar un lote de prueba utilizando sus parámetros estándar de proceso, y cambiando la materia prima a Al 6082. En la Tabla 7, se muestran los resultados de rugosidad Rz de 5 carcasas seleccionadas aleatoriamente de los diferentes niveles que contiene la caja a fin de conocer si hay alguna diferencia significativa (mayor a Rz10) entre las piezas fabricadas con aluminio 6061 y aluminio 6082, manufacturadas por el mismo proveedor. El resultado promedio de rugosidad (Rz 9.41) muestra un ligero incremento en comparación con la rugosidad obtenida en las pruebas iniciales fabricadas por el mismo proveedor con materia prima Al 6061 donde el promedio mostraba resultados de Rz 7.65. La desviación estándar de 0.20 es muy cercana en comparativa a los resultados de las pruebas iniciales fabricadas con Al 6061 donde se obtuvo una desviación estándar de 0.18, lo que nos indica que el proceso de fabricación se mantiene estable.

Tabla 7. Mediciones de rugosidad Rz de carcasas fabricadas con Al 6082

Carcasa de guía de ZF STG fabricadas con Al 6082	
No. de prueba	Rugosidad Rz
1	9.43
2	9.10
3	9.44
4	9.44
5	9.66
Media Rz:	9.41
Desviación estándar:	0.20

Elaboración propia

Se realiza la prueba de ensamble y cierre de 30 piezas seleccionadas de manera aleatoria de la misma caja de carcasas fabricadas con Al 6082 por el proveedor MX. La prueba se realiza en condiciones de proceso estándar con ciclos de proceso automáticos y sin incidentes detectados durante el desarrollo de esta. Se

verifica visualmente el instrumental de cierre y los ensambles guía procesados y no se detectan partículas de aluminio después de la prueba. Se limpia la zona de cierre de todos los ensambles guía procesados con el apoyo de una toalla desechable para limpieza a fin de saber si se desprenden partículas de aluminio. Se detectan pequeñas partículas de aluminio poco perceptibles visualmente y 4 filamentos de aluminio, las cuales se aprecian dentro del círculo correspondiente de color naranja de la Figura 30. Un punto importante a tomar en cuenta es la presencia de filamentos de aluminio durante esta prueba, ya que en las pruebas realizadas con la misma materia prima (Al 6082) con carcasas suministradas desde ZF España y fabricadas por el proveedor ESP, no se generaron estos.



Figura 30. Filamentos detectados en pruebas con materia prima Al 6082
Elaboración propia

3.3.2. Carcasas fabricadas con materia prima Al 6061

Con el fin de obtener datos comparativos para confirmar los resultados obtenidos inicialmente cuando se detecta el problema de partículas de aluminio después del proceso de cierre del ensamble guía, se miden 5 nuevas carcasas seleccionadas aleatoriamente de los diferentes niveles de la caja que los contiene de un lote de fabricación diferente al verificado inicialmente, recordando que la materia prima utilizada es Al 6061. En la Tabla 8, se pueden observar los resultados de la medición de estas piezas en donde el promedio (Rz 7.53) es muy cercano al inicialmente obtenido con el mismo material Al 6061 (Rz 7.65). La desviación estándar obtenida de 0.28, continúa mostrando valores muy cercanos en comparativa con el

resultado de las pruebas iniciales donde se obtuvo una desviación estándar de 0.18, lo que nos indica que el proceso de fabricación se mantiene estable.

Tabla 8. Mediciones de rugosidad Rz de carcasas fabricadas con Al 6061

	Carcasa de guía de ZF STG fabricadas con Al 6061
No. de prueba	Rugosidad Rz
1	7.61
2	7.29
3	7.95
4	7.53
5	7.27
Media Rz:	7.53
Desviación estándar:	0.28

Elaboración propia

Después de obtener los datos de rugosidad de las carcasas fabricadas con materia prima Al 6061, se realiza una prueba ensamble y cierre a fin de confirmar los resultados iniciales. La prueba de ensamble y cierre de carcasas con materia prima Al 6061 del nuevo lote se detiene después de tan solo 10 piezas, ya que se detecta visualmente que en la zona de cierre de todos los ensambles hay una cantidad considerable de partículas y filamentos de aluminio después del proceso de cierre. Se limpia la zona de cierre de estos ensambles guía con el apoyo de una toalla desechable para limpieza y podemos observar en la Figura 31 una gran cantidad de partículas desprendidas de los ensambles.



Figura 31. Partículas detectadas en pruebas con materia prima Al 6061

Elaboración propia

Una vez analizados los resultados de la prueba comparativa de carcاسas producidas por el proveedor MX con materia prima Al 6082 y un nuevo lote de Al 6061, se confirma que con las condiciones actuales, la materia prima de este componente tiene una gran influencia en la generación de partículas y filamentos de aluminio en el proceso de cierre, siendo el Al 6082 el que mejores resultados tiene comparado con el Al 6061 en cuanto a menor cantidad partículas generada durante el proceso de cierre, tal y como se aprecia en las Figuras 30 y 31.

En la Tabla 9 se aprecia un resumen de los resultados de rugosidad obtenidos hasta este punto de la investigación, y donde se observa que todos los valores obtenidos en las condiciones verificadas están por debajo 40% del máximo permisible para esta característica (Rz 25). Adicionalmente y en base a los resultados de las 4 pruebas realizadas hasta el momento se determina que de mantenerse estos resultados en rugosidad, esta no tiene influencia directa en la generación de partículas y filamentos de aluminio durante el proceso de cierre, debido a que, las 2 mejores condiciones en cuanto a menor generación de partículas de aluminio, son las que tienen valores en promedio mayores (Rz de carcasa de guía de proveedor MX con Al 6082=9.41) y menores (Rz de carcasa de guía de proveedor ESP con Al 6082=6.51) de rugosidad y que la constante de mejora es el uso de Al 6082.

Tabla 9. Comparativa de rugosidades Rz

	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6061	Carcasa de guía Proveedor ES Al 6082	Carcasa de guía de ZF STG fabricadas con Al 6082	Carcasa de guía de ZF STG fabricadas con Al 6061
No. de prueba	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz
1	7.41	6.26	9.43	7.61
2	7.57	8.84	9.10	7.29
3	7.64	5.09	9.44	7.95
4	7.78	5.53	9.44	7.53
5	7.86	6.84	9.66	7.27
Media Rz:	7.65	6.51	9.41	7.53
Desviación estándar:	0.18	1.46	0.20	0.28

Elaboración propia

3.3.3. Prueba para confirmar generación de filamentos de aluminio

Se realiza una prueba adicional en condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre a 40 carcacas fabricadas con materia prima Al 6082 y producidas por el proveedor MX, seleccionadas de la misma caja previamente verificada y probada a fin de confirmar la generación de los filamentos de aluminio. Al final de la prueba se detecta la presencia de estos filamentos en un total de 12 piezas ensambladas de manera no consecutivas. Como ejemplo de algunos de estos filamentos lo tenemos en la Figura 32. Se resalta que la presencia de partículas de aluminio es mínima e incluso se puede definir como nula para esta condición, los hallazgos son solo residuos tipo filamento.



Figura 32. Filamentos detectados en segunda prueba con materia prima Al 6082
Elaboración propia

Durante la medición de la rugosidad de la zona de cierre de estas piezas, previo a las pruebas de ensamble y cierre se muestra que existen picos o elevaciones en la zona del medida, generados por el proceso de mecanizado realizado por el proveedor durante al manufacturar la pieza y lo podemos apreciar en la imagen detectada por el rugosímetro en la Figura 33.

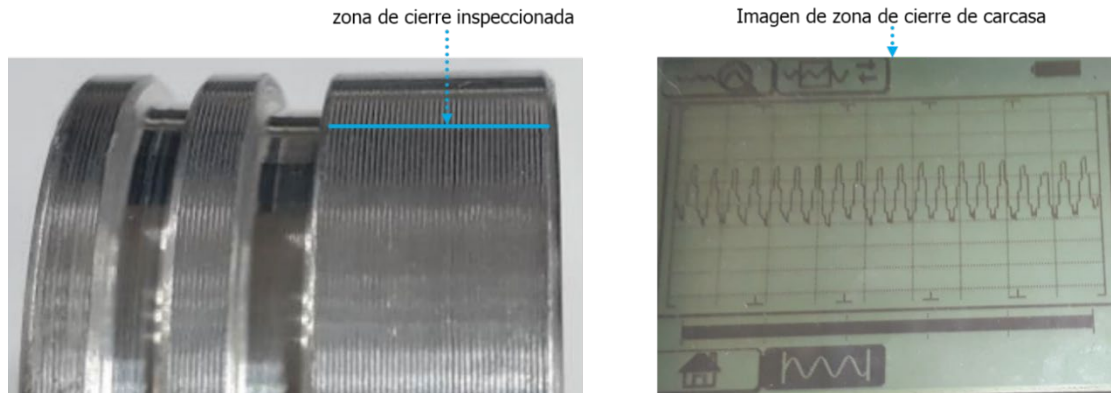


Figura 33. Imagen de zona de cierre detectada por el rugosímetro
Elaboración propia

Dado que los resultados de rugosidad de todas las pruebas realizadas hasta el momento están muy cercanos entre sí, además de no sobrepasar el 40% del total de la especificación para esta zona de la carcasa, tal y como se mencionó anteriormente, se plantea una prueba experimental tratando de reducir los picos mediante un proceso de alisado de esta zona para posteriormente realizar pruebas de ensamble y cierre, a fin de comprobar si estos picos del mecanizado contribuyen a la generación de dichos filamentos de aluminio.

3.4. ALISADO DE SUPERFICIE DE ZONA DE CIERRE

La prueba con un proceso de alisado en la zona de cierre de la carcasa se realiza con el fin de reducir los picos generados por el proceso de mecanizado durante la manufactura de la carcasa para así modificar la respuesta del sistema tribológico a la fricción y desgaste. La prueba se plantea realizar con carcasas fabricadas con materia prima Al 6082 y Al 6061 de los últimos dos lotes manufacturados por el proveedor MX probados previamente.

3.4.1. Prueba con materia prima Al 6082 suministradas por proveedor MX

La prueba se realiza de modo experimental en el taller interno de ZF STG, donde la carcasa se sujeta a una porta pieza de Nylamid ubicado en la mordaza del torno (paso 1) a fin de evitar daños durante el alisado de la zona de cierre de la carcasa de guía, después se activa el torno a una velocidad de 900 RPM (paso 2), se

presiona manualmente contra la zona de cierre de la carcasa un trozo de fibra verde utilizado para el pulido de metales durante un tiempo aproximado de 6,0 segundos (paso 3), para después retirar la pieza terminada del torno (paso 4). Imágenes representativas de cómo se realiza este proceso de alisado lo podemos observar en la Figura 34.



