

Reducción en la Generación de Impurezas de Aluminio por Cambio de Geometría en el Área de Cierre de la Carcasa de Guía para Amortiguador Monotubo

Ing. Emilio Gonzalez Ortiz¹

Resumen— El presente trabajo de investigación muestra como un cambio en la geometría en el área de cierre de la carcasa de guía puede reducir la cantidad de impurezas de aluminio generadas durante el proceso de cierre del ensamble guía para el amortiguador Monotubo en las dimensiones evaluadas en la prueba de contaminación realizada a amortiguadores en una empresa con sede en México, 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 del mismo conglomerado empresarial al que esta pertenece, utilizando a manera estratégica, materia prima regional para cada sede.

Mediante el análisis del sistema tribológico inicial, se constata la influencia de cada uno de los principales elementos y características de estos en los resultados de salida del sistema, por lo que se define un nuevo sistema capaz de satisfacer los objetivos planteados.

Palabras clave— carcasa, cierre, partículas, geometría, tribología

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.

Un ejemplo de esta globalización es un conglomerado empresarial dedicado a la fabricación de autopartes, que, en su división de partes de suspensión, tiene presencia en varios países y ciudades, a fin de cubrir las necesidades particulares de cada región, ya sea con productos específicos o productos globales. Un producto global, es fabricar un mismo tipo de producto en diferentes países, el cual se comercialice en la región en la que se ensamblan, lo que significa que el nivel de calidad del producto ensamblado en una sede es equiparado con el mismo tipo de producto fabricado en otra. En este contexto, una solución o mejora que se plantee debe ser: factible, eficiente y eficaz para las diferentes sedes donde se procese el mismo producto.

En México existe una empresa perteneciente a este conglomerado, misma en la que se desarrolla el presente trabajo de investigación, la cual está dedicada a la fabricación de amortiguadores para el mercado del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (NAFTA, por sus siglas en ingles). En ella se fabrican diferentes tecnologías de amortiguadores, por ejemplo, Monotubo, de la cual se ensamblan productos específicos y globales, compartiendo un producto global con otra empresa ubicada en Europa perteneciente al mismo conglomerado. Durante las primeras fabricaciones en México de dicho producto global, se detectan problemas de contaminación en el interior del amortiguador por cantidad y tamaño de partículas de aluminio. Se determina que la carcasa de guía es el componente del cual se genera dicha contaminación ya que es el único componente de aluminio en este amortiguador, y que estas se generan durante el proceso de cierre del ensamble guía. Este es un proceso de deformación en frío y sin lubricación. Un ejemplo de dichas partículas lo podemos observar en la Figura 1.



Figura 1. Partículas de aluminio

¹ Ing. Emilio Gonzalez Ortiz es Alumno de la Maestría en Manufactura Avanzada en CIATEQ Campus Zapopan, Jalisco, México. ego1984@hotmail.com

El formado de metales, también llamado conformado o deformado, usa la deformación plástica para cambiar la forma de una pieza metálica. La deformación es el resultado del uso de una herramienta que aplica esfuerzos que exceden la resistencia a la fluencia de un metal (Groover, 2007). En la deformación elástica el cuerpo recupera su forma inicial cuando ha cesado la fuerza que modifica su forma. En la deformación plástica, la forma obtenida por la acción de la fuerza se conserva (Heinrich Gerling, 1979). Se dice que un material es conformado en frío cuando la temperatura de deformación no llega a producir cambio en sus estructuras (Byron, 2007).

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 (Manuel Bilbao, 2012). Los problemas de contaminación en el interior de los amortiguadores han generado históricamente reclamaciones de cliente debido a la pérdida de funcionamiento del amortiguador, lo cual repercute en altos costes que absorbe la compañía, insatisfacción del cliente, entre otros. Por experiencia 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, siendo las partículas metálicas de mayor tamaño las más nocivas.

Con el fin de evitar que las partículas de aluminio generadas en el proceso de cierre del ensamble guía sean introducidas al amortiguador, la empresa se realiza actividades adicionales previas a la utilización de los ensamble guía en la línea de producción, tales como limpieza de ensambles guía después del proceso de cierre y paros frecuentes para limpiezas de máquina y herramientas, lo que genera una reducción en la eficiencia de esta operación a un 60%, así como utilización de personal operativo adicional, lo que implica un incremento importante en el coste de operación.

