

Metodología para el Auto-Ajuste de la Posición del Herramental de Presión en el Sellado de Amortiguadores con el Método Bend Roll Closing

Ing. Luis Iván Castellanos Ortiz¹ y Dr. Ernesto Chavero Navarrete²

Resumen— Un amortiguador es un dispositivo para balancear cargas en un vehículo. El sellado evita fugas de fluido y genera una fuerza residual al interior para mantener los componentes precargados de esta fuerza. El proceso de sellado es crítico, la herramienta sufre desgaste y debe reemplazarse o ajustarse manualmente, esto implica riesgos de seguridad para el usuario. Este trabajo propone una alternativa para minimizar estos riesgos.

La metodología consiste en optimizar la posición del porta herramental de manera autónoma. Se utilizan dispositivos mecánicos y electrónicos existentes, se estudia su desempeño, y se aplica una relación analítica entre la gama de herramientas. Se implemento esta metodología fabricando amortiguadores con el método *bend roll closing* (doblez por rodillo) en máquinas con diferentes ciclos de fabricación y longitudes de herramental para descartar backlash. Se obtuvieron valores dentro de especificación y se maximizó la vida útil del herramental al menos el 75%.

Palabras clave— amortiguadores, sellos a presión, auto-ajuste, bend roll closing.

Introducción

Un amortiguador es un dispositivo mecánico que tiene como función dar confort y seguridad al usuario de vehículos motor. Se encarga de controlar y absorber los movimientos de la carrocería por imperfecciones del camino y están situados entre el chasis del vehículo y las ruedas. Su funcionamiento se basa en dos pasos: Compresión y Tracción.

El amortiguador está construido por un eje central y dos tubos, uno dentro del otro. El tubo exterior e interior son llenados con aceite y gas. En un extremo, el eje central se sujeta al vehículo, en el otro extremo se monta un pistón que se desplaza a lo largo del tubo cilindro. El pistón y la válvula de fondo trabajan en conjunto para regular el paso de aceite a través de los diferentes componentes interiores del amortiguador y con ello genera las diferentes cargas de amortiguación las cuales sirven para balancear las cargas del vehículo.

El proceso de sellado tiene como finalidad el mantener libre de fugas de aceite al amortiguador, así como generar una fuerza residual al interior del tubo para mantener los componentes interiores del amortiguador precargados de esta fuerza y que el performance del amortiguador se mantenga durante toda su vida útil del amortiguador.

El proceso de sellado es uno de los más críticos dentro del ciclo de fabricación del amortiguador, debido a que el ajuste de la posición del herramental de pieza de presión se realiza de manera manual. La herramienta sufre un desgaste propio de su aplicación y debe de ajustarse o reemplazarse. El realizar ajustes manuales de procesos críticos con lleva altos riesgos de seguridad para el usuario final entre otros problemas. Por lo tanto, se buscan alternativas para eliminar estos riesgos.

Después de defectos detectados en el amortiguador, un estudio de causa raíz indico que estos defectos se deben a la manipulación manual de parámetros en este caso del ajuste de altura del herramental de presión. Por esta razón se se requiere trabajar en evitar este tipo de ajustes manuales, se busca una solución que evite tener la incidencia de errores humanos.

El método actual de sellado de amortiguador es mediante “*bend roll closing*” (doblado por rodillos), una prensa con el herramental de presión baja para aplicar precarga a los componentes interiores y posteriormente con el cabezal de sellado hacer el dobléz. El reemplazo del herramental de presión se realiza mediante el dimensionamiento de la propia herramienta y comparándolo con su dibujo mecánico, si está fuera de especificación es reemplazado. Sin embargo, estos herramientas pueden continuar utilizándose siempre y cuando se realice un ajuste manual de parámetros en el proceso. Debido a su desgaste natural, el cambio continuo del herramental de presión genera sobre costos de manufactura los cuales incrementan los costes del precio del amortiguador. El ajuste manual de parámetros genera riesgos de calidad en el producto, debido a que este tipo de ajuste solamente lo pueden realizar personal altamente calificado, aun así, representa un riesgo potencial.

