MODELAMIENTO Y VIRTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO XYZ SERVONEUMÁTICO Y SERVOHIDRAÚLICO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA

MORENO MORA CAMILA ANDREA
ARCHILA PICO SOFÍA MARIANELLA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA
BOGOTA D.C.
2018

MODELAMIENTO Y VIRTUALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DESPLAZAMIENTO XYZ SERVONEUMÁTICO Y SERVOHIDRAÚLICO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FACULTAD TECNOLÓGICA

MORENO MORA CAMILA ANDREA
ARCHILA PICO SOFÍA MARIANELLA

Monografía para optar por el título de Tecnóloga Mecánica

Ingeniero Especializado Alexander Alvarado Moreno

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA
BOGOTA D.C.
2018

Nota de aceptación:

_____
_____
_____
_____
_____
_____

_____
Jurado

_____
Ingeniero Especializado
Alexander Alvarado Moreno

Bogotá _____ de 2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 12
2. SERVOSISTEMAS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS 14
2.1. SERVOSISTEMAS 14
2.2. COMPOSICIÓN DE UN SERVOSISTEMA 14
2.3. SISTEMA DE MEDIDA [3] 15
2.4. COMPARACIÓN DE LOS CICUITOS EN BUCLE ABIERTO Y EN BUCLE CERRADO [4] 16
2.4.1. Terminología de la regulación en bucle cerrado 17
2.5. CONTROL PID 18
2.5.1. Regulador PID 20
2.5.2. Regulación de la tarjeta PID [4] 21
2.5.3. Ventajas y desventajas 21
2.5.4. Reguladores dinámicos y no dinámicos. 22
3. CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS .25
3.2. TARJETA DE VALOR DE PUNTO DE CONSIGNA [5] 26
3.2.1. Activación de puntos de ajuste 27
3.3. ENTRADA DE SEÑALES ELÉCTRICAS [4] 28
3.4. ACTUADOR LINEAL, 200 mm DE CARRERA NEUMÁTICO [4] 28
3.5. VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS [4] 29
3.7. DISTRIBUIDOR DE AIRE [4] 31
3.9. DERIVACIÓN EN TE [3] 32
3.10. MANGUERAS CON ACOPLAMIENTO RÁPIDO 33
3.11. FILTRO DE PRESIÓN [3] 33
3.13. POTENCIÓMETRO LINEAL [3] 35
4. MONTAJE DE SISTEMAS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS 37
4.1. MONTAJE DE ACTUADORES 37
4.1.2. Conexión neumática e hidráulica 46
4.1.3. Conexión eléctrica 48
4.1.4. Programación de las tarjetas PID 52

4.1.5. Programación de memorias en la tarjeta de consigna 55
4.1.6. Determinar el área de trabajo de los sistemas 59
5. MODELAMIENTO DE SISTEMAS Y ELEMENTOS 64
5.1. LEVANTAMIENTO DE PLANOS 64
5.2. BÚSQUEDA DE CATALOGOS VIRTUALES 67
5.3. MODELAMIENTO DE COMPONENTES POR SISTEMA 71
5.3.1. Componentes actuador lineal sistema servoneumático 71
5.3.2. Componentes actuador lineal sistema servohidráulico 75
5.4. ENSAMBLE DE SISTEMAS 80
5.4.1. Subensamble actuador neumático 80
5.4.2. Subensamble actuador hidráulico 82
5.4.3. Ensamble sistema neumático 84
5.4.4. Ensamble sistema hidráulico 85
6. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS Y ELEMENTOS EN CONJUNTO EN ENTORNO VIRTUAL 88
6.1. DESCRIPCIÓN DE PASOS PARA REALIZAR SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO EN NX12. 88
6.1.1. Sistema neumático 88
6.1.2. Sistema hidráulico 97
7. CONCLUSIONES 99
8. BIBLIOGRAFÍA 101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Despiece de un servo 15
Ilustración 2 Regulador PID con el que cuenta la facultad 18
Ilustración 3 Conexio|n+es de entrada y salida 26
Ilustración 4 Tarjeta de valor de punto de consigna 27
Ilustración 5 Entrada de señales eléctricas 28
Ilustración 6 Actuador lineal 200mm de carrera 29
Ilustración 7 Válvula proporcional 5/3 vías 30
Ilustración 8 Potenciómetro lineal 31
Ilustración 9 Distribuidor de aire 31
Ilustración 10 Unidad lineal 200mm 32
Ilustración 11 Derivación en Te 32
Ilustración 12 Manguera con acoplamiento rápido 33
Ilustración 13 Filtro de presión 34
Ilustración 14 Válvula proporcional 4/3 vías 35
Ilustración 15 Codificador de desplazamiento 36
Ilustración 16 Choque entre la corredera y el potenciómetro 37
Ilustración 17 Platina en aluminio de 10X10cm 38
Ilustración 18 Platina sobre corredera 38
Ilustración 19 Separación entre corredera y potenciómetro 39
Ilustración 20 Montaje final de actuadores neumáticos 39
Ilustración 21 Platinas en "S" 40
Ilustración 22 Platinas rectangulares 40
Ilustración 23 Ranuras potenciómetro y cable de conexión con conector M12 de cuatro pines 41
Ilustración 24 Ajuste del potenciómetro y el cable de conexión 41
Ilustración 25 Montaje del potenciómetro en el actuador 42
Ilustración 26 Montaje del potenciómetro en la corredera 42
Ilustración 27 Ajuste del potenciómetro a la base para ajustar el sensor 43
Ilustración 28 Montaje del potenciómetro lineal finalizado 43
Ilustración 29 Ubicación de platinas en el actuador fijo 44
Ilustración 30 Ajuste de platinas 44
Ilustración 31 Ubicación de platinas en "S" 45
Ilustración 32 Sujeción del segundo actuador lineal 46
Ilustración 33 Montaje final del sistema hidráulico 46
Ilustración 34 Conexiones de alimentación 0V y 24V 49
Ilustración 35 Conexiones de consigna +/- 50
Ilustración 36 Conexión de la válvula reguladora con la tarjeta PID 50
Ilustración 37 Conexión del potenciómetro a la tarjeta PID 51

Ilustración 38 Conexión de la entrada de señales 52
Ilustración 39 Configuración regulador P 54
Ilustración 40 Configuración regulador I 54
Ilustración 41 Configuración regulador D 54
Ilustración 42 Valor mínimo de la tarjeta de consigna 55
Ilustración 43 Valor máximo de la tarjeta de consigna 56
Ilustración 44 Valores de la memoria 57
Ilustración 45 Activación de W4 y W8 58
Ilustración 46 Punto 0, 10 59
Ilustración 47 Punto 10, 10 60
Ilustración 48 Punto 10, 0 60
Ilustración 49 Punto 0, 0 61
Ilustración 50 Área de trabajo 61
Ilustración 51 Ejemplo levantamiento de planos actuador neumático 65
Ilustración 52 Ejemplo levantamiento de planos actuador hidráulico 66
Ilustración 53 Catalogo virtual para tornillos 67
Ilustración 53 Catalogo virtual para tornillos (continuación) 68
Ilustración 54 Catalogo virtual para tuercas 68
Ilustración 54 Catalogo virtual para tuercas (continuación) 69
Ilustración 55 Modelos de tornillos obtenidos de traceparts 69
Ilustración 55 Modelos de tornillos obtenidos de traceparts (continuación) 70
Ilustración 56 Modelos de tuercas obtenidos de traceparts 70
Ilustración 57 Modelos de arandelas obtenidos de traceparts 71
Ilustración 58 Corredera actuador neumático 72
Ilustración 59 Placas finales actuador neumático 72
Ilustración 60 Potenciómetro lineal del actuador neumático 73
Ilustración 61 Kit de montaje del actuador neumático 73
Ilustración 62 Cilindro actuador del actuador neumático 74
Ilustración 63 Barra de guía del actuador neumático 74
Ilustración 64 Tope del actuador neumático 75
Ilustración 65 Platina para sujeción del actuador neumático 75
Ilustración 66 Corredera del actuador hidráulico 76
Ilustración 67 Yugo del actuador hidráulico 76
Ilustración 68 Yugo con acoplamientos rápidos hidráulicos del actuador hidráulico 77
Ilustración 69 Base para ajustar el sensor del actuador hidráulico 77
Ilustración 70 Guías cilíndricas del actuador hidráulico 78
Ilustración 71 Codificador de desplazamiento del actuador hidráulico 78
Ilustración 72 Cilindro de doble efecto del actuador hidráulico 79
Ilustración 73 Platina de sujeción del actuador hidráulico 79
Ilustración 74 Perfil en "S" 80

Ilustración 75 Vista superior del actuador neumático 81
Ilustración 76 Vista lateral del actuador neumático 81
Ilustración 77 Vista frontal del actuador neumático 81
Ilustración 78 Modelo 3D del actuador 82
Ilustración 79 Vista superior del actuador hidráulico 82
Ilustración 80 Vista lateral del actuador hidráulico 83
Ilustración 81 Vista frontal del actuador hidráulico 83
Ilustración 82 Vista inferior del actuador hidráulico 83
Ilustración 83 Modelo 3D del actuador hidráulico 84
Ilustración 84 Vistas superior e inferior del sistema neumático 84
Ilustración 85 Vista frontal del sistema neumático 85
Ilustración 86 Modelo 3D del ensamble neumático 85
Ilustración 87 Vistas superior e inferior del sistema hidráulico 86
Ilustración 88 Vista frontal del sistema hidráulico 86
Ilustración 89 Modelo 3D del sistema hidráulico 86
Ilustración 90 Pantalla inicio de software NX12 con módulo para simulación de movimientos 88
Ilustración 91 Ventana de navegador de movimiento 89
Ilustración 92 Ventana Entorno para crear nueva simulación 89
Ilustración 93 Identificación de comando enlace 90
Ilustración 94 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos 90
Ilustración 94 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos (continuación) 91
Ilustración 95 Identificación de comando Junta 91
Ilustración 96 Ventana de comando Junta con listado de tipos 92
Ilustración 97 Selección de parámetros y juntas establecidas 93
Ilustración 98 Opción de traslación constante y sus parámetros 94
Ilustración 99 Identificación de comando Solución 94
Ilustración 100 Ventana de comando Solución y parámetros a establecer 94
Ilustración 101 Ventana navegador de movimiento 95
Ilustración 102 Identificación de comando Animación 95
Ilustración 103 Ventana Animación 96
Ilustración 104 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos 97
Ilustración 105 Ventana para selección de juntas, juntas establecidas 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Función de un sistema de medida en un circuito de regulación en bucle cerrado 16
Figura 2 Diagrama de bloques de un regulador 19
Figura 3 Características de la calidad de una regulación 20
Figura 4 Diagrama de flujo de la señal de un regulador no dinámico 23
Figura 5 Diagrama de flujo de la señal en un regulador dinámico estándar 24
Figura 7 Esquema neumático 47
Figura 8 Esquema hidráulico 48
Figura 9 Parametrización empírica de un regulador PID 53
Figura 10 Gráfica de movimiento sistema neumático distancia vs tiempo 96
Figura 11 Gráfico sistema hidráulico distancia vs tiempo 98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diagramas de flujo de señales para circuitos abiertos y cerrados 17
Tabla 2 Propiedades de los reguladores P,I y D 19
Tabla 3 Propiedades de los reguladores PI, PD y PID 19
Tabla 4 Ventajas y desventajas de los reguladores P, I, PI, PD y PID 21
Tabla 5 Reguladores dinámicos y no dinámicos 22
Tabla 6 Tipos de reguladores 22
Tabla 7 Ventajas y desventajas de los reguladores PID 24
Tabla 8 Valores de punto de ajuste 27
Tabla 9 Conexión eléctrica válvula proporcional de 5/3 vías 29
Tabla 10 Combinaciones para los pulsadores 57
Tabla 11 Matriz de puntos de sistema neumático 62
Tabla 12 Matriz de punto actuador hidráulico 63

