

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



*Metodología para el auto ajuste de la posición del
herramental de presión en el sellado de amortiguadores
con el método bend roll closing*

TESIS QUE PRESENTA

Ing. Luis Iván Castellanos Ortiz
Asesor: Dr. Ernesto Chavero Navarrete

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Guadalajara, Jalisco
enero, 2022

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



Santiago de Querétaro, Gro.

12 de noviembre de 2021

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
PCIATEQ

PRESENTE

Por medio de la presente me dirijo a Usted de la manera mas atenta, de que fui asignado como revisor del trabajo de tesis del **Ing. Luis Ivan Castellanos Ortiz**, con el trabajo titulado:

"Metodología para el auto ajuste de la posición del herramental de presión en el sellado de amortiguadores con el método bend roll closing."

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de esta manera pueda iniciar los tramites correspondientes para iniciar con el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que sirva prestar a la presente.

Dr. Ernesto Chavero Navarrete

ASESOR

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Lerma, Estado de México, 28 de diciembre del 2021.

Mtropol. 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 (la) alumno (a) **Luis Iván Castellanos Ortiz**, cuyo título es:

Metodología para el auto ajuste de la posición del herramental de presión en el sellado de amortiguadores con el método bend roll closing

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el (la) alumno(a), 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,

M. en C., Cynthia Eloisa Camacho Castillo

F31b Revisión: 01-Mar-202

DEDICATORIA

Dedicado a mis Hijos Mayka Valentina y Luka Santiago, para que en algún momento de su vida lo tomen como una referencia de dedicación y esfuerzo para tomar las oportunidades y retos que les presente la vida para su futuro desarrollo. Y que nunca olviden que la vida no se trata de rendirse a la primera, si no de cuantas veces te repones y sigues.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Elizabeth por su entusiasmo, paciencia e impulsarme a continuar hasta lograrlo.

A mis hijos Valentina y Luka, que, aunque pequeños son, con sus sonrisas y llantos me dieron el aliciente para no desistir.

A mis padres Gloria y Francisco, por siempre estar al pendiente de mi progreso y recordarme que, para el futuro cuenta.

A mi asesor Ernesto Chavero por guiarme en el desarrollo de este trabajo.

A la empresa ZF y al grupo de trabajo que pertenezco por apoyarme y darme las facilidades para concluir con este proyecto.

* * *

RESUMEN

Un amortiguador es un dispositivo mecánico que tiene como función dar confort y seguridad al usuario de vehículos motor. Su funcionamiento se basa en dos pasos: Compresión y Tracción. Ambos son controlados por sistemas de válvulas hidráulicas los cuales regulan el paso de aceite para balancear las cargas del vehículo.

El proceso de sellado tiene como finalidad, el mantener libre de fugas de aceite y gas al amortiguador, así como generar una fuerza residual al interior del tubo deposito 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 como puede ser la pérdida de control del vehículo, entre otros problemas. Por lo tanto, se buscan alternativas para eliminar estos riesgos.

La investigación se enfoca en definir la metodología para optimizar la posición de la porta herramental de la pieza de presión de manera autónoma, utilizando dispositivos mecánicos y electrónicos ya existentes bajo el método *bend roll closing* (doblez por rodillo). A su vez maximizar la vida útil del herramental al menos del 75%. Se propone una relación analítica entre toda la gama de diseños de pieza de presión existentes y un estudio de la habilidad de los dispositivos electrónicos y mecánicos involucrados, descartando influencia de *backlash* (holgura mecánica). 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.

Palabras clave: Ingeniería y tecnología, Tecnología de la instrumentación, Tecnología de la automatización.

ABSTRACT

A shock absorber is a mechanical device whose function is to provide comfort and safety to the user of motor vehicles. Its operation is based on two steps: Compression and Traction. Both are controlled by hydraulic valve systems which regulate the oil flow to balance the vehicle loads.

The purpose of the sealing process is to keep the shock absorber free of oil and gas leaks, as well as to generate a residual force inside the reservoir tube to keep the inner components of the shock absorber preloaded with this force and to maintain the performance of the shock absorber throughout its useful life.

The sealing process is one of the most critical in the shock absorber manufacturing cycle, because the adjustment of the position of the pressure piece tooling is done manually. The tooling undergoes wear due to its application and must be adjusted or replaced. Performing manual adjustments of critical processes carries high safety risks for the end user like the lost of vehicle control among other problems. Therefore, alternatives are sought to eliminate these risks.

The research is focused on defining the methodology to optimize the position of the tool holder of the pressure part in an autonomous way, using existing mechanical and electronic devices under the bend roll closing method. At the same time maximize the tooling life to at least 75%. An analytical relationship is proposed between the full range of existing pressure part designs and a study of the ability of the electronic and mechanical devices involved, ruling out the influence of backlash. This methodology was implemented by manufacturing shock absorbers on machines with less than 100,000 manufacturing cycles and on machines with more than 7,000,000 cycles, using different lengths of tooling, in all cases achieving a result within the assembly specification.

Keywords: Engineering and technology, Instrumentation technology, Automation technology.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
GLOSARIO	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. HIPÓTESIS.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. ESTADO DEL ARTE	7
2.1.1. Posicionamiento actual de la herramienta	8
2.1.2. Técnicas de posicionamiento	9
2.2. PROCESO DE SELLADO	10
2.3. FUERZA DE PRECARGA.....	12
2.4. FUERZA RESIDUAL.....	14
2.5. AJUSTE DE ALTURA DEL PORTA HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN.....	17
2.6. HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN	18
2.7. ELECTRO HUSILLO / ELECTRO SPINDEL	20
2.8. HOLGURA MECÁNICA / BACKLASH.....	20
2.9. MEDICIÓN DE FUERZA RESIDUAL	22
2.10. ANÁLISIS DE REGRESIÓN.....	24
2.10.1. Regresión lineal simple	24
2.10.2. Regresión múltiple	25
3. PROCEDIMIENTO.....	26
3.1. OBJETO DE ESTUDIO	27

3.2. REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO DEL PORTA HERRAMENTAL.....	30
3.2.1. Repetibilidad máquina de línea A7.....	33
3.2.2. Repetibilidad máquina de área de prototipos	38
3.3. SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA Y DISTANCIA	43
3.3.1. Validación de sistemas de control en máquina línea A7	46
3.3.2. Validación de sistemas de control en máquina de prototipos.....	49
3.5. AJUSTE MÁXIMO DEL PORTA HERRAMENTAL	52
3.5. PRUEBA DE SELLADO Y VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA	53
3.5.1. Diseño de amortiguador.....	53
3.5.2. Herramentales	55
3.5.3. Parametrización.....	56
3.5.4. Dimensionamiento de piezas después de sellado	58
3.6. PROGRAMACIÓN DE ALGORITMO DE CONTROL EN PLC.....	60
3.6.1. Secuencias de funcionamiento	61
3.6.2. Señales de entrada y salida del PLC	64
3.6.3. Programación	67
4. RESULTADOS	71
4.1. REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO DEL PORTA HERRAMENTAL.....	71
4.2. SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA Y DISTANCIA	72
4.3. SELLADO DE AMORTIGUADORES Y EVALUACIÓN DEL AJUSTE AUTOMÁTICO DEL PORTA HERRAMENTAL CON EL MÉTODO PROPUESTO	79
4.4. VIDA ÚTIL DEL HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN.....	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	88
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	89
REFERENCIAS	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El amortiguador y sus componentes. a) Antes de sellar. b) Después de sellar.....	11
Figura 2. Tipos de sellado en amortiguadores. a) Sellado orbital. b) Sellado <i>grampado</i> . c) Sellado <i>bend roll closing</i>	12
Figura 3. Transmisión de la fuerza de precarga a través del herramental pieza de presión.	13
Figura 4. Fuerzas actuantes en el amortiguador. a) Fuerza de precarga. b) Fuerza residual.	15
Figura 5. Relación entra la fuerza de precarga y fuerza residual y su efecto en las longitudes del tubo cilindro y deposito.	16
Figura 6. Posición ideal de la pieza de presión y punto de giro del herramental pieza de presión.	18
Figura 7. Diseño de pieza de presión.....	19
Figura 8. Estación de sellado de amortiguador estándar.	22
Figura 9. Celda de carga al interior de un tubo depósito de un amortiguador.	23
Figura 10. Ensamble de un amortiguador con celda de carga para medición de fuerza residual.....	23
Figura 11. Medición típica de la fuerza residual.....	24
Figura 12. Hoja de especificación para construcción de amortiguador Srut 36/22.	26
Figura 13. Máquinas objeto de estudio. a) Línea A7. B) Área prototipos.....	29
Figura 14. Placas de identificación de máquinas. a) Línea A7. b) Área de prototipos.	29
Figura 15. Porta herramental en la máquina de sellado de amortiguadores.	30
Figura 16. Dispositivo de medición de posición de porta herramental.....	31
Figura 17. Medición en campo de la posición del porta herramental.	31
Figura 18. Pantalla de visualización del valor de posición del porta herramental..	32
Figura 19. Elementos de máquina para el estudio de control de fuerza y distancia.	43

Figura 20. Pieza de presión utilizada para primer estudio de evaluación de control por fuerza y distancia.....	44
Figura 21. Herramientales de calibración.....	45
Figura 22. Herramientas utilizadas para estudio de evaluación de control por fuerza y distancia.	46
Figura 23. Mínimo y máximo valor de espesor de herramental de pieza de presión.	53
Figura 24. Dimensionamiento de herramienta de presión.	55
Figura 25. Doblez de lámina después de sellar.	59
Figura 26. Medición flexión de reten.	59
Figura 27. Corte seccional en zona de sellado.	60
Figura 28. Diagrama de Petri para secuencia en automático.....	63
Figura 29. Panel de control. a) Interfase grafica HMI. b) Botones de mando.	64
Figura 30. Distribución de elementos de control. A) Esquemático de máquina. B) Imagen frontal de la máquina de sellado.....	66
Figura 31. Diagrama de grafcet de secuencia de ajuste automático de herramental.	70
Figura 32. Comparación de habilidad y desempeño de proceso del porta herramental entre máquina de línea A7 y máquina de laboratorio de prototipos.	71
Figura 33. Respuesta del estudio modificando la posición del porta herramental máquina línea A7.....	72
Figura 34. Respuesta del estudio modificando la posición del porta herramental máquina Prototipos.....	73
Figura 35. Respuesta del estudio a diferentes longitudes de herramientales pieza de presión máquina línea A7.....	74
Figura 36. Respuesta del estudio a diferentes longitudes de herramientales pieza de presión máquina prototipos.....	74
Figura 37. Repetición estudio diferentes posiciones de Porta herramental Máquina línea A7.	78
Figura 38. Repetición de estudio con diferentes longitudes de herramental de Máquina línea A7.....	78

Figura 39. Efecto del desgaste y ajuste del herramental.....	80
Figura 40. Comparativo corte seccional realizado con diferentes longitudes de herramienta pieza de presión. a) Sellado de pieza 22. b) Sellado de pieza 24.....	83
Figura 41. Comparativo corte seccional realizado con diferentes longitudes de herramienta pieza de presión. a) Sellado de pieza 21. b) Sellado de pieza 26.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de amortiguadores	12
Tabla 2. Características de las máquinas objeto de estudio.....	28
Tabla 3. Repetibilidad de máquina línea A7, primer estudio posiciones -1.4mm a -3.1mm.....	33
Tabla 4. Repetibilidad de máquina línea A7, segundo estudio posiciones -0.5mm a -3.5mm.....	35
Tabla 5. Repetibilidad de máquina línea A7, segundo estudio posiciones 0mm a -3.75mm.....	37
Tabla 6. Repetibilidad de máquina prototipos, primer estudio posiciones -1.4mm a -3.1mm.....	38
Tabla 7. Repetibilidad de máquina prototipos, segundo estudio posiciones -0.5mm a -3.5mm.	40
Tabla 8. Repetibilidad de máquina área de prototipos, segundo estudio posiciones 0mm a -3.75mm.....	42
Tabla 9. Sistema de control de Fuerza en máquina línea A7.....	46
Tabla 10. Sistema de control de desplazamiento en máquina línea A7.	48
Tabla 11. Sistema de control de fuerza en máquina área de prototipos.	49
Tabla 12. Sistema de control de desplazamiento en máquina de prototipos.	51
Tabla 13. Diseño de longitud interior de amortiguador.	54
Tabla 14. Definición características del material.....	54
Tabla 15. Definición de herramientas.....	55
Tabla 16. Definición de parametrización.	57
Tabla 17. Parametrización definida.....	58
Tabla 18. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con variación de posición de porta herramental en máquina línea A7.	75
Tabla 19. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con posición fija del porta herramental y utilizando diferentes longitudes de herramental en máquina línea A7.	76
Tabla 20. Longitudes de herramientas para prueba de sellado final.....	79

Tabla 21. Resultados de sellado utilizando dos diferentes longitudes de herramienta.	81
Tabla 22. Análisis de ahorro por incremento de vida útil de la herramienta.....	85

GLOSARIO

UEB: LaengenUEBerstand. Overlap. Longitud Saliente.

PLC: Programmable Logic Controller. Control Lógico Programable.

1. INTRODUCCIÓN

Esta tesis está dedicada a investigar y proponer una metodología técnica para maximizar la vida útil de la herramienta de presión utilizada durante el proceso de sellado de amortiguadores bajo el método *Bend roll closing* (doblez por rodillos) sin la necesidad de realizar ajustes manuales de parámetros, si no que la máquina sea capaz de auto ajustarse y con ello evitar manipulaciones manuales que deriven en situaciones de riesgos de calidad para el producto y cliente final.

1.1. ANTECEDENTES

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.

ZF es una compañía líder en la fabricación y venta de autopartes siendo la fabricación de amortiguadores parte de su portafolio de negocio. Cuenta con 10 plantas alrededor del mundo dedicadas al desarrollo, diseño y fabricación de amortiguadores para una gama diversa de vehículos, siendo la planta de México la más grande en capacidad de fabricación de este componente.

Después de algunos defectos detectados en el amortiguador, un análisis causa-raíz determino un problema en la manipulación manual de parámetros, en concreto, el ajuste de altura del herramental de presión. Por esta razón la compañía ZF división amortiguadores a concentrado esfuerzos por mejorar y evitar este tipo de ajustes manuales. Sin embargo, las acciones hasta hoy no han sido del todo suficiente para evitar que el mismo problema se repita.

Es por ello por lo que buscar una solución definitiva que evite tener la incidencia de errores humanos lo cual es de vital importancia para este proceso durante la fabricación de amortiguadores.

Para concretar esta investigación y desarrollo de la metodología técnica, se deberá hacer uso de diseño experimental, es decir, se buscará manipular más de una variable independiente con el fin de analizar la influencia sobre las variables definidas. A su vez, se hará uso de colección de datos en campo y análisis de estos incluyendo técnicas de análisis numérico para definir la maximización del herramental en cuestión.

Con lo anteriormente mencionado se buscará prolongar la vida útil del herramental actual sin modificar su diseño y evitando ajustes manuales de parámetros para lograrlo.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El reemplazo del herramental pieza 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. Cabe mencionar que debido a los errores

cometidos en el pasado y que ha provocado reclamos de calidad, actualmente este tipo de ajustes no es permitido que los realice personal operativo.

Del año 2016 a la fecha se tienen registrados los siguientes problemas de calidad atribuidos al proceso de sellado, específicamente por un mal ajuste de la posición del porta herramental pieza de presión.

- 1 reclamo 0 Kms, el cual tuvo un costo total de 1.3 millones de dólares.
- 18 reclamos internos, los cuales generaron, inspecciones y generación de descarte con un valor total 120 mil dólares.

El ajuste manual de parámetros en el proceso para compensar el desgaste de herramientas genera riesgos de calidad en el producto lo cual a su vez genera sobre costos por reclamos de cliente. Este tipo de ajuste solamente lo pueden realizar personal altamente calificado (Ingenieros de procesos), los cuales no están disponibles las 24 horas. Debido al riesgo potencial que representa se ha definido dejar de hacerlo en los turnos de trabajo que no exista este personal calificado, esto lleva a incurrir a realizar cambios de código no planeados, o simplemente paro de línea lo que representa otros sobre costos.

Bajo el escenario anteriormente mencionado se debe de plantear que alternativas se tienen para no depender de que alguien mida una pieza, que realice un ajuste manual, o incluso el hecho de mejorar la calidad del material de que está fabricada la herramienta. Después de N cantidad de ciclos de trabajo se desgastará y es necesario realizar un ajuste manual nuevamente. Por lo tanto, debemos analizar y buscar una solución para lograr 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.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El método actual del reemplazo de herramientas estándar en el proceso de sellado de amortiguador bajo el método de *bend roll closing*, debido a su desgaste natural, genera sobre costos de manufactura. El incremento de los costes variables del precio del amortiguador se refleja en reducción del *profit* (ganancia), por lo cual trabajar en un método donde la máquina se autoajuste generara reducción de costos en este proceso, eliminara riesgos de calidad por mal ajustes, eliminara reclamos de cliente derivados por incorrectas parametrizaciones, así como también el evitar los cambios de códigos no planeados. Los cambios de código no planeados se debe, a la falta de herramienta nueva o dentro de tolerancia o por falta de personal calificado para ajustar de manera manual.

Esto sería aplicable al mismo proceso en cada una de las 18 estaciones de trabajo que se tienen en la planta de ZF Guadalajara e incluso podría ser implementado a nivel global ya que debemos recordar que este proceso es un proceso estándar. Esto significa, que se utiliza la misma definición de herramienta, así como de maquinaria y equipos por lo cual la implementación en otras localidades sería de manera transparente.

Al cuantificar los costos relacionados tanto localmente como globalmente, sería prioritario la aplicación de este método de manera inmediata en el grupo ZF dentro de la división amortiguadores. Esto a su vez generaría ciertas inercias para voltear a ver otros procesos que incurren en las mismas problemáticas y quizá puedan adoptar este método.

1.4. OBJETIVOS

Una vez que se ha analizado el problema presentado con el ajuste de la posición del herramienta de presión en la máquina de sellado de amortiguadores, se

definieron los siguientes objetivos para el desarrollo de una metodología que se propone para validar su funcionalidad para la solución práctica del problema.

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar el método de ajuste de parámetro de posición del herramienta de manera automática para toda la gama de herramientas utilizadas en el proceso de sellado de amortiguadores y con longitud desconocida debido al desgaste.

1.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de esta investigación son:

- a. Evaluar la repetibilidad del posicionamiento del porta herramienta mediante un análisis estadístico, dentro del rango de trabajo desde 0 hasta -3.75 mm con una tolerancia de +/- 0.05 mm
- b. Analizar la influencia de holguras mecánicas *Backlash* con un comparativo del sistema de control de fuerza y distancia entre una máquina con menos de 100,000 ciclos de trabajo y una máquina con más de 7,000,000 de ciclos de trabajo.
- c. 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.
- d. Desarrollar los algoritmos de control en el PLC (*Programmable Logic Controller*, por sus siglas en inglés) para la rutina de ajuste automático en máquina.
- e. 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 máquina con menos de 100,000 ciclos de trabajo y una máquina con más de 7,000,000 de ciclos de trabajo.

1.5. HIPÓTESIS

Mediante el uso de la metodología para el auto ajuste de la posición del herramental de presión en el proceso de sellado de amortiguadores con el método *bend roll closing*, es posible incrementar la vida útil de la herramienta al menos 75%, sin importar el tiempo de servicio acumulado de la máquina.

2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con la Real Academia Española la definición de Ajuste desde el punto de vista tecnológico se refiere a la acción y efecto de optimizar el funcionamiento de un aparato. Mientras que la palabra Automático es definida como Automatos, que actúa por sí mismo, incluso la propia palabra es situada como una ciencia que trata de sustituir en un proceso el operador humano por dispositivos mecánicos o electrónicos.

Bajo estos dos conceptos, esta investigación buscara definir la metodología para realizar las acciones para optimizar la posición del herramental de la pieza de presión de manera autónoma, utilizando los dispositivos mecánicos y electrónicos ya existentes en la máquina de sellado de amortiguador, bajo el método *bend roll closing*.

2.1. ESTADO DEL ARTE

Dentro de la industria de fabricación de amortiguadores, las técnicas actualmente desarrolladas para realizar el proceso de cierre de amortiguadores no contemplan la realización de ajustes automáticos de herramientas que intervienen en el proceso.

Es por lo que esta metodología de ajuste automático será el primero en su tipo dentro de esta industria de fabricación de amortiguadores, así como dentro del grupo de ZF, y debe considerarse como el estado del arte como la tecnología de ajuste automático de herramienta para el proceso de cierre de amortiguadores.

2.1.1. Posicionamiento actual de la herramienta

Hasta el día de hoy, el posicionamiento de la herramienta de presión se realiza de manera empírica, para lo cual el operador se basa en los siguientes pasos.

1. Durante el cambio de código o preparación de la máquina, la entrega del set de herramientas hacia el operador de parte del área donde se resguardan las herramientas, son entregadas bajo la teoría que han sido dimensionadas previamente y que cumplen con las características definidas.
2. El operador prepara la máquina, con las herramientas indicadas en su instrucción de trabajo.
3. Se realiza el cambio de receta en la máquina, de acuerdo con el número de parte que va a producir. Para ello, realiza la búsqueda de la receta correcta, la llama desde el PLC y carga en la máquina.
4. Una vez que los parámetros de operación han sido registrados en la máquina, desde el panel del operador se debe apretar el botón de posición inicial y esto manda la señal a la máquina, para que se ajuste de acuerdo con lo indicado en la receta, entre estos ajustes se encuentra la posición del porta herramental de la pieza de presión, que dependiendo de la posición que se encontraba previamente, se moverá hacia arriba o hacia abajo ya sea como lo requiera la nueva receta.
5. Se realiza la prueba de carga residual, con la primera pieza de fabricación, si esta prueba está dentro de tolerancia de la propia fuerza, se inicia con la fabricación del lote de producción asignado, de lo contrario se investiga si existe un problema con las herramientas, entre ellas con la longitud del herramental de la pieza de presión.
6. Si se detecta que la herramienta pieza de presión esta fuera de tolerancia, se reemplaza por una nueva, sin embargo, si no existen disponibles herramientas nuevas la proactividad del operador es ajustar la posición de la porta herramental, entonces lo hace directamente desde la pantalla de operación de la máquina de manera discrecional.