¹ Luis Ivan Castellanos Ortiz es estudiante de la Maestría en Procesos de Manufactura en el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ AC, Zapopan, Jalisco. ivan.castellanos1980@gmail.com (autor corresponsal)

² Dr. Ernesto Chavero Navarrete es Profesor-Investigador de sistemas de control automático e inteligencia artificial en el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ AC, Querétaro, Querétaro. ernesto.chavero@ciateq.mx

Con el escenario anteriormente mencionado, este trabajo de investigación plantea una alternativa para no depender del factor humano en la medición de una pieza o el ajuste manual. Se busca hacer que la máquina de manera autónoma realice el ajuste, analizando los factores de riesgo y utilizando la tecnología ya existente en la propia máquina para poderlo lograrlo. Se tiene entonces el objetivo de desarrollar el método de ajuste de parámetro de posición del herramental de manera automática para toda la gama de herramientas utilizadas en el proceso de sellado de amortiguadores y con longitud desconocida debido al desgaste.

Para el logro de este objetivo se implementa la siguiente metodología:

1.- Evaluar la repetibilidad del posicionamiento del porta herramental mediante un análisis estadístico, dentro del rango de trabajo desde 0 hasta -3.75 mm con una tolerancia de +/- 0.05 mm

2.- Analizar la influencia de holguras mecánicas Backlash con un comparativo del sistema de control de fuerza y distancia entre una maquina con menos de 100,000 ciclos de trabajo y una maquina con más de 7,000,000 de ciclos de trabajo.

3.- Comprobar el máximo ajuste del porta herramienta de acuerdo con las especificaciones dimensionales de los diferentes diseños de herramienta y la posición real en la máquina.

4.- Desarrollar los algoritmos de control en el PLC para la rutina de ajuste automático en máquina.

5.- Validar la vida útil de la herramienta utilizando la metodología propuesta en el proceso de sellado de amortiguadores, con diferentes longitudes de herramientas tanto para una maquina con menos de 100,000 ciclos de trabajo y una maquina con más de 7,000,000 de ciclos de trabajo.

Se implemento esta metodología fabricando amortiguadores en máquinas con menos de 100,000 ciclos de fabricación y en máquinas con más de 7,000,000 de ciclos, utilizando diferentes longitudes de herramental, en todos los casos logrando obtener un resultado dentro de especificación del ensamble.

Descripción del Método

Esta metodología se implementa en dos máquinas de sellado estándar, una de ellas localizada en el área de prototipos con 100,000 ciclos de trabajo y la otra en el área de producción A7 con 7,000,000 ciclos de trabajo, ambas con condiciones ambientales similares. Las máquinas cuentan con los mismos controles y sistemas originales de fábrica.

Mediante un diseño de experimentos serán manipuladas las variables independientes: posición de unidad de ajuste de altura del porta herramental y la longitud de trabajo del herramental. Las variables dependientes son la fuerza residual y la aplicación de precarga definida. La recolección de datos se realizó a través de métodos de análisis de máximos y mínimos de tolerancias de longitud de materiales, buscando que en condiciones críticas la metodología sea funcional y repetitiva.

En la Figura 1 se muestra un esquema de una máquina para sellado por el método *bend roll closing*.

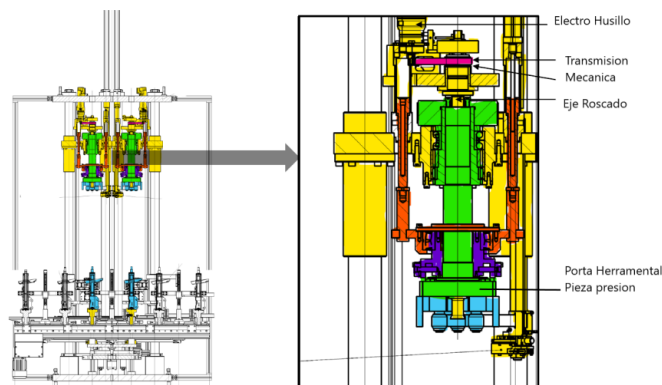


Figura 1. Diagrama esquemático de una máquina para sellado *bend roll closing*.

Las especificaciones del modelo de amortiguador utilizado para esta experimentación se muestran en el Cuadro 1.

Tipo de Amortiguador:	STRUT
Eje:	FRONTAL
Dimensión Pistón/ Flecha:	36 / 22 mm
Diámetro tubo deposito:	50.40 mm
Espesor tubo deposito: (mínimo - máximo)	1.98 mm - 2.42 mm
Diámetro interior tubo deposito: (mínimo - máximo)	35.3 mm – 38.2 mm
Fuerza remanente: (mínimo - máximo)	12 KN – 16KN

Cuadro 1. Especificaciones del amortiguador utilizado en pruebas.