Paso 1

Paso 2

Paso 3

Paso 4

Figura 34. Proceso de alisado de zona de cierre
Elaboración propia

Se realiza la medición de la rugosidad de la zona de cierre de 5 piezas a fin de conocer la modificación generada en esta zona por dicho proceso de alisado. Un comparativo de los resultados obtenidos de la medición de rugosidad Rz entre la condición de proveedor, de algunas carcasas fabricadas por el proveedor MX con aluminio 6082 y de piezas seleccionadas de la misma caja después del proceso de alisado, lo podemos apreciar en la Tabla 10, donde se muestra que se redujo la rugosidad promedio Rz de 9.41 a 5.10 (en más de 45%).

Tabla 10. Rugosidad Rz de carcasas con Al 6082, con y sin proceso de alisado

	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6082 Condición de proveedor	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6082 Con proceso de alisado
No. de prueba	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz
1	9.43	5.01
2	9.10	4.80
3	9.44	4.50
4	9.44	6.01
5	9.66	5.20
Media Rz:	9.41	5.10
Desviación estándar:	0.20	0.57

Elaboración propia

La modificación que sufrió la pieza por el proceso de alisado también es perceptible visualmente como lo muestra la Figura 35 donde es posible observar la imagen detectada por el rugosímetro y la pieza física en condiciones enviadas desde el proveedor y en piezas después del proceso de alisado.

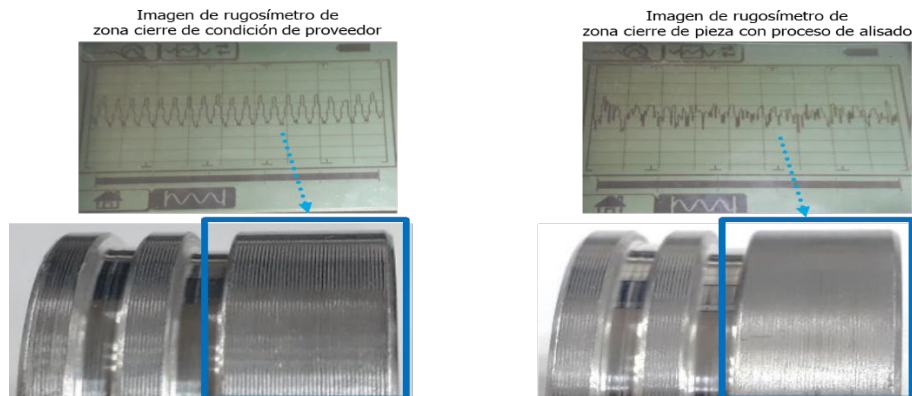


Figura 35. Comparativo de zona de cierre sin y con proceso de alisado
Elaboración propia

Durante la prueba con proceso de alisado, no se considera la medición y comparativo de diámetros exteriores de piezas con y sin proceso de alisado, debido a que este proceso es superficial y la característica de diámetro no es considerada como un factor determinante en el problema de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre.

Se realiza la prueba de ensamble y cierre con carcasas fabricadas con Al 6082 y suministradas por el proveedor MX y que fueron sometidas al proceso de alisado. Inicialmente se prueban 30 piezas, se limpia la zona de cierre de estos ensambles guía procesados con el apoyo de una toalla desechable para limpieza y no se detectan partículas o filamentos de aluminio. Se incrementa el tamaño de muestra de 30 a 100 piezas, se inspeccionan visualmente y se limpia la zona de cierre con la toalla de limpieza de la misma manera mencionada previamente y se confirma que con esta condición no se generan partículas y/o filamentos de aluminio. En la Figura 36 es posible observar las toallas de limpieza donde se confirmó el resultado mencionado.



Figura 36. Sin partículas detectadas la prueba con material Al 6082 y proceso de alisado
Elaboración propia

3.4.2. Prueba con materia prima Al 6061 suministradas por proveedor MX

Dado los buenos resultados obtenidos por la prueba anterior, y a fin de tener un comparativo en los resultados de salida del sistema con carcassas fabricadas con Al 6061 suministradas por el proveedor MX, se realiza una prueba con el mismo proceso y parámetros de alisado a carcassas con este material. En el comparativo de los resultados obtenidos de las carcassas fabricadas por el proveedor MX con aluminio 6061 en su condición de proveedor y de piezas tomadas de la misma caja después del proceso de alisado, el cual lo observamos en la Tabla 11, se muestra que la rugosidad se redujo en 35% y la desviación estándar de los datos se mantiene baja (menor a 1) lo que indica que los resultados son estables.

Tabla 11. Rugosidad Rz de carcassas con Al 6061, con y sin proceso de alisado

	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6061 Condición de proveedor	Carcasa de guía Proveedor MX Al 6061 Con proceso de alisado
No. de prueba	Rugosidad Rz	Rugosidad Rz
1	7.61	4.63
2	7.29	4.59
3	7.95	5.09
4	7.53	5.74
5	7.27	4.55
Media Rz:	7.53	4.92
Desviación estándar:	0.28	0.51

Elaboración propia

Un comparativo de la modificación que sufrió la superficie de la zona de cierre de la carcasa por el proceso de alisado se observa en la Figura 37, donde se tiene el comparativo de la imagen detectada por el rugosímetro de piezas en condición en las que suministra el proveedor y piezas después de este proceso de alisado.

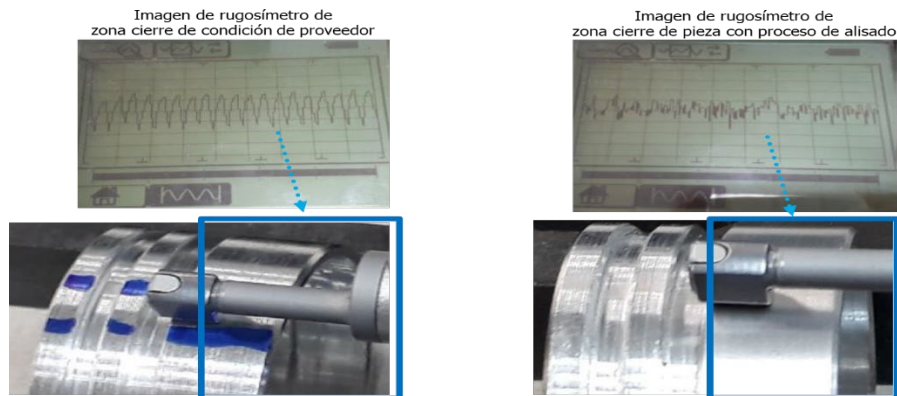


Figura 37. Comparativo de zona de cierre con y sin proceso de alisado
Elaboración propia

Se realiza la prueba en condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre con carcasas fabricadas con Al 6061, manufacturadas por el proveedor MX y que fueron sometidas al proceso de alisado. Después del proceso de cierre, la zona de cierre de todas las piezas es inspeccionada visualmente y limpiadas con el apoyo de una toalla desechable para limpieza. Después de la quinta pieza, se detecta que en algunas de estas se generan partículas de aluminio, las cuales se perciben en la toalla de inspección. La prueba continúa y después de la pieza número 22, la mayoría de las piezas muestran partículas de aluminio por lo que se detiene la prueba en 45 piezas. En la Figura 38 es posible visualizar algunos de los hallazgos mencionados.



Figura 38. Partículas detectadas en prueba con material Al 6061 y proceso de alisado
Elaboración propia

Con la información que se desprende de los resultados de estas pruebas realizadas con las dos diferentes materias prima (Al 6061 y Al 6082) y aplicando un proceso de alisado, indica que al reducir los picos o elevaciones generados por el proceso de mecanizado durante la fabricación de las carcasa se puede minimizar la generación de filamentos de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía cuando se utiliza materia prima Al 6082, pero cuando se utiliza Al 6061 la disminución de partículas de aluminio es menor.

3.5. PROCESO DE MANUFACTURA DE LA CARCASA DE GUÍA

3.5.1. Parámetros de manufactura y su influencia

Los picos o elevaciones detectados en la zona de cierre se generan por el proceso de mecanizado durante la manufactura de la carcasa de guía que realiza el proveedor MX. Estos son una resultante de los parámetros de velocidad de corte y avance de la herramienta de corte que este utiliza para que la carcasa adopte el diámetro y terminados mecánicos especificados en el plano correspondiente.

La condición inicial de avance de la herramienta de corte y geometría de la zona de cierre en la carcasa de guía que utiliza el proveedor que suministra a ZF STG son: un avance de la herramienta de corte (f) de 0.20 mm el cual es definido por el proveedor y un chaflán de -0.3 a -0.5 mm tal y como se muestra en la Figura 39, mismo que está definido como característica del producto en el plano de la carcasa.

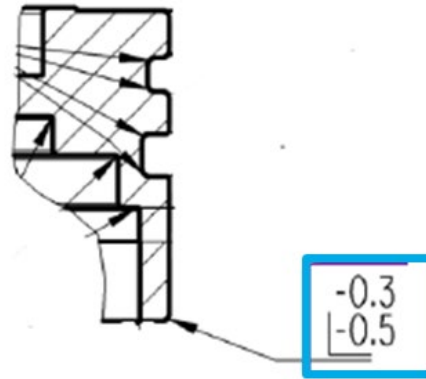


Figura 39. Chaflán inicial de la zona de cierre
Elaboración propia

Al conocer que el avance de la herramienta de corte durante el proceso de mecanizado de la carcasa de guía influye en la formación de los picos o elevaciones presentes en la zona de cierre las cuales contribuyen a la generación de filamentos de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía, se plantea la realizar 3 pruebas modificando ligeramente el avance de la herramienta de corte y la geometría inicial de la zona de cierre, manteniendo la materia prima establecida para ZF STG (Al 6061). Se define la realización de una muestra de 10 piezas para cada una de las 3 condiciones a probar, a manera de obtener datos sobre la influencia de estas nuevas condiciones de manufactura en la generación de partículas o filamentos de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía. Con esta prueba se modifica el sistema tribológico inicial ya que se modifican las condiciones de las zonas de contacto, de ahí la importancia de su realización. El tamaño de la muestra obedece a la complejidad de manufacturar las carcasas bajo las condiciones actuales del proveedor y a que solo se plantea como una prueba preliminar, por lo que dependiendo de los resultados se puede ampliar el tamaño de muestra.

Las 3 diferentes condiciones de manufactura para la zona de cierre y geometría inicial a probar utilizaran los siguientes parámetros:

1. Avance de herramienta de corte (f) de 0.15 mm y como geometría inicial, un chaflán en las condiciones iniciales mencionadas en el plano (-0.3, -0.5 mm).