7. Se vuelve a realizar la prueba de carga residual con una segunda pieza, si la prueba está dentro de tolerancia se inicia con el proceso de fabricación. Sin embargo, el ajuste que acaba de realizar el operador de manera manual no asegura que funcionara para todo el rango de tolerancia de las longitudes de los diferentes componentes, que debe cubrir el parámetro y que incide en el resultado de fuerza residual de cada pieza.

2.1.2. Técnicas de posicionamiento

Dentro de la industria, podemos encontrar diversas técnicas de posicionamiento de herramientas, desde las básicas utilizando una referencia mecánica, como puede ser un tope mecánico o incluso algunas más avanzadas, con la utilización de sistemas más complejos como son los sistemas de medición eléctricos, añadiendo instrumentación y sistemas de posición de alta precisión utilizando motores, servos motores, hidráulica, servo hidráulica, etc.

Específicamente dentro de la industria de máquinas y herramientas, existen técnicas diversas para ajustes automáticos de herramientas entre ellas:

- Sistemas de fijación Punto Cero.

Se caracteriza por el cambio rápido de herramientas o piezas mediante sistemas que obtienen repetibilidad de ± 0.005 mm (I. Cerrillo, A. Rodriguez y G. Urbikain 2016).

- Tecnología de reglaje de herramientas.

El reglaje de herramientas es el proceso de definición de la información geométrica, como la longitud, el radio o el diámetro de una herramienta de mecanizado utilizando un dispositivo de reglaje de herramientas y un software dedicado. Algunas tecnologías pueden obtener información sobre la condición de

la herramienta, como el perfil lineal y radial, y la condición de la cara de corte. La detección de herramientas rotas puede realizarse mediante sistemas de reglaje y dispositivos de detección de herramientas rotas. Los dos sistemas, reglaje y detección, pueden realizarse automáticamente en las Máquinas-Herramienta (Renishaw 2014).

- Sistemas de reglaje de herramientas por contacto.

Los sistemas de reglaje de herramientas por contacto requieren un contacto físico entre el dispositivo y la herramienta colocada. Los sistemas pueden subdividirse en estilo 'émbolo', estilo 'sonda' o brazo de reglaje de herramientas (usado en tornos) (Renishaw 2014).

- Sistemas de reglaje de herramientas sin contacto

Los sistemas de reglaje de herramientas sin contacto utilizan un rayo óptico laser para detectar la presencia de la herramienta. Los sistemas pueden subdividirse en sistemas 'fijos' (las unidades de transmisión y recepción se alojan en un único ensamblaje, o 'separados' con montajes independientes para el transmisor y el receptor. Los sistemas sin contacto sirven también para comprobar roturas y virutas en la cara de corte de la herramienta (Renishaw 2014).

2.2. PROCESO DE SELLADO

El proceso de sellado tiene como finalidad el mantener libre de fugas de aceite y gas al amortiguador, a su vez, durante este proceso se realiza la aplicación de precarga al tubo cilindro y componentes interiores, lo cuales están en el interior del tubo deposito. Con el objetivo de generar una vez ya cerrado el amortiguador, una fuerza residual al interior del tubo deposito. Esto es necesario 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.

Como se muestra en la Figura 2, podemos observar la comparación entre dos amortiguadores, la imagen a) representa un amortiguador antes de ser sellado, mientras que la imagen b) muestra al mismo amortiguador después de ser sellado. En esta misma imagen podemos ver aquellos componentes de amortiguador que intervienen dentro de proceso de sellado.

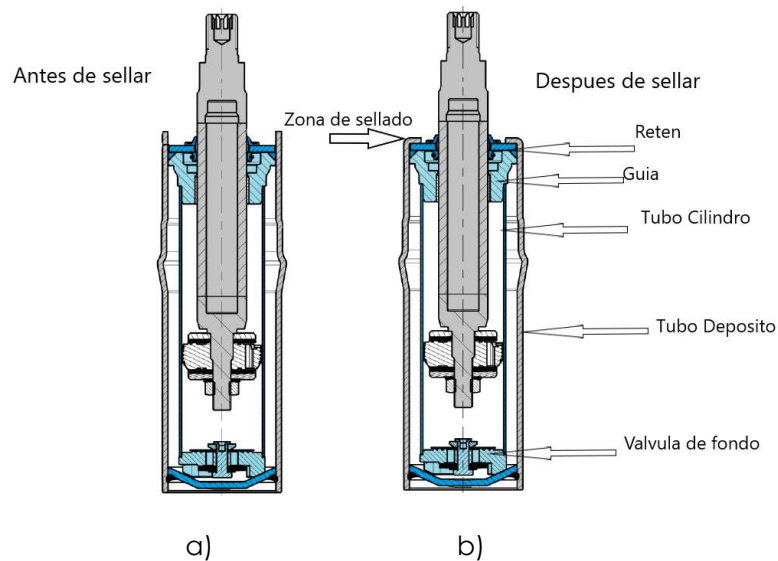


Figura 1. El amortiguador y sus componentes. a) Antes de sellar. b) Después de sellar

Elaboración propia.

En la Figura 3, se ilustran las diferencias de los métodos de manufactura para los diferentes procesos de sellado de amortiguador. a) Sellado Orbital, b) Sellado Grampado, c) Sellado Bend roll closing.

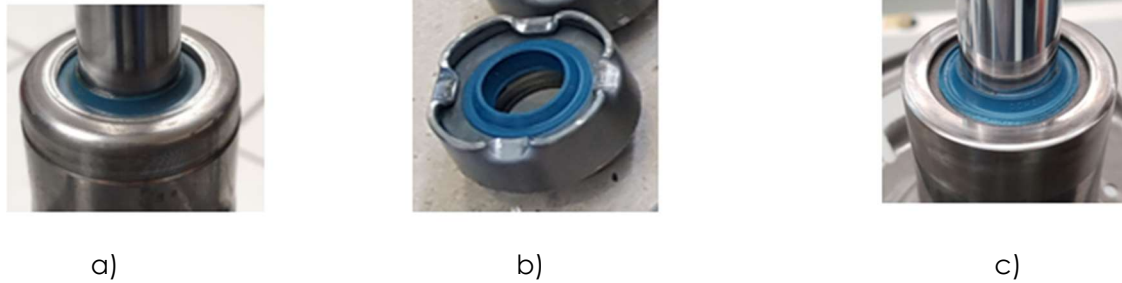


Figura 2. Tipos de sellado en amortiguadores. a) Sellado orbital. b) Sellado *grampado*. c) Sellado *bend roll closing*
 Elaboración propia.

Las diferentes configuraciones de amortiguadores podemos agruparlas en dos: Eje Frontal *struts* y eje trasero *twin tube*, donde para cada uno de estos grupos se tiene una gama diversa de construcciones de amortiguadores las cuales se agrupan como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Configuración de amortiguadores

	Struts				Twin tube			
Guía (mm)	27	30	32	36	27	30	32	36
Flecha (mm)	18	20	22	22	11	11	13	18
	20		25	25	13	13	15	

Elaboración propia

2.3. FUERZA DE PRECARGA

Durante el proceso de sellado la fuerza de precarga es uno de los principales parámetros de proceso a controlar. Incrementar la fuerza de precarga conduce a un incremento de fuerza residual en el amortiguador después de ser cerrado.

En pruebas mono-axiales de la resistencia de materiales bajo carga de tracción o compresión, el comportamiento de los materiales se estudia variando el esfuerzo que se mide como la fuerza sobre el área de la sección transversal de la muestra analizada, generalmente un tubo cilindro de longitud inicial $L(0)$. La fuerza F es la

variable independiente y la longitud $L(F)$ es una función de la variable F y de las propiedades del material también (Elias Stamboliadis 2007).

La fuerza de precarga en la aplicación de cierre de amortiguadores no debe de exceder el máximo de carga axial permitida de otra manera la válvula de fondo será dañada. La fuerza de precarga actúa sobre el herramental conocido como la pieza de presión, este herramental es el que conduce la fuerza de precarga a los componentes internos del amortiguador (tubo cilindro, sello, guía y válvula de fondo), mientras que es sellado.

Como se ilustra en de la Figura 3, se observa cómo es esta aplicación de fuerza de precarga sobre los componentes interiores del amortiguador.

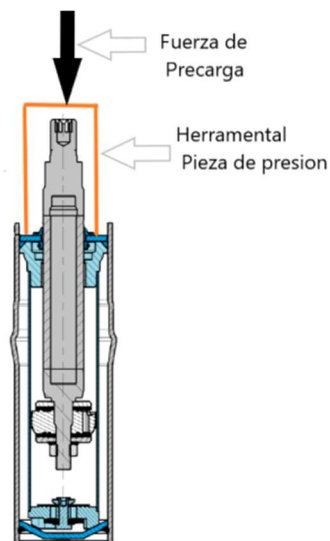


Figura 3. Transmisión de la fuerza de precarga a través del herramental pieza de presión.
Elaboración propia.

Para poder controlar la fuerza de precarga se hace uso de sistemas hidráulicos servo asistidos, así como también de forma continua se está evaluando la fuerza

aplicada, a través de equipos de medición los cuales están dedicados e integrados en este proceso para cumplir con esta tarea.

2.4. FUERZA RESIDUAL

La fuerza residual es uno de los resultados esperados durante el proceso de sellado del amortiguador, el cual es esencial para el performance del propio amortiguador. Podemos describir que la fuerza o carga residual, es la fuerza que actúa sobre las partes internas del amortiguador (tubo cilindro / guía, válvula de fondo) después de doblar la lámina del tubo depósito y concluir con el proceso de sellado.

Por lo tanto, la carga residual es la consecuencia del proceso de sellado que después de aplicar una fuerza de precarga controlada a los componentes interiores del amortiguador, los cuales se comprimen y una vez que esta aplicación de fuerza de precarga termina y la lámina del tubo depósito ha sido doblada para el cierre del amortiguador, se obtiene como resultado el efecto físico de los materiales interiores que tratan de regresar a su estado inicial previo a haber sido comprimidos, sin embargo se encontraran con una resistencia, en este caso el doblez de la lámina del tubo depósito, esta fuerza que ejercen los componentes interiores por intentar regresar a su estado inicial lo llamamos fuerza residual.

La carga residual es la resultante de aplicar la elasticidad de los materiales, esto lo podríamos ejemplificar con un resorte helicoidal lineal; es decir, la fuerza ejercida sobre este es proporcional a la longitud de su estiramiento o de su compresión. La ley de la fuerza como función del estiramiento es conocida como ley de Hooke. (Matar, Parodi, Repetto, Roatta 2017).

Ahora que hemos definido el concepto de fuerza de precarga (compresión a los componentes interiores) y fuerza residual en un amortiguador, es importante ver de manera gráfica el comportamiento de ambas fuerzas para una mejor comprensión.

En la Figura 4, se hace una comparación para visualizar ambas fuerzas como actúan sobre los componentes. En a) se muestra la aplicación de fuerza de precarga previo a que el proceso de sellado termine, como se puede observar no existe aún fuerza residual ya que los componentes siguen comprimidos debido a la fuerza de precarga, en b) podemos visualizar como es que actúa ahora la fuerza residual que ha sido creada, debido a que ya no existe presencia de la fuerza de precargar porque el proceso de sellado ha concluido.

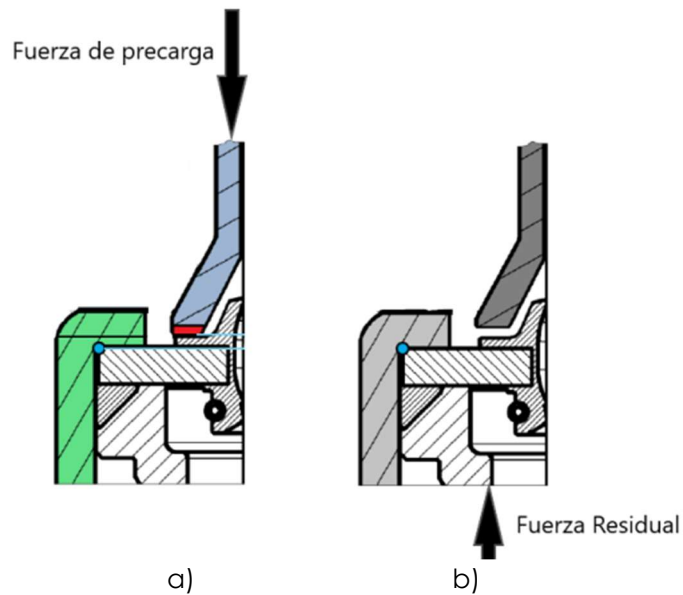


Figura 4. Fuerzas actuantes en el amortiguador. a) Fuerza de precarga. b) Fuerza residual. Elaboración propia.

Debido a que la precarga actúa sobre los componentes internos, el tubo cilindro básicamente será comprimido y el esfuerzo de compresión será creado. Después de cerrar el amortiguador y después de ser removida la fuerza de precarga el tubo

cilindro genera su spring back (recuperación elástica) y esto a su vez causa que el tubo deposito se estire (esfuerzo de tracción).

La carga residual dentro del sistema es igual al esfuerzo de compresión que sigue actuando sobre el tubo cilindro y al esfuerzo de tensión que actúa sobre el tubo deposito. La carga residual que debe lograrse se ve afectada por las dimensiones del tubo cilindro y componentes interiores, así como el tubo depósito y la fuerza de precarga aplicada y también a la posición de la herramienta de presión respecto a la posición del rodillo de sellado. Esto lo podemos observar en la Figura 5, es bastante revelador en cuanto a que en el eje "X" tenemos la longitud del tubo cilindro y deposito tanto como reducción e incremento y en el eje "Y" tenemos las fuerzas de precarga como la fuerza residual.

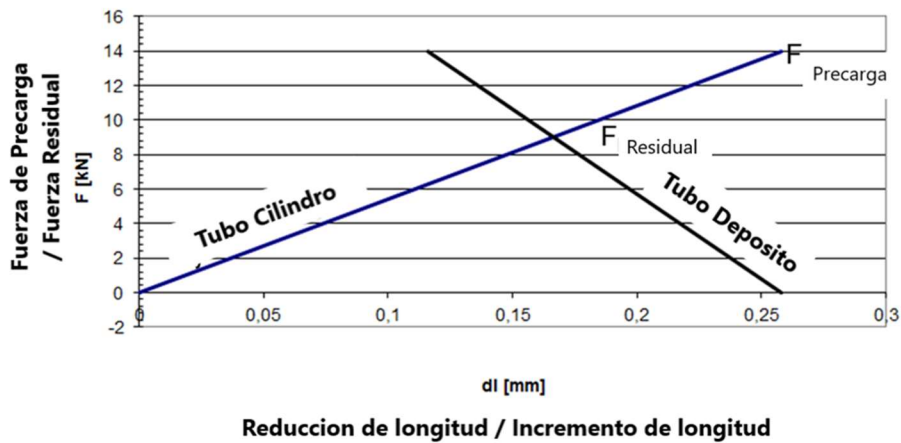


Figura 5. Relación entre la fuerza de precarga y fuerza residual y su efecto en las longitudes del tubo cilindro y depósito.
Elaboración propia.

En caso de que la carga residual sea demasiado baja, puede generar un *bypass* (desvío) en los flujos de aceite a través del sistema de válvulas, mientras que es utilizado el amortiguador lo cual deriva en pérdidas de las cargas de amortiguación, componentes internos sueltos, ruido de los propios componentes internos y finalmente durabilidad del producto que pueden ser representados en

fugas de aceite, daños de reten. A su vez si la carga residual es demasiado alta, partes como la válvula de fondo, guía o reten pueden ser dañados.

La carga residual está determinada principalmente por fuerza de precarga F o fuerza axial aplicada a los componentes internos del amortiguador, así como las longitudes de los componentes del propio amortiguador que intervienen en el proceso de sellado, pero también está influenciado por el ajuste de altura del porta herramental de la pieza de presión y la propia longitud del herramental pieza de presión.

2.5. AJUSTE DE ALTURA DEL PORTA HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN

El ajuste de altura del porta herramental pieza de presión refiere a la distancia entre el extremo de la herramienta pieza de presión y el punto de giro de herramental de sellado. El punto de giro es determinado por el diseño del propio herramental de sellado y su punto fijo. Como una consecuencia la unidad de ajuste de altura está influenciada por la variación del extremo de la pieza de presión.

Durante el estudio de esta hipótesis estará enfocada sobre máquinas que controlan este ajuste de altura, mediante un electro husillo electrosindel o *e-Spindel* (Electro-husillo). Por tal motivo la pieza de presión puede ser ajustada en dirección hacia arriba y hacia abajo.

Por definición de este proceso se ha homologado y estandarizado que el valor de ajuste de la altura de la pieza de presión es de la siguiente manera: Si se desea mover el ajuste de la pieza de presión en dirección hacia arriba, el valor debe ser más negativo que el actual y de forma contraria, si se requiere mover el ajuste de la pieza de presión hacia abajo, el valor debe ser más positivo que el actual.

La posición de la pieza de presión se define para cada construcción de amortiguador, durante la fase de la introducción del nuevo proyecto. Para realizar esta definición, se fabrican piezas con diferentes longitudes de los componentes, con la finalidad de definir un parámetro de posición del porta herramental de pieza de presión, que cubra todo el rango de tolerancia de los propios componentes del amortiguador. Cabe mencionar que esta definición de parámetro se realiza con herramientas de pieza de presión con valor nominal de su longitud.

En la Figura 6, se puede divisar de forma esquemática el punto ideal de la posición de ajuste de presión y a su vez nos indica que si el valor de ajuste de la pieza de presión es negativo la posición se mueve en dirección hacia arriba mientras que si es positivo la posición de ajuste se mueve en dirección hacia abajo.

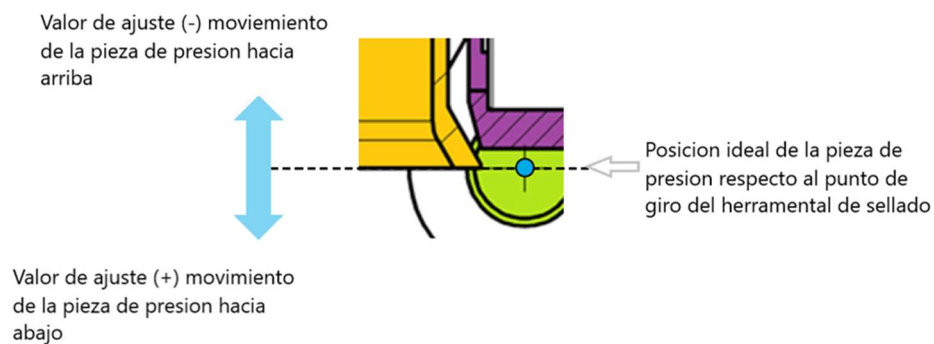


Figura 6. Posición ideal de la pieza de presión y punto de giro del herramental pieza de presión.

Elaboración propia.

2.6. HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN

La herramienta de pieza de presión, como se ha mencionado anteriormente, es la encargada de transmitir la fuerza de precargar a los componentes interiores del amortiguador. La geometría de la pieza de presión tiene un significativo impacto en el resultado del proceso de sellado por el método bend roll closing, específicamente como geometría, la longitud de la pieza de presión donde la

variación sobre esta medida se ve afectada directamente en el resultado de la fuerza residual, por tal motivo la longitud de la pieza de presión es considerada extremadamente importante para el ajuste de la unidad de altura.

Como se expone en la Figura 7, la geometría del herramental de pieza de presión, en donde la cota H es la dimensión que define la longitud de trabajo de este herramental. Es importante señalar que como definición estándar para este proceso de sellado la cota "H" ha sido estandarizada incluyendo su tolerancia para el proceso de sellado por el método bend roll closing, es decir que todas las diferentes geometrías que se han sido desarrollado para los diferentes diseños de amortiguador siempre se respeta la longitud estándar definida "H", así como su tolerancia.

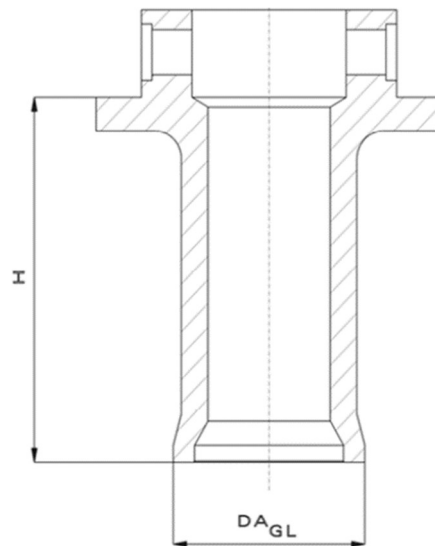


Figura 7. Diseño de pieza de presión.
Elaboración propia.

Por esta razón la longitud "H" debe ser controlada (desgaste fuera de límites) de acuerdo con la longitud definida en su propio dibujo para cada uno de los proyectos y construcciones de amortiguador.

El diámetro de la pieza de presión también es importante para el proceso de sellado, está diseñado con la finalidad de que genere una adecuada distancia entre el diámetro de la pieza de presión con el diámetro interior de la guía de la flecha del amortiguador, sin embargo, esta cota no es parte del análisis de esta hipótesis.

2.7. ELECTRO HUSILLO / ELECTRO SPINDEL

Un electro husillo se refiere a un elemento mecánico – eléctrico, el cual su principal característica es la conexión que existe entre un husillo acoplado a un servomotor.

Los servomotores son dispositivos electromecánicos fabricados con un motor de CC (corriente continua), un conjunto de engranajes, un circuito de control, un potenciómetro y una caja de plástico que cubre el sistema. La característica principal de estos dispositivos es su capacidad para moverse a una posición establecida (medida en grados) debido a la retroalimentación producida por el potenciómetro interno (Aragón-Morgado-Perez 2017).

Cabe destacar que dentro de este acoplamiento husillo motor debemos considerar una característica fundamental para nuestro estudio conocida como holgura mecánica *Backlash*.

2.8. HOLGURA MECÁNICA / BACKLASH

Podemos definir a la holgura mecánica como una no linealidad que se encuentra en muchos sistemas mecánicos, hidráulicos y de otro tipo; debido a las interconexiones de elementos tales como engranajes y otros elementos en los que existe un contacto imperfecto entre dos elementos de acoplamiento (Azar, A.T. Serrano 2015).