Debido a esto, se plantea como objetivo general para este caso de estudios la reducción de las partículas de aluminio generadas en el proceso de cierre del ensamble guía como un mínimo en 70% para las dimensiones evaluadas en las pruebas de contaminación realizadas al amortiguador ($>400\mu\text{m}$), para así eliminar las actividades y recursos adicionales provistos para limpieza de los ensambles y de la máquina, con el fin de incrementar la eficiencia de esta operación a mínimo el 80%, además de mantener los lineamientos definidos por parte de este conglomerado empresarial para un producto global como son, tener un diseño y un proceso estándar, y utilizar materia prima de la región en los componentes principales, como es el caso de la carcasa de guía, todo esto, con el fin de evitar incrementos en los costos de producción. De esta manera, la solución que se plantee debe asegurar la calidad de los productos 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 la calidad no deseada, debe ser efectiva y sostenible tomando en cuenta todos los factores relacionados en cada sede de producción, evitando esfuerzos y/o coste adicionales para todas las áreas involucradas con el fin de mantener los objetivos financieros planteados para este proyecto.

El término tribología viene del término griego *tribos*, que significa frotamiento 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 las partes móviles o estacionarias (Linares, 2005). Esta se identifica por ser un campo multidisciplinario que incluye áreas como la ciencia y la tecnología de materiales, así como también una gran variedad de áreas como lo son el diseño, mecánicas de sólidos, metalurgia, entre otros (Czichos, Horst, 2003).

La lubricación en un proceso de conformado depende principalmente del lubricante utilizado, porque afecta las fuerzas de fricción entre la interfase herramienta-pieza (Castillo Müller, 2012). En el presente caso de estudios no hay lubricación presente.

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. La 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 (Pedro Albarracín Aguillon, 2007). Este es el tipo de fricción del presente en el caso de estudios.

El desgaste es el daño de la superficie o remoción de material de una o ambas superficies solidas en movimiento relativo, ya sea por deslizamiento, rotura o impacto (Omar Linares Orozco, 2003). A partir de esto, podemos definir a la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre como un desgaste.

Un 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 (Czichos, Horst, 2003).

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 (Klocke, 2013).

Con base a lo mencionado previamente, se realiza una revisión inicial sobre el diseño y las condiciones de proceso para el ensamble guía, a fin de conocer si existen diferencias entre el sistema tribológico definido para México en comparación con el definido para Europa, ya que Europa no se tiene dicho problema.

El análisis de diseño de los componentes del ensamble guía muestra que solo existen 2 diferencias en la carcasa de aluminio: la proveeduría (cada sede utiliza proveedor de su región correspondiente) y la materia prima utilizada (Europa utiliza Al 6082 y México utiliza su equivalente en NAFTA, Al 6061). El resto de los componentes del ensamble guía son los mismos para ambas sedes: utilizan diseño único, misma proveeduría y materia prima.

En el análisis de las condiciones del proceso se precisa que, para el caso de los herramientas, se utiliza los mismos en ambas sedes: utilizan diseño único, misma proveeduría, e igual materia prima y recubrimientos.

Esta revisión inicial indica solo dos diferencias (proveeduría y materia prima de la carcasa de guía) en las condiciones tribológicas definidas para el ensamble guía que se realiza en ambas sedes.

Descripción del Método

Se planteó el desarrollo de esta investigación con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) ya que es necesario probar, analizar y evaluar la influencia de los componentes individuales del sistema tribológico para la minimización del desgaste provocado durante el proceso de cierre realizado en la planta de México.

Verificación cruzada con carcasas de guía

Se realiza una prueba de verificación cruzada intercambiando entre plantas la carcasa de guía ya que es lo único que difiere de acuerdo con la revisión inicial realizada.

Una verificación cruzada significa, verificar (datos, informes, entre otros) desde varios ángulos o fuentes para determinar la validez o precisión de los resultados (Merriam-Webster, 2021).

Previo a la prueba de ensamble se verifica en México, la rugosidad y geometría de la zona de cierre a la carcasa de guía proveniente de Europa y se compara con la de México. Los resultados no muestran diferencias significativas en rugosidad Rz ya que las mediciones arrojaron valores promedio de Rz en carcasa de Europa=6.51 y Rz promedio en carcasa de México=7.65, entre el 20% al 35% de la máxima rugosidad permitida de Rz25. También se aprecia una desviación estándar menor en los valores de rugosidad del proveedor de México en comparación al de Europa, lo que indica una mayor estabilidad del proceso de mecanizado por parte de dicho proveedor. En cuanto a las dimensiones de la geometría en la zona de cierre, los resultados muestran valores muy cercanos al nominal indicado en el plano para este chaflán (-0.3, -0.5 mm). También se realizó una revisión de los certificados de la materia prima y estos indican que su composición química está de acuerdo con la especificación para la materia prima correspondiente. Es de resaltar la diferencia que existe entre estas en elementos como Cobre, Manganeso y Silicio. En dichos certificados también se muestran los resultados de los ensayos mecánicos de realizados a cada materia prima, y estos indican que ambos cumplen con su especificación correspondiente, aunque hay diferencias de hasta 32 Megapascuales en el límite de cedencia y en resistencia a la tensión, así como una diferencia de 4.2% en la elongación.