RESUMEN

La universidad Distrital Francisco José de Caldas, actualmente cuenta con diversos laboratorios que se encuentran disponibles para la comunidad universitaria, en estos laboratorios se encuentran los equipos y los softwares necesarios para que quien los use pueda realizar prácticas y simulaciones enfocadas al área de estudio. Pero aun cuando la universidad cuenta con estos laboratorios no todos se encuentran a disposición de los estudiantes pues carecen de un manual de uso que permite usarlos correctamente, por esto, el objetivo del presente proyecto es poner a disposición el sistema de posicionamiento XYZ servo neumático y servo hidráulico que se encuentra en el laboratorio de automatización de la Facultad Tecnológica mediante un entorno virtual, que sirva de herramienta para los docentes y estudiantes en la instalación, identificación de componentes y movimientos básicos del equipo, además de crear una guía que permita su manipulación en el laboratorio.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se refiere al uso de servosistemas en bucle cerrado, un servosistema en bucle cerrado se puede definir como un sistema de control realimentado continuamente en el que la salida es algún elemento mecánico ya sea posición, aceleración o velocidad. La composición de un servosistema en bucle cerrado está dada por los siguientes elementos: un controlador, un servomotor, una variable regulada, una variable de referencia, un variable de realimentación, la desviación del sistema, la variable de corrección, un elemento final de control, un componente del sistema regulado, un sistema regulado, una variable perturbadora y un sistema de medición que permite crear un sistema de regulación con múltiples aplicaciones.

La regulación de un sistema se puede llevar a cabo gracias a un control PID que es un mecanismo de control que permite regular diferentes variables por medio de tres parámetros fundamentales: proporcional, integral y derivativo.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuenta con distintos equipos que nos permite como estudiantes estar a la vanguardia con este fenómeno; estos equipos tienen un alto costo por lo tanto se hace necesario que las personas que hacen uso de estos equipos tengan pleno conocimiento de su instalación y manejo.

Uno de los equipos que posee la universidad es el sistema de posicionamiento XYZ servo neumático y servo hidráulico que debido a la falta de capacitación no es aprovechado al máximo, es por esto que se propone el "*modelamiento y virtualización de los sistemas de desplazamiento xyz servoneumático y servohidraúlico del Laboratorio de Automatización de la Facultad Tecnológica*", el cual tiene como fin utilizar el auge de los entornos virtuales para instruir a los estudiantes en el uso del equipo permitiendo un mayor acceso a este y así un mejor aprovechamiento de los recursos que nos brinda la universidad.

El objetivo principal del proyecto es crear un entorno virtual de los sistemas de desplazamiento XYZ en el cual se proporcionará a los estudiantes y docentes una herramienta donde puedan conocer los componentes, el funcionamiento básico, los límites de funcionamiento, anticipar errores y desarrollar un análisis de resultados más efectivo reduciendo el riesgo de daños por mal uso. Esto se logrará gracias al cumplimiento de objetivos más pequeños como la recolección precisa de información, la correcta identificación de los componentes, un montaje y control de sistemas adecuado y finalmente un completo entendimiento de los procesos mencionados anteriormente que nos darán como resultado una simulación apropiada.

Para el desarrollo exitoso del proyecto se planteó una metodología que fraccionaba el trabajo, esto con el fin de observar los avances de manera clara y organizada en búsqueda de los objetivos planteados. Para lograrlo se desarrolló un total de 5 fases, cada una con etapas específicas: primero se realizó la caracterización de los dispositivos en la que se buscó información correspondiente para su identificación, segundo se realizó el montaje de los sistemas hidráulicos y neumáticos con su debido proceso de control, como tercer paso se hizo el modelamiento de los sistemas con la ayuda del software NX 12, los catálogos virtuales y los planos realizados anteriormente, en la cuarta fase se desarrolló una simulación de los sistemas ensamblados y modelados en las fases dos y tres, y finalmente, se efectuó una revisión general de los modelos reales y virtuales con el fin de obtener información para la realización de las respectivas guías de trabajo.

Para concluir el trabajo se presenta de la siguiente manera: en el capítulo II se presentan los referentes teóricos que se tuvieron en cuenta al momento de realizar este proyecto, en el capítulo III se caracterizan cada uno de los componentes utilizados en el montaje de los sistemas neumáticos e hidráulicos, en el capítulo IV se describe el método utilizado para efectuar el montaje y el funcionamiento de los dos sistemas, en los capítulos V y VI se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para el modelamiento de los componentes, el ensamble y la simulación de los dos sistemas y por último se presentan las guías de trabajo y las conclusiones a las que se llegaron.

2. SERVOSISTEMAS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS

2.1. SERVOSISTEMAS

El servosistema o también denominado servomecanismo es un sistema de control retroalimentado en el que la salida es algún elemento mecánico ya sea posición, aceleración o velocidad; estos sistemas se usan en gran magnitud en la industria, un ejemplo de esto es el uso de servosistemas e instrucción programada para lograr una automática operación de las máquinas herramientas; también se le denomina servosistema a un sistema de control que tiene que seguir con precisión una trayectoria determinada en el espacio un ejemplo de este es la mano de un robot [1].

2.2. COMPOSICIÓN DE UN SERVOSISTEMA

La composición de un servosistema está dada por dos elementos básicos:

- ✓ Controlador: el cual a su vez contiene la fuente de alimentación, circuito de control, circuito de potencia, sistema de refrigeración y entradas y salidas de señales analógicas y digitales.
- ✓ Servomotor: es un control de corriente continua que puede ser controlado en posición, el servo tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación y debido a su gran precisión se suelen utilizar en los campos de automatización y robótica. Existen dos tipos de servos: analógicos y digitales, estos tienen la misma estructura y se controlan con las mismas señales, la diferencia entre ellos radica en que el servo digital posee un microprocesador que se encarga de procesar la señal de entrada y controlar el motor.

Los servos pueden estar compuestos de los siguientes materiales:

- ✓ Motor de corriente continua: Es el encargado de brindar la movilidad al servo
- ✓ Engranajes reductores: Los cuales se encargan de reducir la alta velocidad de giro del motor para reforzar su capacidad de torque.
- ✓ Sensor de desplazamiento: se utiliza para conocer la posición angular del motor, se posiciona en el eje de salida y usualmente un potenciómetro
- ✓ Circuito de control: placa electrónica que implementa el control de posición por retroalimentación [2].

En la Ilustación 1 se observa el despiece de un servomotor que se compone de a) carcasa, b) motor DC, c) potenciómetro, d) circuito de control, e) tren reductor y f) brazo (elemento terminal del eje).

Ilustración 1 Despiece de un servo



Fuente: [2]

La servoneumática y servohidráulica son sistemas de posición que utiliza la neumática que se refiere a la tecnología que emplea el aire comprimido para mover y hacer funcionar el mecanismo y la hidráulica que a diferencia de la neumática emplea un líquido bien sea agua o aceite.

2.3. SISTEMA DE MEDIDA [3]

Un sistema de medida convierte una señal de entrada en una señal de salida diferente, que pueda evaluarse más fácilmente. Este proceso se conoce como medición.

La señal de entrada puede ser, por ejemplo, una presión o una velocidad, mientras que la señal de salida puede ser una tensión o una intensidad.

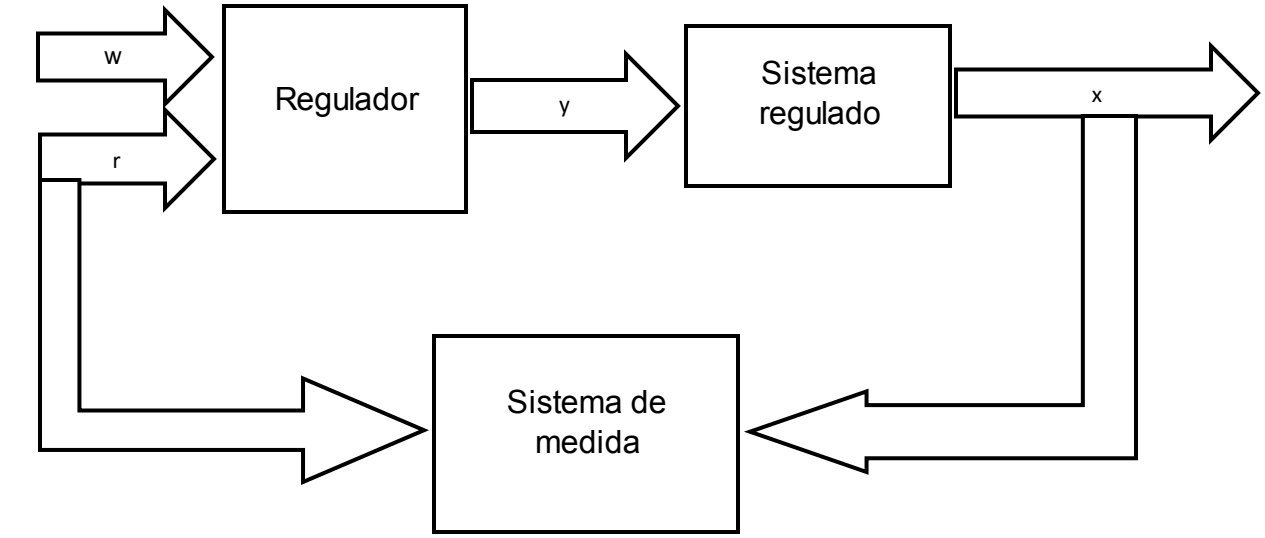
2.3.1. Finalidad de un sistema de medida en un circuito de regulación de bucle cerrado. La finalidad de un sistema de medida en un circuito de regulación en bucle cerrado es:

- ✓ Registrar la variable regulada
- ✓ Generar la variable de realimentación

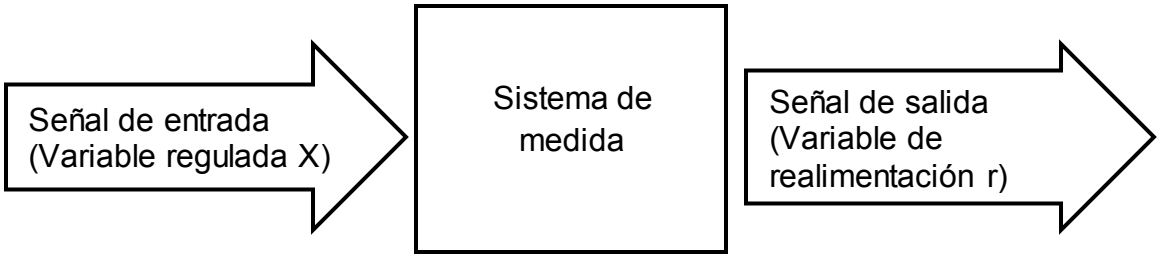
La Figura 1 ilustra la función de un sistema de medida en un circuito de regulación en bucle cerrado.