2. Avance de herramienta de corte (f) de 0.15 mm y como geometría inicial de zona de cierre un radio de 0.4 mm
3. Avance de herramienta de corte (f) de 0.20 mm y como geometría inicial de zona de cierre un radio de 0.4 mm

Una vez que se obtienen las piezas desde proveedor MX, se realiza la medición de 1 pieza por cada condición a fin de confirmar las modificaciones realizadas. Posteriormente se prueban bajo las condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre, se verifican visualmente y se limpian con el apoyo de una toalla para limpieza (misma verificación que en las pruebas realizadas previamente) con lo que se obtienen los siguientes resultados:

3.5.2. Avance de herramienta de corte (f) de 0.15 mm y chaflán de -0.3, -0.5 mm, como geometría inicial de la zona de cierre

Al modificar el avance de la herramienta de corte y manteniendo el chaflán como geometría inicial de la zona de cierre indicada en el plano podemos apreciar en la Figura 40 la medición de la rugosidad R_z (R_z 4.84) similar a los obtenidos en la prueba de alisado (R_z promedio 4.92).

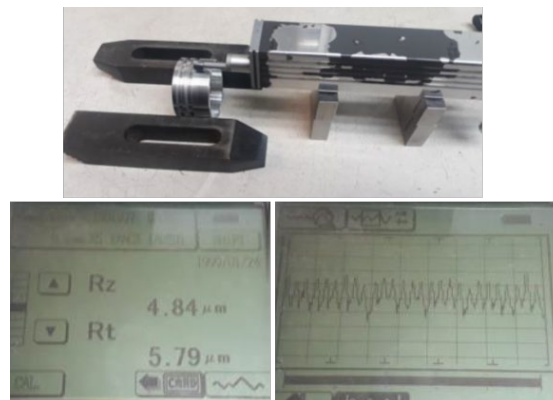


Figura 40. Medición de rugosidad R_z en zona de cierre de carcasa
Elaboración propia

La medición de la geometría del inicio de la zona de cierre indica un resultado muy cercano al nominal de acuerdo con el plano (-0.3, -0.5 mm). Las dimensiones para

el chaflán son 0.25, 0.59 mm tal y como se aprecia en la Figura 41. Estos valores son muy similares a los mostrados en la revisión inicial indicados en la Figura 23.

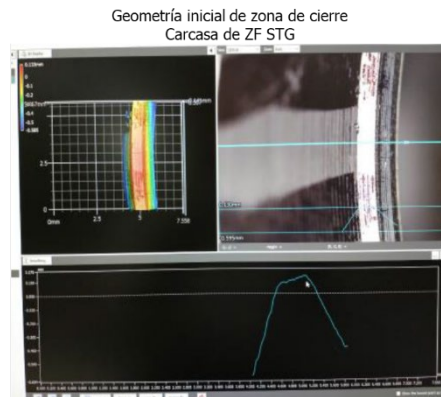


Figura 41. Medición de chaflán de -0.3, -0.5 mm
Elaboración propia

Los resultados de la prueba de ensamble y cierre muestran que existe presencia considerable de partículas de aluminio en la zona de cierre. No se detectan filamentos en las piezas. En la Figura 42 se aprecian los resultados.



Figura 42. Partículas detectadas en prueba con $f=0.15$ mm y chaflán de -0.3, -0.5 mm
Elaboración propia

3.5.3. Avance de herramienta de corte (f) de 0.15 mm y radio de 0.4 mm como geometría inicial de la zona de cierre

Para esta segunda prueba se toman los mismos valores de medición de la rugosidad R_z que la prueba anterior y mostrados en la Figura 40 ($R_z 4.84$) ya que fueron producidas con los mismos parámetros en el mismo evento y esta condición

ha mostrado ser constante en el proceso del proveedor de acuerdo con los datos de las verificaciones previas.

La medición de la geometría inicial de la zona de cierre muestra un radio de 0.39 mm el cual está muy cercano a la especificación requerida de 0.40 mm en la Figura 43 se aprecia la medición.

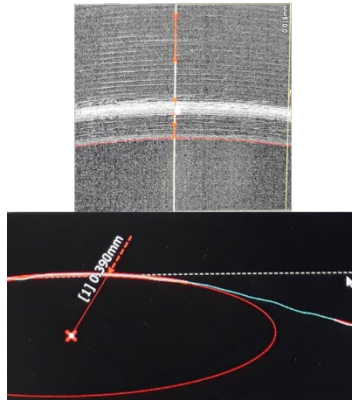


Figura 43. Medición de radio de 0.40 mm
Elaboración propia

Los resultados de la prueba de ensamble y cierre muestran que existe presencia de un mínimo de partículas muy finas de aluminio en la zona de cierre. No se detectan filamentos en las piezas. En la Figura 44 se aprecian los resultados.



Figura 44. Partículas detectadas en prueba con $f=0.15$ mm y radio de 0.4 mm
Elaboración propia

3.5.4. Avance de herramienta de corte (f) de 0.20 mm y radio de 0.4 mm como geometría inicial de la zona de cierre

Para esta tercera prueba, se regresa a la condición inicial de avance de la herramienta de corte de 0.20 mm En la Figura 45 se observa el resultado de rugosidad Rz es de 7.68 muy similar a los de la Tabla 11 (promedio Rz 7.53) por lo que se confirma la que esta característica es estable en el proceso de fabricación del proveedor.

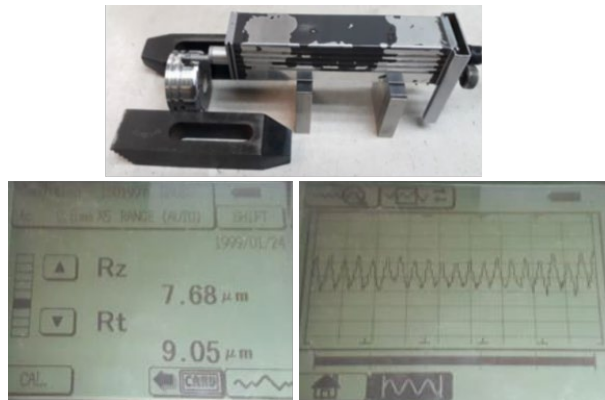


Figura 45. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa
Elaboración propia

Para la medición de la geometría inicial de la zona de cierre se toman los mismos valores de medición de la prueba anterior y mostrados en la Figura 43 (radio 0.39 mm) ya que fueron producidas con los mismos parámetros en el mismo evento.

Los resultados de la prueba de ensamble y cierre muestran que existe presencia de un mínimo de finas partículas de aluminio en la zona de cierre. Tal y como se observa en la Figura 46. No se detectan filamentos en las piezas. Estos resultados son muy similares a los de la prueba anterior (avance de herramienta de corte de 0.15 mm y como geometría inicial de zona de cierre un radio de 0.4 mm).



Figura 46. Partículas detectadas en prueba con $f=0.20$ mm y radio de 0.4 mm
Elaboración propia

Los resultados de estas últimas 3 pruebas indican que la modificación de la geometría de la zona cierre (cambiar de chaflán a radio) tiene una mayor influencia para reducir la generación de partículas o filamentos durante el proceso de cierre del ensamble guía, que el cambio de avance de la herramienta de corte durante el proceso de mecanizado. Por lo que es necesario una muestra de mayor número de piezas a fin de confirmar los resultados.

3.6. PRUEBAS EN CENTRO DE DESARROLLO ZF: MODIFICACIÓN DE GEOMETRÍA DE ZONA DE CIERRE

Una vez mostrados los resultados sobre la influencia de la geometría inicial de la zona de cierre, desde el centro de desarrollo de ZF SCW (Schweinfurt, Alemania) se buscan nuevas alternativas de solución al problema de generación de partículas de aluminio considerando la modificación de esta variable. A su vez con el fin de minimizar las variables en el sistema tribológico se toman como constantes las condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre del ensamble guía, la materia prima de la carcasa para ZF STG (Al 6061) y las condiciones de proceso de manufactura de la carcasa definidas por el proveedor MX (avance de herramienta de corte) teniendo como única variable las diferentes geometrías en el inicio de la zona de cierre de la carcasa.

Las condiciones a probar se indican en la Figura 47:

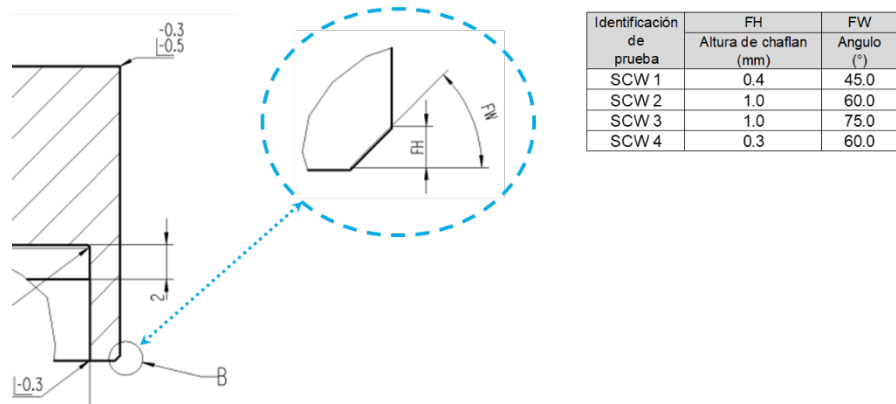


Figura 47. Esquema de variantes de geometría inicial de zona de cierre
Elaboración propia

Se realizan 10 piezas de prueba en ZF SCW para cada una de las condiciones indicadas. Los resultados mostraron que modificando la geometría en el inicio de la zona de cierre a 1.0 mm x 60° (SCW 2), se obtienen mejores resultados en la reducción de la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre del ensamblé guía además de un obtener un conformado de la pieza más uniforme. Una imagen como ejemplo de cada condición lo podemos observar en la Figura 48.

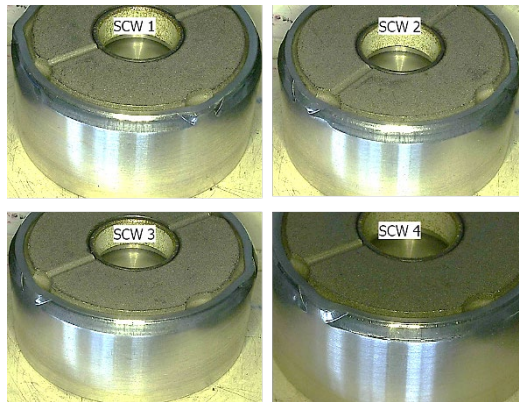


Figura 48. Imágenes de las diferentes pruebas realizadas en ZF SCW
Elaboración propia

3.7. CONFIRMANDO RESULTADOS DE PRUEBAS

Con los resultados obtenidos en ZF STG y ZF SCW se plantea probar un mayor número de piezas (200 piezas), a fin de confirmar los resultados obtenidos con la modificación de la geometría en el inicio de la zona de cierre de la carcasa. Para

ambas series de prueba se plantea su manufactura por parte del proveedor MX, manteniendo sus parámetros de manufactura para las carcasas tal y como fueron definidos desde inicios de fabricación de este producto, así como la materia prima inicial para ZF STG (Al 6061), además de utilizar las condiciones de proceso estándar de parámetros y herramientas previamente revisadas. Con esto se tiene solamente 1 variable en el sistema tribológico establecido: La geometría en el inicio de la zona de cierre.