También lo podemos mencionar como un fenómeno que se encuentra en diferentes tipos de actuadores, como el mecánico y el hidráulico, generalmente ocurre cuando el contacto de dos engranajes de acoplamiento no coincide y esto da lugar a muchos efectos no deseados que provocan problemas en todo el sistema mecánico. Así, algunos autores han propuesto varias soluciones con respecto a los problemas de control y estabilidad de estos sistemas con no linealidades de entrada; Teniendo en cuenta que no es una tarea trivial debido a la complejidad del modelo, las estrategias de control tradicionales fallan en la mayoría de los casos y, por lo tanto, es necesario diseñar estrategias de control no lineales o implementar estrategias tradicionales modificadas (Azar, A.T. Serrano 2015).

En esta investigación se pretende evidenciar que el *backlash* entre componentes, servomotor, husillo y eje mecánico de sujeción de la pieza de presión, no representa una influencia en los resultados y tampoco es un factor que debe considerarse. Para ello, la propuesta es realizar un estudio de habilidad del sistema de ajuste de la pieza de presión entre dos máquinas, la primera con más de 7'000,000 ciclos y que mantiene su sistema de ajuste de pieza de presión original y compararla contra una máquina de menos de 100,000 ciclos. En la Figura 8, se muestra los componentes de una estación de sellado estándar, se nombran los componentes donde potencialmente existiría un problema de *backlash*.

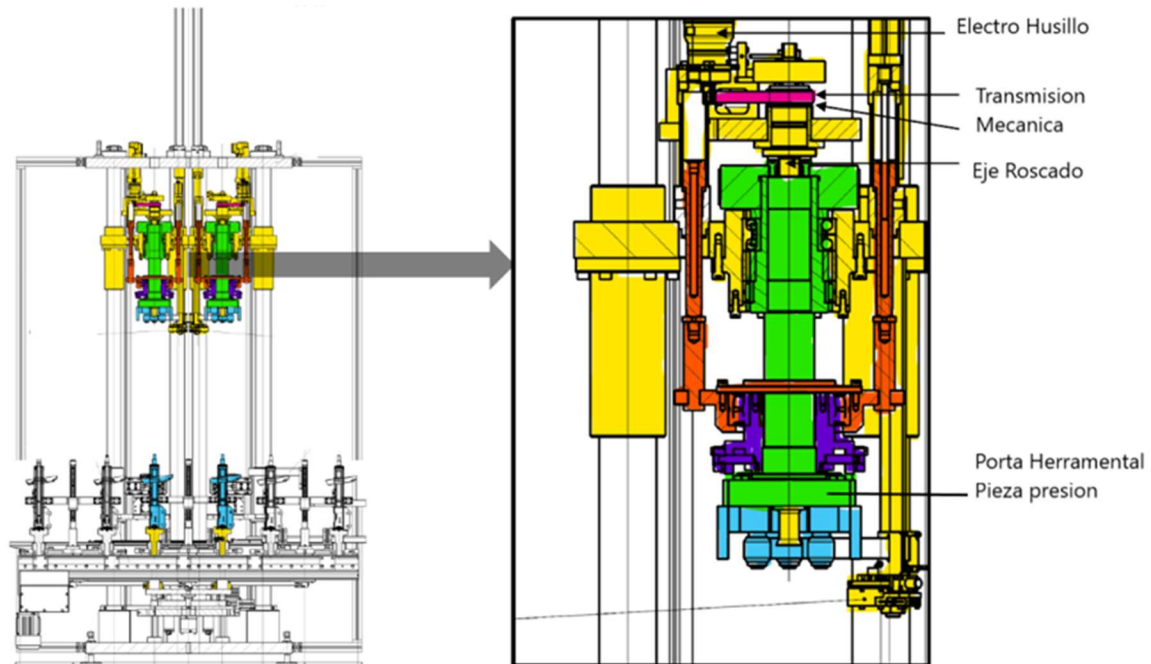


Figura 8. Estación de sellado de amortiguador estándar.
Elaboración propia.

2.9. MEDICIÓN DE FUERZA RESIDUAL

Para medir la fuerza residual que se obtiene en los componentes internos del amortiguador, después del proceso de sellado, se conocen varias técnicas empleadas en la producción en serie, estas son:

- Strain gauged sobre el tubo deposito.
- Anillo de medición de diámetro fijo sobre tubo deposito.
- Celda de carga al interior del tubo deposito.

Estos tres métodos son denominados destructivos, es decir se debe de destruir el amortiguador para lograr medir la fuerza residual al interior.

El método de Celda de carga al interior del tubo deposito, como se muestra en la Figura 9, es el estándar definido en producción en serie y se trata de utilizar una celda de carga, un par de herramientales para cubrirla y un tubo cilindro de

longitud definida la cual se compensa con la longitud de los herramientales para simular la longitud real del tubo cilindro. En la Figura 10, se muestra el ensamble de la celda de carga al interior del amortiguador.

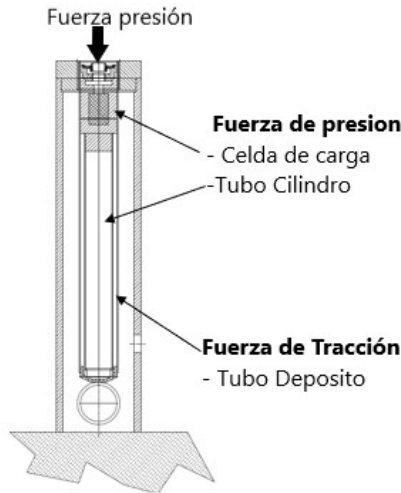


Figura 9. Celda de carga al interior de un tubo depósito de un amortiguador. Elaboración propia.



Figura 10. Ensamble de un amortiguador con celda de carga para medición de fuerza residual. Elaboración propia.

Después que el amortiguador con la celda de carga en su interior fue sellado, el cable de la celda se conecta hacia el equipo de medición y se obtiene el valor de fuerza residual. La Figura 11, muestra cómo es que se obtiene esta medición de fuerza residual, de acuerdo con la definición de proceso.

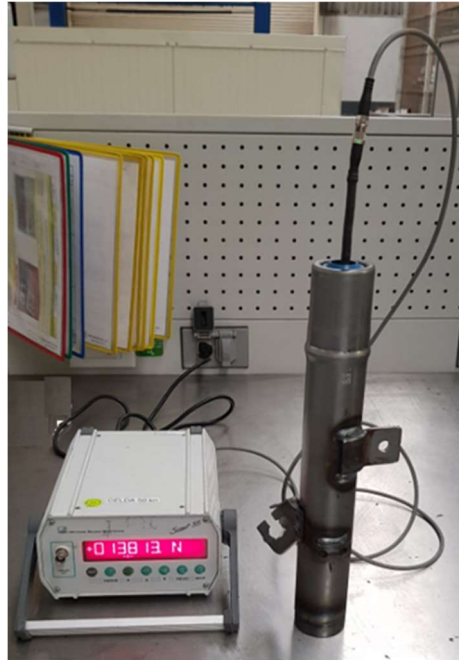


Figura 11. Medición típica de la fuerza residual.
Elaboración propia.

2.10. ANÁLISIS DE REGRESIÓN

El análisis de regresión tiene como objetivo modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes.

Para estimar los parámetros de un modelo de regresión son necesarios los datos, los cuales pueden obtenerse de experimentos planeados, de observaciones de fenómenos no controlados o de registros históricos (Pulido, H.G. 2008).

2.10.1. Regresión lineal simple

Sean dos variables 'x' y 'y', se quiere explicar el comportamiento de 'y' con base en los valores que toma 'x'. Para esto, se mide el valor de Y sobre un conjunto de n valores de X, con lo que se obtienen n parejas de puntos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. A 'y' se le llama la variable dependiente o la variable de respuesta y a 'x' se le conoce como variable independiente o variable regresor (Pulido, H.G. 2008).

2.10.2. Regresión múltiple

En la regresión lineal múltiple vamos a utilizar más de una variable explicativa, esto nos va a ofrecer la ventaja de utilizar más información en la construcción del modelo y, consecuentemente, realizar estimaciones más precisas. Una cuestión de gran interés será responder a la siguiente pregunta: de un vasto conjunto de variables explicativas: x_1, x_2, \dots, x_k , cuáles son las que más influyen en la variable dependiente 'y'.

En definitiva, y al igual que en regresión lineal simple, vamos a considerar que los valores de la variable dependiente 'y' han sido generados por una combinación lineal de los valores de una o más variables explicativas y un término aleatorio. Los coeficientes son elegidos de forma que la suma de cuadrados entre los valores observados y los pronosticados sea mínima, es decir, que se va a minimizar la varianza residual (Rojo, J.M. 2008).

Esta ecuación recibe el nombre de hiperplano, pues cuando tenemos dos variables explicativas, en vez de recta de regresión tenemos un plano.

El modelo de regresión lineal múltiple es idéntico al modelo de regresión lineal simple, con la única diferencia de que aparecen más variables explicativas:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x + u$$

Ecuación 1. Modelo de regresión simple.

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + \dots + b_k \cdot x_k + u$$

Ecuación 2. Modelo de regresión múltiple.

3. PROCEDIMIENTO

La metodología de ajuste automático de la herramienta de presión, planteada en esta tesis, está enfocado al sellado de amortiguadores por el método *bend roll closing* para cualquier tipo de modelo. Sin embargo, el objeto de estudio será el modelo *Struts* o eje frontal con Guía de 36 mm y Flecha de 22 mm.

Para este tipo de construcción de amortiguadores existen diferentes variantes de diseño de amortiguador, donde la diferencia entre ellos es el diseño de componentes internos como el diámetro de tubo deposito. Las características de sellado para esta construcción la podemos observar en la hoja de especificaciones de la Figura 12, donde se resalta el objeto de estudio como la variante 3.

Variant		1	2	3	4
Damper geometry		ST36/22	ST36/22	ST36/22	ST36/22
	[Source for standard size is ZF Wiki] →	Optional	Optional	Optional	Optional
		52,5 x 2,2	52,5 x 2,2	53,1 x 2,5	53,1 x 2,5
Piston rod nominal Ø	(mm)	22	22	22	22
Outer tube assy outer Ø at closing area	DA (mm)	52.5 ^{0.1} _{-0.1}	52.5 ^{0.1} _{-0.1}	53.1 ^{0.1} _{-0.1}	53.1 ^{0.1} _{-0.1}
Outer tube assy inner Ø at closing area	DI (mm)	48.1 ^{0.1} _{-0.1}	48.1 ^{0.1} _{-0.1}	48.1 ^{0.1} _{-0.1}	48.1 ^{0.1} _{-0.1}
Calculated tube wall at closing area	WD _{inner} / Ø (mm)	2.2 ^{0.1} _{-0.1}	2.2 ^{0.1} _{-0.1}	2.5 ^{0.1} _{-0.1}	2.5 ^{0.1} _{-0.1}
Nominal drawing design UEB ¹	UEB (mm)	4.5	5	4.5	5
Rod guide outer Ø	RG (mm)	48 ^{-0.05} _{-0.15}	48 ^{-0.05} _{-0.15}	48 ^{-0.05} _{-0.15}	48 ^{-0.05} _{-0.15}
Cylinder tube outer Ø	(mm)	38	38	38	38
Cylinder tube inner Ø (Piston)	(mm)	36	36	36	36
Closing tool					
AGM Bend roll head	Standard (part)	3338511	3338511	3345885	3345885
AGM Caster (Bending roller)	Standard (part)	3912459	3912459	3912459	3912459
	Øhim Standard (mm)	3912462	3912462	3912462	3912462
AGM Support rolls	Standard (part)	3180760	3180760	3180760	3180760
Thrust piece	Standard (part)	3380773	3380773	3380773	3380773

Figura 12. Hoja de especificación para construcción de amortiguador Srut 36/22. Elaboración propia.

La investigación se basará en un diseño de experimentos, es decir serán manipuladas más de una variable independiente con el fin de analizar la influencia sobre las variables definidas y se realizara un comparativo entre los resultados de ambas máquinas.

VARIABLES DEFINIDAS:

- Target fuerza residual.
- Aplicación de precarga definida.

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Posición de unidad de ajuste de altura.
- Longitud de trabajo del herramental de pieza de presión (cota H).
- Espesor de tubo depósito.

La recolección de datos será realizada a través de métodos de análisis de máximos y mínimos de tolerancias de longitud de materiales buscando que en las peores condiciones nuestro método sea funcional, hábil y repetitivo.

3.1. OBJETO DE ESTUDIO

ZF Suspension Technology Guadalajara ha permitido la realización de este estudio utilizando dos máquinas de sellado estándar, una de ellas localizada en el área de prototipos y la otra en el área de producción A7. Ambas máquinas cuentan con los controles y sistemas originales de fábrica.

Las máquinas se encuentran en la nave 1, donde las condiciones ambientales son iguales que en las áreas de producción, buscando con esto no tener influencias de factores ambientales u otros durante la investigación.

El sellado por el método *bend roll closing* es un proceso estándar global dentro de la compañía ZF. Todas las máquinas cuentan con la misma definición de elementos mecánicos, hidráulicos y de control, sin embargo, no todos los equipos cuentan con la misma vida de ciclos de fabricación, podremos encontrar actualmente equipos con menos de 100,00 ciclos y máquinas que tiene más de 7'000,000 millones de ciclos de fabricación.

Por esta razón como parte del desarrollo de esta metodología, es necesario realizar los diferentes estudios en máquinas que cuenten con estas características. Las características de las máquinas a comparar se muestran en la Tabla 2. En la Figura 13, observamos en a) la máquina de producción en la línea A7 y en b) la máquina de área de prototipos.

Tabla 2. Características de las máquinas objeto de estudio.

Máquina	Línea A7	Área de prototipos
Método de sellado	Bend roll closing	Bend roll closing
Carga y descarga	Manual	Manual
Tiempo de ciclo	10 segundo/pieza	10 segundo/pieza
Año de fabricación	2013	2018
Año de puesta en marcha	2013	2019
Ciclos de trabajo	> 7'000,000	<100,000

Elaboración propia.

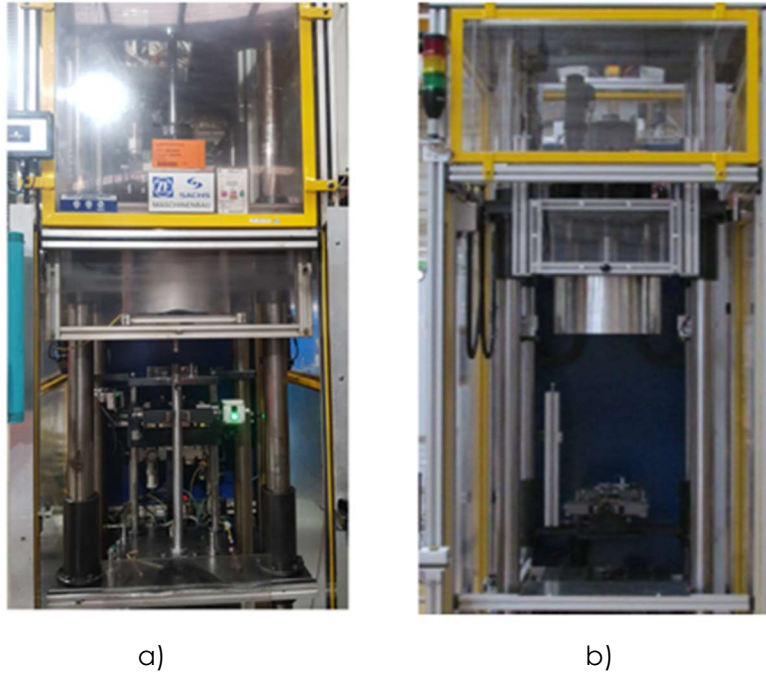


Figura 13. Máquinas objeto de estudio. a) Línea A7. B) Área prototipos.
Elaboración propia.

En la Figura 14, observamos las placas de identificación de cada una de las máquinas, en a) la placa de identificación de la máquina de línea A7 y b) placa de identificación de la máquina de prototipos.



Figura 14. Placas de identificación de máquinas. a) Línea A7. b) Área de prototipos.
Elaboración propia.

3.2. REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO DEL PORTA HERRAMENTAL

El primer punto de la metodología es evaluar la repetibilidad del posicionamiento del porta herramental mediante un análisis estadístico. El rango de trabajo es desde 0 hasta -3.75 mm con una tolerancia de +/- 0.05 mm.

En la Figura 15, se puede apreciar específicamente cual es la porta herramental dentro de la máquina de sellado.

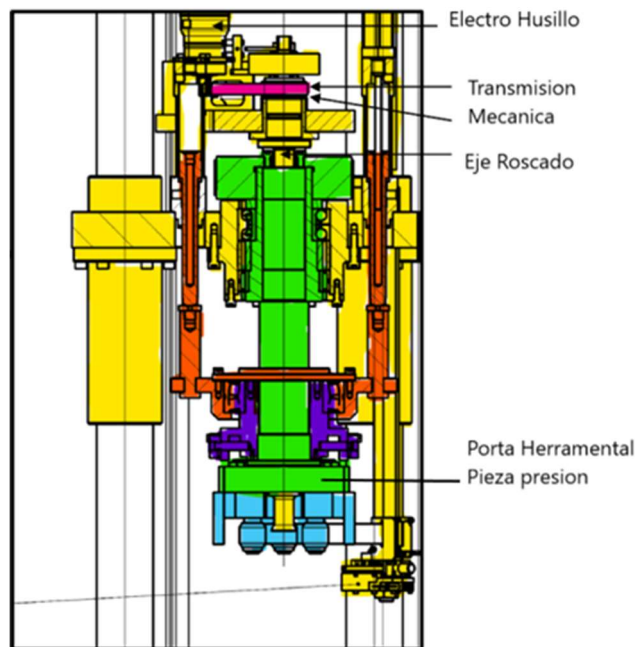


Figura 15. Porta herramental en la máquina de sellado de amortiguadores.
Elaboración propia.

Para la realización de este análisis del porta herramental y el comparativo entre máquinas, utilizaremos un herramental para lograr medir la posición mecánica del porta herramental y compararlo con el valor en la pantalla de la máquina.

En la Figura 16, se muestra el herramental a utilizar. Es un dispositivo mecánico que en su interior tiene un resorte que es presionado por el porta herramental, y al ser comprimido por el porta herramental, este moverá un dispositivo mecánico el cual está conectado hacia un palpador de medición.



Figura 16. Dispositivo de medición de posición de porta herramental.
Elaboración propia.

El palpador se moverá y nos indicara la medición, la cual va cambiando y la compararemos con el valor en el panel de operación, específicamente el valor de la posición del porta herramental. La Figura 17, muestra una toma de medición con el equipo mencionado.



Figura 17. Medición en campo de la posición del porta herramental.
Elaboración propia.

La Figura 18, muestra la pantalla del panel de operador donde se visualiza el valor de la posición del porta herramental.

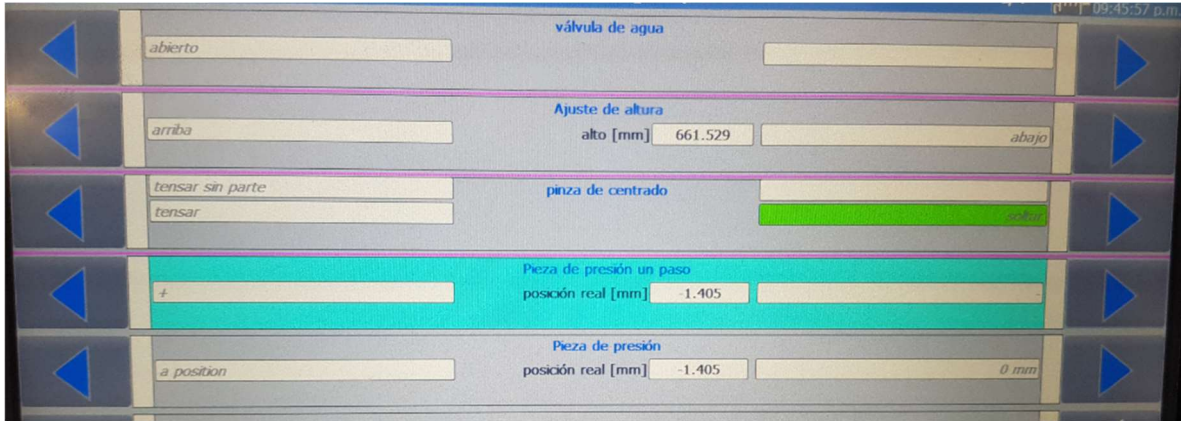


Figura 18. Pantalla de visualización del valor de posición del porta herramental.
Elaboración propia.

La realización de este análisis se hace independiente para cada una de las máquinas, para ello se evalúa la repetibilidad del posicionamiento del porta herramental realizando las siguientes repeticiones

- 1.- Realizando 30 repeticiones con dos posiciones diferentes, -1.4 mm y -3.1 mm.
- 2.- Realizar 10 bucles, Loops con 6 posiciones diferentes que van desde -0.5 mm hasta -3.5 mm y con saltos de posiciones de -0.5 mm.
- 3.- Ejecutar 3 bucles, Loops con 16 posiciones diferentes en cada bucle con valores de posición desde 0 mm hasta -3.75 mm y con saltos de posiciones de -0.25 mm

3.2.1. Repetibilidad máquina de línea A7

- **Primer estudio: posiciones -1.4mm a -3.1mm**

Realizando 30 repeticiones con dos posiciones diferentes. En la Tabla 3, la primera columna muestra la cantidad de repeticiones, en la segunda columna tenemos el primer valor buscado de -1.4 mm y la última columna el segundo valor buscado de -3.1 mm.

Tabla 3. Repetibilidad de máquina línea A7, primer estudio posiciones -1.4mm a -3.1mm.