Figura 1 Función de un sistema de medida en un circuito de regulación en bucle cerrado

a.



b.



Fuente: [3]

En un circuito de regulación en bucle cerrado se precisa un sistema de medida en todos los casos en los que se utiliza un regulador eléctrico. En los casos de circuitos de regulación en bucle cerrado con realimentación hidráulica o mecánica, la variable regulada generalmente actúa directamente sobre el regulador. Esto significa que la función de medición del sistema se halla integrada en el regulador, y por lo tanto no se necesita un sistema de medida independiente.

2.4. COMPARACIÓN DE LOS CICUITOS EN BUCLE ABIERTO Y EN BUCLE CERRADO [4]

Debe distinguirse entre los circuitos en bucle abierto y circuitos en bucle cerrado:

- ✓ Los circuitos que funcionan con una continua realimentación de la variable de salida se conocen como circuitos de regulación en bucle cerrado.
- ✓ Los circuitos que funcionan sin una realimentación continua de la variable de salida, se conocen como circuitos de regulación en bucle abierto

La Tabla 1 muestra las propiedades de los diagramas de flujo de las señales.

Tabla 1 Diagramas de flujo de señales para circuitos abiertos y cerrados

	Bucle abierto	Bucle cerrado
Forma del diagrama de señal	Abierto (circuito en serie)	Cerrado
Designación del diagrama de flujo de la señal	Circuito de control en bucle abierto	Circuito de regulación en bucle cerrado
Medición de la señal de salida	No es necesaria	Medición continua
Realimentación de la señal de salida	No	Sí

Fuente: [3]

2.4.1. Terminología de la regulación en bucle cerrado

Un circuito de regulación de bucle cerrado está compuesto por las siguientes señales y compuestos. Estos términos están definidos por DIN 19226 "Tecnología de regulación en bucle abierto y bucle cerrado"

- ✓ Variable regulada x. Es la variable de salida de un circuito de regulación en bucle cerrado. También se conoce como el valor actual o el valor real.
- ✓ Variable de referencia w. Representa el valor que debería asumir la variable regulada. En un sistema de regulación en bucle cerrado ideal, la variable de referencia y la variable regulada tendrían el mismo valor.
- ✓ Variable de realimentación r. Se define como el valor medido de la variable regulada. Esta variable está representada por la tensión que sale del sensor al medir la velocidad.
- ✓ Desviación del sistema e. Es la desviación entre la variable de referencia w y la variable de realimentación r.
- ✓ Variable de corrección y. El regulador compara la variable regulada con la variable de referencia y genera una variable de salida del regulador que se conoce como variable de corrección. La variable de corrección y, aplica la acción del regulador al elemento final de control. Forma la señal de entrada para el sistema controlado.
- ✓ Elemento final de control. Es excitado con la variable de corrección y actúa sobre el flujo de energía en el circuito de regulación en bucle cerrado.
- ✓ Componente del sistema regulado. Es la parte del circuito de regulación en bucle cerrado en la cual se genera la variable regulada.
- ✓ Sistema regulado. Consiste en el elemento final de control y el componente del sistema regulado.
- ✓ Variable perturbadora z. Actúan desde fuera del circuito de regulación en bucle cerrado y producen cambios no deseados en la variable regulada. Actúan principalmente en el sistema regulado.

- ✓ Sistema de medición. Para medir la variable regulada se utiliza un sistema de medición. A un sistema de medición se le denomina también a menudo sensor o encoder.

2.5. CONTROL PID

Es un mecanismo de control que permite regular, la temperatura, velocidad presión y flujo a través de un lazo de retroalimentación, el algoritmo de control incluye tres parámetros fundamentales:

- ✓ Parámetro proporcional: este parámetro mide la diferencia entre el valor actual y el punto de ajuste y aplica el cambio necesario.
- ✓ Parámetro integral: es el tiempo que toma llevar a cabo una acción correctiva, incrementando la exactitud del sistema y eliminando el error en un estado estacionario
- ✓ Parámetro derivativo: emite una acción predictiva, este efecto de anticipación más importantes, pero con defecto debido a que tiende a corregir antes de que la señal de error sea desmedida [2].

La Ilustración 2 muestra un tipo de regulador PID, exactamente el regulador con el que cuenta la facultad.

Ilustración 2 Regulador PID con el que cuenta la facultad



Fuente: Autoras

Internamente en la tarjeta PID se lleva un proceso de regulación sobre el que actúan dos variables: [4]

- ✓ La variable de referencia w
- ✓ La variable regulada x

El regulador genera una variable de salida y la variable de corrección y, como se muestra en la Figura 2

Figura 2 Diagrama de bloques de un regulador



Fuente: [3]

La Tabla 2 muestra las ventajas y desventajas de los reguladores P, I, D [3]

Tabla 2 Propiedades de los reguladores P,I y D

	Reguladores P	Reguladores I	Reguladores D
Velocidad de reacción del regulador	Rápido	Lento	Muy rápido
Desviación del sistema en estado estable	Existe	Cero	No puede controlarse
Comentarios			No puede utilizarse sin un componente adicional a la regulación

Fuente: [3]

Para obtener todas las ventajas de los diferentes tipos de reguladores al mismo tiempo, se utilizan combinaciones de los reguladores P, I, D. De todas las posibles combinaciones de reguladores, las únicas que tienen aplicación práctica son las PI, PD y PID. La Tabla 3 compara las propiedades de estos reguladores.

Tabla 3 Propiedades de los reguladores PI, PD y PID

	Reguladores PI	Reguladores PD	Reguladores PID
Velocidad de reacción del regulador	Rápido	Muy rápido	Muy rápido
Desviación del sistema en estado estable	Cero	Existe	Cero

Fuente: [3]

2.5.1. Regulador PID [3]**.** Un regulador PID combina las ventajas de los reguladores P, I y D. Un regulador PID se distingue por tres variables características:

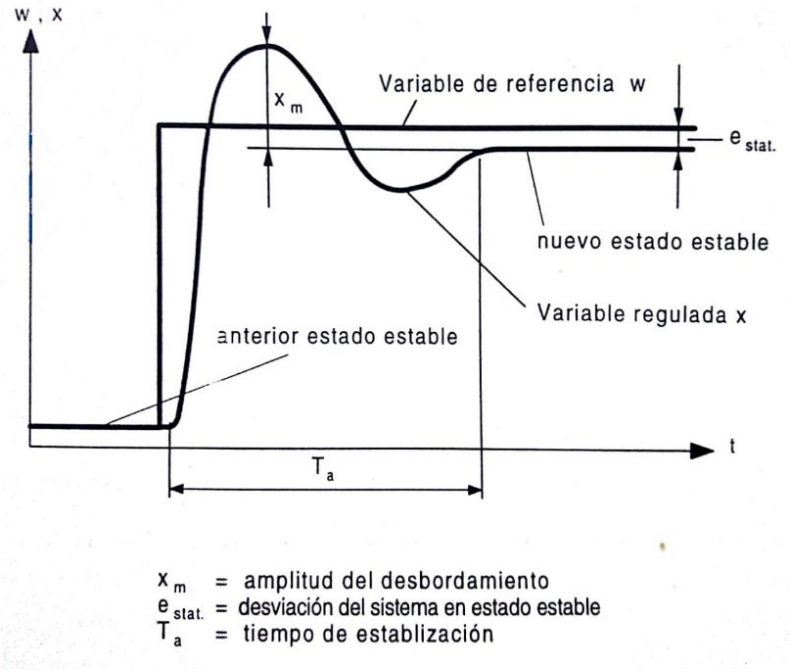
- ✓ O bien por los coeficientes de la acción proporcional, integral y derivativa (KP, KI y KD)
- ✓ O por la ganancia proporcional, el tiempo de acción derivativa y el tiempo de acción integral (KP, Tv y Tn)

✓ Calidad de una regulación [3]. En un bucle cerrado de regulación, el regulador y el sistema regulado se hallan en constante interacción. La interacción del regulador y del sistema regulado se optimiza por medio del ajuste de los coeficientes del regulador. La calidad de la regulación describe la calidad del bucle cerrado. Para evaluar la calidad de la regulación, se aprecia la respuesta transitoria de la variable regulada después de un cambio en escalón en la variable de referencia. Se determina en detalle las siguientes características:

- ✓ Amplitud del desbordamiento o rebase xm
- ✓ Desviación del sistema en estado estable e_{stat}
- ✓ Tiempo de estabilización Ta

Se obtiene una buena respuesta en régimen transitorio cuando los valores de estos datos característicos son bajos.

Figura 3 Características de la calidad de una regulación



Fuente: [3]

2.5.2. Regulación de la tarjeta PID [4]

✓ Regulador I en la tarjeta reguladora. En la tarjeta reguladora se han previsto un interruptor rotativo y un potenciómetro, para permitir ajustar el coeficiente de acción integral KI del regulador I. El interruptor rotativo tiene valores escalonados de 0 a 100 mientras que el potenciómetro tiene una regulación continua de 0 a 10. El producto de estos dos valores da el coeficiente de acción integral. El tiempo de integración TI puede calcularse como el inverso de este valor.

✓ Regulador PI en la tarjeta reguladora. Un regulador PI puede crearse en la tarjeta reguladora sumando las señales de salida de los reguladores P e I. La variable de corrección producida de esta forma, está disponible en la salida de la tarjeta del regulador. El *tiempo de acción integral Tn* es el cociente del coeficiente de acción proporcional y del coeficiente de acción integral:

$$Tn = \frac{KP}{KI} \tag{1}$$

✓ Regulador PID en la tarjeta reguladora. Con el regulador PID, las tres señales de corrección de la acción de los reguladores proporcional, integral y derivativo se reúnen en el punto sumador. Las señales se generan de forma similar a las del regulador PI o PD.

Los parámetros de los reguladores industriales PID pueden establecer de dos formas diferentes:

1. Ajuste de los coeficientes KP, KI y KD
2. Ajuste del tiempo de acción integral Tn y del tiempo de acción derivativa Tv.

Ambos métodos tienen tanto ventajas como desventajas. En nuestro caso utilizaremos el primer método para ajustar el regulador PID. Este método tiene la ventaja que sus efectos en los coeficientes pueden investigarse selectivamente.

2.5.3. Ventajas y desventajas

Los reguladores PID, pueden funcionar tanto de manera independiente como combinada, en la Tabla 4 se presentan las posibles combinaciones con sus ventajas y desventajas.