Las variantes de geometrías a probar se observan en la Figura 49. El diseño A indica un chaflán de 1.0 mm x 60°, mientras que el diseño B indica un radio de 0.4 mm para la geometría inicial de la zona de cierre.

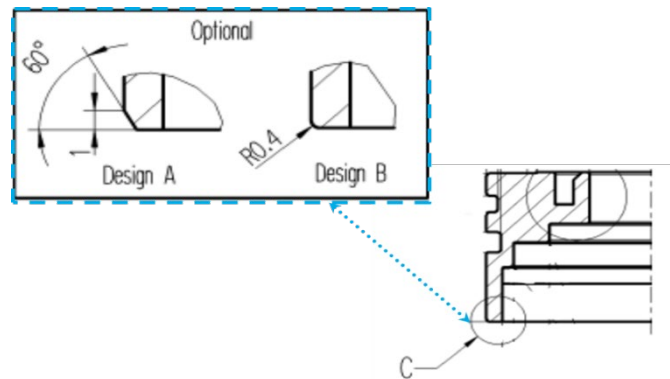


Figura 49. Esquema de geometría diferente a probar en ZF STG
Elaboración propia

Una vez que se obtienen las piezas desde proveedor MX, se realiza la medición de 1 piezas por cada condición a fin de confirmar las modificaciones realizadas. Posteriormente se prueban bajo las condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre, se verifican visualmente y se limpian con el apoyo de una toalla para limpieza (misma verificación que las realizadas previamente) con lo que se obtienen los siguientes resultados:

3.7.1. Probando el diseño A: Chablán de 1.0 mm x 60°

La geometría inicial de la zona de cierre se aprecia en la Figura 50 y donde se confirma que sus dimensiones de altura de 1.009 mm y un ángulo de 59.990° están conforme con el plano.

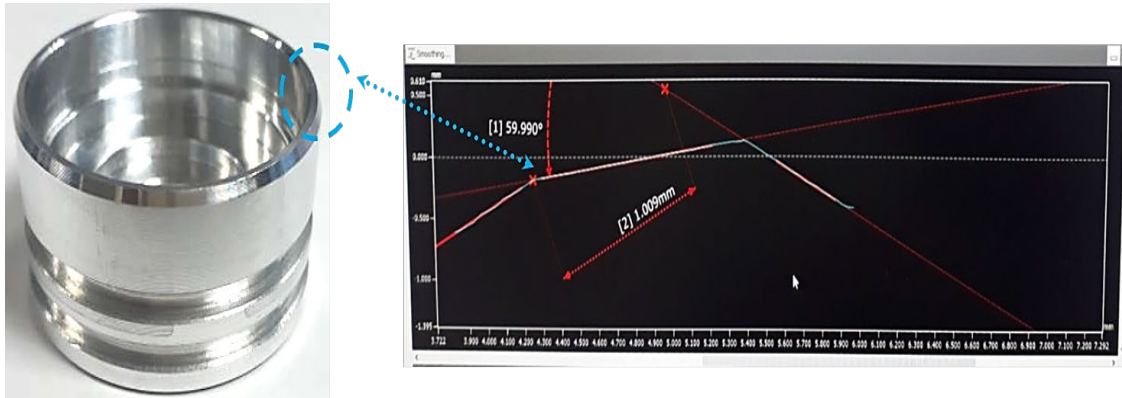


Figura 50. Imagen y medición de carcasa con chablán 1.0 mm x 60°
Elaboración propia

En la Figura 51 se observa el resultado de medición de rugosidad de 1 piezas (R_z 6.23) el cual es ligeramente menor a los obtenidos en las pruebas realizadas anteriormente con las mismas condiciones de manufactura: materia prima Al 6061 y un avance de la herramienta de corte de 0.20 mm, donde se obtuvieron valores de R_z de 7.53 a 7.68. por lo que se confirma la que esta característica es estable en el proceso de fabricación del proveedor.

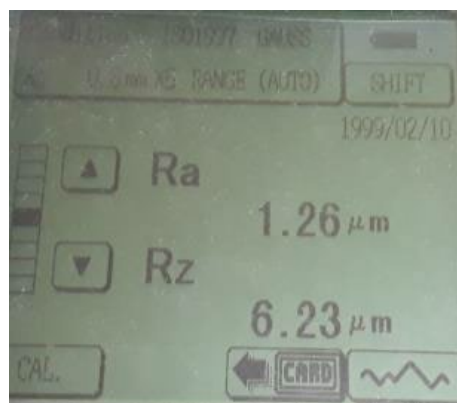


Figura 51. Medición de rugosidad R_z en zona de cierre de carcasa
Elaboración propia

Como resultado de las pruebas de ensamble y cierre, visualmente no se detectan partículas o filamentos de aluminio en la zona de cierre después del proceso de cierre. A manera de verificación, se limpian con la toalla de limpieza la zona de cierre del ensamble guía de las primeras 50 piezas y después cada 10 piezas como monitoreo de presencia de partículas de aluminio. Se observa que existe una mínima presencia de pequeñas partículas de aluminio en algunas carcasas, mas no se detectan filamentos de aluminio, esto se observa en la Figura 52. Durante la prueba, se detectan 2 carcasas con la geometría del inicio de la zona de cierre similar a la inicial del plano (chaflán de -0.3, -0.5 mm), mismas que se introducen como parte de la prueba y que muestran mayor presencia de partículas de aluminio, en la Figura 52 se aprecian estas partículas generadas por estas piezas enmarcadas en color naranja.



Figura 52. Partículas de aluminio detectadas en prueba con chaflán 1.0 mm x 60°
Elaboración propia

3.7.2. Probando diseño B: Radio de 0.4 mm

Se realiza la medición de la geometría inicial de la zona de cierre la cual se aprecia en la Figura 53 y se confirma que sus dimensiones (radio de 0.398 mm) están de acuerdo con lo requerido radio (0.4 mm).

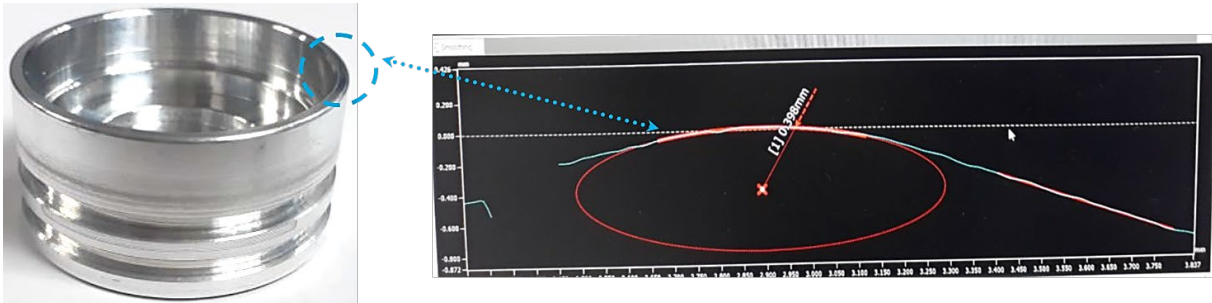


Figura 53. Imagen y medición de carcasa con radio de 0.40 mm
Elaboración propia

En la Figura 54 se observa el resultado de medición de rugosidad de 1 piezas con Rz 6.18 el cual es similar a la de la prueba anterior del diseño A (Rz 6.23), lo que confirma la que esta característica se mantiene estable en el proceso de fabricación del proveedor.

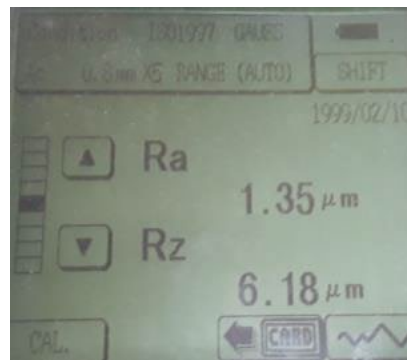


Figura 54. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa
Elaboración propia

Como resultado de las pruebas de ensamble y cierre, visualmente no se detectan partículas o filamentos de aluminio en la zona de cierre después de la prueba. Se limpia la zona de cierre de los ensambles guía con la ayuda de una toalla de limpieza de la misma manera que la prueba anterior: las primeras 50 piezas y después cada 10 piezas como monitoreo de presencia de partículas de aluminio. Se aprecia que existe una mínima presencia de partículas de aluminio en algunos ensambles guía. No se detectan filamentos de aluminio durante la prueba, tal y como se observa en la Figura 55. También se observa que después de la pieza 150, la presencia de partículas de aluminio es constante, aunque apenas perceptible.

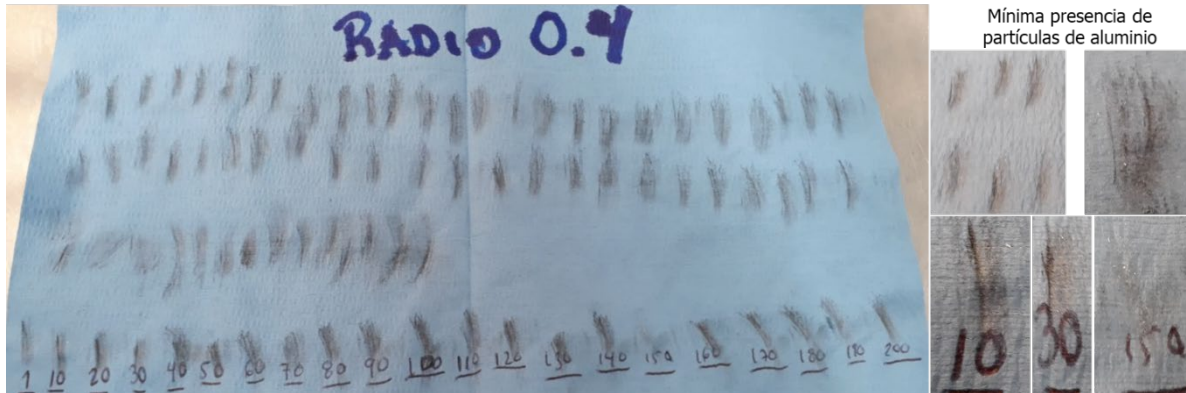


Figura 55. Partículas de aluminio detectadas en la zona de radio de 0.4 mm
Elaboración propia

Como resultado de la evaluación estos lotes de 200 piezas en cada una de las 2 pruebas realizadas bajo las condiciones descritas, los resultados indican que la geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre, es la que muestra mejores y más constantes resultados en cuanto a la prevención de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre.