Se realizan pruebas de ensamble en México con una muestra de 25 carcasas provenientes de Europa, y en Europa con una muestra de 25 carcasas de México. Los resultados mostraron que, con el material de México probado en la sede de Europa, se continúan generando una cantidad importante de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. En México, la prueba con carcasas de guía de Europa muestra en algunas piezas una cantidad mínima de partículas apenas perceptibles, lo que indica que utilizar carcasas del proveedor de Europa en México es una solución al problema presentado. Esto implica un incremento en el costo pieza de la carcasa de guía debido al cambio de proveeduría y materia prima de Al 6061 a Al 6082, además de costes logísticos relacionados, por lo que dichos costes comprometen el resultado financiero para el proyecto utilizado.

Carcasas con Al 6082 producidas en México

Dados los resultados obtenidos en la verificación cruzada, se realiza una prueba de 30 carcasas de guía fabricadas por el proveedor en México con materia prima Al 6082. Se valida la rugosidad en el área de cierre de una muestra 5 de estas carcasas obteniendo como resultado una rugosidad promedio de Rz=9.41, cerca del 40% del máximo permisible de Rz25. Cabe señalar que durante la medición de la rugosidad de estas piezas resaltan picos o elevaciones generados por el proceso de mecanizado del proveedor durante la manufactura de estas piezas.

Se realizan pruebas de ensamble a una muestra de 30 carcasas y solo se detectan 4 filamentos de aluminio en el total de la prueba. Se realizar una segunda muestra de prueba de 30 piezas, y se obtuvieron resultados similares en

cuanto a la generación de filamentos. Con el fin de saber si este ligero incremento en la rugosidad de la zona de cierre la guía fue determinante para la generación de estos filamentos, se realiza una prueba experimental realizando un proceso de alisado con el fin reducir las elevaciones detectadas durante la medición de la rugosidad. Posteriormente se miden nuevamente la rugosidad de la zona de cierre obteniendo como resultado una disminución de la rugosidad promedio de $Rz=9.41$ a $Rz=5.1$. En la Figura 2 se aprecia el cambio en las elevaciones presentes en la zona de cierre de la carcasa de guía entre la condición en la que entrega el proveedor y después del proceso de alisado.

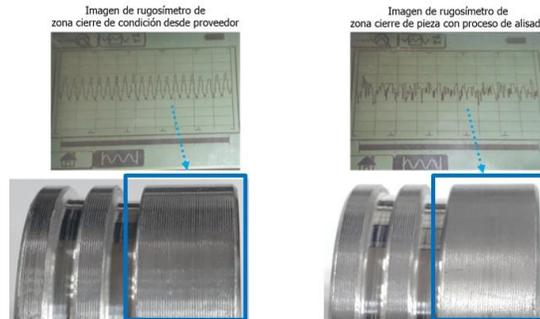


Figura 2. Comparativo de elevaciones en zona de cierre de carcasa de condiciones sin y con proceso de alisado

Posterior a este proceso de alisado se realiza una prueba de ensamble de una muestra de 30 carcasas obteniendo como resultado que no se aprecian ningún tipo de partículas de aluminio durante de la prueba, por lo que indica que el uso de materia prima Al 6082 y agregando un proceso de alisado en la superficie de la zona de cierre de la carcasa, es una solución al problema de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. Esto implica un incremento en el costo pieza debido al cambio de materia prima, así como costos aun no cuantificados debido al proceso adicional de alisado de la superficie, mismo que compromete el resultado financiero del proyecto.

Esta prueba se replicó utilizando materia prima Al 6061 donde los resultados indicaron que aun con la disminución de las elevaciones y de rugosidad promedio de $Rz 7.53$ a $Rz 4.92$, se continua con el problema de generación de partículas de aluminio, lo que indica que el solo cambiar la materia prima y disminuir las elevaciones y rugosidad en la zona de cierre no eliminan o minimizan este problema para esta materia prima.