Tabla 4 Ventajas y desventajas de los reguladores P, I, PI, PD y PID

Tipo de regulador	Ventajas	Desventajas
Regulador P	Rápido	Desviación en estado estable
Regulador I	Sin desviación en estado estable	Lento, tendencia a oscilar

Regulador PI	Rápido, Sin desviación en estado estable	Tendencia a oscilar
Regulador PD	Muy rápido	Desviación en estado estable
Regulador PID	Muy rápido, Sin desviación en estado estable	

Fuente: [4]

2.5.4. Reguladores dinámicos y no dinámicos. Los reguladores se dividen en dos clases diferentes:

- ✓ Reguladores no dinámicos (o también llamados de conmutación alternativa)
- ✓ Reguladores dinámicos

Las propiedades de los reguladores dinámicos y no dinámicos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Reguladores dinámicos y no dinámicos

	Reguladores no dinámicos	Reguladores dinámicos
Variable de corrección	Sólo unos pocos valores diferentes	Variación continua entre los valores mínimo y máximo
Tipo de válvula hidráulica	Válvulas conmutadoras	Válvulas dinámicas
Ventajas	Menos costoso	Mejor calidad de regulación

Fuente: [3]

Tanto los reguladores dinámicos como los no dinámicos tienen diversas estructuras de regulación que se presentan en la Tabla 6

Tabla 6 Tipos de reguladores

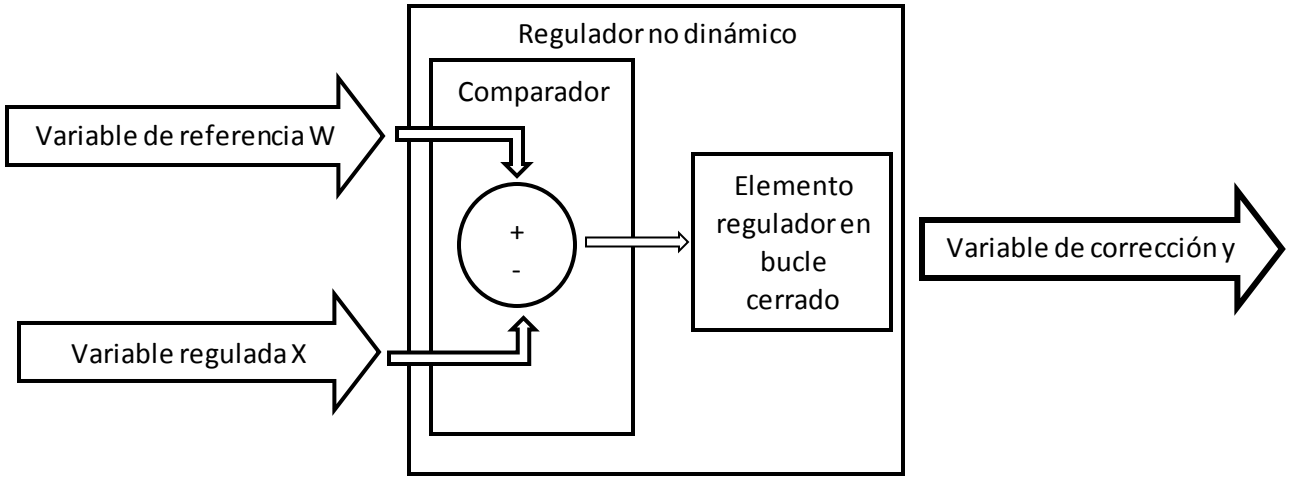
Reguladores no dinámicos	Reguladores dinámicos	
	Reguladores estándar	Reguladores de estado
Reguladores de acción en dos etapas	Reguladores P	Reguladores de triple bucle
Reguladores de acción en tres etapas	Reguladores I	
Reguladores multietapa	Reguladores PD	
	Reguladores PI	
	Reguladores PID	

Fuente: [3]

- ✓ Reguladores no dinámicos. La función de un regulador no dinámico puede representarse por un diagrama de flujo de señales con dos cajas, como se presenta en la Figura 4:

- ✓ En el primer bloque, se calcula la diferencia entre variable de referencia y la variable regulada. Este bloque es conocido como comparador.
- ✓ En el segundo bloque, la desviación del sistema se utiliza para determinar la variable de corrección. Este bloque forma el elemento de regulación en bucle cerrado.

Figura 4 Diagrama de flujo de la señal de un regulador no dinámico



Fuente: [3]

✓ Regulador de acción en tres etapas. La variable de corrección y el elemento final regulado puede asumir tres posiciones diferentes con este dispositivo antibloqueo, lo cual constituye en efecto un regulador de tres etapas.

✓ Regulador de acción en dos etapas. Los dispositivos antibloqueo simplificados tienen solamente dos posiciones de conmutación.
Durante la frenada normal, el cilindro de frenado de la rueda está conectado al cilindro principal de freno.
Si la rueda está en situación de bloquearse, el cilindro de frenado de la rueda se conecta al depósito de presión
En este caso, se efectúa una regulación en dos etapas.

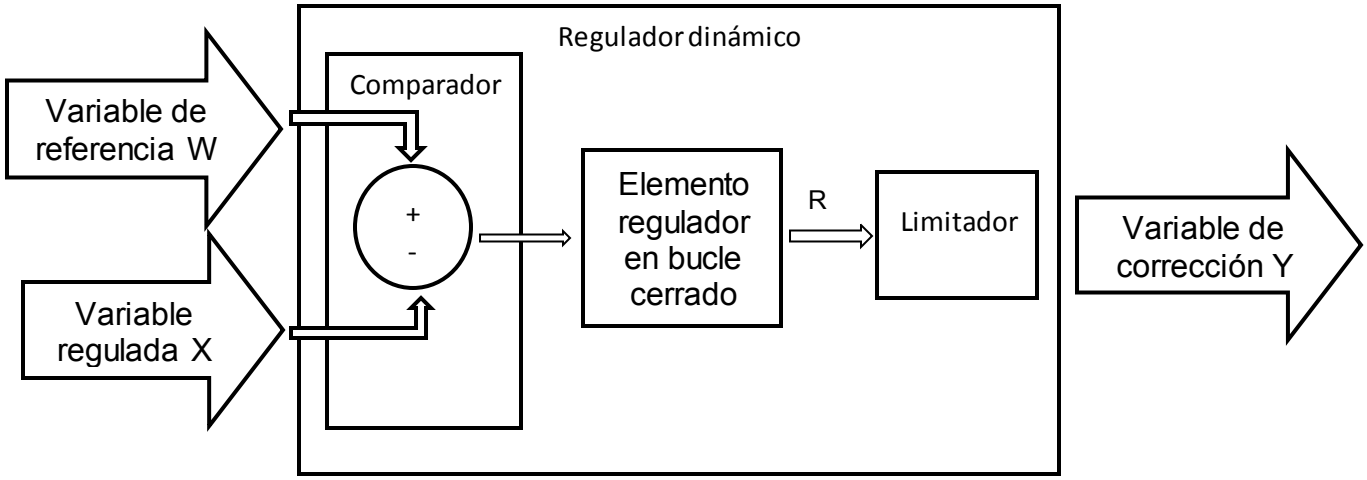
✓ Regulador de múltiples etapas. Los reguladores de múltiples etapas pueden asumir más de tres posiciones de conmutación diferentes y raramente se utilizan en circuitos eléctricos.

✓ Reguladores dinámicos. Los diagramas de flujo de la señal para los reguladores P, I, PI, PD y PID constan de tres elementos:

- ✓ Suma de las variables de referencia y regulada (comparador o punto de suma)
- ✓ La función real del regulador (elemento de regulación en bucle cerrado)
- ✓ Un limitador para la señal de corrección.

La Figura 5 muestra el diagrama de flujo para un regulador dinámico estándar

Figura 5 Diagrama de flujo de la señal en un regulador dinámico estándar



Fuente: [3]

Un regulador PID posee tres modos diferentes que se caracterizan por el sistema de control que proporciona, la Tabla 7 muestra las ventajas y desventajas de los tres modos y de sus posibles combinaciones.

Tabla 7 Ventajas y desventajas de los reguladores PID

Tipo de regulador	Ventajas	Desventajas
Regulador P	Rápido	Desviación en estado estable
Regulador I	Sin desviación en estado estable	Lento, tendencia a oscilar
Regulador PI	Rápido, Sin desviación en estado estable	Tendencia a oscilar
Regulador PD	Muy rápido	Desviación en estado estable
Regulador PID	Muy rápido, Sin desviación en estado estable	

Fuente: [4]

3. CARACTERIZACIÓN DE DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS

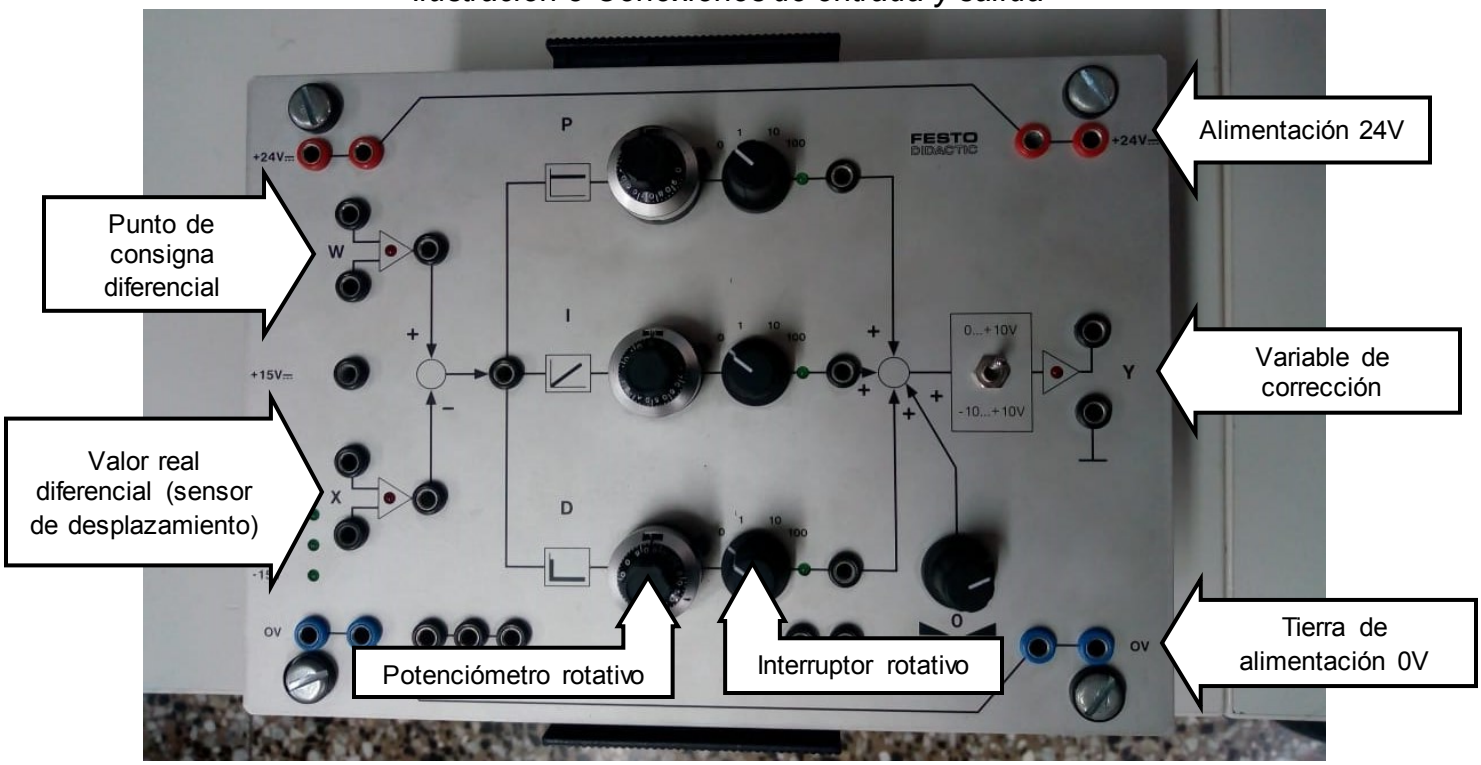
Para la descripción de los componentes neumáticos e hidráulicos se obtuvo información de los manuales de trabajo de FESTO donde se describe fundamentos, características, fichas técnicas de componentes, conexiones y montajes.