Nr.	TT	ST
	-1.4	-3.1
1	-1.412	-3.104
2	-1.410	-3.106
3	-1.415	-3.106
4	-1.415	-3.106
5	-1.415	-3.106
6	-1.415	-3.106
7	-1.415	-3.106
8	-1.415	-3.106
9	-1.415	-3.106
10	-1.415	-3.106
11	-1.415	-3.107
12	-1.415	-3.107
13	-1.416	-3.107
14	-1.416	-3.107
15	-1.416	-3.108
16	-1.413	-3.105
17	-1.413	-3.105
18	-1.412	-3.104
19	-1.412	-3.104
20	-1.412	-3.104
21	-1.412	-3.104
22	-1.412	-3.104
23	-1.412	-3.104
24	-1.411	-3.104
25	-1.411	-3.104
26	-1.411	-3.104
27	-1.411	-3.104
28	-1.411	-3.104
29	-1.411	-3.104
30	-1.411	-3.104
Min	-1.416	-3.108
Max	-1.410	-3.104
% Desv Stand	0.00194906	0.001270352

Elaboración propia.

- **Segundo estudio: posiciones -0.5mm a -3.5mm**

10 ciclos, con 6 posiciones diferentes que van desde -0.5 mm hasta -3.5 mm y con saltos de posiciones de -0.5 mm,

En la Tabla 4, en la primera columna para cada ciclo se muestra el valor buscado, la segunda columna es el valor obtenido en la caratula del palpador colocado sobre el herramental utilizado, la tercera columna es el valor calculado dependiendo del valor obtenido al calibrar la posición cero. En este caso el valor es de -0.0175 mm y la última columna es la diferencia u offset del valor obtenido y valor calculado. Esto se repite para cada uno de los 10 ciclos.

Tabla 4. Repetibilidad de máquina línea A7, segundo estudio posiciones -0.5mm a -3.5mm.

Ciclo 1				Ciclo 2			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-0.5	-0.516	-0.4985	0.0015	-1.5	-1.513	-1.4955	0.0045
-2.5	-2.509	-2.4915	0.0085	-2.5	-2.51	-2.4925	0.0075
-3.5	-3.506	-3.4885	0.0115	-1	-1.103	-1.0855	-0.0855
-1	-1.012	-0.9945	0.0055	-3	-3.006	-2.9885	0.0115
-1.5	-1.513	-1.4955	0.0045	-3.5	-3.505	-3.4875	0.0125
-3	-3.006	-2.9885	0.0115	-0.5	-0.516	-0.4985	0.0015
Ciclo 3				Ciclo 4			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-1.5	-1.513	-1.4955	0.0045	-0.5	-0.518	-0.5005	-0.0005
-3	-3.006	-2.9885	0.0115	-3	-3.007	-2.9895	0.0105
-0.5	-0.516	-0.4985	0.0015	-1.5	-1.514	-1.4965	0.0035
-3.5	-3.505	-3.4875	0.0125	-1	-1.014	-0.9965	0.0035
-2.5	-2.51	-2.4925	0.0075	-2.5	-2.51	-2.4925	0.0075
-1	-1.013	-0.9955	0.0045	-3.5	-3.506	-3.4885	0.0115
Ciclo 5				Ciclo 6			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-2.5	-2.511	-2.4935	0.0065	-1.5	-1.516	-1.4985	0.0015
-3	-3.008	-2.9905	0.0095	-3.5	-3.507	-3.4895	0.0105
-0.5	-0.518	-0.5005	-0.0005	-2.5	-2.511	-2.4935	0.0065
-1.5	-1.515	-1.4975	0.0025	-3	-3.009	-2.9915	0.0085
-3.5	-3.507	-3.4895	0.0105	-1	-1.016	-0.9985	0.0015
-1	-1.014	-0.9965	0.0035	-0.5	-0.521	-0.5035	-0.0035
Ciclo 7				Ciclo 8			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3.5	-3.508	-3.4905	0.0095	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3	-3.01	-2.9925	0.0075	-1.5	-1.5205	-1.503	-0.003
-0.5	-0.521	-0.5035	-0.0035	-3.5	-3.511	-3.4935	0.0065
-1.5	-1.5	-1.4825	0.0175	-3	-3.013	-2.9955	0.0045
-1	-1.019	-1.0015	-0.0015	-1	-1.0185	-1.001	-0.001
-2.5	-2.515	-2.4975	0.0025	-2.5	-2.515	-2.4975	0.0025
Ciclo 9				Ciclo 10			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-1	-1.018	-1.0005	-0.0005	-3	-3.014	-2.9965	0.0035
-2.5	-2.5145	-2.497	0.003	-2.5	-2.516	-2.4985	0.0015
-0.5	-0.522	-0.5045	-0.0045	-3.5	-3.512	-3.4945	0.0055
-1.5	-1.519	-1.5015	-0.0015	-1.5	-1.52	-1.5025	-0.0025
-3.5	-3.511	-3.4935	0.0065	-1	-1.019	-1.0015	-0.0015
-3	-3.013	-2.9955	0.0045	-0.5	-0.522	-0.5045	-0.0045

Elaboración propia.

- **Tercer estudio: posiciones 0mm a -3.7mm**

3 ciclos con 16 posiciones diferentes con valores de posición desde 0 mm hasta -3.75 mm y con saltos de posiciones de -0.25 mm.

En la Tabla 5, para cada ciclo se muestra sobre la primera columna el valor buscado, mientras que en la segunda columna es el valor obtenido en la caratula del palpador colocado sobre el herramental utilizado, la tercera columna es el valor calculado dependiendo del valor obtenido al calibrar la posición cero, en este caso el valor es de -0.0175 mm y la última columna es la diferencia u offset del valor obtenido y valor calculado. Esto se repite para cada uno de los 3 ciclos.

Tabla 5. Repetibilidad de máquina línea A7, segundo estudio posiciones 0mm a -3.75mm.

Ciclo 1				Ciclo 2			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3.75	-3.757	-3.7395	0.0105	-2.25	-2.264	-2.2465	0.0035
-0.75	-0.768	-0.7505	-0.0005	-0.5	-0.521	-0.5035	-0.0035
0	-0.018	-0.0005	-0.0005	-3	-3.012	-2.9945	0.0055
-3.25	-3.261	-3.2435	0.0065	-1.25	-1.268	-1.2505	-0.0005
-1	-1.017	-0.9995	0.0005	-2	-2.015	-1.9975	0.0025
-1.5	-1.519	-1.5015	-0.0015	-0.25	-0.269	-0.2515	-0.0015
-1.25	-1.27	-1.2525	-0.0025	-3.75	-3.757	-3.7395	0.0105
-1.75	-1.767	-1.7495	0.0005	-3.25	-3.261	-3.2435	0.0065
-2.5	-2.515	-2.4975	0.0025	-0.75	-0.768	-0.7505	-0.0005
-2	-2.017	-1.9995	0.0005	-2.75	-2.763	-2.7455	0.0045
-0.25	-0.27	-0.2525	-0.0025	-1.75	-1.766	-1.7485	0.0015
-3	-3.012	-2.9945	0.0055	-3.5	-3.51	-3.4925	0.0075
-2.75	-2.76	-2.7425	0.0075	-1	-1.016	-0.9985	0.0015
-2.25	-2.265	-2.2475	0.0025	-2.5	-2.513	-2.4955	0.0045
-0.5	-0.521	-0.5035	-0.0035	-1.5	-1.518	-1.5005	-0.0005
-3.5	-3.511	-3.4935	0.0065	0	-0.018	-0.0005	-0.0005

Ciclo 3			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3	-3.01	-2.9925	0.0075
-2.5	-2.514	-2.4965	0.0035
-1.25	-1.267	-1.2495	0.0005
-0.25	-0.268	-0.2505	-0.0005
-1.75	-1.765	-1.7475	0.0025
0	-0.017	0.0005	0.0005
-3.5	-3.51	-3.4925	0.0075
-2	-2.014	-1.9965	0.0035
-3.25	-3.26	-3.2425	0.0075
-3.75	-3.757	-3.7395	0.0105
-1.5	-1.517	-1.4995	0.0005
-2.75	-2.762	-2.7445	0.0055
-0.75	-0.768	-0.7505	-0.0005
-1	-1.016	-0.9985	0.0015
-0.5	-0.52	-0.5025	-0.0025
-2.25	-2.264	-2.2465	0.0035

Elaboración propia.

3.2.2. Repetibilidad máquina de área de prototipos

- **Primer estudio: posiciones -1.4mm a -3.1mm**

Realizando 30 repeticiones con dos posiciones diferentes. En la Tabla 6, la primera columna muestra la cantidad de repeticiones, en la segunda columna tenemos el primer valor buscado de -1.4 mm y la última columna el segundo valor buscado de -3.1 mm.

Tabla 6. Repetibilidad de máquina prototipos, primer estudio posiciones -1.4mm a -3.1mm.

Nr.	TT	ST
	-1.4	-3.1
1	-1.408	-3.091
2	-1.408	-3.090
3	-1.408	-3.090
4	-1.409	-3.090
5	-1.409	-3.090
6	-1.408	-3.090
7	-1.408	-3.090
8	-1.408	-3.090
9	-1.408	-3.090
10	-1.409	-3.090
11	-1.409	-3.090
12	-1.409	-3.090
13	-1.409	-3.090
14	-1.408	-3.090
15	-1.408	-3.090
16	-1.408	-3.090
17	-1.409	-3.089
18	-1.409	-3.090
19	-1.409	-3.090
20	-1.409	-3.090
21	-1.409	-3.090
22	-1.409	-3.090
23	-1.408	-3.090
24	-1.409	-3.089
25	-1.409	-3.090
26	-1.409	-3.090
27	-1.409	-3.089
28	-1.409	-3.089
29	-1.408	-3.090
30	-1.409	-3.090
Min	-1.409	-3.091
Max	-1.408	-3.089
% Desv Stand	0.00049827	0.00040258

Elaboración propia.

- **Segundo estudio: posiciones -0.5mm a -3.5mm**

10 ciclos, con 6 posiciones diferentes que van desde -0.5 mm hasta -3.5 mm y con saltos de posiciones de -0.5 mm,

En la Tabla 7, en la primera columna para cada ciclo se muestra el valor buscado, la segunda columna es el valor obtenido en la caratula del palpador colocado sobre el herramental utilizado, la tercera columna es el valor calculado dependiendo del valor obtenido al calibrar la posición cero. En este caso el valor es de -0.0175 mm y la última columna es la diferencia u offset del valor obtenido y valor calculado. Esto se repite para cada uno de los 10 ciclos.

Tabla 7. Repetibilidad de máquina prototipos, segundo estudio posiciones -0.5mm a -3.5mm.

Ciclo 1				Ciclo 2			
Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido
-0.5	-0.514	-0.514	-0.014	-1.5	-1.511	-1.511	-0.011
-2.5	-2.492	-2.492	0.008	-2.5	-2.493	-2.493	0.007
-3.5	-3.491	-3.491	0.009	-1	-1.012	-1.012	-0.012
-1	-1.012	-1.012	-0.012	-3	-2.991	-2.991	0.009
-1.5	-1.494	-1.494	0.006	-3.5	-3.491	-3.491	0.009
-3	-2.991	-2.991	0.009	-0.5	-0.514	-0.514	-0.014
Ciclo 3				Ciclo 4			
Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido
-1.5	-1.494	-1.494	0.006	-0.5	-0.514	-0.514	-0.014
-3	-3	-2.991	0.009	-3	-2.992	-2.992	0.008
-0.5	-0.513	-0.513	-0.013	-1.5	-1.512	-1.512	-0.012
-3.5	-3.49	-3.49	0.01	-1	-1.013	-1.013	-0.013
-2.5	-2.509	-2.509	-0.009	-2.5	-2.493	-2.493	0.007
-1	-1.011	-1.011	-0.011	-3.5	-3.491	-3.491	0.009
Ciclo 5				Ciclo 6			
Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido
-2.5	-2.51	-2.51	-0.01	-1.5	-1.495	-1.495	0.005
-3	-2.991	-2.991	0.009	-3.5	-3.491	-3.491	0.009
-0.5	-0.514	-0.514	-0.014	-2.5	-2.511	-2.511	-0.011
-1.5	-1.495	-1.495	0.005	-3	-2.991	-2.991	0.009
-3.5	-3.491	-3.491	0.009	-1	-1.013	-1.013	-0.013
-1	-1.013	-1.013	-0.013	-0.5	-0.515	-0.515	-0.015
Ciclo 7				Ciclo 8			
Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido
-3.5	-3.492	-3.492	0.008	-0.5	-0.515	-0.515	-0.015
-3	-3.009	-3.009	-0.009	-1.5	-1.495	-1.495	0.005
-0.5	-0.515	-0.515	-0.015	-3.5	-3.492	-3.492	0.008
-1.5	-1.495	-1.495	0.005	-3	-3.008	-3.008	-0.008
-1	-1.012	-1.012	-0.012	-1	-1.013	-1.013	-0.013
-2.5	-2.493	-2.493	0.007	-2.5	-2.493	-2.493	0.007
Ciclo 9				Ciclo 10			
Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido	Valor fijo	Valor medido
-1	-1.013	-1.013	-0.013	-3	-2.991	-2.991	0.009
-2.5	-2.493	-2.493	0.007	-2.5	-2.511	-2.511	-0.011
-0.5	-0.515	-0.515	-0.015	-3.5	-3.491	-3.491	0.009
-1.5	-1.495	-1.495	0.005	-1.5	-1.513	-1.513	-0.013
-3.5	-3.491	-3.491	0.009	-1	-1.013	-1.013	-0.013
-3	-3.008	-3.008	-0.008	-0.5	-0.515	-0.515	-0.015

Elaboración propia.

- **Tercer estudio: posiciones 0mm a -3.7mm**

3 ciclos con 16 posiciones diferentes con valores de posición desde 0 mm hasta -3.75 mm y con saltos de posiciones de -0.25 mm.

En la Tabla 5, para cada ciclo se muestra sobre la primera columna el valor buscado, mientras que en la segunda columna es el valor obtenido en la caratula del palpador colocado sobre el herramental utilizado, la tercera columna es el valor calculado dependiendo del valor obtenido al calibrar la posición cero, en este caso el valor es de -0.0175 mm y la última columna es la diferencia u offset del valor obtenido y valor calculado. Esto se repite para cada uno de los 3 ciclos.

Tabla 8. Repetibilidad de máquina área de prototipos, segundo estudio posiciones 0mm a -3.75mm.

Ciclo 1				Ciclo 2			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset	Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3.75	-3.739	-3.739	0.011	-2.25	-2.258	-2.258	-0.008
-0.75	-0.762	-0.762	-0.012	-0.5	-0.514	-0.514	-0.014
0	-0.014	-0.014	-0.014	-3	-2.991	-2.991	0.009
-3.25	-3.239	-3.239	0.011	-1.25	-1.261	-1.261	-0.011
-1	-1.013	-1.013	-0.013	-2	-1.994	-1.994	0.006
-1.5	-1.495	-1.495	0.005	-0.25	-0.262	-0.262	-0.012
-1.25	-1.259	-1.259	-0.009	-3.75	-3.739	-3.739	0.011
-1.75	-1.743	-1.743	0.007	-3.25	-3.255	-3.255	-0.005
-2.5	-2.493	-2.493	0.007	-0.75	-0.762	-0.762	-0.012
-2	-2.011	-2.011	-0.011	-2.75	-2.741	-2.741	0.009
-0.25	-0.262	-0.262	-0.012	-1.75	-1.759	-1.759	-0.009
-3	-2.992	-2.992	0.008	-3.5	-3.491	-3.491	0.009
-2.75	-2.757	-2.757	-0.007	-1	-1.013	-1.013	-0.013
-2.25	-2.258	-2.258	-0.008	-2.5	-2.493	-2.493	0.007
-0.5	-0.515	-0.515	-0.015	-1.5	-1.512	-1.512	-0.012
-3.5	-3.492	-3.492	0.008	0	0.014	0.014	0.014

Ciclo 3			
Valor fijo	Valor medido	Valor calculado	Offset
-3	-2.991	-2.991	0.009
-2.5	-2.51	-2.51	-0.01
-1.25	-1.26	-1.26	-0.01
-0.25	-0.261	-0.261	-0.011
-1.75	-1.743	-1.743	0.007
0	-0.014	-0.014	-0.014
-3.5	-3.491	-3.491	0.009
-2	-2.01	-2.01	-0.01
-3.25	-3.238	-3.238	0.012
-3.75	-3.738	-3.738	0.012
-1.5	-1.512	-1.512	-0.012
-2.75	-2.74	-2.74	0.01
-0.75	-0.762	-0.762	-0.012
-1	-0.995	-0.995	0.005
-0.5	-0.514	-0.514	-0.014
-2.25	-2.241	-2.241	0.009

Elaboración propia.

3.3. SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA Y DISTANCIA

La propuesta de este estudio es el analizar la influencia de holguras mecánicas *Backlash* con un comparativo del sistema de control de fuerza y distancia entre una máquina con menos de 100,000 ciclos de trabajo y una máquina con más de 7,000,000 de ciclos de trabajo.

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, la cual se encuentra posicionada en la máquina en la base inferior del porta herramental inferior, con una capacidad máxima de 50 KN.

En la Figura 19, podemos identificar los elementos de la máquina y herramientas que intervienen durante la realización del siguiente estudio.

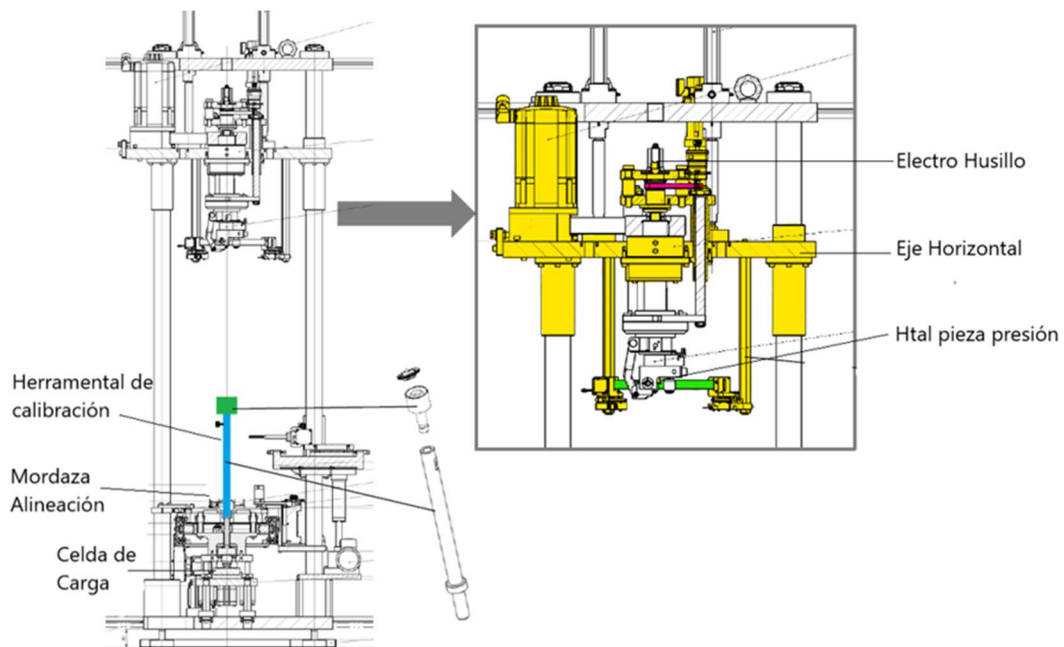


Figura 19. Elementos de máquina para el estudio de control de fuerza y distancia. Elaboración propia.

La realización de este estudio se hace de manera individual para cada una de las máquinas, en donde se realizan dos experimentos. El objetivo es conocer la habilidad del sistema de control de fuerza y distancia, en donde se buscará encontrar diferentes fuerzas y verificar la posición del eje principal desde el panel de control.

La fuerza alcanzada nos dará una posición del eje principal, pero al variar la posición del porta herramental y alcanzando las mismas fuerzas, esa variación de posición del porta herramental o las diferencias de las longitudes del herramental deberán verse reflejadas en las posiciones del eje principal.

El primer experimento es realizar 5 diferentes desplazamientos del porta herramental: 0 mm, - 0.5 mm, -0.1 mm, -0.05 mm y -1.0 mm. Utilizando la misma la misma pieza de presión con longitud nominal de 57.50 mm. La Figura 20, muestra la herramienta a utilizar y alcanzando fuerzas desde los 3 KN hasta los 30 KN.



Figura 20. Pieza de presión utilizada para primer estudio de evaluación de control por fuerza y distancia.
Elaboración propia.

El instrumental de calibración utiliza un *master* (patrón) de calibración el cual para este estudio se propone sea sólido, es decir, el herramental pieza de presión ejercerá fuerza sobre el *master* de calibración de forma solida sin utilizar reten, para con ello descartar por variación de longitudes de materiales en este caso, el retén. La Figura 21, muestra el herramental de calibración y el *master* de calibración a utilizar ya montados en la máquina.

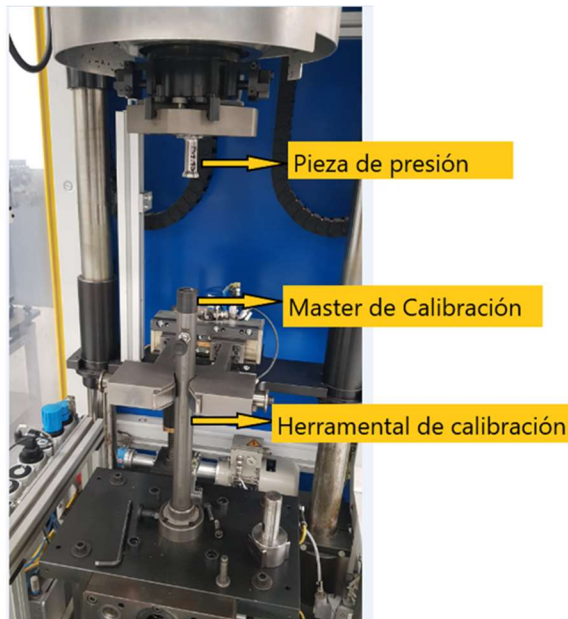


Figura 21. Herramentales de calibración.
Elaboración propia.

Al conocer que el porta herramental tiene repetibilidad y buen performance, podemos asumir que la variable de no repetibilidad en este estudio no se considera.

El segundo experimento es el realizar desplazamientos para encontrar fuerzas de 3 KN hasta 30 KN, con la posición del porta herramental fija, pero cambiando el herramental de presión, con tres diferentes longitudes: 57.5 mm, la cual representa la condición nominal de diseño, 57.45 mm y 56.54 mm.