Prueba con diferentes parámetros de mecanizado y geometrías

Debido a estos resultados y a fin de buscar una solución evitando incrementos de costo por cambio de materia prima, se planteó una serie de pruebas con materia prima Al 6061, modificando los parámetros en el proceso de mecanizado de la carcasa y modificando la geometría del inicio de la zona de cierre. Se probaron inicialmente 3 condiciones diferentes: la primera, reduciendo 25% la velocidad de avance en el proceso de mecanizado en comparación a la definida inicialmente por el proveedor y manteniendo la geometría del chaflán indicada en el dibujo (-0.3,-0.5 mm), la segunda, con la misma velocidad reducida en un 25% para el proceso de mecanizado y modificando la geometría de inicio de la zona de cierre a un radio de 0.4 mm. y la tercera, con la velocidad de mecanizado definida inicialmente por el proveedor y con una geometría de inicio de la zona de cierre de radio de 0.4mm. Previamente a las pruebas de ensamble se mide la rugosidad en la zona de cierre y la geometría, confirmando que en rugosidad promedio para una velocidad de avance en el proceso de mecanizado reducida en 25% es de $Rz 5.79$. mientras que cuando se tiene la velocidad definida inicialmente para este proceso, su promedio es de $Rz 7.68$.

Los resultados de estas muestras indicaron que la modificación de la geometría de la zona cierre (cambiar de chaflán a radio) tiene una mayor influencia en la reducción significativa en la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre.

Probando geometrías: radio vs nuevo chaflán

Los resultados de las pruebas anteriores mostraron la importancia que tiene la geometría en el inicio de la zona de cierre de la carcasa. Con esto se plantea una nueva serie de pruebas con dos geometrías diferentes: radio de 0.4 mm. y chaflán de 1.0 mm. x 60°. La primera, derivada de las pruebas realizadas en México y la segunda, definida por el centro de desarrollo tecnológico de este conglomerado después de una serie de pruebas realizadas en este.

Los resultados de estas muestras indicaron que con una geometría de chaflán de 1.0 x 60° se minimizó la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre siendo hasta el momento el mejor resultado de las pruebas ya realizadas. Con el fin de asegurar la calidad de los ensambles con esta modificación en la geometría, se realizan pruebas de resistencia del cierre del ensamble guía mediante la extracción del inserto de guía donde el mínimo

requerido es de 10 KN. Los resultados muestran los siguientes promedios la prueba de extracción para las 3 condiciones probadas: para la chaflán de $-0.3,-0.5$ mm era de 16.57 KN, con radio de 0.4 era de 18.34 KN y para el chaflán de 1.0 mm x 60° fue de 14.19 KN. Cabe mencionar que los resultados que mostraron una desviación estándar menor (igual a 1) fueron los de chaflán 1.0 x 60° , lo que indica un comportamiento más estable en esta condición. En la Figura 3, se aprecia una imagen de la carcasa de guía, así como un esquema del proceso de cierre justo antes de tener contacto la herramienta de cierre en azul y la carcasa de guía en gris, para ambas geometrías de chaflán.



Figura 3. Comparativo de imagenes de chaflanes vs herramienta de cierre.

Probando la influencia del recubrimiento de la herramienta

Una vez que se obtuvo una mejoría significativa en la disminución de generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre con el cambio de la geometría del chaflán a 1.0 mm. x 60° en el inicio de la zona de cierre de la carcasa, se prueban 2 recubrimientos diferentes al inicial (recubrimiento A) en la herramienta de cierre, el cual es un factor de entrada en el sistema tribológico, con el fin de mejorar su desempeño en la reducción de la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre. Con esto, las constantes del sistema tribológico a probar son: Condiciones estándar establecidas desde un inicio para la manufactura de carcasa, uso de materia prima Al 6061, nuevo 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 de guía, teniendo al recubrimiento de la herramienta como única variable a probar. Para esta prueba se utilizaron dos herramientas de diseño estándar: un herramienta por cada recubrimiento (recubrimiento B y recubrimiento C), fabricados por el mismo proveedor del herramienta estándar. Las principales características de los recubrimientos son las siguientes. Recubrimiento A: es utilizado en herramientas, rodamientos y componentes de precisión debido a sus beneficios como reductor de fricción. Recubrimiento B: es ideal para mecanizados de aleaciones de aluminio y otros metales no ferrosos como el cobre, la plata u oro. Recubrimiento C: este proporciona protección contra el desgaste por abrasión y adherencia en condiciones de trabajo de lubricación mínima o de trabajo en seco.