3.1. TARJETA PID [3]

Este regulador PID puede utilizarse, entre otras cosas, como un regulador para circuitos de hidráulica y neumática en bucle cerrado. Requiere una alimentación de 24V que a su vez se convierte internamente a +/- 15V.

La tarjeta PID cuenta con entradas diferenciales para las señales del punto de consigna y del valor real, un comparador que calcula la desviación del sistema entre el punto de consigna y el valor real, componentes del regulador (P, I y D) que pueden conectarse y desconectarse separadamente permitiendo utilizar diferentes combinaciones, los parámetros individuales del regulador se ajustan con la ayuda de potenciómetros e interruptores rotativos, el offset de la variable de corrección puede utilizarse para sobreponer tensiones constantes en la señal de salida, el limitador de la variable de corrección convierte las señales del regulador al rango de trabajo requerido por los actuadores y por último la salida la cual evalúa la variable de corrección con referencia al tierra analógico. En la Ilustración 3 se muestra de manera general las partes que componen una tarjeta PID.

Ilustración 3 Conexiones de entrada y salida



Fuente: Autoras

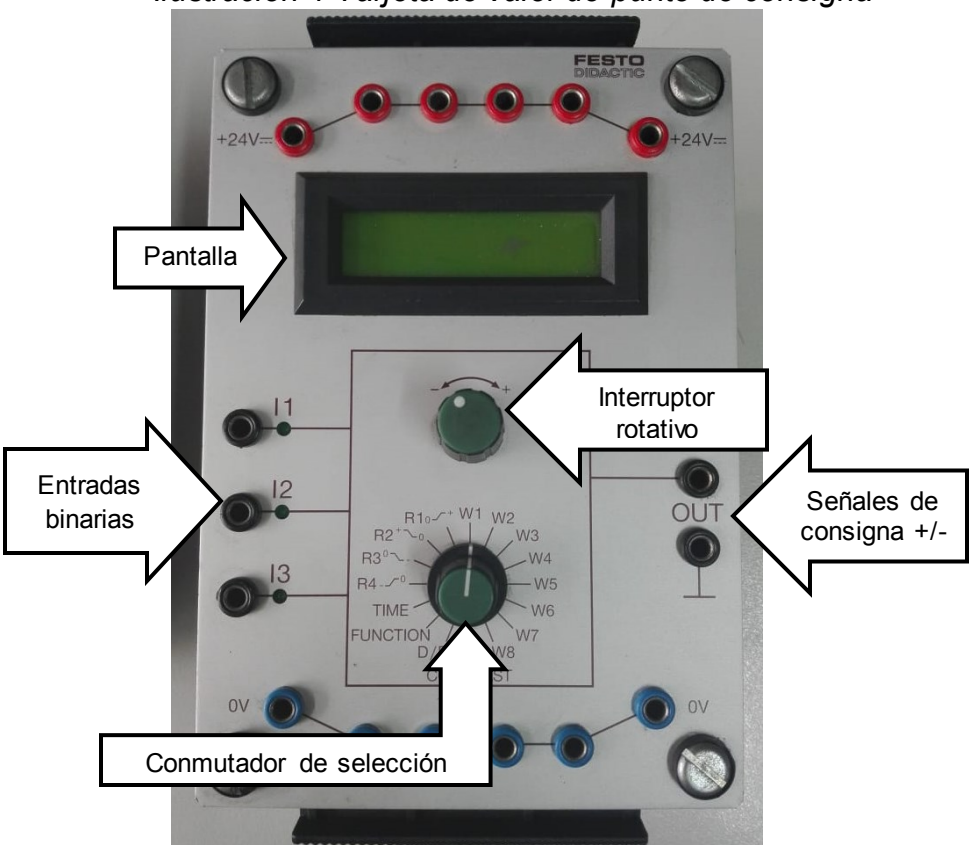
3.2. TARJETA DE VALOR DE PUNTO DE CONSIGNA [5]

Las funciones de la tarjeta del valor de consigna son las siguientes:

- ✓ Generación de valor de punto de ajuste programable
- ✓ Generación de rampa programable
- ✓ Secuencia cíclica de valores de consigna y rampas
- ✓ Cronómetro

La tarjeta de consigna se compone internamente de un almacenamiento que guarda los valores establecidos por medio de un nuevo enclavamiento del conmutador de selección y valores de consigna que permite establecer hasta ocho valores de punto de ajuste entre el rango de voltaje de -10 V a +10 V que se pueden establecer por medio de un interruptor rotativo. La parte externa de la tarjeta de consigna se compone de una pantalla, un interruptor rotativo, un conmutador de selección, tres entradas binarias y las señales de consigna +/-, las cuales se muestran en la Ilustración 4.

Ilustración 4 Tarjeta de valor de punto de consigna



Fuente: Autoras

3.2.1. Activación de puntos de ajuste. La activación de los valores del punto de consigna se logra por medio de una tarjeta de entrada de señales eléctricas con la combinación que se muestra en la Tabla 8

Tabla 8 Valores de punto de ajuste

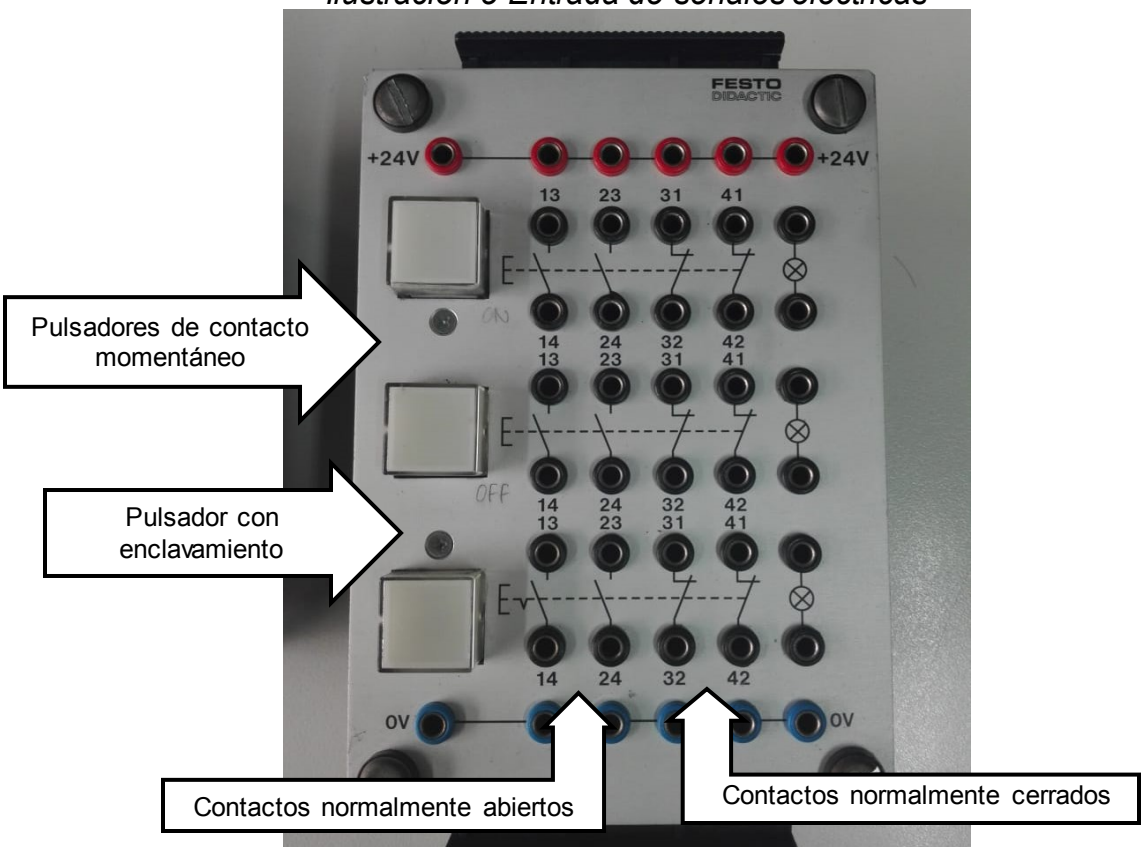
Activación de valores de punto de ajuste			
Valores de consigna	I1	I2	I3
W1	0	0	0
W2	0	1	0
W3	0	0	1
W4	1	1	0
W5	0	0	1
W6	1	0	1
W7	0	1	1
W8	1	1	1

Fuente: [6]

3.3. ENTRADA DE SEÑALES ELÉCTRICAS [4]

La entrada de señales eléctricas consta de dos pulsadores que al soltarlos el bloque de contacto regresa a su posición inicial y un pulsador con retención que conserva el estado de conmutación, este regresa a su posición inicial presionando de nuevo (ver Ilustración 5). Los contactos se accionan presionando la caperuza. Los circuitos eléctricos se abren o cierran por medio de los bloques de contactos.

Ilustración 5 Entrada de señales eléctricas

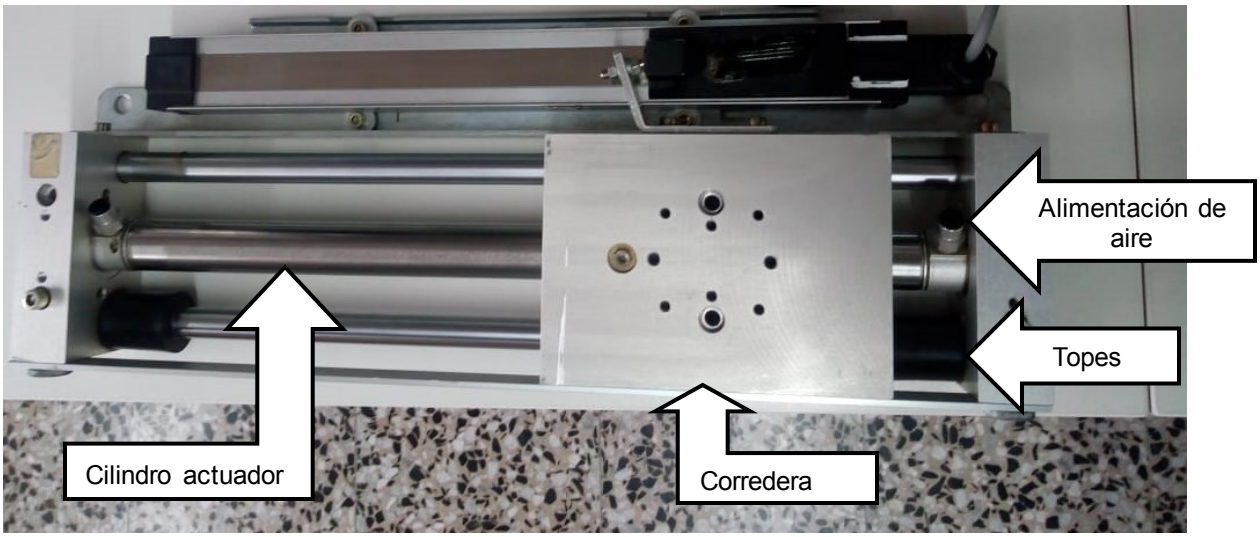


Fuente: Autoras

3.4. ACTUADOR LINEAL, 200 mm DE CARRERA NEUMÁTICO [4]

El actuador lineal (ver Ilustración 6) funciona mediante unas cámaras que se alimentan con aire comprimido por medio de dos conexiones; unos potentes imanes unen el embolo interno con la corredera, esta se desliza sobre rodamientos lineales de bolas y además cuenta con dos guías que aumentan su rigidez. También cuenta con placas extremas que permiten por medio de agujeros roscados el montaje de un sistema de medición de posición. La posición del sistema de medida viene determinada por los topes los cuales amortiguan el impacto de la corredera sobre las placas extremas si el sistema de control pudiera fallar.