3.7.3 Pruebas de validación de ensamble guía para las diferentes geometrías probadas

Además de las pruebas para conocer la condición en cuanto a la generación de partículas de aluminio después del proceso de cierre, se realiza la validación de resistencia del cierre del ensamble guía con la extracción del inserto, a fin de conocer la influencia que tiene la modificación de la geometría en el inicio de la zona de cierre de la carcasa para esta prueba. Dicha prueba es parte de las validaciones necesarias para cualquier ensamble guía que se fabrique en esta línea de producción a fin de confirmar la resistencia del cierre del ensamble guía.

La prueba consiste en realizar 3 barrenos en la carcasa de la guía a fin de colocar los 3 pernos del herramental de prueba en el interior del ensamble guía. Posteriormente se colocan en una base dentro de la máquina de pruebas y se inicia la prueba. Se le aplica una fuerza en sentido vertical a fin de que el inserto de guía sea extraído de la carcasa y se registrará la fuerza máxima como el valor

de resistencia obtenido por la prueba. Un esquema para esta prueba lo podemos apreciar en la Figura 56.

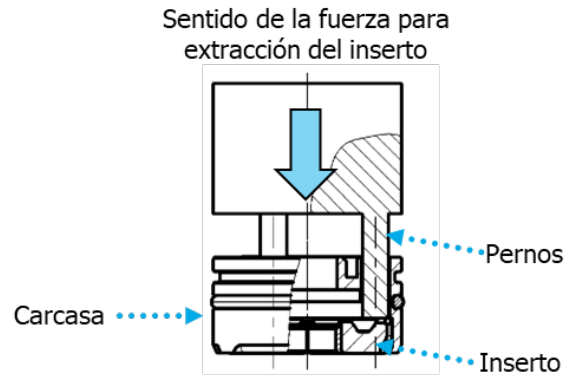


Figura 56. Esquema de prueba de extracción de inserto
Elaboración propia

Un comparativo de los resultados de las pruebas de extracción de inserto se aprecian en la Tabla 12. Los resultados nos indican todas las piezas probadas sobrepasan el mínimo de 10 KN requerido por la especificación de esta prueba. También es posible apreciar que con la geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° la desviación estándar de los resultados es menor en comparación en a los resultados obtenidos con las otras geometrías, es decir; su variación es menor por lo tanto se considera como un comportamiento más estable.

Tabla 12. Comparativo de resultados de pruebas de extracción de inserto

No. de prueba	Geometría inicial de zona de cierre		
	Chaflán -0.3, -0.5 mm	Chaflán 1.0 mm x 60°	Radio 0.40 mm
1	17.70	15.04	18.66
2	16.75	12.87	13.65
3	16.48	13.69	20.02
4	15.29	13.97	20.93
5	18.62	13.38	19.86
6	14.39	12.99	19.30
7	15.02	15.31	13.99
8	18.21	15.34	20.64
9	18.10	13.81	19.99
10	15.18	15.46	16.31
Máximo:	18.62	15.46	20.93
Promedio:	16.57	14.19	18.34
Mínimo:	15.39	12.87	13.65
Desviación estándar:	1.54	1.01	2.71

Elaboración propia

3.8. RÉPLICA DE PRUEBA CON DISEÑO A: CHAFLÁN DE 1.0 mm x 60° EN ZF ESPAÑA

Después de analizar los resultados obtenidos en la prueba anterior, en ZF STG donde se muestra que con la utilización de materia prima de aluminio 6061 y geometría de chaflán 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre se obtienen mejores y más constantes resultados en cuanto a la minimización de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre, así como un comportamiento más estable en las pruebas de resistencia del cierre de la guía, se propone realizar una prueba bajo las condiciones de proceso del proveedor ESP, utilizando el chaflán de 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre, con materia prima de aluminio 6082 y las condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre en ZF España. Con esto se genera un nuevo sistema tribológico a probar.

Se realiza una medición de la geometría del inicio de la zona de cierre de una muestra de 5 carcasas producida por el proveedor ESP mediante una perfilometría mecánica realizada en el laboratorio interno de ZF España.

En la Figura 57 se aprecia la medición de 5 piezas.

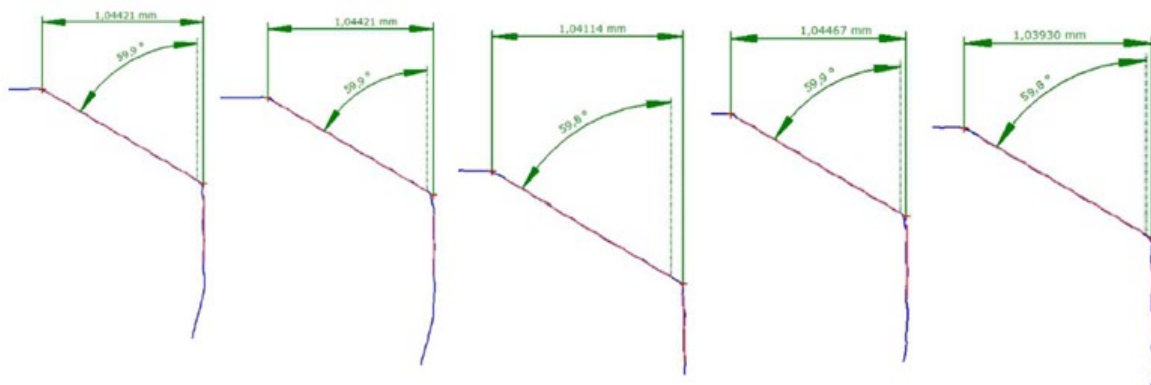


Figura 57. Imagen y medición de carcasas con chaflán de 1.0 mm x 60°
Elaboración propia

En la Tabla 13 podemos observar el análisis de los datos obtenidos, donde se aprecia que la desviación estándar de las mediciones realizadas es cercana a 0 (cero) lo que significa que los resultados están muy cercanos a la media de esta

muestra, por lo tanto, la variación del proceso es prácticamente nula para esta característica.

Tabla 13. Resultados de medición de chaflán 1.0 x 60°

No. de prueba	Chañlán 1.0 mm x 60°	
	1.0 mm	60°
1	1.044	59.9
2	1.044	59.9
3	1.041	59.8
4	1.045	59.9
5	1.039	59.8
Promedio:	1.043	59.9
Desviación estándar:	0.002	0.05

Elaboración propia

Se mide la rugosidad de la zona cierre con la ayuda de un rugosímetro, a fin de confirmar que no existen valores superiores a los registrados previamente para esta condición y se detectan valores de $R_z = 3.69$, tal y como se aprecia en la Figura 58.



Figura 58. Medición de rugosidad R_z en zona de cierre
Elaboración propia

Como resultado de las pruebas de ensamble y cierre de 100 piezas, visualmente no se detectan partículas o filamentos de aluminio en la zona de cierre después del proceso de cierre. En la verificación con la toalla de limpieza, se limpian las primeras 45 piezas de la zona de cierre del ensamble guía y no observa presencia alguna de partícula de aluminio. Tampoco se detectan filamentos de aluminio durante la prueba, tal y como se observa en la Figura 59. En el total de las piezas no se detectan visualmente partículas de aluminio después del proceso de cierre.

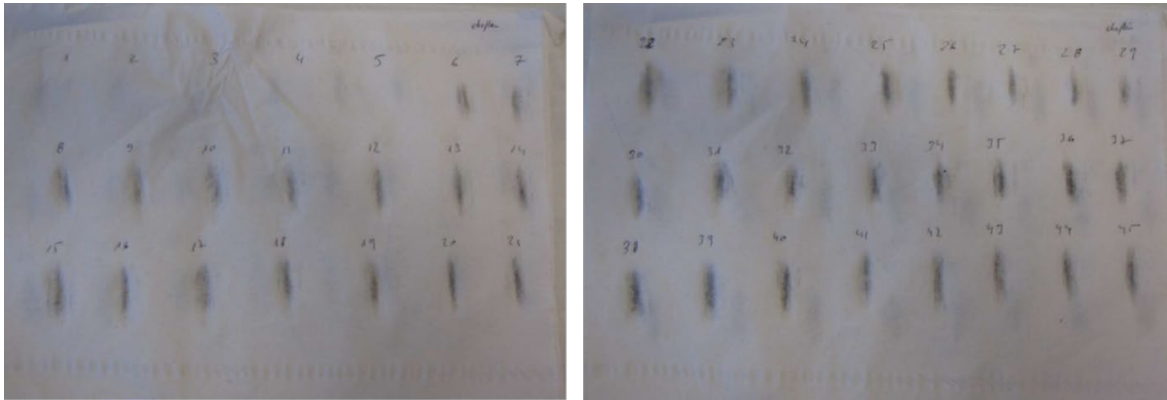


Figura 59. Partículas de aluminio detectadas en prueba con chaflán de 1.0 mm x 60°
Elaboración propia

Se realiza un comparativo de los resultados de la prueba de extracción entre las geometrías inicial de zona de cierre de chaflán de -0.3, -0.5 mm (condición inicial) y con chafla 1.0 mm x 60° (condición a probar). Los resultados en la tabla 14 nos indican que todas las piezas probadas sobrepasan el mínimo de 10 KN requerido por la especificación de prueba. También se aprecia que con la geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° la desviación estándar de los resultados considerablemente mayor que la geometría de chaflán de -0.3, -0.5 mm, sin embargo, el mínimo alcanzado con esta geometría sobrepasa con más del 50% del mínimo de 10 KN requerido en esta prueba, por lo que el resultado se considera como aceptable.

Tabla 14. Resultados de pruebas de extracción de inserto en ZF España

No. de prueba:	Geometría inicial de zona de cierre	
	Chaflán -0.3, -0.5 mm	Chaflán 1.0 mm x 60°
1	16.48	13.69
2	15.29	13.97
3	18.62	13.38
4	14.39	12.99
5	15.02	15.31
Máximo:	18.62	15.46
Promedio:	16.57	14.19
Mínimo:	15.39	12.87
Desviación estándar:	1.54	1.01

Elaboración propia

Los resultados de la evaluación este lote de 100 piezas bajo condiciones de manufactura establecidas para ZF España como lo son: materia prima Al 6082 y condiciones estándar de proceso de ensamble y cierre, indican que la geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre, muestra buenos resultados en cuanto a la prevención/minimización de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. Por lo que se establece que el cambio de geometría del inicio de la zona de cierre a chaflán de 1.0 mm x 60° es una opción eficiente, eficaz y factible para ambas sedes.