Para la realización de este segundo estudio es necesario utilizar 3 diferentes longitudes de herramienta. La Figura 22, muestra estas herramientas con sus longitudes medidas.



Figura 22. Herramientas utilizadas para estudio de evaluación de control por fuerza y distancia.
Elaboración propia.

3.3.1. Validación de sistemas de control en máquina línea A7

- Primer estudio: sistema de control de fuerza

Tabla 9. Sistema de control de Fuerza en máquina línea A7.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			0 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1687.4	3.6	7	1686.1	17.5
2	1687.1	3.4	8	1686.1	17.9
3	1686.5	8.1	9	1686.0	22.2
4	1686.4	10.2	10	1685.8	26.7
5	1686.3	13.4	11	1685.7	31.9
6	1686.3	13.3			

Tabla 9. Sistema de control de Fuerza en máquina línea A7. (Continuación)

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.2	1.2	7	1685.2	15.2
2	1685.6	4.2	8	1685.0	21.5
3	1685.4	10.0	9	1684.9	23.6
4	1685.4	11.0	10	1684.8	28.3
5	1685.3	11.5	11	1684.7	31.0
6	1685.3	13.4			

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.5 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.7	2.3	7	1685.8	14.1
2	1686.2	3.6	8	1685.7	15.8
3	1686.2	3.7	9	1685.7	15.1
4	1686.1	4.3	10	1685.4	23.7
5	1686.0	7.1	11	1685.2	32.0
6	1685.8	14.0			

Prueba 4					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.1 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.8	3.7	7	1685.9	20.7
2	1686.5	5.1	8	1685.8	25.1
3	1686.3	8.9	9	1685.8	22.2
4	1686.3	9.2	10	1685.6	29.7
5	1686.2	12.8	11	1685.5	31.8
6	1686.0	18.3			

Tabla 9. Sistema de control de Fuerza en máquina línea A7. (Continuación)

Prueba 5					
Longitud de pieza de presión:		57.5 mm			
Posición de porta pieza presión:		-0.05 mm			
Precarga Máxima:		31 KN			
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1687.0	3.6	7	1686.2	12.7
2	1686.6	3.7	8	1686.1	17.1
3	1686.4	8.2	9	1686.0	20.7
4	1686.3	9.9	10	1685.8	25.2
5	1686.3	11.9	11	1685.6	31.8
6	1686.2	14.5			

Elaboración propia.

- **Segundo estudio: sistema de control de desplazamiento**

Tabla 10. Sistema de control de desplazamiento en máquina línea A7.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:		57.5 mm			
Posición de porta pieza presión:		-1.5 mm			
Precarga Máxima:		31 KN			
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1685.6	3.8	7	1684.7	16.1
2	1685.0	7.7	8	1684.7	14.9
3	1685.0	6.3	9	1684.6	19.3
4	1684.9	10.3	10	1684.4	24.3
5	1684.8	12.5	11	1684.1	31.9
6	1684.7	15.6			

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:		57.45 mm			
Posición de porta pieza presión:		-1.5 mm			
Precarga Máxima:		31 KN			
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.7	2.3	7	1684.6	17.3
2	1686.2	3.6	8	1684.5	18.5
3	1686.2	3.7	9	1684.1	31.8
4	1686.1	4.3	10	1684.1	29.5
5	1686.0	7.1	11	1684.1	31.8
6	1685.8	14.0			

Tabla 10. Sistema de control de desplazamiento en máquina línea A7. (Continuación)

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			56.54 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1.5 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1684.7	1.2	7	1683.8	12.0
2	1684.5	6.0	8	1683.5	20.5
3	1684.3	3.8	9	1683.3	26.2
4	1684.2	6.5	10	1683.2	31.9
5	1684.0	7.2	11	1683.1	32.0
6	1684.0	6.0			

Elaboración propia.

3.3.2. Validación de sistemas de control en máquina de prototipos

- **Primer estudio: sistema de control de fuerza**

Tabla 11. Sistema de control de fuerza en máquina área de prototipos.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:			57.26 mm		
Posición de porta pieza presión:			0 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1437.77	0.7	7	1437.21	11.9
2	1437.62	4.0	8	1437.15	13.5
3	1437.59	4.1	9	1437.06	16.1
4	1437.47	5.3	10	1437.05	16.4
5	1437.40	6.8	11	1436.91	21.0
6	1437.25	11.6			

Tabla 11. Sistema de control de fuerza en máquina área de prototipos. (Continuación)

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1436.77	0.7	7	1436.30	9.8
2	1436.69	2.1	8	1436.18	12.7
3	1436.66	2.9	9	1436.06	16.3
4	1436.42	6.5	10	1436.05	16.6
5	1436.38	7.3	11	1435.96	19.0
6	1436.31	9.3			

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			57.26 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.5 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1437.23	1.3	7	1436.90	6.9
2	1437.12	3.5	8	1436.77	10.3
3	1437.06	4.4	9	1436.71	11.9
4	1437.04	4.6	10	1436.55	16.7
5	1436.96	5.5	11	1436.39	21.0
6	1436.93	6.2			

Prueba 4					
Longitud de pieza de presión:			57.26 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.1 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1437.55	3.1	7	1437.17	10.5
2	1437.47	4.3	8	1437.16	10.6
3	1437.34	6.1	9	1437.14	11.0
4	1437.3	7.1	10	1437.12	11.6
5	1437.3	7.0	11	1436.79	21.1
6	1437.26	8.1			

Tabla 11. Sistema de control de fuerza en máquina área de prototipos. (Continuación)

Prueba 5					
Longitud de pieza de presión:			57.26 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.05 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1437.68	1.5	7	1437.13	12.9
2	1437.64	2.3	8	1437.12	13.2
3	1437.56	3.5	9	1437.08	13.8
4	1437.40	5.9	10	1437.06	14.3
5	1437.30	8.0	11	1436.85	21.0
6	1437.26	9.4			

Elaboración propia.

- **Segundo estudio: sistema de control de desplazamiento**

Tabla 12. Sistema de control de desplazamiento en máquina de prototipos.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1.5 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1429.85	4.2	7	1429.47	13.0
2	1429.83	4.3	8	1429.46	13.5
3	1429.69	6.6	9	1429.31	17.9
4	1429.60	9.2	10	1429.24	20.1
5	1429.54	11.1	11	1429.15	22.9
6	1429.48	12.8			

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:			57.45 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1.5 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1429.78	4.1	7	1429.35	14.7
2	1429.61	7.0	8	1429.28	16.5
3	1429.58	7.5	9	1429.17	20.1
4	1429.51	9.8	10	1429.16	20.3
5	1429.45	11.6	11	1429.15	20.7
6	1429.40	12.8			

Tabla 12. Sistema de control de desplazamiento en máquina de prototipos.
(Continuación)

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			56.54 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1.5 mm		
Precarga Máxima:			21 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1428.85	4.6	7	1428.45	15.0
2	1428.66	8.8	8	1428.38	17.0
3	1428.63	9.7	9	1428.35	18.0
4	1428.63	9.6	10	1428.27	20.4
5	1428.62	10.0	11	1428.19	23.0
6	1428.57	11.4			

Elaboración propia.

3.5. AJUSTE MÁXIMO DEL PORTA HERRAMENTAL

Para comprobar el máximo ajuste que será definido de la porta herramental, tiene que ser realizado a través de un análisis de toda la gama de diseños disponibles de la herramienta.

Como se ha mencionado en la sección del marco teórico, los diseños de este herramental se fundamentan en el diseño del amortiguador que será sellado, pero siempre siendo la longitud H la misma para todos los diseños. Por lo tanto, este análisis debe ser realizado en la parte de contacto del herramental hacia el amortiguador, a la cual denominaremos espesor. En el análisis realizado encontramos que el máximo y mínimo espesor de contacto de herramental es como se muestra en la Figura 23. Por lo tanto, se debe considerar que el máximo ajuste automático permitido será de 0.5 mm para todas las construcciones de amortiguadores derivado de que este es la condición de diseño de menor espesor.

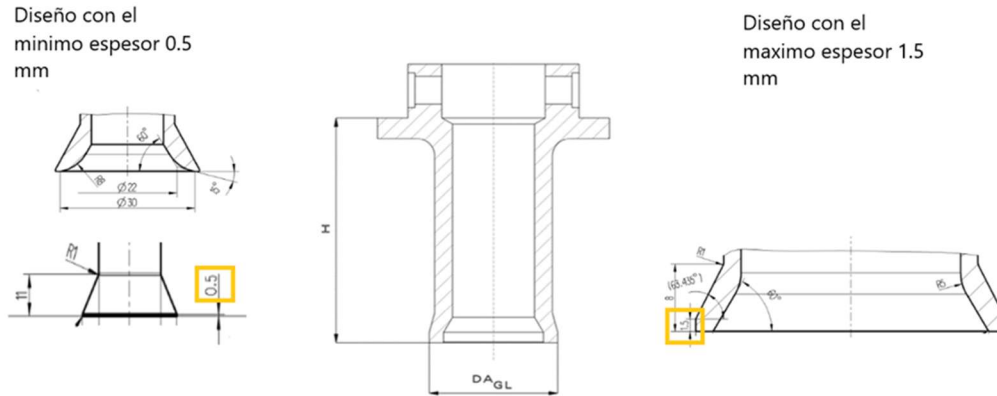


Figura 23. Mínimo y máximo valor de espesor de herramental de pieza de presión.
Elaboración propia.

3.5. PRUEBA DE SELLADO Y VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA

La validación de prueba de sellado tiene como objetivo definir los parámetros adecuados para el proceso, los cuales deben de cubrir todo el rango de tolerancia de las diferentes longitudes de materiales del amortiguador.

Para el caso específico de la construcción seleccionada, en este estudio se define como plan de pruebas, la definición de parámetros, utilización de diferentes longitudes de herramientas, con esto verificar las condiciones del material después de sellar, y comprobar que se encuentran dentro de especificación, realizando cortes seccionales a la pieza ya sellada, las condiciones del material a considerar después de sellar son:

- Adelgazamiento de material menor del 10%
- Doblez de lámina del material dentro de $90^\circ \pm 2^\circ$
- Flexión de reten, menor a 2° .

3.5.1. Diseño de amortiguador

En la Tabla 13, tenemos definido por diseño las diferentes longitudes de los componentes del amortiguador los cuales la parametrización que se defina

deberá ser suficientemente robusta para lograr sellar amortiguadores en sus diferentes dimensiones y dentro de tolerancia.

Tabla 13. Diseño de longitud interior de amortiguador.

LONG DE COMPONENTES	CONSTANTE INTERNA (mm)	LONG T CILINDRO (mm)	ALTURA CUERPO VALVULA (mm)	ALTURA RETEN (mm)	CAP. ANTI-RUIDO (mm)	ALTURA GUIA (mm)	TOTAL (mm)
Nominal	340	308	8.5	3.1	0	15	334.6
Min	329.7	298.2	8.6	3.2	0	15.1	325.1
Max	330.3	297.8	8.4	3	0	14.9	324.1

Elaboración propia.

En la Tabla 14, se muestra algunas de las características del material como son los diámetros exteriores e interiores del tubo deposito, especificaciones del proceso entre las que encontramos fuerza residual, así como espesor de material del área de sellado y también la longitud del tubo cilindro para la realización de prueba de fuerza residual.

Tabla 14. Definición características del material.

INFORMACIÓN DE MATERIAL	
∅ Ext. Tubo Depósito (mm)	50.40
∅ Int. Tubo Depósito (mm)	46.00
Espesor Tubo Depósito (mm)	2.20
ESPECIFICACIONES	
Máxima Fza Rem (Kn)	16
Mínima Fza Rem (Kn)	12
Máx. Espesor Área de Sellado (mm)	2.42
Mín. Espesor de Área de Sellado (mm)	1.98
LONGITUD TUBO CILINDRO PARA PRUEBA	
Long. Tubo Cil Prueba UEB nominal (mm)	245.30
Long. Tubo Cil Prueba UEB mínimo (mm)	245.90
Long. Tubo Cil Prueba UEB máximo (mm)	244.70

Elaboración propia.

3.5.2. Herramientales

Las herramientas para esta construcción de amortiguado se definieron a partir de las especificaciones de sellado. En la Tabla 15, podemos observar la definición de herramientas.

Tabla 15. Definición de herramientas.

HERRAMENTALES	
Numero de Dibujo de Ens. Cabezal	3340920
Número de Dibujo Nariz	3371191
Long. De Nariz	57.50
Tipo de Rodillo	Tipo B
Esp. De Arandela de Apoyo	3.00

Elaboración propia.

La verificación de la longitud de herramienta de presión se realiza utilizando un calibrador de alturas aprobado y certificado por el área de metrología de ZF. Se dimensionaron cinco diferentes herramientas. Esto lo podemos observar en la imagen de la Figura 24.

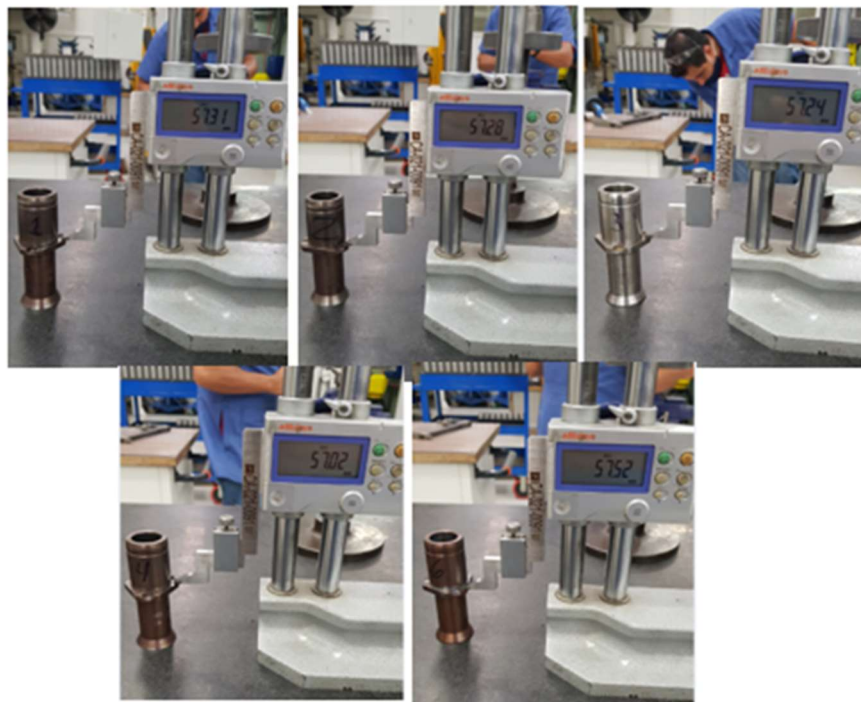


Figura 24. Dimensionamiento de herramienta de presión.
Elaboración propia.

Cabe señalar que estas piezas de presión se tomaron como herramientas usadas e incluso como descarte, debido a que estaban fuera de tolerancia a excepción de la herramienta 6. Posterior a ello se llevaron al taller de herramientas para retrabajar la superficie de contacto y dejarlas en la medida requerida. Este procedimiento como se observa en la Figura 24.

3.5.3. Parametrización

Para definir los parámetros correctos es necesario realizar varias pruebas de sellado, utilizando diferentes tubos deposito, guías y retenes. Mientras que los tubos cilindros, así como la válvula de fondo se estarán reutilizando en las pruebas siguientes para definición de máximo y mínimos.

En la Tabla 16, se muestra los primeros resultados de validación de sellado con diferentes posiciones del porta herramental, así como diferentes valores de precarga.

Tabla 16. Definición de parametrización.

Longitud UEB	Debug	Debug	Debug	Nom	Máx	Mín	Mín	Máx
Registro	1	2	3	4	5	6	7	8
ØExt antes sellar (mm)	50.48	50.38	50.45	50.39	50.46	50.41	50.45	50.49
	50.34	50.44	50.42	50.40	50.45	50.39	50.41	50.40
Esp. Tub (mm)	2.18	2.20	2.19	2.16	2.25	2.15	2.19	2.23
	2.23	2.26	2.11	2.26	2.24	2.23	2.30	2.17
Precarga (Kn)	26.0	26.5	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
Pos. Pza Presión (mm)	-3.35	-3.50	-3.50	-3.60	-3.60	-3.60	-3.60	-3.60
Angulo Sellado (Gr)	93	93	93	93	93	93	93	93
UEB (mm)	5.51	5.54	5.51	5.64	5.94	4.95	4.99	5.93
Fza Remanente (Kn)	9.097	12.741	12.666	15.241	15.507	14.214	14.906	16.877
ØExt antes sellar (mm)	50.48	50.50	50.43	50.41	50.43	50.52	50.44	50.42
	50.40	50.43	50.49	50.49	50.48	50.44	50.42	50.44
ØInt después de sellar	36.95	36.66	36.79	36.56	35.63	37.74	37.76	35.65
	36.94	36.64	36.82	36.49	35.66	37.76	37.70	35.67
Apariencia	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano
Espesor sellado	2.40	2.36	2.35	2.10	2.12	2.15	2.15	2.11

Elaboración propia.

Los parámetros de precarga, posición de porta herramienta son los sugeridos en modificar, con la finalidad de obtener los parámetros finales que cumplan con la especificación de proceso. La Tabla 17, muestra los parámetros definidos finales para esta construcción de amortiguador.

Tabla 17. Parametrización definida.

Longitud UEB	Máx.	Mín.	Nom.
Registro	9	10	11
ØExt antes sellar (mm)	50.36	50.45	50.41
	50.47	50.44	50.38
Esp. Tub (mm)	2.22	2.20	2.23
	2.20	2.21	2.19
Precarga (Kn)	27.0	27.0	27.0
Pos. Pza Presión (mm)	-3.55	-3.55	-3.55
Angulo Sellado (Gr)	93	93	93
UEB (mm)	5.89	5.00	5.58
Fza Remanente (Kn)	14.885	13.444	14.051
ØExt antes sellar (mm)	50.38	50.43	50.41
	50.43	50.49	50.45
ØInt después de sellar	35.96	37.61	36.62
	35.73	37.69	36.62
Apariencia	Plano	Plano	Plano
Espesor sellado	2.18	2.08	2.14

Elaboración propia.

Como se aprecia en la Tabla 17, los parámetros de Precarga, posición de pieza de presión o porta herramental, así como el ángulo de sellado, se mantuvieron constantes tanto para materiales al máximo como de mínimo de longitud interior o UEB, logrando obtener resultados dentro de especificación.

3.5.4. Dimensionamiento de piezas después de sellado

Los cortes seccionales son mandatorios para verificar dentro del amortiguador que el proceso de sellado cumple con diferentes características. Para ello es importante el realizar estas mediciones.

La Figura 25 representa lo que es el doblés de la lámina del tubo deposito después de que es sellada. Se observa en los valores medidos el adelgazamiento del material es menor a 10% del valor del espesor antes de ser sellado, también se observa que el ángulo de doblés de la lámina se encuentra dentro de los $90^\circ \pm 2^\circ$.



Figura 25. Doblez de lámina después de sellar.
Elaboración propia.

En la Figura 26, podemos observar adicionalmente como se encuentra la flexión del retén. En este caso la flexión del retén no sobre pasa ni siquiera 1° de doblés, por lo cual también se puede mencionar dentro de especificación.

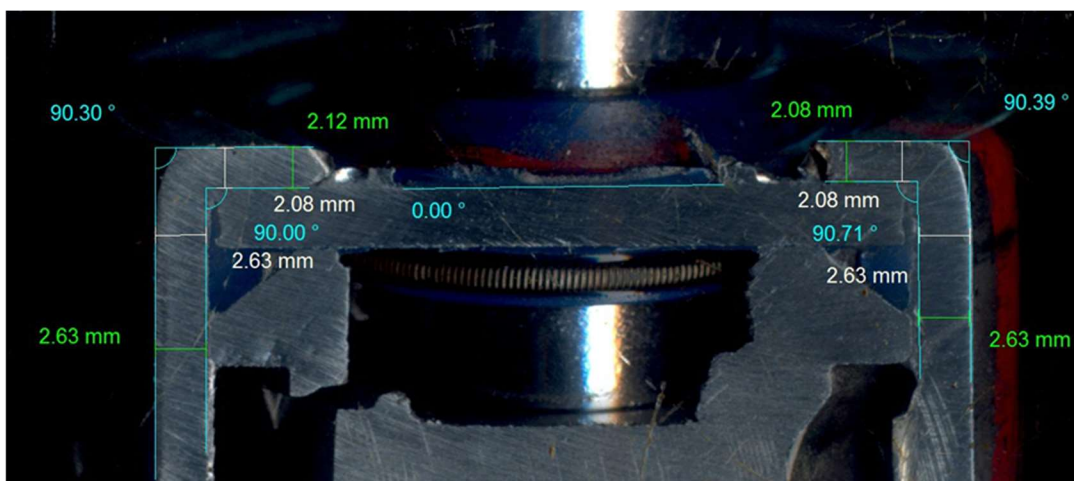


Figura 26. Medición flexión de retén.
Elaboración propia.

En la Figura 27, únicamente se verifica el ángulo del doblé de la lámina de un corte seccional, con la finalidad de que no exista flexión del retén mayor a los 92° .

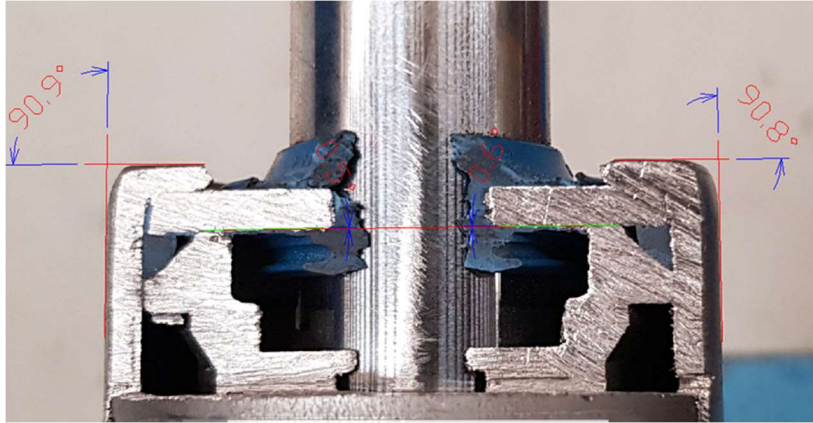


Figura 27. Corte seccional en zona de sellado.
Elaboración propia.