Ilustración 6 Actuador lineal 200mm de carrera



Fuente: Autoras

3.5. VÁLVULA PROPORCIONAL 5/3 VÍAS [4]

La válvula distribuidora proporcional (ver Ilustración 7) convierte una señal de entrada analógica en las aperturas de sección de paso adecuadas. La válvula es particularmente conveniente para ser utilizada como elemento final de control en combinación con un regulador de posición de alto nivel, para el posicionado de un cilindro neumático.

Los principales componentes internos de la válvula proporcional son:

- ✓ Una válvula neumática de 5/3 vías de corredera deslizante, con posición central cerrada.
- ✓ Una armadura de accionamiento para posicionar la corredera de la válvula.
- ✓ Un sensor para medir la posición de la corredera de la válvula.
- ✓ Una electrónica integrada para controlar la posición de la corredera de la válvula.

La asignación de pines del zócalo de la tapa y el código de colores para las clavijas del cable D.AS-SDE-4-GD se muestran en la siguiente tabla

Tabla 9 Conexión eléctrica válvula proporcional de 5/3 vías

Pin	Conexiones	Clavija
1	Alimentación +24V	Rojo
2	Alimentación 0V	Azul
3	Señal de tensión	Negro
4	Tierra de la señal	Blanco

Fuente: [4]

Ilustración 7 Válvula proporcional 5/3 vías



Fuente: Autoras

3.6. POTENCIÓMETRO LINEAL [4]

Este potenciómetro lineal (ver Ilustración 8) es un potenciómetro de corredera sin vástago y con conexiones en ambos extremos. La conexión eléctrica es por medio de un cable. El cable tiene terminales rectangulares en un extremo, para el potenciómetro lineal, y cuatro clavijas en el otro extremo. El cable incorpora una alimentación de referencia y un convertidor de impedancia.

El potenciómetro lineal suministra una tensión que es proporcional a la tensión de alimentación y a la posición del patín.

La conexión eléctrica para la asignación de pines se encuentra en la Tabla 9.

Ilustración 8 Potenciómetro lineal

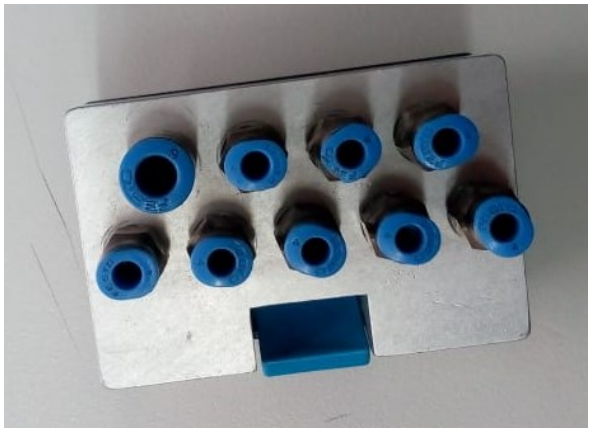


Fuente: Autoras

3.7. DISTRIBUIDOR DE AIRE [4]

La placa distribuidora con alimentación común P, permite alimentar de aire comprimido a un sistema desde ocho conexiones individuales. Este consiste en ocho enchufes rápidos autobloqueados roscados sobre una placa universal como se observa en la Ilustración 9.

Ilustración 9 Distribuidor de aire



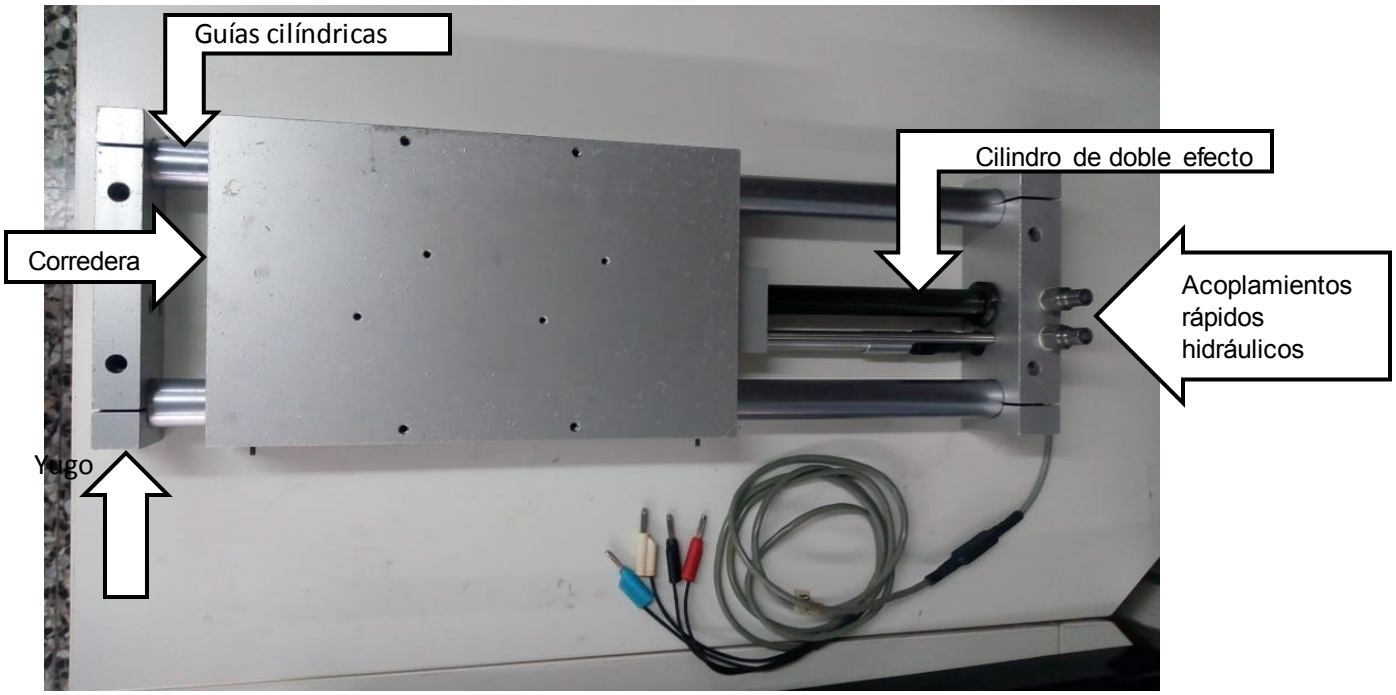
Fuente: Autoras

3.8. UNIDAD LINEAL, 200mm DE CARRERA [3]

El actuador lineal hidráulico consta de una corredera, un cilindro de doble efecto, dos guías cilíndricas, dos yugos y dos acoplamientos rápidos hidráulicos, como se puede observar en la Ilustración 10.

Las cámaras del cilindro pueden recibir presión a través de dos acoplamientos rápidos hidráulicos. La presión, al ejercerse sobre la superficie del embolo produce una fuerza que a través del vástago se transmite a la corredera. La velocidad de desplazamiento viene determinada por el caudal disponible de aceite y varía según el cilindro avance o retroceda.

Ilustración 10 Unidad lineal 200mm



Fuente: Autoras

3.9. DERIVACIÓN EN TE [3]

Cuenta con tres conexiones (1 zócalo y boquillas), como se observa en la Ilustración 11. Este componente puede montarse en cualquier sitio para crear una derivación

Ilustración 11 Derivación en Te



Fuente: [7]

3.10. MANGUERAS CON ACOPLAMIENTO RÁPIDO [3]

Los componentes de las mangueras con acoplamiento rápido

- ✓ Zocalo de acoplamiento
- ✓ Encaste
- ✓ Manguera de alta presión
- ✓ Malla trenzada
- ✓ Tubo interior
- ✓ Funda exterior

Los zócalos de acoplamiento son autoestancos cuando se acoplan. Estos zócalos proporcionan una conexión hidráulica libre de fugas junto con la boquilla de acoplamiento. Para realizar una conexión, el zócalo se empuja sobre la boquilla hasta que la corredera deslizante queda encajada. Para separar la conexión hay que tirar de esa corredera. Entonces el zócalo se desprende de la boquilla por efecto de un muelle. Solamente las superficies frontales de los acoplamientos entran en contacto con el fluido hidráulico durante la operación de conexión. En la siguiente imagen se observa una manguera con acoplamiento rápido.

Ilustración 12 Manguera con acoplamiento rápido



Fuente: [8]

3.11. FILTRO DE PRESIÓN [3]

El filtro de presión (ver Ilustración 13) consta de un cuerpo, una tapa, cinco juntas tóricas, un indicador óptico y un elemento filtrante.

El fluido atraviesa el elemento filtrante desde el exterior hacia el interior. La inversión del sentido del flujo puede dañar el elemento filtrante. Se ha instalado una válvula antirretorno para evitar una conexión incorrecta. El filtro retiene las partículas de suciedad en la malla. Para garantizar la mayor superficie filtrante posible y así prolongar la vida útil del elemento, se ha dispuesto el elemento en pliegues en forma de estrella.