Repetibilidad del posicionamiento del porta herramental

Se evaluó en ambas máquinas la repetibilidad del posicionamiento del porta herramental mediante un análisis estadístico, dentro del rango de trabajo del proceso desde 0 hasta -3.75 mm con una tolerancia de +/- 0.05 mm. Utilizando un herramental especialmente diseñado para este propósito.

Esta evaluación se realizó con diferentes ciclos de repeticiones en determinado rango del espacio de trabajo:

- 1.- Treinta repeticiones entre el rango de - 1.4 mm y - 3.1 mm, dos posiciones diferentes intercaladas entre sí.
- 2.- Diez ciclos con 6 repeticiones diferentes en un rango entre -0.5 mm hasta -3.5 mm, dividida en segmentos de 0.5 mm de forma aleatoria.
- 3.- Tres ciclos con 16 posiciones diferentes cada una, con valores de posición desde 0 mm hasta -3.75 mm, dividida en segmentos de 0.25 mm de forma aleatoria.

Análisis de Backlash

El sistema de control de fuerza y distancia es controlado por sistemas servo hidráulicos utilizando en su control sistemas HNC-100. La detección de fuerza de precarga se realiza utilizando una celda de carga en la base inferior del porta herramental inferior, con una capacidad máxima de 50 KN.

Este análisis se hizo para cada una de las máquinas en dos diferentes secuencias.

- 1.- Cinco posiciones diferentes del porta herramental (0,-1, -0.05, -0.1 y -0.5 mm), con una única herramienta de presión en su longitud nominal, alcanzando fuerzas desde los 3 KN hasta los 30 KN en 11 diferentes ciclos para cada una de las posiciones del porta herramental.
- 2.- Una posición fija del porta herramental de -1.5 mm, utilizando tres diferentes longitudes de herramientas (57.5, 57.45 y 56.54 mm).

Ajuste máximo del porta herramienta

El ajuste máximo del porta herramental se definió por un análisis de toda la gama de diseños disponibles de la herramienta de presión. Se encontró que el menor espesor existente es de 0.6 mm, por lo que el máximo ajuste del porta herramienta será de 0.5 mm, para tener cierta tolerancia.

Pruebas de funcionamiento

Después del análisis previo se desarrollaron los algoritmos de control para el ajuste automático en la máquina de prototipos, para después ser replicado en cualquier máquina.

Se validó la vida útil de la herramienta de presión maximizada, para ello se realizó el sellado de amortiguadores en su mínima y en su máxima longitud, de acuerdo con las especificaciones del producto. Se utilizó una herramienta en su longitud nominal y una herramienta con el desgaste máximo definido, el cual será el mismo ajuste del porta herramental de 0.5 mm.

La Figura 2 muestra esquemáticamente lo que fue simulado en el proceso. En a) se muestra la posición de la herramienta respecto al rodillo de sellado y del retén, posición ideal. En b) la misma posición del porta herramental, pero con una herramienta desgastada. En c) se representa el resultado de sellar con una herramienta desgastada, se tiene un adelgazamiento en la zona de sellado (en color rojo). Finalmente, en d) se tiene el mismo herramental desgastado con un ajuste en la posición del porta herramental.

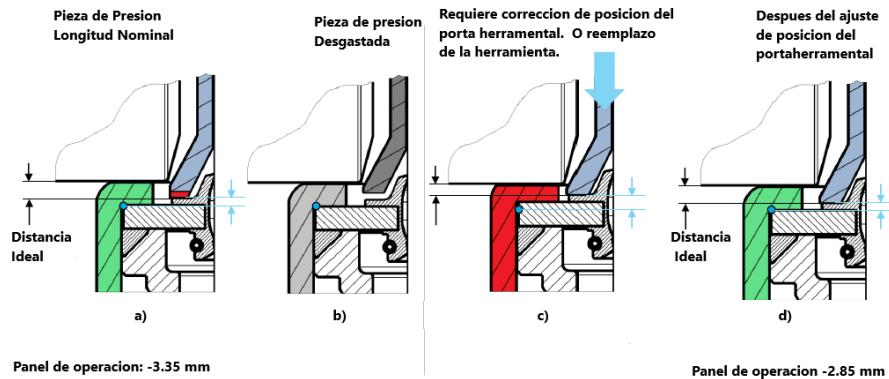


Figura 2. Comparación entre un herramental de presión desgastado y un herramental de presión ajustado en posición.