3.9. LA INFLUENCIA DEL RECUBRIMIENTO EN LA HERRAMIENTA DE CIERRE DEL ENSAMBLE GUÍA

Otro factor del sistema tribológico a considerar es el recubrimiento de la herramienta por lo que una vez confirmados los resultados obtenidos entre ZF SCW, ZF España Y ZF STG en cuanto a la reducción de la generación de partículas debido al cambio de geometría del chaflán a 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre de la carcasa, se plantea una prueba en ZF STG con esta nueva geometría de la carcasa, cambiando el recubrimiento actual de la herramienta a fin de mejorar la superficie de esta, para así mejorar su desempeño en la reducción de la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. El resto de las condiciones estándar para el proceso de ensamble y cierre se mantienen. Es decir, las constantes del sistema tribológico a probar son: Condiciones estándar de manufactura de carcasa, uso de materia prima Al 6061, chaflán de 1.0 mm x 60° en la geometría del inicio de la zona de cierre y condiciones estándar para el proceso de ensamble y cierre. Por lo que la variable a probar es el recubrimiento utilizado en la herramienta. Para esta prueba se utilizarán dos herramentales de diseño estándar, un herramental para cada recubrimiento, fabricados por el mismo proveedor del herramental utilizado en todas las pruebas anteriores (ZF AG).

El recubrimiento estándar utilizado en el herramental de cierre, con el cual se han desarrollado todas las pruebas anteriores, se identificará en lo sucesivo como recubrimiento A, el cual es utilizado en herramientas, rodamientos y componentes

de precisión debido a sus beneficios como reductor de fricción. Uno de los recubrimientos a probar será identificado en lo sucesivo como recubrimiento B, el cual es ideal para mecanizados de aleaciones de aluminio y otros metales no ferrosos como el cobre, la plata u oro, y por último el que se identificara en lo sucesivo como recubrimiento C, el cual proporciona una protección contra el desgaste por abrasión y adherencia en condiciones de trabajo de lubricación mínima o de trabajo en seco. En la Tabla 15 podemos observar las principales características de los recubrimientos para esta prueba. El cambio de la identificación de los recubrimientos obedece a normas de confidencialidad de ZF.

Tabla 15. Comparativo de recubrimientos para herramienta de cierre

Propiedades	Recubrimiento		
	A	B	C
Dureza (HV)	1800 ± 200	5000	2500
Coefficiente de fricción	0.05 a 0.10	0.10 a 0.20	0.10 a 0.20
Color	Negro	Arcoíris negro	Negro

Elaboración propia

Se mide la geometría inicial de la zona de cierre de una carcasa y se confirma que esta condición repite ($1.009 \text{ mm} \times 59.990^\circ$) los resultados medidos en el lote anterior ya que estas piezas fueron procesadas en el mismo lote de producción, es por eso por lo que su variación es mínima o nula. En la Figura 60 se aprecia la medición de esta geometría.

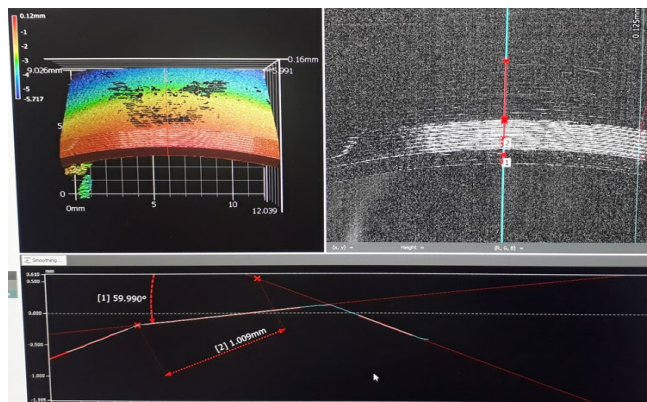


Figura 60. Imagen y medición de carcasa con chaflán $1.0 \text{ mm} \times 60^\circ$
Elaboración propia

En la Figura 61 se observan los resultados de rugosidad obtenidos de 2 muestras a fin de confirmar que no existe una variación significativa (mayor a Rz10) en las piezas a probar. Los resultados indican Rz de 5.50 y 6.09. Dichos resultados son muy similares al obtenido en la medición de la prueba anterior (Rz 6.23) ya que como se mencionó, dichas muestras pertenecen al mismo lote de fabricación, además de que esta condición ha mostrado ser estable en todas las mediciones previamente realizadas.

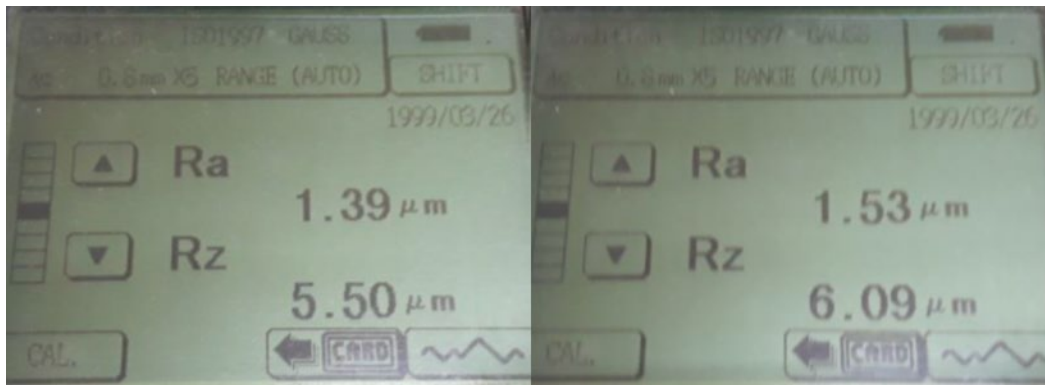


Figura 61. Medición de rugosidad Rz en zona de cierre de carcasa
Elaboración propia

3.9.1. Prueba con recubrimiento B

Se realizan piezas de prueba de ensamble y cierre bajo las constantes del sistema tribológico establecido, utilizando el herramental con recubrimiento B. Desde las primeras piezas, visualmente se detectan partículas y filamentos de aluminio en algunos ensambles guía después del proceso de cierre. Se realiza la verificación limpiando la zona de cierre de todas las piezas con el apoyo de una toalla para limpieza, como en las pruebas anteriores y se detecta que en todas las piezas se generaron partículas y/o filamentos de aluminio tal y como se aprecia en la Figura 62, por lo que se detiene la prueba después de 100 piezas.

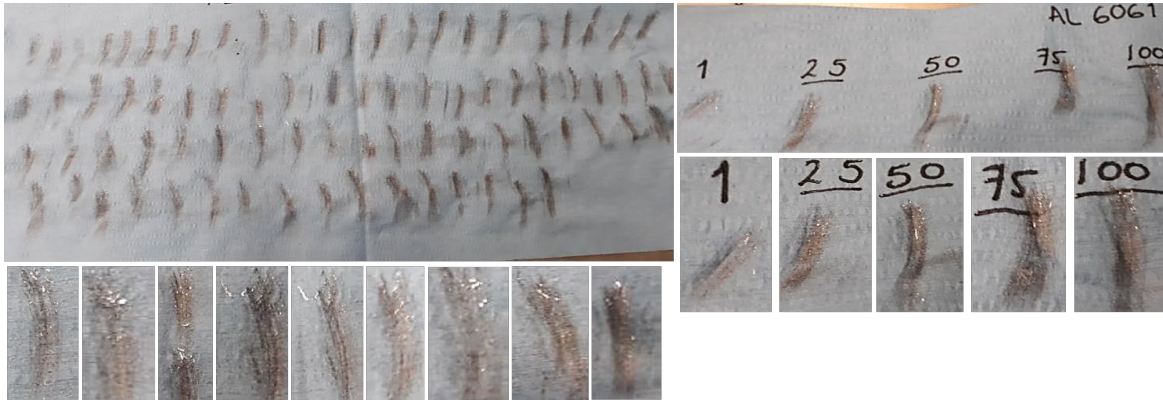


Figura 62. Partículas de aluminio detectadas en prueba con recubrimiento B
Elaboración propia

También visualmente es posible apreciar que la zona de cierre es irregular (rugosa). En la Figura 63 observamos un ejemplo de esta condición irregular.



Figura 63. Zona de cierre irregular en pruebas con recubrimiento B
Elaboración propia

Después de realizadas estas pruebas, se detecta que en el herramental de cierre hay presencia de partículas de aluminio por lo que se limpia con el apoyo de una toalla para limpieza y se confirma el hallazgo de partículas. En la Figura 64 se aprecia la condición del herramental después realizar la prueba de ensamble.



Figura 64. Herramental con recubrimiento B después de la prueba
Elaboración propia

3.9.2. Pruebas con recubrimiento C

Se realizan la prueba de ensamble y cierre bajo las constantes del sistema tribológico establecido, utilizando ahora el herramental con recubrimiento C. Visualmente no se detectan partículas y/o filamentos de aluminio en los ensambles guía después del proceso de cierre. Se verifica también limpiando la zona de cierre de las primeras 25 piezas con el apoyo de una toalla para limpieza y no se detectan partículas y/o filamentos de aluminio. De la misma manera se verifica 1 cada 25 piezas como monitoreo sin detectar partículas de aluminio. Después de 100 piezas, y dados los resultados obtenidos, se decide ampliar el tamaño de la muestra manteniendo la verificación de 1 de cada 25 piezas hasta llegar a 200 sin detectar la presencia de partículas de aluminio a excepción de la pieza número 200 que mostró una pequeña partícula de aluminio, por lo que se verifican de la misma manera 25 piezas consecutivas encontrando solo 4 piezas no consecutivas entre sí, con presencia mínima de partículas de aluminio. Se amplía el tamaño de muestra manteniendo la verificación de monitoreo cada 25 piezas hasta completar un total de 500 piezas, verificando 25 piezas consecutivas (de la pieza 401 a la 425) sin detectar partículas de aluminio. Estas verificaciones las observamos en la Figura 65.



Figura 65. Partículas de aluminio detectadas en prueba con recubrimiento C
Elaboración propia

Visualmente es posible apreciar que la zona de cierre es lisa o uniforme, lo que indica que no hubo desprendimiento de material durante el proceso de cierre. En la Figura 66 observamos un ejemplo esto.