Ilustración 13 Filtro de presión



Fuente: Autoras

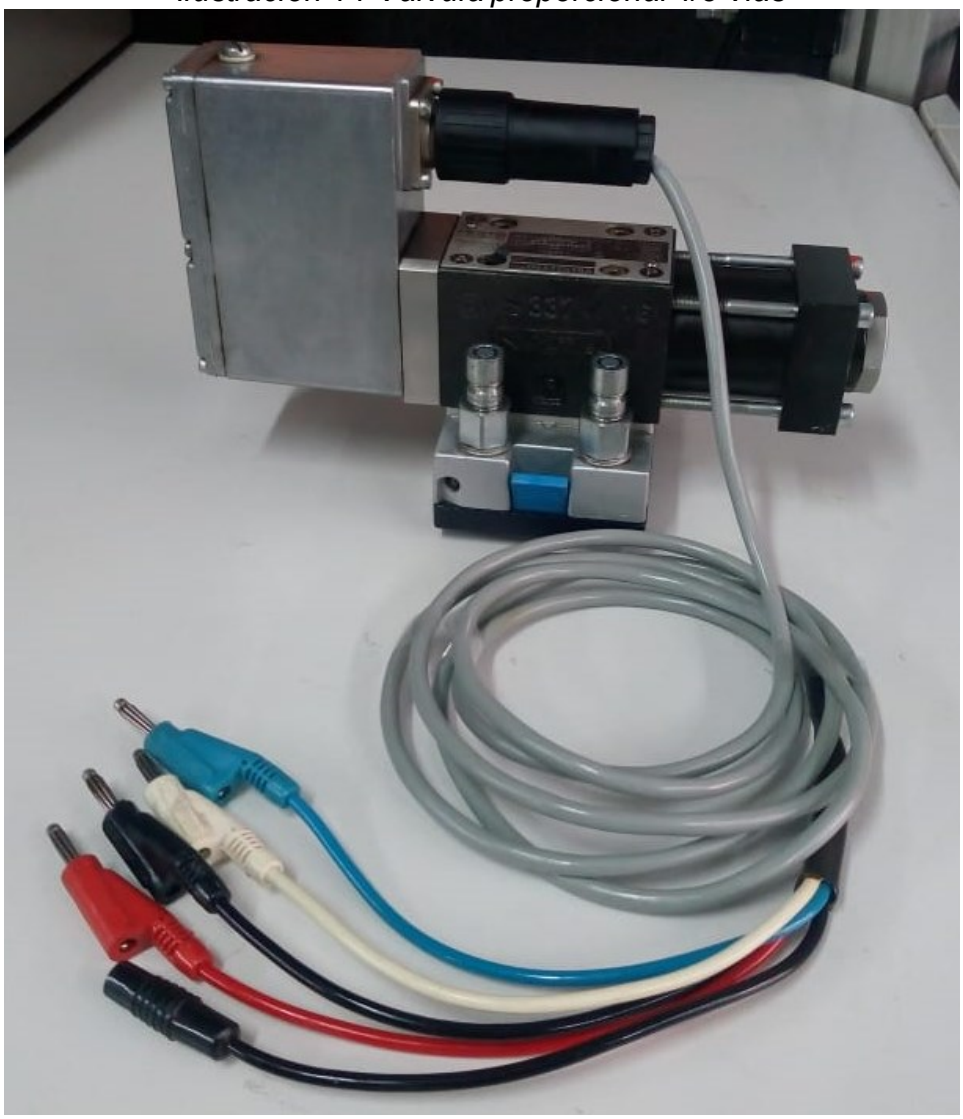
3.12. VÁLVULA PROPORCIONAL 4/3 VÍAS [3]

La válvula está compuesta por un tornillo de ajuste del cero, dos zócalos (uno de control), una corredera de control, electrónica integrada, un codificador de posición, un motor lineal, un muelle de retorno y conexiones.

La válvula funciona por medio de una señal eléctrica de control que se emite hacia el regulador de posición integrado, el cual mueve el motor lineal a través del controlador electrónico modulado en anchura de pulso (PWM). En codificador de posición alimentado por medio de un oscilador mide la posición del embolo de control. El valor actual de esta señal se rectifica a través de un demodulador, se devuelve al regulador de posición y se compara con el valor del punto de consigna. Ahora el regulador de posición activa el motor lineal hasta que coinciden el valor de consigna y el real, con lo cual la posición del embolo de control es proporcional a la señal eléctrica de entrada. Sin embargo, el caudal real que no solo depende de esta señal de entrada eléctrica, sino también depende críticamente de la caída de presión Δp en cada uno de los bordes de control.

En la Ilustración 14 se observa una válvula proporcional 4/3 vías

Ilustración 14 Válvula proporcional 4/3 vías



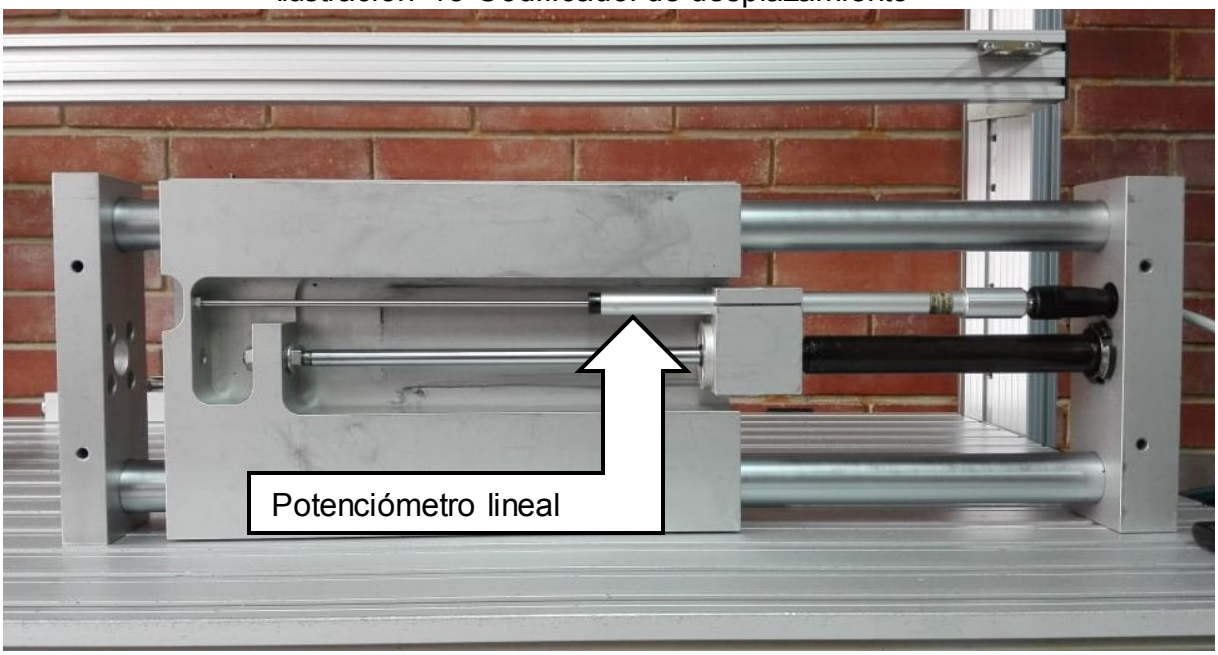
Fuente: Autoras

3.13. POTENCIÓMETRO LINEAL [3]

El potenciómetro se alimenta con 10V desde una fuente de tensión de referencia, situada en la línea de alimentación. La tensión variable a través del seguidor es proporcional a la distancia recorrida por la varilla conectada. Por razones de seguridad, la tensión variable está protegida contra cortocircuito y tensiones inadecuadas en el patín por medio de un convertidor de impedancia.

La Ilustración 15 muestra un potenciómetro lineal adaptado a un actuador lineal hidráulico.

Ilustración 15 Codificador de desplazamiento



Fuente: Autoras

4. MONTAJE DE SISTEMAS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS

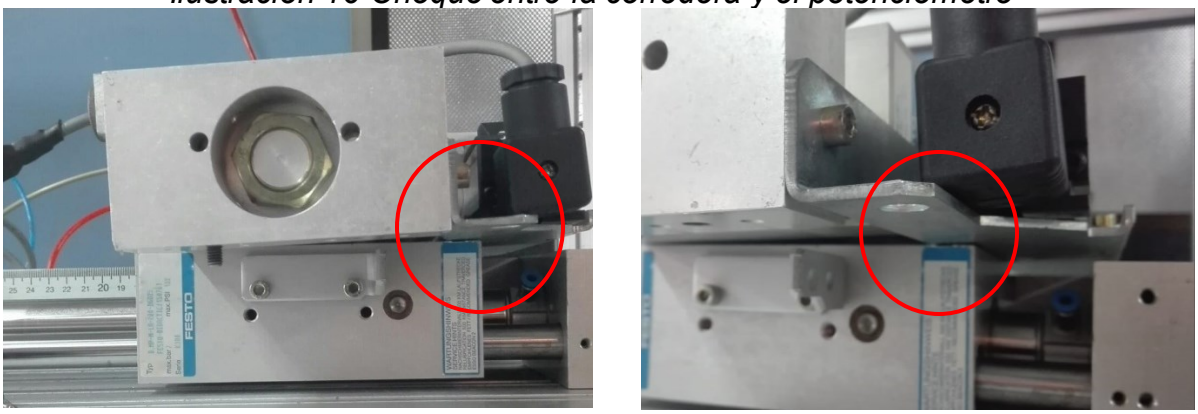
4.1. MONTAJE DE ACTUADORES

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas sede tecnológica cuenta con dos tipos de actuadores lineales en el laboratorio de automatización: actuador lineal neumático y actuador lineal hidráulico.

El montaje de los actuadores lineales es primordial para lograr el objetivo principal del proyecto de poner a disposición el sistema de posicionamiento XYZ servoneumático y servohidráulico, para esto hubo que tener varias consideraciones presentes:
Como ya se había mencionado antes, el actuador lineal es un cilindro de doble efecto que solo permite movimiento en un plano, es decir se necesitaban de dos actuadores lineales neumáticos e hidráulicos para lograr un sistema de posicionamiento XYZ. Al realizar los montajes se pudieron observar dos cosas:

- ✓ A pesar de que la corredera cuenta con agujeros pasantes y roscados que permiten el ajuste entre ellos, el potenciómetro lineal se topaba con la corredera, provocando un mal funcionamiento y así daños en el equipo a largo plazo, como se observa en la Ilustración 16.

Ilustración 16 Choque entre la corredera y el potenciómetro



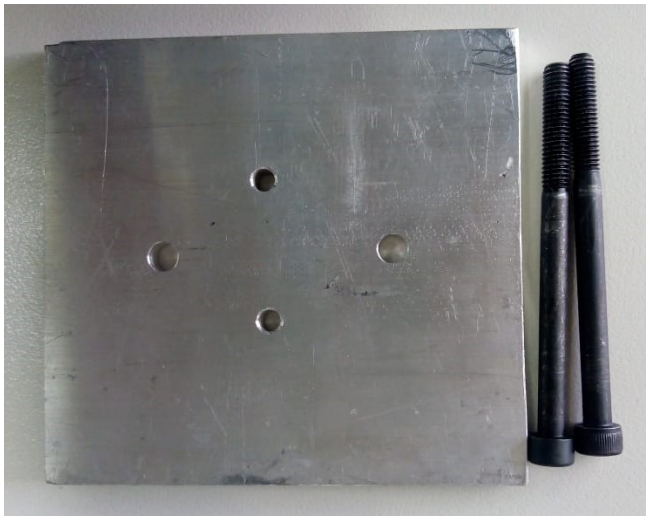
Fuente: Autoras

- ✓ Los actuadores lineales hidráulicos no tenían un sistema de sujeción que permitiera la unión entre dos de ellos.

Para solucionar estos dos inconvenientes se mecanizaron platinas que evitaran en choque entre los actuadores y que proporcionaran un sistema de sujeción adecuado.