Resultados y discusión

Evaluación del posicionamiento del porta herramental

Para la condición de posicionamiento del porta herramental la maquina con menor cantidad de ciclos tiene una mejor habilidad de proceso (CPK) y un mejor desempeño de proceso (Ppk). En la Figura 3, se muestra un resumen de los resultados del análisis estadístico. Se confirma que para el posicionamiento del porta herramental a pesar de la diferencia de ciclos de trabajo ambas maquinas cumplen y logran posicionarse adecuadamente y con un buen rendimiento.

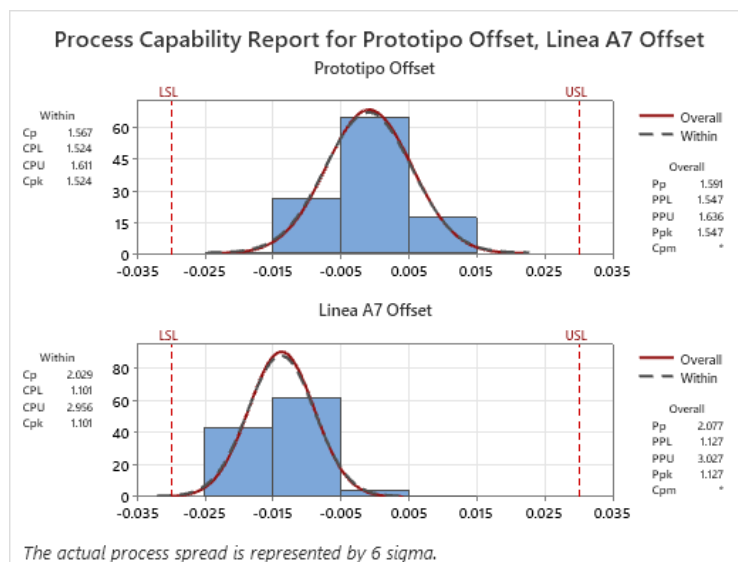


Figura 3. Análisis estadístico de repetibilidad del sistema de posicionamiento de herramental.

Análisis de Backlash

La fuerza de precarga registrada en diferentes posiciones en la máquina de prototipos y en la máquina de producción mostro algunas diferencias. La máquina de prototipos con menor número de ciclos de trabajo presento un mejor control sobre todo para fuerzas bajas, sin embargo, esta deficiencia en la máquina de producción no genera una influencia en el proceso de sellado, debido a que se utilizan fuerzas mayores a los 12 KN y un máximo de 30 KN. Por lo anterior, se concluye que el *backlash* que presentan las maquinas con mayor número de ciclos de trabajo, no incide directamente en la calidad del sellado.

La Figura 4 muestra gráficamente el registro de la fuerza de precarga con el sistema de control de fuerza y distancia en a) la máquina de prototipos y en b) la máquina de producción A7.

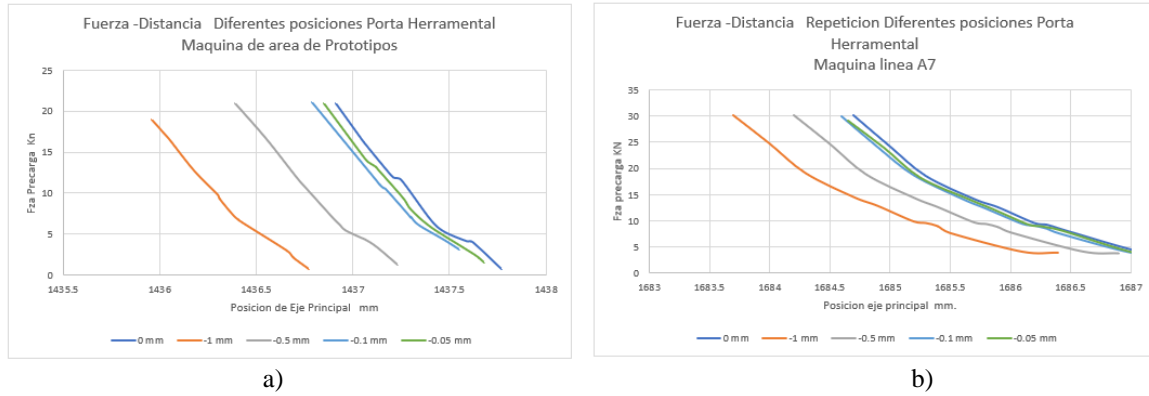


Figura 4. Registro de la fuerza de precarga en a) la máquina de prototipos y en b) la máquina de producción A7.