3.6. PROGRAMACIÓN DE ALGORITMO DE CONTROL EN PLC

Después del análisis del comportamiento del sistema de ajuste del porta herramental, así como también del sistema de control de fuerza y distancia en dos máquinas de condiciones diferentes por la cantidad de ciclos de vida, podemos generar el desarrollo del algoritmo de control para la modificación y realización del ajuste automático en la máquina del área de prototipos, sabiendo que esto podría ser replicado en cualquier máquina por los valores obtenidos de los estudios previamente realizados.

Evaluar la reconfiguración de programación de máquina considerando el análisis amplio de control de fuerza y distancia basada en la longitud de la pieza de presión y alcanzando como objetivo una correlación entre ambas.

Para ello será necesario primeramente definir las diferentes secuencias del proceso de ajuste automático, tanto como secuencia a realizar por el operador, así como también de la máquina. Para esto se propone los siguientes pasos:

1. Colocación de pieza de presión en máquina.
2. Colocación de herramental de calibración.
3. En el panel de operador cambiar el selector de manual a rutina de Calibración/Ajuste.
4. Presiona botón de ciclo
5. Termina ciclo de Calibración/Ajuste
6. En el panel de operador cambiar el selector de rutina de calibración/Ajuste a modo manual
7. Se retira herramental de calibración.
8. En el panel de operador cambiar el selector de manual a modo automático.
9. Se coloca amortiguador
10. Se presiona botón de inicio de ciclo.

3.6.1. Secuencias de funcionamiento

Los PLC son máquinas electrónicas secuenciales que ejecutan de manera síncrona las instrucciones indicadas en un programa de lenguaje formal almacenado en su memoria. A partir de señales de entrada o lecturas electrónicas, se generan ordenes señales de mando o señales de salida. Al detectarse cambios en las señales de entrada, el autómata modifica las señales de salida según el algoritmo programado. Esta secuencia se ejecuta continuamente para controlar la máquina o proceso.

Para la implementación de esta metodología se agregaron al programa original de la máquina dos secuencias básicas de operación:

Secuencia de máquina en modo automático.

1. Señal de inicio (botón de mando ejecutado por el operador)

2. La máquina detecta on/off del sensor de presencia del herramental de pieza de presión
3. Mordaza de alineación cierra para sujetar la pieza.
4. La posición de pieza de presión debe moverse hacia posición 0.0 mm (posición fija para calibración)
5. Eje horizontal completo baja a velocidad media hasta llegar a la posición de trabajo.
6. Cambio de velocidad de eje horizontal completo de media a baja.
7. Cuando se alcance fuerza de 5 KN la máquina debe parar y mantenerse por 3 segundos para que la fuerza se estabilice.
8. La máquina compara su posición actual respecto a la posición definida en los parámetros de operación. La diferencia se almacena en memoria, como valor de ajuste de la pieza de presión.
9. La máquina regresa a su posición inicial
10. Cuando la máquina ya no detecta fuerza, cambia de velocidad de baja a alta.
11. Llega a posición inicial
12. Abre mordaza
13. La máquina realiza el ajuste del valor de posición de la pieza de presión.

Secuencia de seguridad durante el ajuste automático.

1. Se activa las señales de la cortina de seguridad o el paro de emergencia.
2. La máquina debe detenerse de manera inmediata.
3. Prende una lampara de error y se emite una alarma al panel de operador.
4. Cambio a modo manual (acción del operador).
5. Señal de botón de reset (acción del operador después de revisar el percance).
6. Se elimina alarma y el eje horizontal regresa a posición home a velocidad baja.
7. Reinicio de ciclo con botón de inicio (acción del operador).

En la Figura 28, se muestra el diagrama de Petri para la programación de la secuencia de máquina en modo automático.

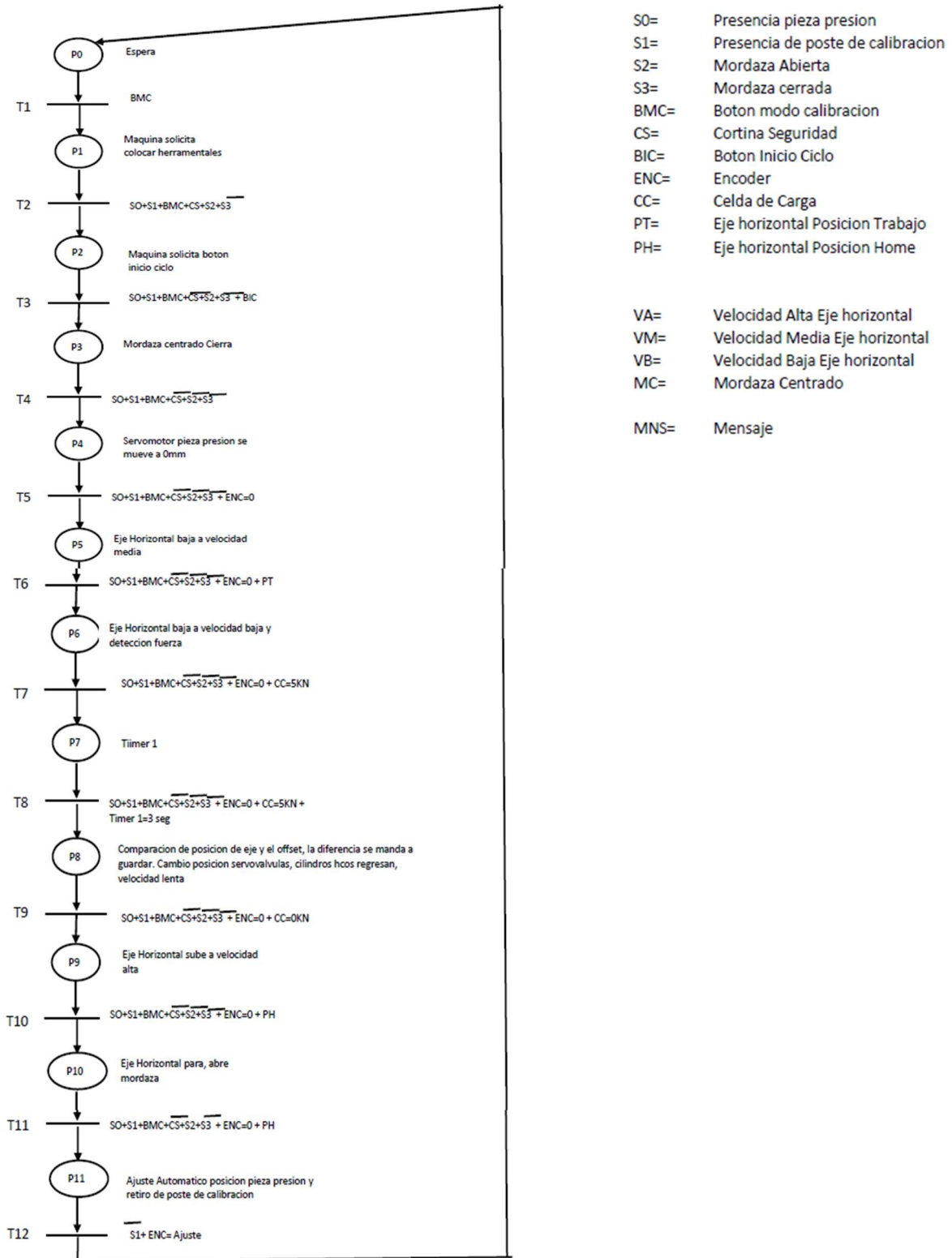


Figura 28. Diagrama de Petri para secuencia en automático.
Elaboración propia.

En la Figura 29, se observa el panel de instrumentos, en a) la interfase gráfica HMI y en b) los botones de comando.



Figura 29. Panel de control. a) Interfase grafica HMI. b) Botones de mando. Elaboración propia.

3.6.2. Señales de entrada y salida del PLC

En las secuencias de entradas y salida, el PLC realiza la lectura y escritura de señales todas a la vez de manera matricial, tanto para entradas como para salidas. Las entradas leídas de los módulos de entrada se guardan en una memoria temporal (Imagen de entradas). El PLC hace un escaneo de esta imagen en la ejecución del programa, y según se obtienen las salidas de acuerdo con el algoritmo, se guardan en otra memoria temporal (imagen de salidas). Las imágenes se renuevan siempre que se realiza un escaneo de ejecución de programa.

Señales de entrada (panel de instrumentos)

- Selector de modo de mando manual.
- Selector de modo de mando automático.
- Selector de modo de mando calibración.
- Botón Posición inicial.
- Botón Reset de falla.
- Botón de paro de emergencia.

Señales de entrada (interfase grafica)

- Movimiento arriba de eje vertical.
- Movimiento abajo de eje vertical.
- Movimiento arriba de pieza de presión.
- Movimiento abajo de pieza de presión.
- Abrir mordaza.
- Cerrar mordaza.

Señales de entrada (periféricos)

- Sensor presencia pieza.
- Sensor mordaza de alineación abierta.
- Sensor mordaza de alineación cerrada.
- Sensor detección de herramental pieza presión.
- Celda de carga (analógica).

Señales de salida

- Lampara indicadora de falla.
- Lampara indicadora de posición inicial.
- Cierre de mordaza de alineación.
- Apertura de mordaza de alineación.
- Posición Eje horizontal (analógica).
- Posición pieza de presión (analógica).
- Fuerza alcanzada (analógica).
- Velocidad Alta eje horizontal (analógica).

En la Figura 30, se visualiza la distribución de cada uno de los elementos de la máquina que intervienen en esta rutina de ajuste automático de herramental de presión. En a) se muestra un esquemático de la máquina de sellado en sus componentes interiores. En b) es una fotografía de la máquina de área de prototipos con un acercamiento de imagen.

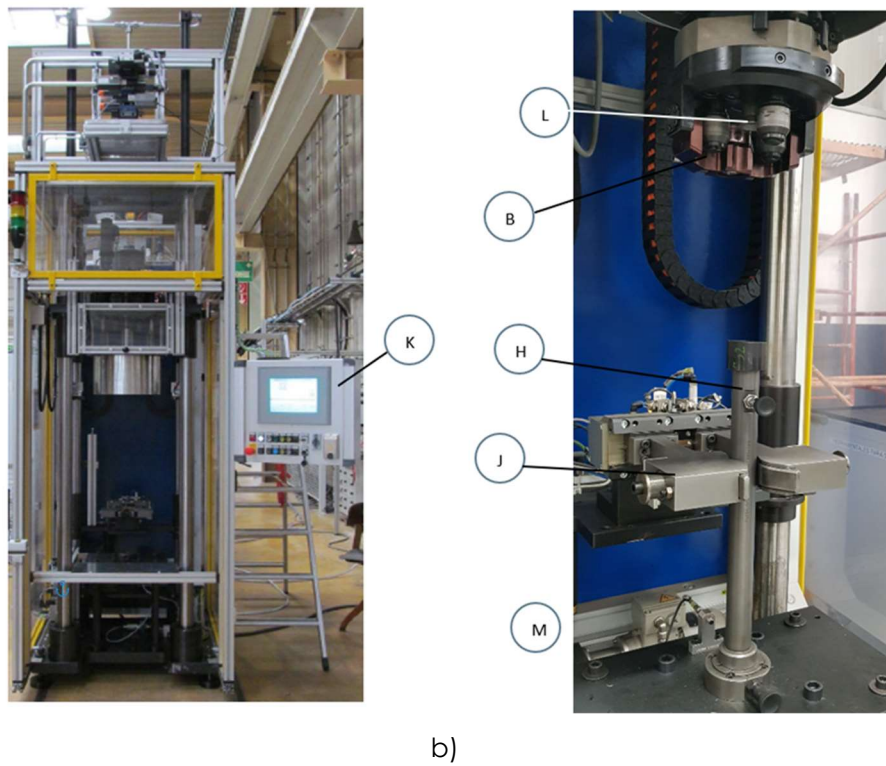
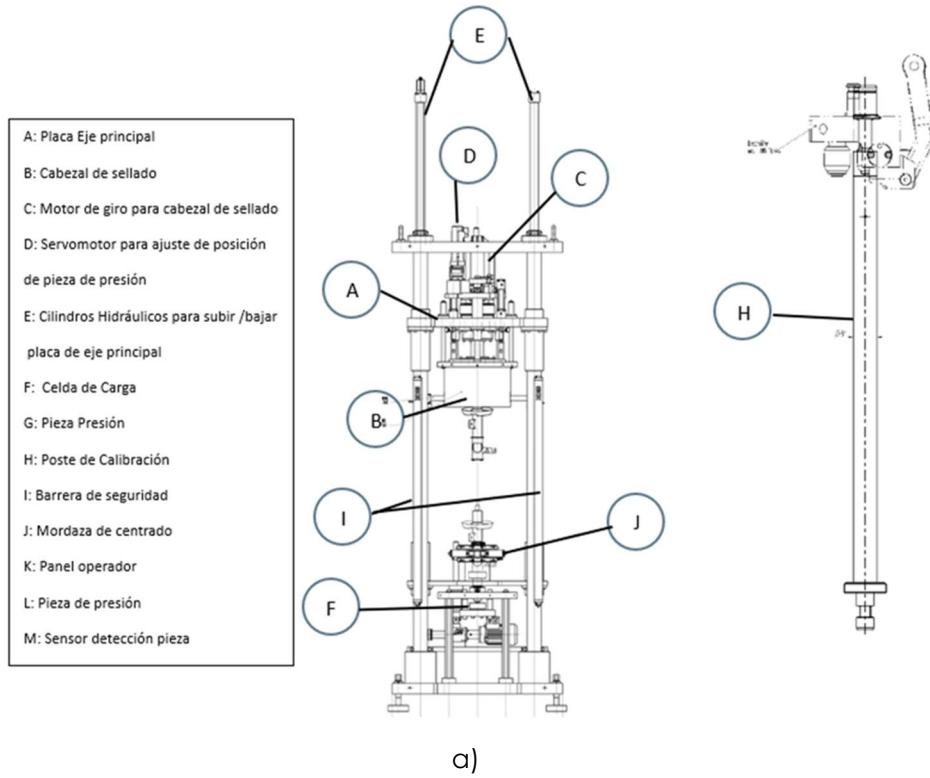


Figura 30. Distribución de elementos de control. A) Esquemático de máquina. B) Imagen frontal de la máquina de sellado.
Elaboración propia.

3.6.3. Programación

Para la programación de los PLC's estandarizados con IEC 61131-3, se requieren de lenguajes formales. El diagrama en escalera es un lenguaje formal de programación basado en esquemas eléctricos de control clásicos. De este modo, con conocimientos eléctricos básicos, se puede adaptar a la programación en este tipo de lenguaje.

En un escalón de la escalera, la energía se desplaza de izquierda a derecha, aparecen contactos (abiertos o cerrados) en la parte izquierda y una bobina en el extremo derecho. La lógica de control es una inferencia lógica que tiene como antecedente una red de Petri esquemática. De una red de Petri se obtienen las ecuaciones de inscripción o habilitación de la memoria de bobina, las ecuaciones de borrado o des habilitación de la bobina y las ecuaciones de salida. Estas ecuaciones se traducen a la denominada lógica de contactos en un diagrama de escalera.

De la red de Petri interpretada para la secuencia de ajuste automático de la posición del porta herramental se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

Ecuaciones de inscripción

$$Q0 = Q11 * S1 - *ENC = AJUSTADO$$

$$Q1 = Q0 * BMC$$

$$Q2 = Q1 * SO * S1 * BMC * CS * S2 * S3 -$$

$$Q3 = Q2 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 * S3 - * BIC$$

$$Q4 = Q3 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 -$$

$$Q5 = Q4 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0$$

$$Q6 = Q5 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0 * PT$$

$$Q7 = Q6 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0 * CC = 5KN$$

$$Q8 = Q7 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0 * CC = 5KN * TIMER 1 = 3SEG$$

$$Q9 = Q8 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0 * CC = 0KN$$

$$Q10 = Q5 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 - * S3 - * ENC = 0 * PH$$

$$Q11 = Q5 * SO * S1 * BMC * CS - * S2 * S3 - * ENC = 0 * PH$$

Ecuaciones de borrado

$$J0 = Q1$$

$$J1 = Q2$$

$$J2 = Q3$$

$$J3 = Q4$$

$$J4 = Q5$$

$$J5 = Q6$$

$$J6 = Q7$$

$$J7 = Q8$$

$$J8 = Q9$$

$$J9 = Q10$$

$$J10 = Q11$$

$$J11 = Q0$$

Ecuaciones de salida

$$ENC = Q4 + Q11$$

$$CC = Q6 + Q7 + Q8$$

$$VA = Q9$$

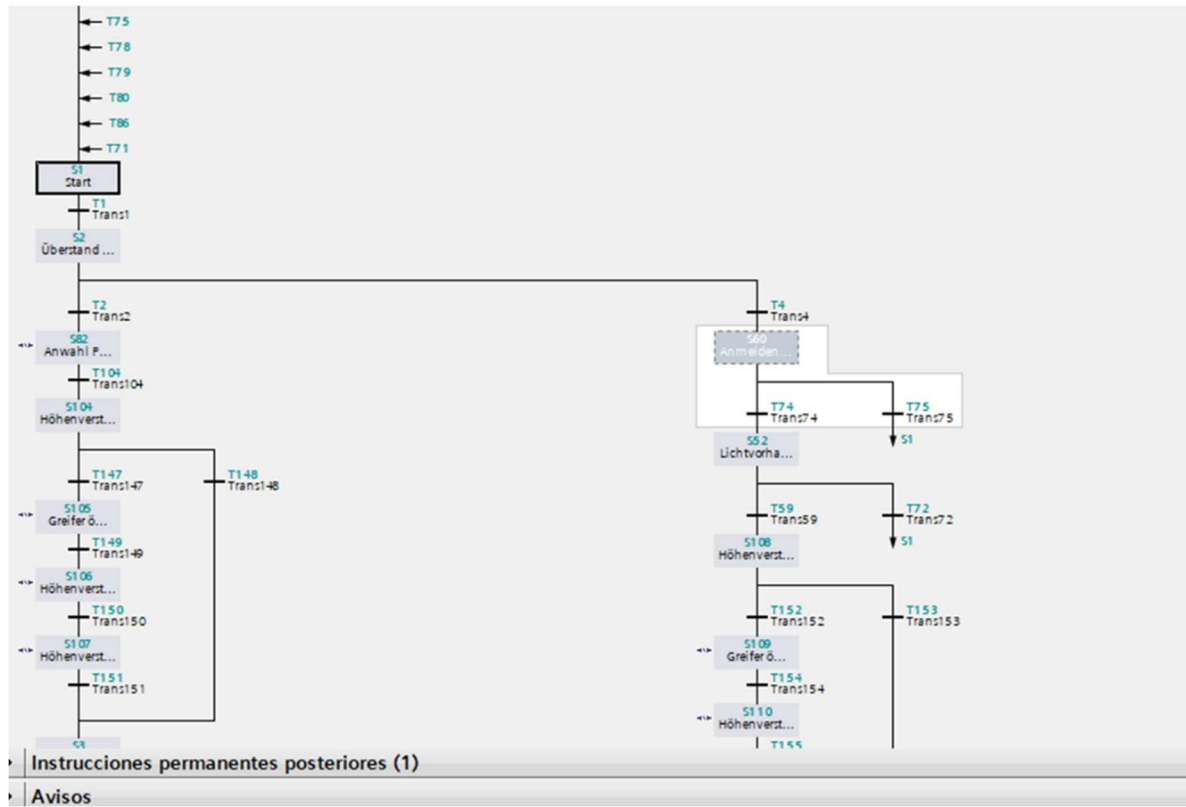
$$VM = Q5$$

$$VB = Q6 + Q8$$

$$MC = Q3 + Q10$$

$$TIMER1 = Q7$$

En la Figura 31, se muestra un diagrama grafcet traducido a partir del diagrama de Petri.



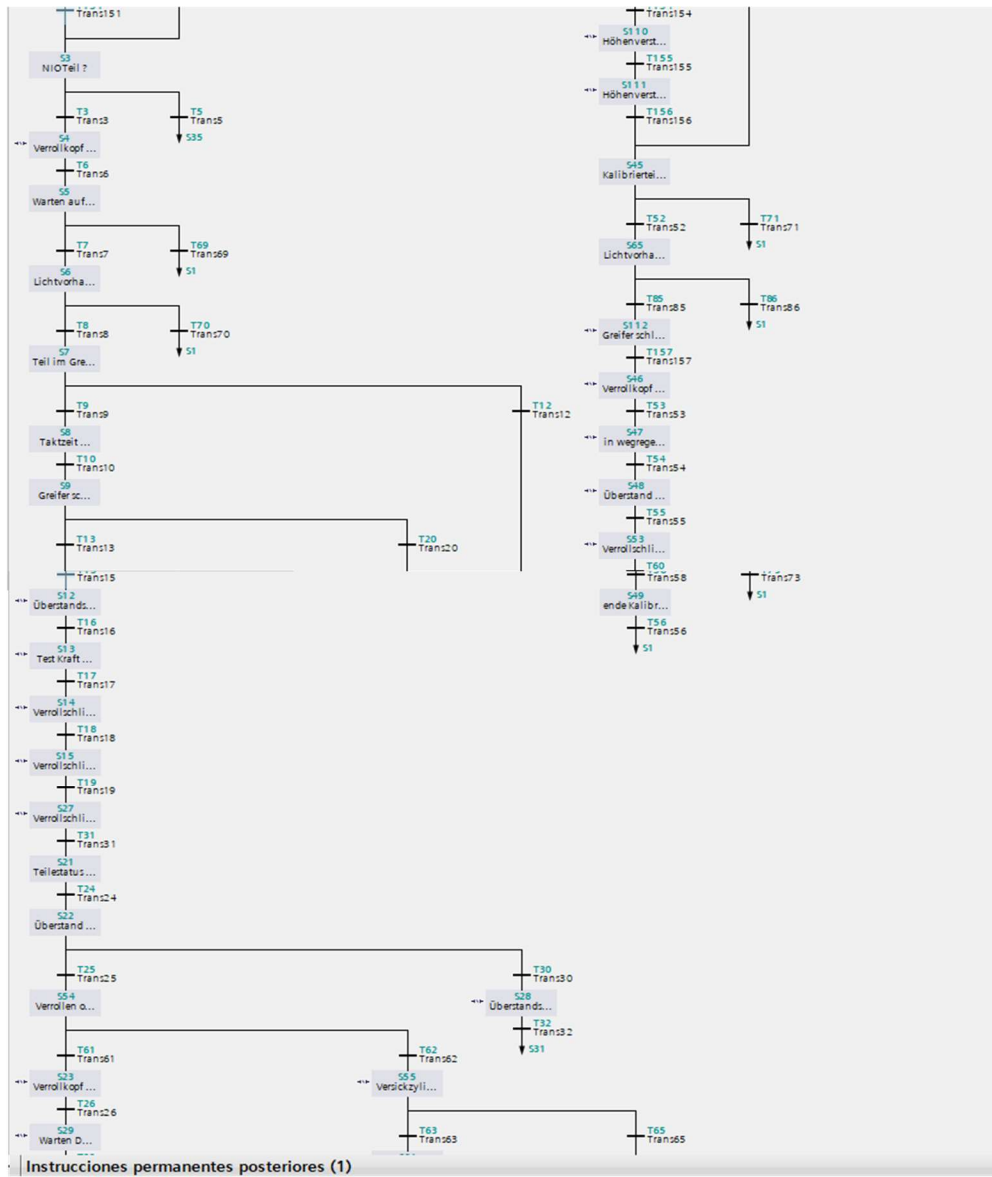


Figura 31. Diagrama de grafcet de secuencia de ajuste automático de herramental.
Elaboración propia.