Se realizó una prueba con una muestra de 100 piezas con el nuevo sistema tribológico mencionado previamente para las herramientas con recubrimiento B y C respectivamente. Como resultado del uso de la herramienta con recubrimiento B se pudo observar un incremento en la cantidad de partículas generadas por el proceso de cierre, en comparación con las generadas con la herramienta con recubrimiento inicial A. En cambio, con el uso de la herramienta con recubrimiento tipo C se tuvo una influencia positiva al minimizar la generación de partículas de en comparación con el uso de la herramienta con el recubrimiento inicial A. Debido a esto se amplía la muestra a 500 piezas, con el fin de confirmar la constancia en la mejora. El resultado muestra que del total de piezas solo en 4 piezas no consecutivas se detectó una mínima cantidad de partículas de aluminio, lo que confirma que el nuevo sistema tribológico el cual consta de: condiciones estándar establecidas para la manufactura de carcasa, materia prima Al 6061, chaflán de 1.0 mm. x 60° en la geometría del inicio de la zona de cierre, condiciones estándar para el proceso de ensamble y recubrimiento C en la herramienta de cierre, es el que minimiza la generación de partículas de aluminio durante el proceso de cierre.

Evaluando el nuevo sistema tribológico

Se realizó una prueba de evaluación de contaminantes similar a la que se le realiza al amortiguador, a una muestra de 10 ensambles guía procesados con el sistema tribológico inicial y 10 ensambles guía con el nuevo sistema tribológico con el fin de comparar la cantidad de partículas generadas en ambos sistemas y poder medir la mejora visualizada. 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%, por lo que se confirma que este nuevo sistema tribológico es capaz de minimizar la generación de partículas de aluminio, cumpliendo los objetivos planteados. El detalle de estos resultados lo podemos observar en la Figura 4.

Tamaño de partículas metálicas (µm)		Tamaño de partículas medible en prueba para amortiguador						
		50-100	100-150	150-200	200-400	400-600	600-1000	1000
Sistema tribológico inicial	Cantidad de partículas (total 10 piezas)	2206	1265	524	510	98	68	7
Nuevo sistema tribológico	Cantidad de partículas (total 10 piezas)	1090	612	220	145	15	1	0
Porcentaje de reducción		-50.59%	-51.62%	-58.02%	-71.57%	-84.69%	-98.53%	-100.00%

Figura 4. Imagen de resultados de evaluación de contaminantes

Comentarios Finales

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.

Resumen de resultados

Los resultados proporcionan soporte concluyente de que modificando la geometría de chaflán a 1.0 mm. x 60° en el inicio de la zona de cierre de la carcasa de guía y utilizando el 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 como mínimo en un 70% en las dimensiones evaluadas en la prueba de contaminación para amortiguadores por lo que se cumple con el objetivo general planteado. Con estos resultados, se eliminan las actividades provistas para limpieza de los ensambles guía y de la máquina, en consecuencia, se incrementó la eficiencia a un 85% en promedio para este proceso, eliminando así el tiempo extraordinario y sus costes inherentes necesarios para cumplir con la demanda del cliente. Todo esto se logra evitando un incremento en el costo-pieza de la carcasa de aluminio.

Conclusiones

Podemos concluir a partir de los resultados 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 y con un proceso estándar de ensamblaje de la guía.

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 de 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 del sistema a estudiar a fin de encontrar la solución idónea al problema presentado.

Referencias

- Byron, I. (2007). *Dimensionamiento y construcción de una roladora manual para un laboratorio* [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1504>
- Castillo Müller, I. (2012). *Estudio Tribológico de Lubricantes y Recubrimientos Duros en el Proceso de Estampado*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- Czichos, Horst, K.-H. H. und K. G. (2003). *Tribologie-Handbuch. Reibung und Verschleiß*. (2nd ed.). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Heinrich Gerling. (1979). *Moldeo y conformación: libros de consulta acerca de los procedimientos de fabricación*. Reverté.
- Linares, O. (2005). TRIBOLOGÍA Y MANTENIMIENTO PROACTIVO Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. *Asme*, 1, 10.
- Manuel Bilbao, A. M. (2012). Contaje de partículas. *IK4 TEKNIKER*, 1–13.
- Merriam-Webster. (2021). "Cross-check." Dictionary, Merriam-Webster. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/cross-check>
- Omar Linares Orozco. (2003). LA TRIBOLOGÍA; FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN. Vol. 1, 39–46.
- Pedro Albarracín Aguillon, C. R. (2007). TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN Dictado a: Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA. "TRIBOLOGÍA Y LUBRICACIÓN," 181.

Notas Biográficas

El Ing. Emilio Gonzalez Ortiz es alumno de Posgrado de la Maestría en Manufactura Avanzada en CIATEQ campus Zapopan. Actualmente trabaja para el conglomerado empresarial en la sede ubicada en México como Ingeniero CoC, dedicado a la investigación, estandarización de procesos e industrialización de nuevos productos para las líneas de ensamble de amortiguadores Monotubo.