Pruebas de funcionamiento

Después de haber automatizado la máquina para el sellado de piezas y seleccionar los parámetros que cumplen con el diseño del producto, se realizó el registro de los valores de pruebas. Este registro nos indica los resultados obtenidos después del sellado utilizando dos herramientas, una nueva con el ajuste de posición en -3.20 mm con una longitud de herramienta de 57.45 mm, y una herramienta desgastada con ajuste de posición automático de -2.70 mm utilizada para una herramienta de longitud de 56.95mm. En el cuadro 2 se tiene el registro de pruebas donde resalta el registro de la fuerza remanente para ambas pruebas.

Longitud UEB	Nominal	Nominal	Flecha	Minimo	Maximo	Minimo	Maximo	Flecha
REGISTRO DE PRUEBAS	19	20	21	22	23	24	25	26
Ø Ext. antes de sellar (mm)	50.41	50.42	50.45	50.48	50.45	50.40	50.55	50.50
	50.47	50.55	50.52	50.44	50.47	50.46	50.40	50.47
Esp. tubo dep. antes de sellar (mm)	2.18	2.18	2.20	2.15	2.06	2.17	2.13	2.23
	2.20	2.22	2.19	2.24	2.33	2.20	2.20	2.21
Precarga en Máquina (Kn)	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
Pos. pza. de Presión (mm)	-3.20	-2.70	-2.70	-2.70	-2.70	-3.20	-3.20	-3.20
Ángulo de sellado (grados)	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5
UEB en máquina (mm)	5.73	5.73	5.73	5	6.15	5.1	6.18	5.74
Fuerza Remanente (Kn)	15.67	15.13	15.10	15.10	16.35	14.52	16.12	15.10
Ø Ext. después de sellar (mm)	50.46	50.42	50.41	50.45	50.48	50.44	50.48	50.49
	50.47	50.47	50.45	50.43	50.47	50.49	50.42	50.46
Ø Int. después de sellar (mm)	36.54	36.66	36.94	38.09	35.40	38.13	35.53	36.36
	36.51	36.67	36.89	38.02	35.38	38.11	35.47	36.41
Apariencia del ángulo de sellado	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano
Espesor del área de sellado (mm)								
Longitud de Herramienta (mm)	57.45	56.95	56.95	56.95	56.95	57.45	57.45	57.45
Valor de Calibración (mm)	15.53	16.03	16.03	16.03	16.03	15.53	15.53	15.53

Cuadro 1. Registro de pruebas de sellado con ajuste automático del porta herramental.

La Figura 5 nos muestra un comparativo de un corte seccional de piezas selladas con ambas herramientas, donde el resultado del adelgazamiento del tubo, flexión de reten y dobléz de la lámina es sin diferencias relevantes entre un herramental nuevo y uno ajustado automáticamente, por lo que se cumple con la especificación de proceso y producto.

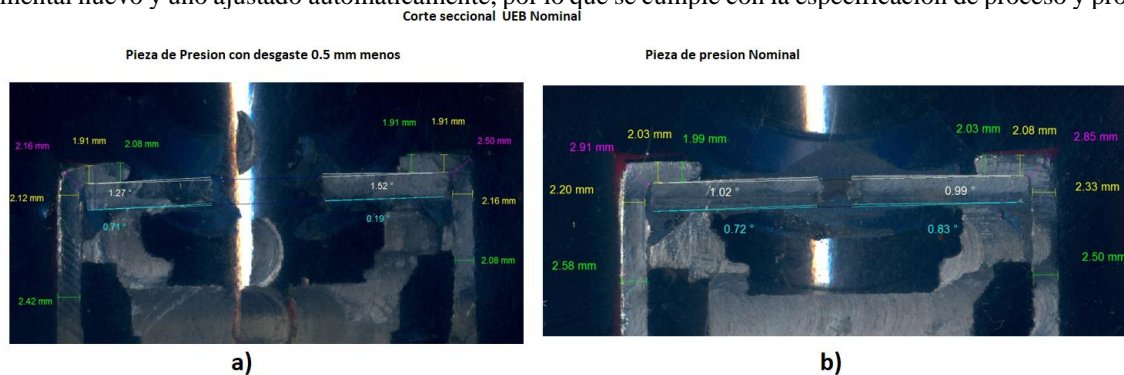


Figura 5. Corte seccional para un herramental de presión a) nuevo b) desgastado con auto-ajuste de posición.