4. RESULTADOS

Una vez que se ha implementado la metodología descrita en el capítulo 3, tenemos los siguientes resultados.

4.1. REPETIBILIDAD DEL POSICIONAMIENTO DEL PORTA HERRAMENTAL

Para lograr ver de manera agrupada y analizada los datos de ambas máquinas, se utiliza el software Minitab, donde podemos observar de manera grafica en la Figura 32, que la máquina de línea Prototipos tiene una mejor habilidad de proceso (Cpk) y un mejor desempeño del proceso (Ppk). Esto no significa que la máquina de línea A7 tenga un problema, sin embargo, la máquina de prototipos tiene una mejor habilidad y desempeño.

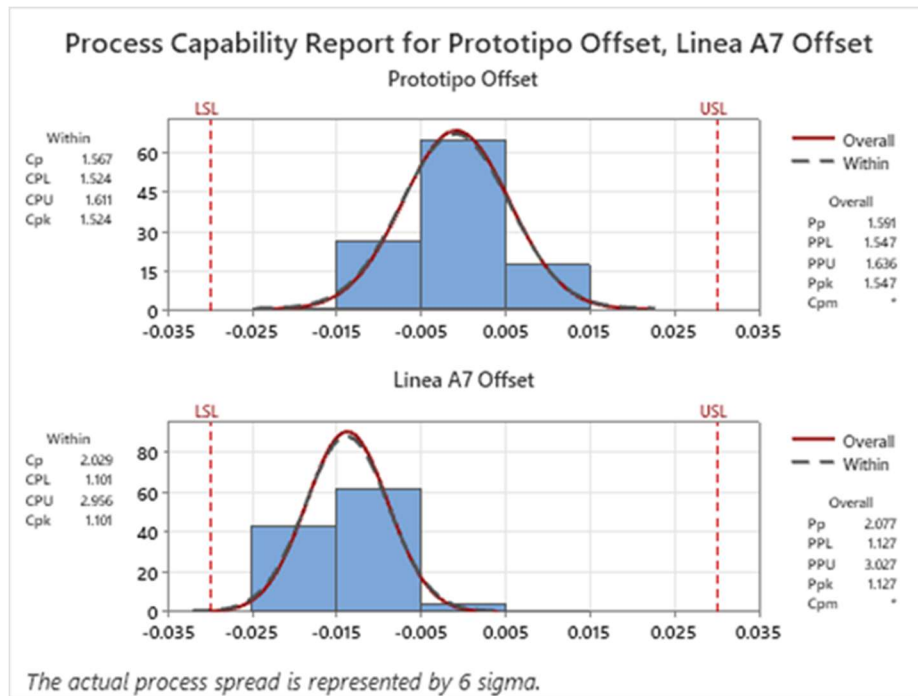


Figura 32. Comparación de habilidad y desempeño de proceso del porta herramental entre máquina de línea A7 y máquina de laboratorio de prototipos. Elaboración propia.

4.2. SISTEMA DE CONTROL DE FUERZA Y DISTANCIA

Los valores obtenidos se graficaron para comparar ambas máquinas, podemos observar en la Figura 33 y Figura 34, el comportamiento y respuesta de cada una de las máquinas al ser sometidas a diferentes posiciones del porta herramental y utilizando la misma herramienta. Se puede observar que la máquina de laboratorio muestra la separación de las líneas de acuerdo con la posición del porta herramental, esto indica un mejor control de fuerza y distancia que la máquina de línea A7.

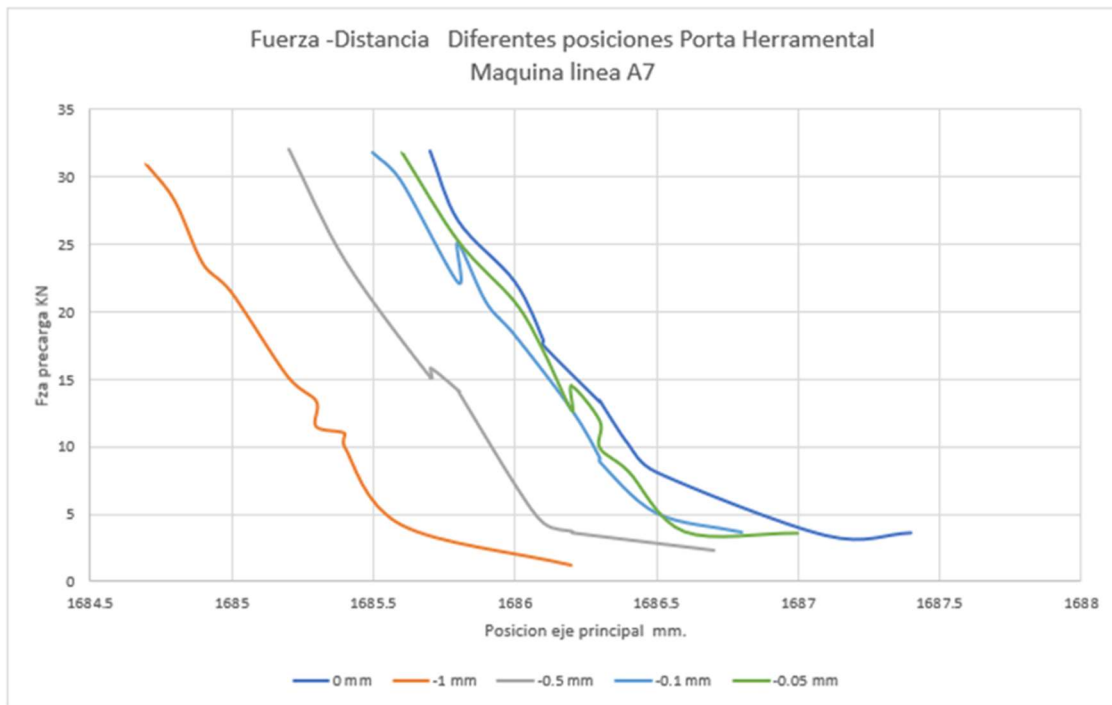


Figura 33. Respuesta del estudio modificando la posición del porta herramental máquina línea A7.
Elaboración propia.

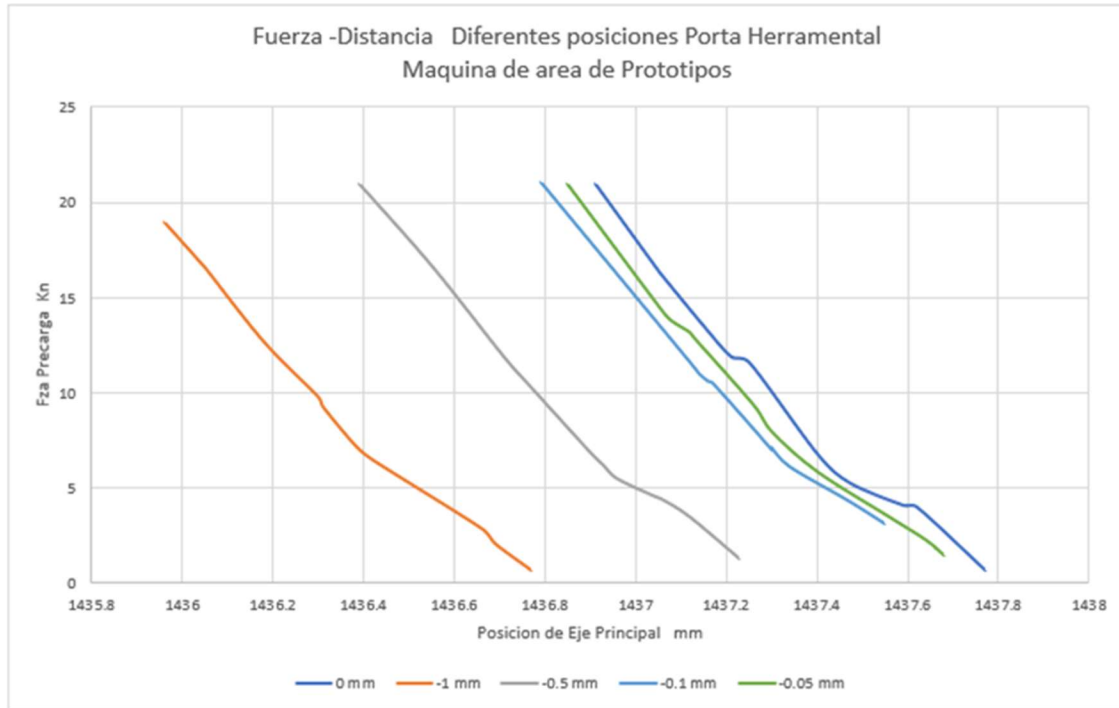


Figura 34. Respuesta del estudio modificando la posición del porta herramental máquina Prototipos.
Elaboración propia.

La Figura 35 y la Figura 36, muestran el comparativo de respuesta del estudio entre la máquina de línea A7 y máquina del área de prototipos, utilizando diferentes longitudes de herramientas pieza de presión.

A pesar de tener una mejor respuesta la máquina del área de prototipos que la máquina de línea A7 en este estudio, la máquina de línea 7 podría mejorar realizando un ajuste en la velocidad de posición del eje principal.

Se propone repetir el estudio en la línea A7, pero reduciendo en 25% la rampa de aceleración y desaceleración en el sistema hidráulico y HNC 100 con la finalidad de tener mayor linealidad en los resultados.

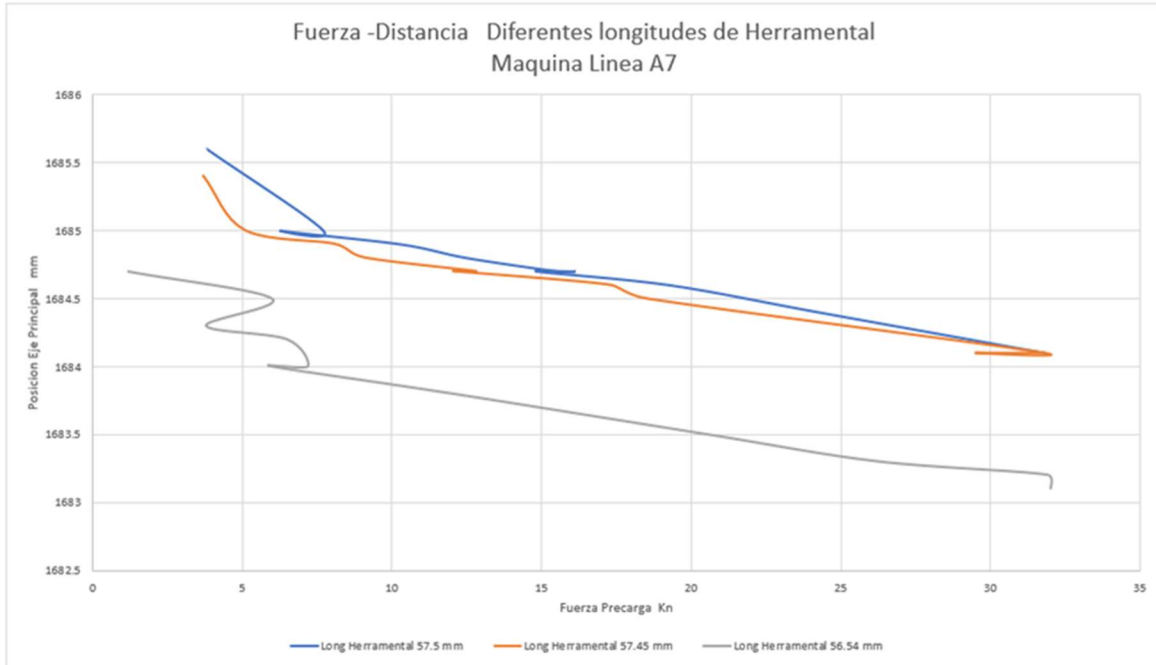


Figura 35. Respuesta del estudio a diferentes longitudes de herramientas pieza de presión máquina línea A7.
Elaboración propia

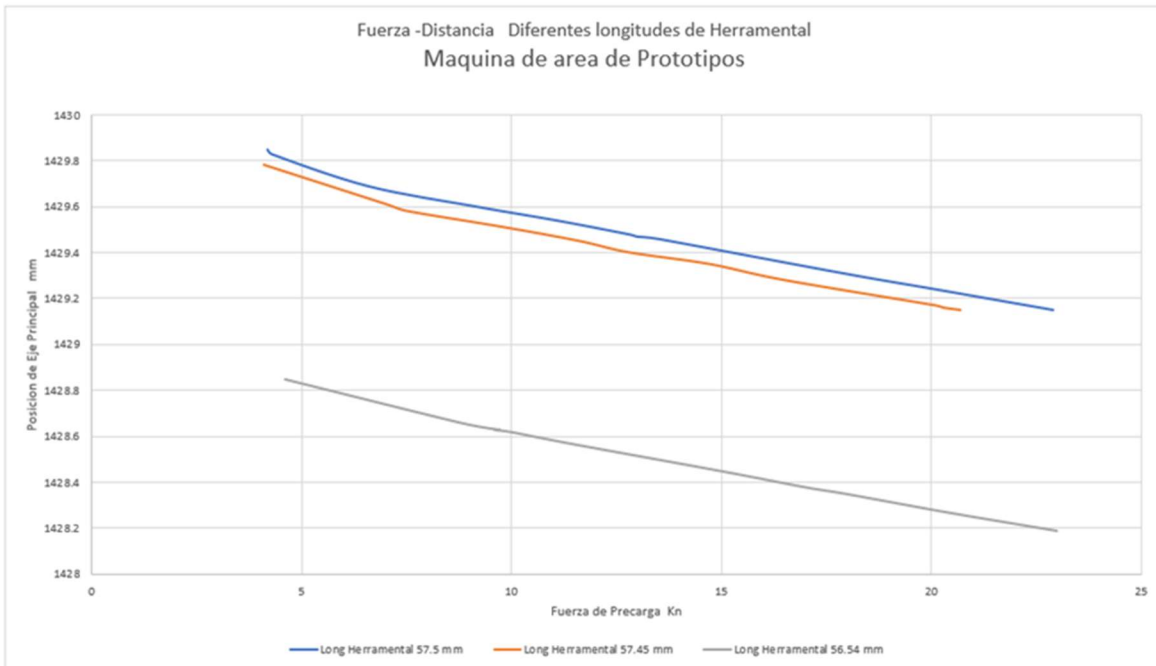


Figura 36. Respuesta del estudio a diferentes longitudes de herramientas pieza de presión máquina prototipos.
Elaboración propia.

En la Tabla 18 y Tabla 19, se muestran los resultados de este nuevo estudio con una reducción de velocidad.

Tabla 18. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con variación de posición de porta herramienta en máquina línea A7.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			0 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1687.4	3.6	7	1685.9	12.5
2	1687.1	3.9	8	1685.7	14.1
3	1686.5	7.8	9	1685.3	18.5
4	1686.4	8.5	10	1685.0	24.2
5	1686.3	9.2	11	1684.7	30.1
6	1686.2	9.5			

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.4	3.8	7	1684.9	12.8
2	1686.1	4.0	8	1684.7	14.5
3	1685.5	7.6	9	1684.3	19.1
4	1685.4	8.9	10	1684.0	24.8
5	1685.3	9.5	11	1683.7	30.2
6	1685.2	9.8			

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.5 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.9	3.7	7	1685.4	12.5
2	1686.6	4.05	8	1685.2	14.3
3	1686.0	7.7	9	1684.8	18.8
4	1685.9	8.7	10	1684.5	24.6
5	1685.8	9.3	11	1684.2	30.1
6	1685.7	9.6			

Tabla 18. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con variación de posición de porta herramienta en máquina línea A7. (Continuación)

Prueba 4					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.1 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1687.3	3.7	7	1685.8	12.3
2	1687.0	3.9	8	1685.6	14.2
3	1686.4	7.6	9	1685.2	18.7
4	1686.3	8.5	10	1684.9	24.1
5	1686.2	9.1	11	1684.6	30.0
6	1686.1	9.4			

Prueba 5					
Longitud de pieza de presión:			57.26 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.05 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1687.35	3.6	7	1685.85	12.3
2	1687.05	3.8	8	1685.65	14.2
3	1686.45	8.0	9	1685.25	18.3
4	1686.35	8.6	10	1684.95	24.0
5	1686.25	9.0	11	1684.65	29.2
6	1686.15	9.3			

Elaboración propia.

Tabla 19. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con posición fija del porta herramienta y utilizando diferentes longitudes de herramienta en máquina línea A7.

Prueba 1					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1.5 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1685.5	3.5	7	1684.5	16.1
2	1685.3	6.5	8	1684.4	17.3
3	1685.1	7.5	9	1684.2	20.7
4	1684.9	10.2	10	1684	25.3
5	1684.8	12.5	11	1683.8	31.9
6	1684.6	15.6			

Tabla 19. Repetición de pruebas de posicionamiento de eje principal respecto a fuerza alcanzada con posición fija del porta herramienta y utilizando diferentes longitudes de herramienta en máquina línea A7. (Continuación)

Prueba 2					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-1 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.4	3.8	7	1684.9	12.8
2	1686.1	4.0	8	1684.7	14.5
3	1685.5	7.6	9	1684.3	19.1
4	1685.4	8.9	10	1684.0	24.8
5	1685.3	9.5	11	1683.7	30.2
6	1685.2	9.8			

Prueba 3					
Longitud de pieza de presión:			57.5 mm		
Posición de porta pieza presión:			-0.5 mm		
Precarga Máxima:			31 KN		
Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)	Test	Posición Real de Eje principal (mm)	Fuerza (KN)
1	1686.9	3.7	7	1685.4	12.5
2	1686.6	4.05	8	1685.2	14.3
3	1686.0	7.7	9	1684.8	18.8
4	1685.9	8.7	10	1684.5	24.6
5	1685.8	9.3	11	1684.2	30.1
6	1685.7	9.6			

Elaboración propia.

La Figura 37 y la Figura 38, se muestran los resultados de la repetición del estudio pudiendo observar un mejor desempeño del sistema de control y fuerza de la máquina de línea A7, similar o comparable a la máquina de prototipos.

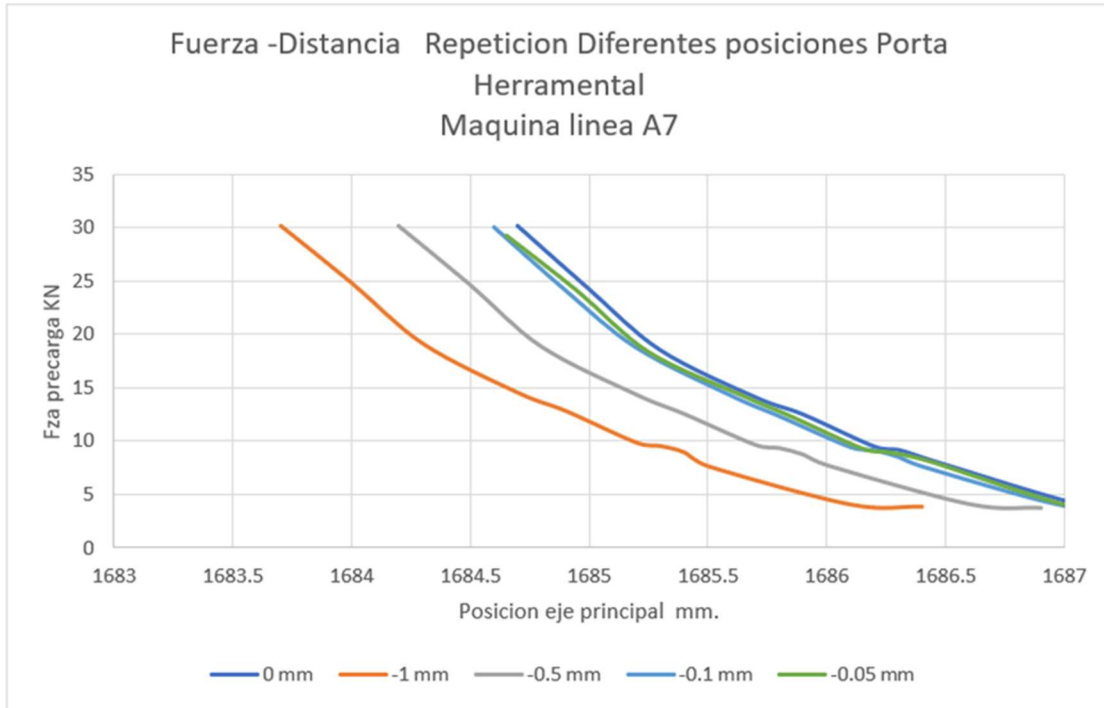


Figura 37. Repetición estudio diferentes posiciones de Porta herramental Máquina línea A7. Elaboración propia.