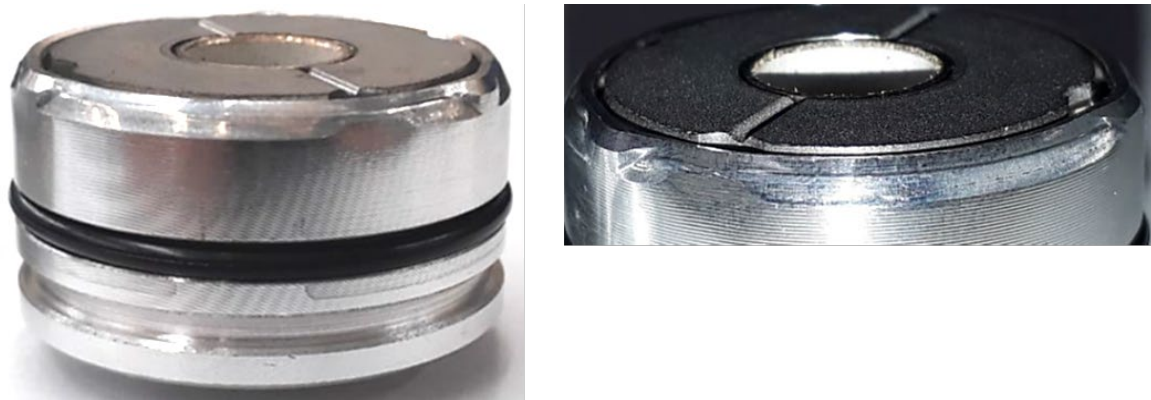


Figura 66. Zona de cierre lisa en pruebas con recubrimiento C
Elaboración propia

Como parte de la inspección y monitoreo durante el desarrollo de la prueba se verifica la condición del herramental de cierre de manera visual y limpiándolo con una toalla para limpieza de la misma manera que la prueba anterior. Se verifica por primera vez después de 150 piezas, en segunda ocasión después de 250 adicionales (después de la pieza 400) y por último al final de la prueba (después de la pieza 500). Los resultados se visualizan en la Figura 67 donde es posible apreciar que no tiene partículas impregnadas.

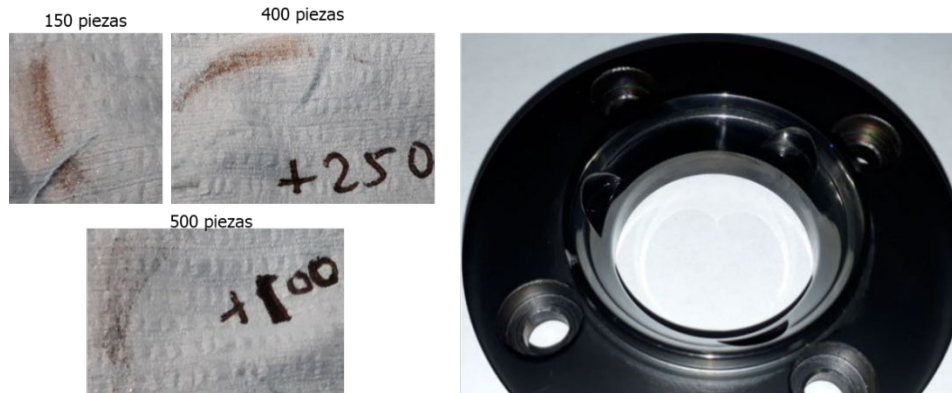


Figura 67. Herramental con recubrimiento de C después de la prueba
Elaboración propia

Los resultados muestran que el recubrimiento C tiene una influencia positiva para reducir significativamente la generación de las partículas de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía.

3.9.3. Pruebas de validación de ensamble guía

Se realiza una prueba resistencia del cierre del ensamble guía por extracción del inserto a una muestra de 5 piezas seleccionadas aleatoriamente de las piezas probadas con el herramental con recubrimiento C, ya que fue el de mejor desempeño en cuanto a la reducción significativa de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre, con el fin de confirmar que se cumple con la especificación del mínimo de resistencia del cierre del ensamble guía (10 KN). Los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos en las pruebas realizadas en ZF España con la misma condición de chaflán (Ver Tabla 14). A pesar del valor tan alto obtenido para la desviación estándar en estas muestras de pruebas, los valores de resistencia del cierre indican que al menos se está por encima en 50% del mínimo requerido en la especificación de esta prueba por lo que los resultados se consideran aceptables. Los resultados de las pruebas de extracción de inserto de piezas con geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° y herramental de cierre con recubrimiento C se pueden observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados pruebas de extracción

No. de prueba	Chaflán 1.0 mm x 60°
1	19.63
2	18.64
3	16.33
4	15.52
5	17.60
Máximo:	19.63
Promedio:	17.54
Mínimo:	15.52
Desviación estándar:	1.67

Elaboración propia

3.10. PRUEBAS TecSa A ENSAMBLES GUÍA

Una vez obtenidos los resultados donde es posible apreciar una mejora significativa en la reducción/minimización de la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre del ensamble guía debido al cambio de las condiciones del sistema tribológico: una geometría inicial de la zona de cierre de la carcasa de 1.0 mm x 60° y el uso del recubrimiento C en el herramental de cierre, se plantea realizar una prueba TecSa a una muestra de 10 piezas con las condiciones iniciales cuando fue detectado el problema y 10 piezas con las nuevas condiciones tribológicas del sistema mencionadas a fin de poder cuantificar la mejora.

La prueba TecSa tiene dos tipos de evaluación:

- El primero se utiliza para componentes: este evalúa las condiciones de limpieza en las que ZF recibe el componente por parte del proveedor. Se realiza tomando un número de piezas o muestras del componente a evaluar directamente desde el empaque en el que se recibe en ZF y se les realiza la prueba TecSa. En este tipo de pruebas, se evalúan todas las partículas mayores a 50 µm.
- El segundo es para amortiguadores: se utiliza para conocer la cantidad de partículas contaminantes que existen dentro del amortiguador. Este se realiza tomando un amortiguador directo de la línea de ensamble, producido en condiciones normales de operación, para realizarle la prueba TecSa. En esta prueba se evalúan solo las partículas mayores a 400 µm.

La prueba se realizará con los criterios de evaluación de componentes a fin de conocer la cantidad de partículas que existen mayores a 50 μm y se tendrá especial atención en los resultados de las partículas mayores a 400 μm ya que estas son las que se evalúan en las pruebas TecSa para amortiguadores. También debido a que las partículas de aluminio son consideradas en la prueba TecSa como partículas metálicas, solo estas serán analizadas en el presente caso de estudios.

En la tabla 17, es posible apreciar las condiciones del sistema tribológico inicial cuando se detectó el problema de generación de partículas de aluminio y del nuevo sistema tribológico. Es posible observar que los elementos que cambian entre sistemas son: la geometría del inicio de la zona de cierre y el recubrimiento de la herramienta, resaltando en amarillo los iniciales y en verde las nuevas condiciones tribológicas.

Tabla 17. Condiciones tribológicas entre sistemas

Sistema tribológico inicial	Nuevo sistema tribológico
Condiciones estándar de manufactura de carcasa de guía	Condiciones estándar de manufactura de carcasa de guía
Materia prima de carcasa de guía: Al 6061	Materia prima de carcasa de guía: Al 6061
Geometría inicial de zona de cierre: Chafilán -0.3,-0.5 mm	Geometría inicial de zona de cierre: Chafilán 1.0 mm x 60°
Condiciones estándar de proceso de ensamble de guía	Condiciones estándar de proceso de ensamble de guía
Recubrimiento A en la herramienta de cierre	Recubrimiento C en la herramienta de cierre

Elaboración propia

En la Tabla 18 se aprecian un comparativo entre el resultado obtenido de 10 piezas con el sistema tribológico inicial y el resultado obtenido de 10 piezas con el nuevo sistema tribológico.

Tabla 18. Resultados de prueba TecSa de sistema tribológico inicial vs nuevo

	Tamaño de partículas metálicas (μm)	Sistema tribológico inicial	Nuevo sistema tribológico	Porcentaje de reducción
		Cantidad de partículas (total 10 piezas)	Cantidad de partículas (total 10 piezas)	
	50-100	2206	1090	-50.59%
	100-150	1265	612	-51.62%
	150-200	526	220	-58.02%
	200-400	510	145	-71.57%
Tamaño de partículas medible en prueba TecSa para amortiguador	400-600	98	15	-84.69%
	600-1000	68	1	-98.53%
	>1000	7	0	-100%

Elaboración propia

Los resultados están agrupados por tamaños preestablecidos en la prueba TecSa. Cada fila muestra los resultados obtenidos por tamaño de partículas para cada sistema tribológico. Y en la primera columna de la derecha se muestra el porcentaje de mejora, es decir, se indica la diferencia que existe (en porcentaje) entre la cantidad de partículas con el nuevo sistema tribológico en relación con el sistema inicial.

Los resultados indicaron que para las partículas evaluadas en las pruebas de contaminación para amortiguador ($>400\mu\text{m}$), hubo una reducción desde un 84.69% hasta un 100%, e incluso en las partículas menores a $400\mu\text{m}$, se tuvo una reducción de más del 50%.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha dado cuenta de la influencia de los diferentes factores que afectan los resultados de salida del sistema tribológico, tales como, la materia prima de la carcasa, la rugosidad y geometría de la zona de cierre, así como el recubrimiento de la herramienta de cierre utilizada en este proceso.

Los resultados proporcionan soporte concluyente de que la geometría inicial de la zona de cierre de la carcasa y el recubrimiento en el herramental de cierre son los factores de mayor influencia en los resultados de salida del sistema tribológico analizado, ya que se ha demostrado que con una geometría de chaflán de 1.0 mm x 60° en el inicio de la zona de cierre de la carcasa de guía y el uso del recubrimiento C en el herramental de cierre, es posible reducir la cantidad de partículas de aluminio generadas en el proceso de cierre del ensamble guía Monotubo Modular Concept como mínimo en un 70% en las dimensiones evaluadas en la prueba TecSa para amortiguadores por lo que se cumple con el objetivo general planteado.

Podemos concluir a partir de los resultados obtenidos que, con este nuevo sistema tribológico, se confirma la hipótesis planteada de que, es posible minimizar la cantidad de partículas de aluminio generadas durante el proceso de cierre del ensamble guía, teniendo un diseño estándar para carcasa de guía, con el uso de materia prima NAFTA (Al 6061 T6) y con un proceso estándar de ensamblaje de la guía. Con esto se evita la limpieza de las partículas de aluminio de los ensambles guía y los paros de limpiezas técnicas por lo que se incrementa la eficiencia para este proceso a un 85% en promedio, y se evitan los costes generados por tiempo extraordinario (\$48, 525.60 USD anuales o \$291, 153.60 USD por el total de 6 años de vida del proyecto).

Los resultados de esta investigación mostraron 3 posibles soluciones:

1. Utilizar carcasa de guía de proveedor ESP con materia prima Al 6082. Esto implica un incremento en el costo por cada carcasa de 0.202 USD, con un coste anual de \$ 66, 037.03 USD anuales, o un total de \$396, 222.20 USD de acuerdo con los 6 años de vida del proyecto y el volumen de piezas proyectado para el mismo, más costos logísticos aun no cuantificados debido al tiempo de transporte vía marítima (de 6 a 8 semana en promedio), entre otros. Estos costes adicionales comprometen el resultado de financiero previsto para esta línea de producción por lo que es de suma importancia tenerlo en cuenta.
2. Utilizar carcasa de guía de proveedor MX con materia prima Al 6082. Esto implica un incremento del costo pieza de 0.154 USD, con un coste anual de \$50, 320.48 USD anuales, o un total de \$301,922.85 USD de acuerdo con los 6 años de vida del proyecto y el volumen de piezas proyectado para el mismo, además del costo aun no cuantificados derivado del proceso adicional de alisado de superficie de zona de cierre. Estos incrementos en los costes comprometen el resultado de financiero previsto para esta línea de producción.
3. Modificación de la geometría inicial de la zona de cierre de la carcasa, la cual se logra realizar sin incremento de costo alguno para ZF y, por otro lado, el cambio a recubrimiento C en el herramental de cierre, mismo que generó un incremento en el costo pieza del herramental de \$92. 8 EUR el cual es considerado como mínimo. Por lo tanto, esta opción es la seleccionada para su aplicación debido a su facilidad de adopción e impacto económico, ya que esta solución evita incrementos en el costo-pieza de la carcasa de aluminio.