Comentarios finales

En este trabajo de investigación se confirmó que, en máquinas de sellado de amortiguadores con diferentes ciclos de trabajo, las diferencias entre sus sistemas de posicionamiento de la herramienta de presión y el sistema de control de fuerza y distancia no representan un problema para la implementación de un algoritmo de auto ajuste de posición.

Los resultados demuestran que es posible implementar esta metodología en máquinas con diferente tiempo de uso, por tanto, es posible reutilizar la herramienta de presión con lo que se incrementaría su vida útil hasta 10 veces más, sin la necesidad de cambios de diseño o tipo de material, esto representa un ahorro económico considerable de equipamiento en herramientas.

Por otro lado, la reducción o eliminación de los errores por manipulación del operador dan confiabilidad al producto reduciendo las pérdidas por scrap o retrabajos y sobre todo dan la seguridad al usuario final de un amortiguador eficiente, libre de riesgos.

De igual manera, esta investigación trata de motivar a los ingenieros en diseño mecánico y responsables en áreas de mantenimiento, en desarrollar la creatividad para la solución de problemas con soluciones de costo mínimo que crean grandes ahorros en recursos y que indirectamente contribuyen al cuidado del medio ambiente.

Referencias

I. Cerrillo, A. Rodríguez y G. Urbikain, de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU); S. Bretones, de INTI-Tucumán; y D. Martínez Krahmer, del INTI-Mecánica 15/06/2016

Grandes mecanizados: Nuevas tecnologías de fijación y posicionamiento. (n.d.). Interempresas. Retrieved August 14, 2021, from <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/158132-Grandes-mecanizados-nuevas-tecnologias-de-fijacion-y-posicionamiento.html>

plc, R. (n.d.). Renishaw: Tecnología de reglaje de herramientas. Renishaw. Retrieved August 14, 2021, from <http://www.renishaw.es/es/tecnologia-de-reglaje-de-herramientas--32934>

Amendment to the Theory of the Fracture of Brittle Materials as an Equilibrium of Surface and Cohesion Energy TECHNICAL NOTE Elias Th. Stamboliadis Department of Mineral Resources, Technical University of Crete, 73100 Chania, Greece,
e-mail: elistach(a).mred. tue, gr

Matar, M., Parodi, M. A., Repetto, C. E., & Roatta, A. (2017). Modelización lineal de un sistema masa-resorte real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(2). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0238>

Low-Cost Servomotor Driver for PFM Control by David Aragon-Jurado, Arturo Morgado-Estevez and Fernando Perez-Peña *
School of Engineering, University of Cadiz, PC 11519 Puerto Real, Cadiz, Spain* Author to whom correspondence should be addressed.
Sensors 2018, 18(1), 93; <https://doi.org/10.3390/s18010093> Received: 20 November 2017 / Revised: 16 December 2017 / Accepted: 28 December 2017 / Published: 31 December 2017

Low-Cost Servomotor Driver for PFM Control. (s. f.). <https://doi.org/10.3390/s18010093>

1 Azar, A. T., & Serrano, F. E. (2015). Stabilization and Control of Mechanical Systems with Backlash. *Handbook of Research on Advanced Intelligent Control Engineering and Automation*, 1-60. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-7248-2.ch001>.

ASALE, R.-, & RAE. (n.d.). Ajuste | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Retrieved November 2, 2021, from <https://dle.rae.es/ajuste>

Notas Biográficas

El **Ing. Luis Iván Castellanos Ortíz** es egresado de la Licenciatura de Ingeniería Mecánica Eléctrica del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería, ha laborado por 16 años en la industria de la rama automotriz. Participo como ponente en el XXI Congreso internacional de ahorro de energía. Agosto 2010

El **Dr. Ernesto Chavero Navarrete** es egresado de la Universidad Autónoma de Querétaro, con un doctorado en ingeniería y una maestría en control automático y sistemas dinámicos. Profesor en el posgrado PNPC de CONACYT-CIATEQ AC en la maestría y doctorado en Manufactura avanzada. Ha participado en más de 30 proyectos tecnológicos con diversos artículos publicados JCR.