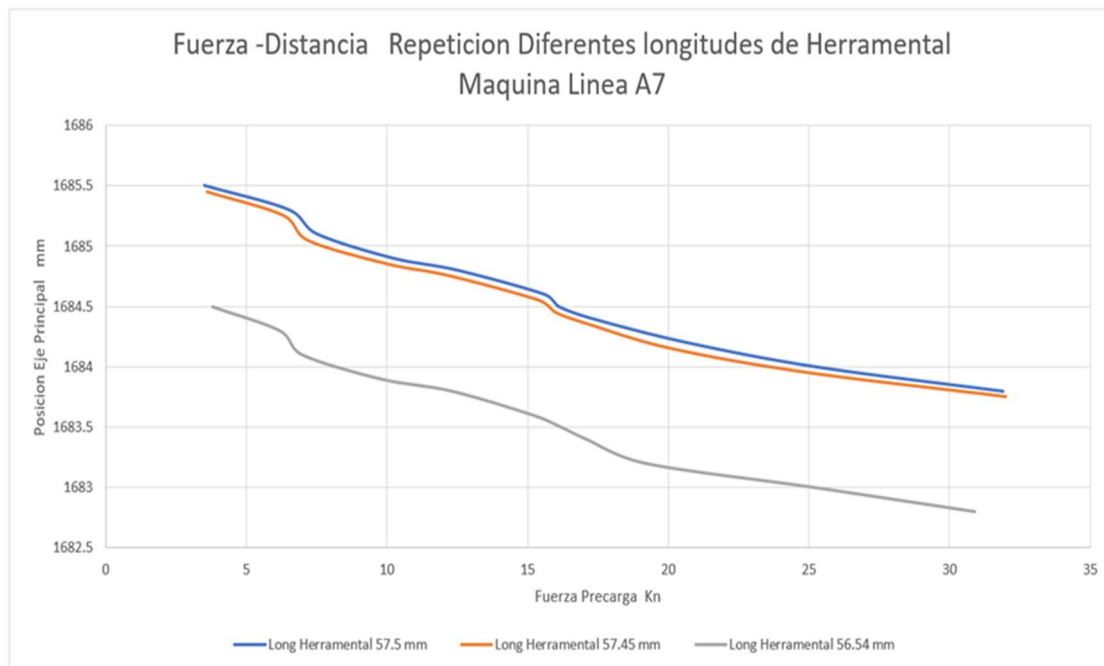


Figura 38. Repetición de estudio con diferentes longitudes de herramental de Máquina línea A7. Elaboración propia.

4.3. SELLADO DE AMORTIGUADORES Y EVALUACIÓN DEL AJUSTE AUTOMÁTICO DEL PORTA HERRAMENTAL CON EL MÉTODO PROPUESTO

Cada una de las pruebas ha sido realizada bajo el ajuste automático del porta herramental, y tuvo como objetivo que cada una de las piezas selladas cumplan con la especificación de sellado. La Tabla 20 muestra que longitudes de herramienta se utilizaron.

Tabla 20. Longitudes de herramientas para prueba de sellado final.

Máquina área prototipos	Test	Longitud herramienta
Área Prototipos	1	57.52 mm
	2	57.40 mm
	3	57.20 mm
	4	57.28 mm
	5	57.04 mm

Elaboración propia.

Las longitudes de los componentes interiores de cada amortiguador no serán consideradas como una variable se utilizará el mismo tubo cilindro y la misma válvula de fondo, el componente como guía y reten serán diferentes, pero medidos para garantizar que están dentro de especificación y se tomaran las partes más cercanas a su nominal, por otro lado, la longitud interior del tubo deposito serán medidos y seleccionados aquellos que estén lo más centrado posible a su nominal.

Como ha sido expuesto en capítulos anteriores, la idea fundamental de realizar el ajuste automático del parámetro de altura del porta herramental de la pieza de presión es el buscar evitar errores humanos al momento de hacerlo de manera manual, pero también se busca que cada uno de los amortiguadores sellados cumplan con cada uno de los requerimientos de la especificación de sellado.

La Figura 39, ilustra como ver de manera gráfica la importancia del ajuste del porta herramental. a) es la posición de la herramienta respecto al rodillo de sellado y del retén (posición ideal), b) es una herramienta desgastada, en este caso un desgaste

de 0.5 mm de su longitud nominal, y conservando la misma posición del porta herramienta, que en este caso sería de -3.35 mm, en esto podemos ver que la posición respecto al rodillo y reten ha cambiado. c) representa el resultado de sellar con una herramienta desgastada; se observa el efecto en el material se representa como un adelgazamiento en la zona de sellado y marcada de color rojo. d) representa el mismo herramental desgastado como el de la imagen c) pero ahora con ajuste del porta herramienta pasando de -3.35 mm a -2.85 mm, es decir se ajustó 0.5 mm la posición del porta herramienta, en termino coloquial la posición de la herramienta se bajó 0.5 mm para compensar el desgaste de esta.

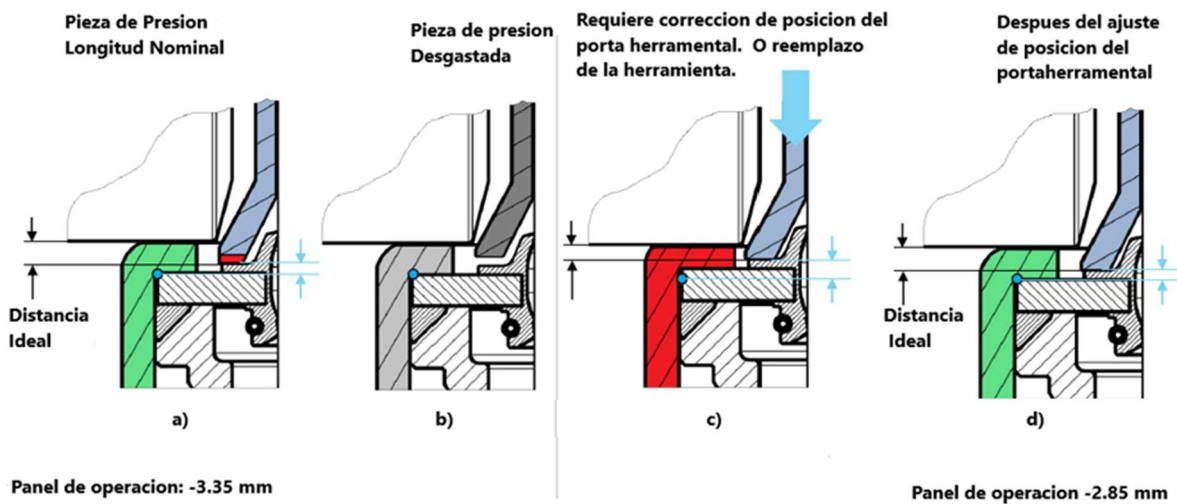


Figura 39. Efecto del desgaste y ajuste del herramental.
Elaboración propia.

El experimento descrito anteriormente fue realizado con una herramienta en condiciones nominales y otra más en condiciones de desgaste de 0.5 mm. Se parametrizo la máquina de manera similar a lo datos mostrados en la Figura 26 del capítulo 3, se obtuvieron los mismos resultados para las mismas condiciones de mínimo y máximo de UEB, así como en condición nominal, utilizando dos diferentes longitudes de herramienta. 57.45 mm y 56.95 mm.

En la Tabla 21, se muestra los registros de pruebas, donde los registros 19, 24 y 25 muestran los resultados de la prueba con longitud de herramienta de 57.45 mm

mientras que los registros de pruebas 20, 22 y 23 muestran los valores de resultados de las pruebas con longitud de herramienta de 56.95 mm.

Tabla 21. Resultados de sellado utilizando dos diferentes longitudes de herramienta.

Longitud UEB	Nominal	Nominal	Flecha	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Flecha
Registro	19	20	21	22	23	24	25	26
ØExt antes 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. Tub (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 (Kn)	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
Pos. Pza Presión (mm)	-3.20	-2.70	-2.70	-2.70	-2.70	-3.20	-3.20	-3.20
Angulo Sellado (Gr)	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5
UEB (mm)	5.73	5.73	5.73	5	6.15	5.1	6.18	5.74
Fza Remanente (Kn)	15.67	15.13		15.10	16.35	14.52	16.12	
ØExt antes 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
ØInt después de sellar	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	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano	Plano
Espesor sellado	1.99	2.02	2.0	2.04	2.12	2.12	2.01	2.03
Long. 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

Elaboración propia.

Los datos obtenidos indican que se obtienen resultados similares utilizando una herramienta en su condición nominal que, en una con condición de desgaste, siendo esta condición de 0.5 mm la de mayor desgaste permitido a ajustar como ya se ha expuesto anteriormente. Por lo tanto, no es necesario comprobar otras condiciones de desgaste menores a 0.5 mm, ya que esta cubre la máxima condición permitida. Estos resultados satisfacen la especificación de sellado para esta construcción.

Los cortes seccionales de las pruebas realizadas en el laboratorio demuestran que las piezas selladas con longitud de pieza de presión nominal y con pieza de presión simulando 0.5 mm menos son iguales. La Figura 40, demuestran que, con el ajuste de posición, el resultado en el amortiguador es prácticamente igual el doblez, así como adelgazamiento del tubo deposito. En a) es amortiguador sellado (registro de prueba 22) con longitud de pieza de presión reducida contra el nominal de 0.5 mm. Ambos en condicional de UEB al mínimo (mínima condición de la especificación de sellado). En b) es el corte seccional de un amortiguador (registro de prueba 24) sellado con pieza de presión en longitud nominal.

Ambos en condicional de UEB al mínimo (mínima condición de la especificación de sellado). Ambos cortes seccionales cumplen con la especificación de sellado en cuestión de adelgazamiento en la zona de doblez de la lámina.

Corte seccional UEB Minimo

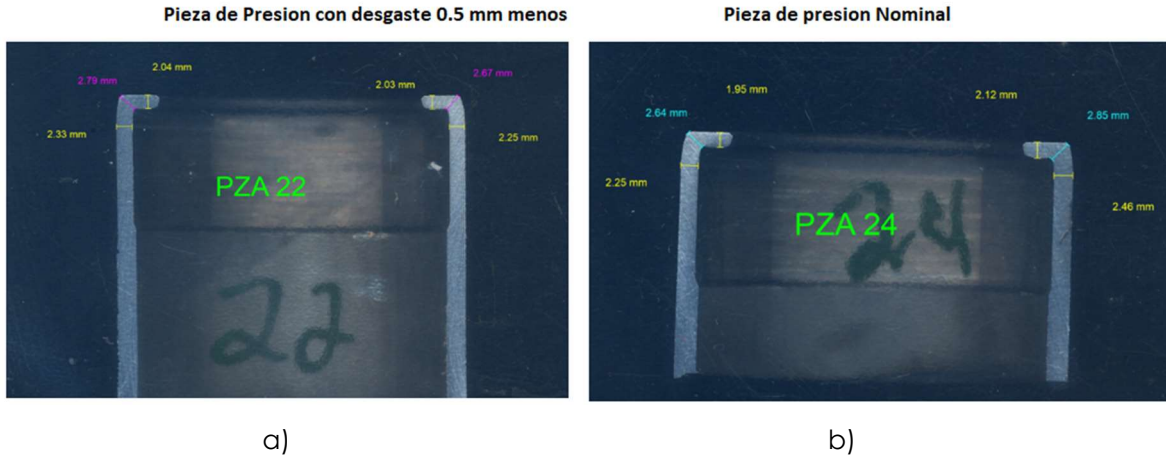


Figura 40. Comparativo corte seccional realizado con diferentes longitudes de herramienta pieza de presión. a) Sellado de pieza 22. b) Sellado de pieza 24. Elaboración propia.

La Figura 41, muestra el corte seccional de dos amortiguadores con flecha para evaluar la flexión del retén, adelgazamiento de lámina, así como su doblez, con la finalidad de comparar una pieza sellado con herramienta pieza de presión al nominal y otra con reducción de longitud de 0.5 mm. En a) es un amortiguador sellado (registro de prueba 21) con longitud de pieza de presión reducida contra el nominal de 0.5 mm. Ambos en condicional de UEB al mínimo (mínima condición de la especificación de sellado). En b) es el corte seccional de un amortiguador (registro de prueba 26) sellado con pieza de presión en longitud nominal Ambos en condicional de UEB al mínimo (mínima condición de la especificación de sellado).

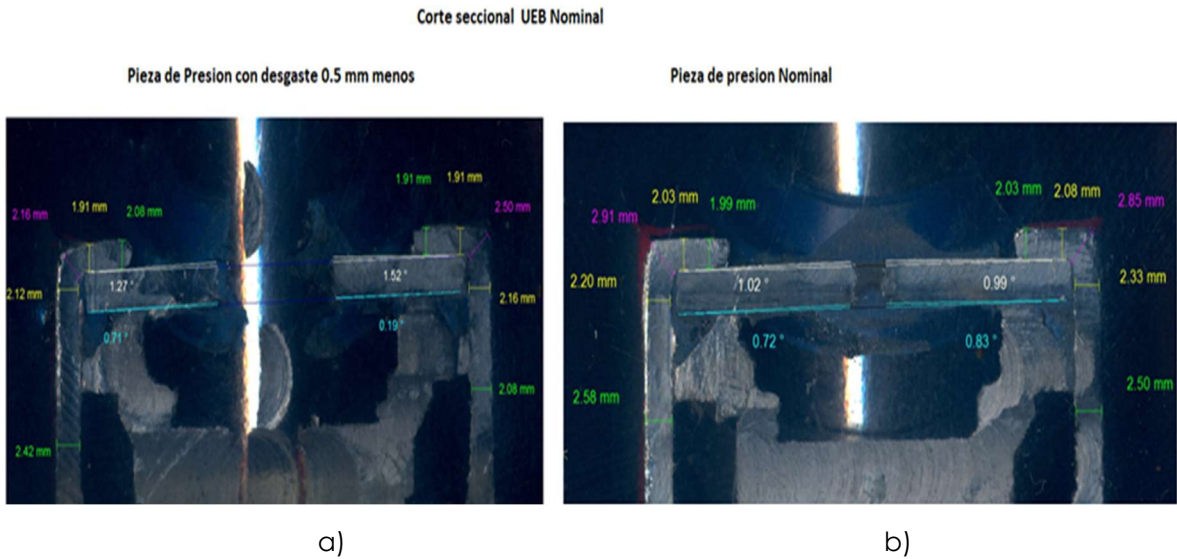


Figura 41. Comparativo corte seccional realizado con diferentes longitudes de herramienta pieza de presión. a) Sellado de pieza 21. b) Sellado de pieza 26. Elaboración propia.

4.4. VIDA ÚTIL DEL HERRAMENTAL PIEZA DE PRESIÓN

De acuerdo con el análisis realizado sobre el máximo posible desgaste de las herramientas de presión, y la comprobación mismo en el sellado de amortiguadores utilizando herramienta con el máximo desgaste propuesto, ahora se puede mencionar que la maximización de la vida útil del herramental de presión debe ser 10 veces más a la condición actual, es decir la dimensión de la longitud de trabajo actual $57.5 \text{ mm} \pm 0.05$ la podemos llevar a la dimensión de $57.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$.

Esta maximización de la vida útil tiene un impacto económico ya que ahora el reemplazo de la herramienta de presión será 10 veces más tardía a la condición actual, ya que en la condición actual la cantidad de piezas producidas promedio antes de realizar el reemplazo de la herramienta es de 35,000 PZAS, bajo esta metodología ahora el reemplazo se podrá realizar después de fabricar 350,000 PZAS en promedio, esto representa un ahorro económico, el cual es calculado en la Tabla 22.

Tabla 22. Análisis de ahorro por incremento de vida útil de la herramienta.

AÑO	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Volumen Producción (Pzas)	10,914,540	11,250,018	10,782,593	10,651,252	10,301,098	10,666,134	10,880,526
Antes de la Implementación							
Cantidad promedio piezas producidas antes de reemplazo de herramienta (pzas)	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000	35,000
Utilización de Herramientas Proyección anual (pzas)	312	321	308	304	294	305	311
Costo Unitario de herramienta (Eur)	284.00 €	284.00 €	284.00 €	284.00 €	284.00 €	284.00 €	284.00 €
Costo Anual Proyectado (Eur)	88,563.70 €	91,285.86 €	87,493.04 €	86,427.30 €	83,586.05 €	86,548.06 €	88,287.70 €
Después de la Implementación							
Cantidad promedio piezas producidas antes de reemplazo de herramienta (pzas)	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000
Utilización de Herramientas Proyección anual (pzas)	31	32	31	30	29	30	31
Costo Anual Proyectado (Eur)	8,856.37 €	9,128.59 €	8,749.30 €	8,642.73 €	8,358.61 €	8,654.81 €	8,828.77 €
Ahorro Anual Proyectado (Eur)	79,707.33 €	82,157.27 €	78,743.74 €	77,784.57 €	75,227.45 €	77,893.25 €	79,458.93 €

Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los estudios presentados hasta ahora proporcionan evidencia de que el sistema de posicionamiento de la herramienta de presión actual tiene un mejor desempeño y habilidad de proceso en una máquina con menor cantidad de ciclos de trabajo que una máquina de millones de ciclos de trabajo.

Esta investigación ha demostrado que las holguras mecánicas *Backlash* no tiene influencia en el sistema de control de fuerza y distancia de las máquinas de sellado, sin embargo, una máquina de millones de ciclos de fabricación tiene un peor control que una máquina de bajos ciclos de fabricación, esto es porque el sistema trabaja ciclo a ciclo a diferencia del sistema de posicionamiento de la herramienta de presión la cual solo es utilizada en cada cambio de código.

Con la implementación de esta metodología se confirma que la hipótesis inicial es verdadera y no solo ello si no que se ha rebasado la estimación de alargar la vida útil de la herramienta de presión ya que ahora se incrementará 10 veces más, sin la necesidad de cambios de diseño o tipo de material.

Para la correcta implementación de esta metodología se enumerar a continuación los pasos básicos a seguir los cuales serán documentados dentro del sistema y gestión de calidad de ZF una vez que se ha implementado en todas las máquinas de producción:

- Verificación de habilidad de proceso del sistema de posicionamiento del porta herramental.
- Correcta parametrización del producto a fabricar, utilizando la herramienta de presión en su longitud nominal.
- Modificación en la programación del PLC, para correr la rutina de calibración.
- Validación de producto con pieza de presión con máximo desgaste (0.5mm)
- Comparar resultados contra los obtenidos con una herramienta en su longitud nominal.

RECOMENDACIONES

Buscar nuevas alternativas de detección de la herramienta de presión, que se adapten de mejor manera a las condiciones de diseño de la máquina, esto con la finalidad que la máquina detecte de manera correcta que la herramienta fue removida y solicite en automático el sistema de calibración y auto ajuste.

Continuar recolectando más información de otras construcciones de amortiguadores, como pueden ser amortiguadores traseros que requieren menor aplicación de precarga y comprobar que se obtendrá el mismo resultado utilizando una herramienta al nominal de su longitud y una herramienta con desgaste, siempre y cuando el sistema se auto ajuste.

Implementar esta metodología en las diferentes estaciones de trabajo en la planta de GDL, compartir esta metodología con las otras plantas de producción de ZF para su implementación, con ello se evitará errores humanos que provoquen, futuros reclamos de calidad.

Incluir esta metodología en la especificación de sellado, de esta manera quedará documentado para cualquier usuario y para que en las máquinas nuevas a construir sea considerado este sistema de auto ajuste desde la concepción de diseño y construcción.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Proporciona una metodología para auto ajustar sistemas de posicionamientos de herramientas de manera automática, sin que se vea afectado el proceso o producto. Esto permite adicionalmente reducción de costos de reemplazo de herramientas, ya que provoca una extensión de vida útil de la misma.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

Esta metodología contribuye a reducir fallas en los vehículos a causa de que los componentes interiores del amortiguador tengan insuficiente o exceso de fuerza residual y que el adelgazamiento de la lámina del amortiguador sea mayor a lo recomendado, con esto se evita riesgos de calidad como son ruidos al interior de habitáculo del vehículo o un bajo rendimiento de las cargas de amortiguación que se traduce en falta de confort y seguridad para el usuario final de los vehículos. Así también con la maximización del tiempo de vida de la herramienta de presión se reduce el consumo de acero y se aprovecha 10 veces más que la condición actual.

REFERENCIAS

- Azar, A. T., Serrano, F. E., Azar, A. T., & Serrano, F. E. (2015). *Stabilization and Control of Mechanical Systems with Backlash* (stabilization-and-control-of-mechanical-systems-with-backlash) [Chapter]. <https://Services.Igi-Global.Com/Resolvedoi/Resolve.Aspx?Doi=10.4018/978-1-4666-7248-2.Ch001>; IGI Global. <https://www.igi-global.com/gateway/chapter/www.igi-global.com/gateway/chapter/123308>
- Elias Th. Stamboliadis. (2007). Amendment to the Theory of the Fracture of Brittle Materials as an Equilibrium of Surface and Cohesion Energy. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*, 18(3), 149–156. <https://doi.org/10.1515/JMBM.2007.18.3.149>
- I. Cerrillo, A. Rodriguez, & Urbikain, G. (n.d.). *Grandes mecanizados: Nuevas tecnologías de fijación y posicionamiento*. Interempresas. Retrieved January 7, 2022, from <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/158132-Grandes-mecanizados-nuevas-tecnologias-de-fijacion-y-posicionamiento.html>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0238>
- Pulido, H. G., & de la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseño_experimentos.pdf
- Renishaw, R. (n.d.). *Tecnología de reglaje de herramientas*. Retrieved January 9, 2022, from <https://www.renishaw.es/es/tecnologia-de-reglaje-de-herramientas--32934>
- Rojo, J. M., & Abuín, J. M. R. (2007). *Regresión lineal múltiple*. http://humanidades.cchs.csic.es/cchs/web_UAE/tutoriales/PDF/Regresion_lineal_multiple_3.pdf
- Wolf, C., & Nagel, M. (2015). *Descripción Proceso bend roll closing, DPL-C 3104*. ZF.