En términos prácticos, esta solución demostró ser:

- Factible para las sedes que ensamblan este tipo de productos.
- Eficaz, debido a que se lograron los objetivos planteados en este caso de estudio.
- Y eficiente, dado que se logran los objetivos con la menor cantidad de recursos necesarios.

RECOMENDACIONES

En este caso de estudio, debido a la configuración del sistema tribológico inicial y los objetivos planteados para este, la geometría en el inicio de la zona de cierre de la carcasa y el recubrimiento de la herramienta fueron los factores determinantes en la reducción en la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. Esto no significa que sean factores definitivos para resolver problemas similares debido a que cada sistema tribológico es independiente, por lo que la recomendación para futuros casos de estudio es explorar la influencia que puede tener cada uno de los factores que intervienen en el sistema a estudiar, tales como: materia prima de los elementos, rugosidad de las superficies, tipo de lubricación, tipo de recubrimientos de los elementos, entre otros, a fin de encontrar la solución idónea al problema presentado.

APORTACIÓN DE LA TESINA

El presente trabajo de investigación buscará proporcionar información que será útil para ZF con el fin de mejorar la comprensión y el conocimiento sobre las posibles formas de prevención y/o solución para problemas de generación de partículas en procesos de conformado. En la presente, se obtiene una solución factible, eficiente y eficaz, teniendo aportes como: un nuevo estándar en la geometría de la área de cierre de la carcasa de guía (chaflán de 1.0 mm x 60°), para todos los productos Monotubo manufacturados por el grupo ZF a nivel global, adoptando también como opción estándar el uso de nuevo recubrimiento C para la herramienta de cierre del ensamble guía, los cuales en combinación contribuyen a minimizar la cantidad de partículas generadas en el proceso de cierre de los ensamble guía para amortiguadores Monotubo.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESINA

Al adoptar la solución planteada en el presente trabajo de investigación se contribuye con:

- Una menor generación de residuos: al eliminar el uso de elementos (toallas) de limpieza para retirar las partículas de los ensambles y equipos e incrementar en la vida útil de los amortiguadores.
- Optimizar el uso de los recursos energéticos: al incrementar la eficiencia al 85% evitando el uso de maquinaria, personal y energía adicional para cumplir con el volumen de producción requerido por los clientes, además de que con esta solución no es necesario ningún proceso adicional por parte de proveedor de los componentes.
- Promoción de desarrollo económico de la región en cuestión: al utilizar materia prima de cada región en los componentes principales donde se ensamble el amortiguador, tal como es el caso de la carcasa de guía, se favorece el desarrollo económico en cada una de ellas.

REFERENCIAS

- Acevedo, J. M., Cortez, D., Sáenz Rodríguez, J. C., de Paz, N., Melgar, W., Peralta, G., & Cifuentes, J. (2010). *Tribología, Nanotribología y AFM (Microscopio de Fuerzas Atómicas)*. 10.
- Aguillon, P. (2007). *Tribología y Lubricación*. 181.
- Aircontrol.es. (2021). *aircontrol.es*. Control de Automatización. <https://www.aircontrol.es/es/control-de-automatizacion-ace/>
- Beltrán Ruiz, J., & Fernández Pallo, R. (2014). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de suspensión neumática controlado electrónicamente, para el laboratorio de mecánica de patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga*. [UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8855/1/T-ESPEL-MAI-0481.pdf>
- Benaziz, M., Nacivet, S., & Thouverez, F. (2015). A shock absorber model for structure-borne noise analyses. *Journal of Sound and Vibration*, 349, 177–194. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2015.03.034>
- Berquist, M., DePasquale, R., Frye, S., Gilani, A., Klembczyk, A., Lee, D., Malesta, A., Metzger, J., Smith, C., Taylor, D., Wang, S., & Craig, W. (2020). *Damper Design Manual*. Fluid Viscous Dampers. General Guidelines for Engineers Including a Brief History. [https://www.taylordevices.com/custom/pdf/website/Damper Design Manual 12.20_DigitalVersion.pdf](https://www.taylordevices.com/custom/pdf/website/Damper%20Design%20Manual%2012.20_DigitalVersion.pdf)
- Bilbao, M., & Málaga, A. (2012). Contaje de partículas. *Wear Check Iberoamerica*, 1–13.
- Bonilla Olmedo, D. W. (2008). *Implantación de un sistema de validación continuo (Tomoana), es una herramienta de soldadura de punto (FIG) de la primera estación de ensamblaje del piso posterior del vehículo Suzuki Grand Vitara SZ (JIII), en la Empresa Metaltronic S.A.* [ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, Ecuador.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1421>
- Breun, W., & Krill, L. (2017). *ZF Design Manual Shock Absorber*.
- Castillo Müller, I. (2012). *Estudio tribológico de lubricantes y recubrimientos duros en el proceso de estampado* [Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/2647>
- Czichos, Horst, Habig, K.-H., & Gerschwiler, K. (2003). *Tribologie-Handbuch. Reibung und Verschleiß*. (2nd ed.). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- Dixon, J. C. (2007). *The Shock Absorber Handbook*. Wiley. https://books.google.com/books?id=gIRHd5R_UoMC
- Escribano Beitia, S. (2015). *Diseño de un amortiguador de motocicleta atendiendo a parámetros dinámicos de comportamiento* [Universidad Carlos III de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10016/25986>
- Ezeta, J. H., Mandow, A., & Cerezo, A. G. (2013). Los sistemas de suspensión activa

y semiactiva: una revisión. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 10(2), 121–132.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.riai.2013.03.002>

Ferdek, U., & Łuczko, J. (2012). Modeling and analysis of a twin-tube hydraulic shock absorber. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 50(2), 627–638.

Gerling, H. (1979). *Moldeo y conformación: libros de consulta acerca de los procedimientos de fabricación*. Reverté.

glossar.item24.com. (2021a). “Desgaste abrasivo.”

<https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//desgaste-abrasivo-1.html>

glossar.item24.com. (2021b). “Desgaste adhesivo.”

<https://glossar.item24.com/es/indice-de-glosario/articulo/item//desgaste-adhesivo.html>

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna* (Tercera ed). McGraw-Hill Interamericana.

Helloauto.com. (2021). “Confort.” Glosario. <https://helloauto.com/glosario/confort>

IZA, B. S. (2007). *Dimensionamiento y construcción de una roladora manual para un laboratorio* [Tesis, Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1504>

Klocke, F. (2013). *Manufacturing Processes 4. Forming* (RWTHedition (ed.)). Springer.

Krehl, P. O. (2008). History of shock waves, explosions and impact - a chronological and biographical reference. In *Springer Science & Business Media* (1st ed.). Springer.

Linares, O. (2003). La Tribología; fricción, desgaste y lubricación. Vol. 1, 1(3), 39–46.

Linares, O. (2010). Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. In *Reporte técnico* (Vol. 1).

<http://www.mantenimientomundial.com/notas/histrib.pdf>

López Rodríguez, J. (2011). *Fundamentos básicos de Metrología dimensional*.

<http://hdl.handle.net/10317/1614>

materialeslaboratorio.com. (2021). “Rugosímetro.”

<https://materialeslaboratorio.com/rugosimetro/>

Mollica, R. (1997). *Nonlinear dynamic model and simulation of a high pressure monotube shock absorber using the bond graph method*. Massachusetts Institute of Technology.

Müller, F. (1957). *Diccionario técnico de mecánica de automóviles: términos, abreviaturas y símbolos que debe ser interpretados y usados correctamente*.

Impr. Alfa. <https://books.google.com/books?id=GQ13GwAACAAJ>

- RELIABILITYWEB.COM. (2021). "Control de contaminación en sistemas hidráulicos y lubricantes". <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/control-de-contaminacion-en-sistemas-hidraulicos-y-lubricantes>
- Reyes, R. M., & Solano, H. A. (2005). *Ergofoftalmología: análisis de los factores que inciden en la astenopía de los trabajadores de inspección visual en la industria electrónica de Ciudad Juárez*. 136–147. <http://www.semec.org.mx/archivos/7-14.pdf>
- Rodríguez Matienzo, J., & Otero Pereiro, L. (2006). *Modelo de un muelle de ballestas considerando la fricción entre hojas*. 9(1), 15–28.
- Sampén, L. (2003). Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste. *Industrial Data*, 6(2), 66–73. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81660211.pdf>
- Sanger, A. (2005). *Las fuerzas y su medición: Ley de Hooke*. 1(1), 1–5. <http://www2.ib.edu.ar/becaib/cd-ib/trabajos/Sanger.pdf>
- Significados.com. (2021). "Significado de Sistema." <https://www.significados.com/sistema/>
- Soliman, A. M. A., & Kaldas, M. M. S. (2021). Semi-active suspension systems from research to mass-market – A review. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 40(2), 1005–1023. <https://doi.org/10.1177/1461348419876392>
- Spiteri, S. (2019). Shock Absorber Applications. *European Journal of Engineering Technology Research*, 4(1), 37–41. <https://doi.org/10.24018/ejers.2019.4.1.1005>
- Tao, J. J. (2002). Modeling suspension damper modules using LS-DYNA. In *7th International LS-DYNA Users Conference*, 19–21.
- Toledo, F., Reina, M., López, H., Simon de Uvarow, H., Vázquez, G., & Greising, E. (2008). *Metodología para pruebas de desempeño*. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/3415>
- Xinjie, J., & Shengjin, L. (2009). Design of the fuzzy-PID controller for new vehicle active suspension with electro-hydrostatic actuator. *2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 3724–3727. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138898>
- ZF Friedrichshafen AG. (2020). *ZF aftermarket*. ZF Aftermarket Amplía Su Gama de Amortiguadores Electrónicos. <https://aftermarket.zf.com/ib/es/sachs/acerca-de-nosotros/sachs-noticias/amortiguadores-electronicos/>
- ZF Friedrichshafen AG. (2021). "Products for Cars." Monotube Damper. <https://aftermarket.zf.com/la/es/sachs/productos/productos-para-vehiculos-livianos/amortiguadores/>