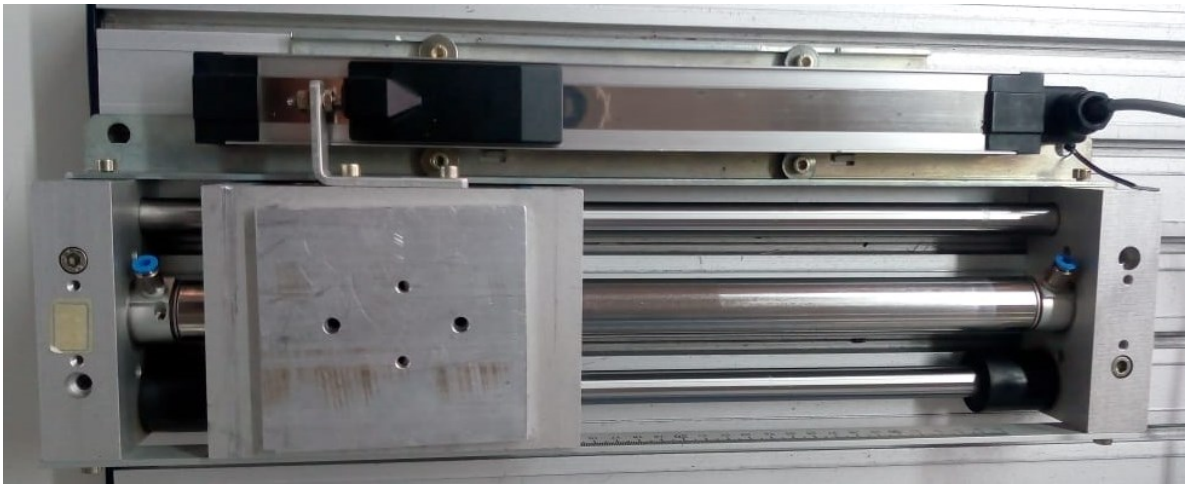
✓ Para el sistema neumático se mecanizo una lámina de ¼" con dimensiones 10 x 10 cm (ver Ilustración 17) con lo que se aumentaba la distancia entre la corredera y el potenciómetro; haciendo provecho de los agujeros que posee la corredera, se hicieron agujeros pasantes en la platina que permitieron la sujeción entre los dos actuadores y evitando la colisión (ver Ilustración 18).

Ilustración 17 Platina en aluminio de 10X10cm



Fuente: Autoras

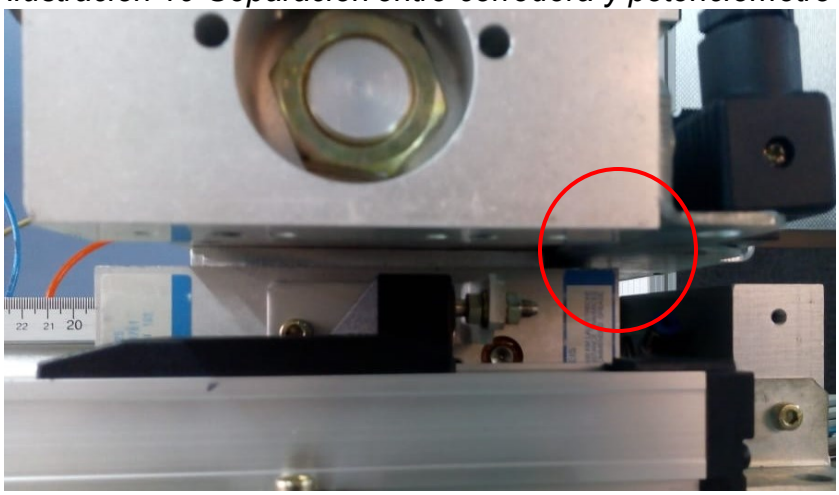
Ilustración 18 Platina sobre corredera



Fuente: Autoras

✓ Con el primer actuador y la platina instalados, se ubicó el segundo actuador de manera horizontal y se ajustó con los tornillos de 80mm por medio de los agujeros de 6mm que tienen la platina y los dos actuadores en la corredera. La Ilustración 19 muestra la separación que se obtuvo entre los dos actuadores gracias a la platina.

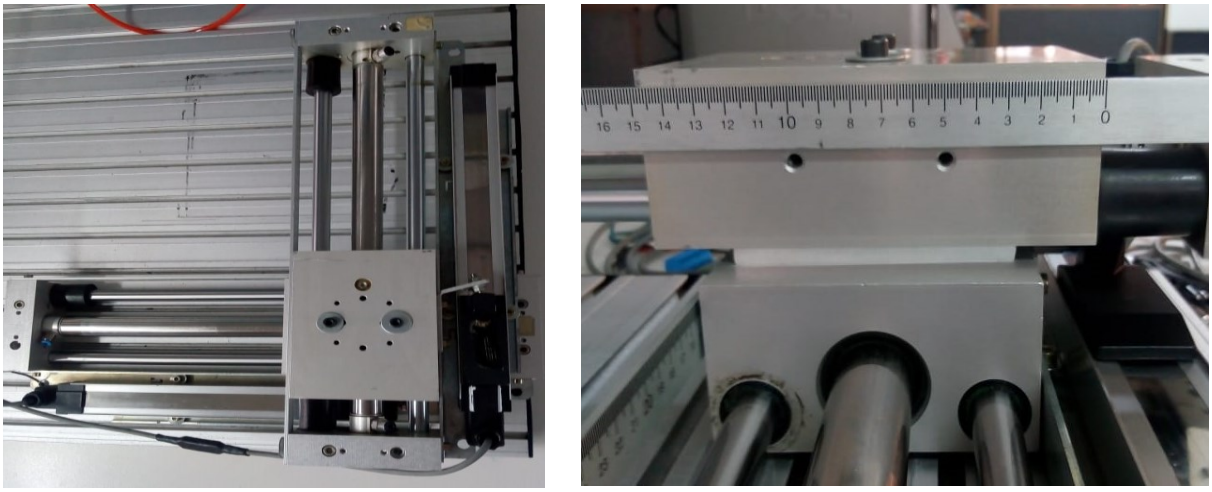
Ilustración 19 Separación entre corredera y potenciómetro



Fuente: Autoras

El montaje final de los actuadores neumáticos se puede observar en la Ilustración 20.

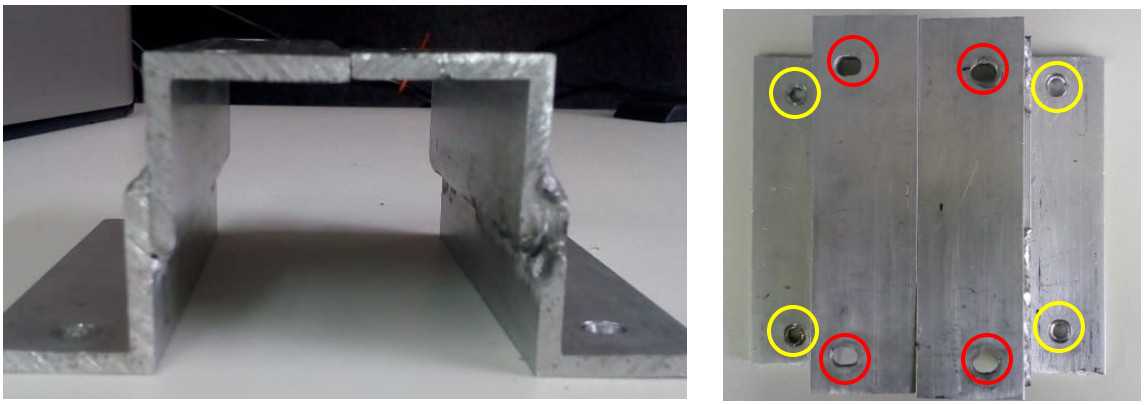
Ilustración 20 Montaje final de actuadores neumáticos



Fuente: Autoras

En el caso del actuador lineal hidráulico también se sacó provecho de los agujeros de la corredera; este sistema consta de dos platinas en “s” iguales y dos platinas rectangulares. La platina en S se hizo soldando dos vigas en L de 130 mm de ancho, 60 mm de alto y con un espesor de 1/8”, esta platina posee 4 agujeros, 2 en la parte superior que se sujetan a la corredera superior y 2 en la parte inferior que se acoplan a la platina rectangular como se muestra en la Ilustración 21.

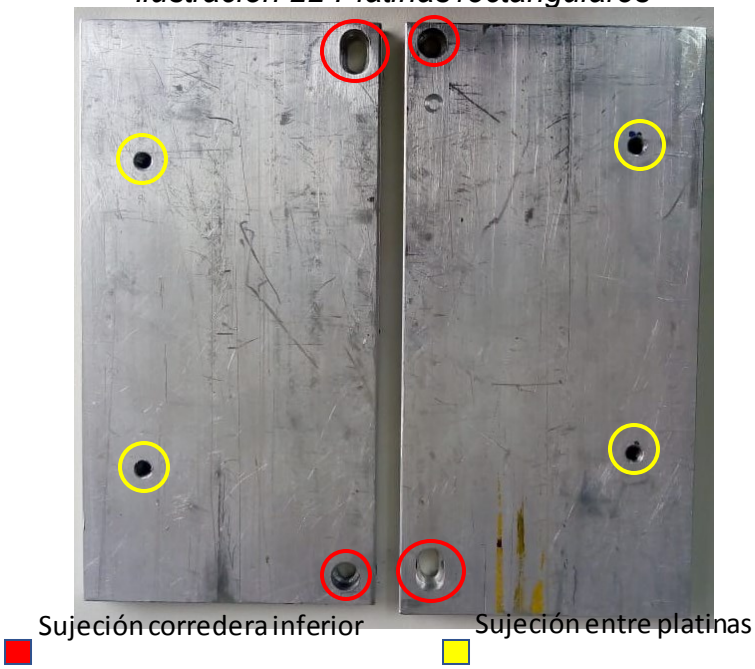
Ilustración 21 Platinas en "S"



Fuente: Autoras

Por otro lado, las platinas rectangulares poseen unas dimensiones de 200 X 80 mm y un espesor de 3/8”; estas a su vez tienen cuatro agujeros: dos que permiten la sujeción con la corredera inferior y dos agujeros roscados que como se había mencionado antes se acoplan a la platina en “S” permitiendo la unión de los dos actuadores. En la Ilustración 22 se observan las dos platinas de sujeción para el sistema hidráulico y la indicación respectiva de los agujeros.

Ilustración 22 Platinas rectangulares



Fuente: Autoras

Una vez establecido el método de sujeción se pudo realizar el montaje de los actuadores de la siguiente manera.

✓ Primero fue necesario para cada actuador conectar el cable de conexión al potenciómetro, para esto se aseguró que las ranuras del cable y potenciómetro coincidieran (ver Ilustración 23).

Ilustración 23 Ranuras potenciómetro y cable de conexión con conector M12 de cuatro pines



Fuente: Autoras

✓ Una vez coincidieron las ranuras se ajustó el cable girando únicamente el conector M12 de cuatro pines, teniendo la precaución de girar únicamente esa sección para evitar daños en el equipo. Finalmente, la conexión quedó como se muestra en la Ilustración 24.

Ilustración 24 Ajuste del potenciómetro y el cable de conexión





Fuente: Autoras

✓ Cuando se obtuvo la conexión entre el cable de conexión y el codificador de desplazamiento, se procedió a hacer el montaje en el actuador, introduciendo el potenciómetro a través de los agujeros pasantes ubicados en las placas finales y bloque para ajustar el sensor (ver Ilustración 25).

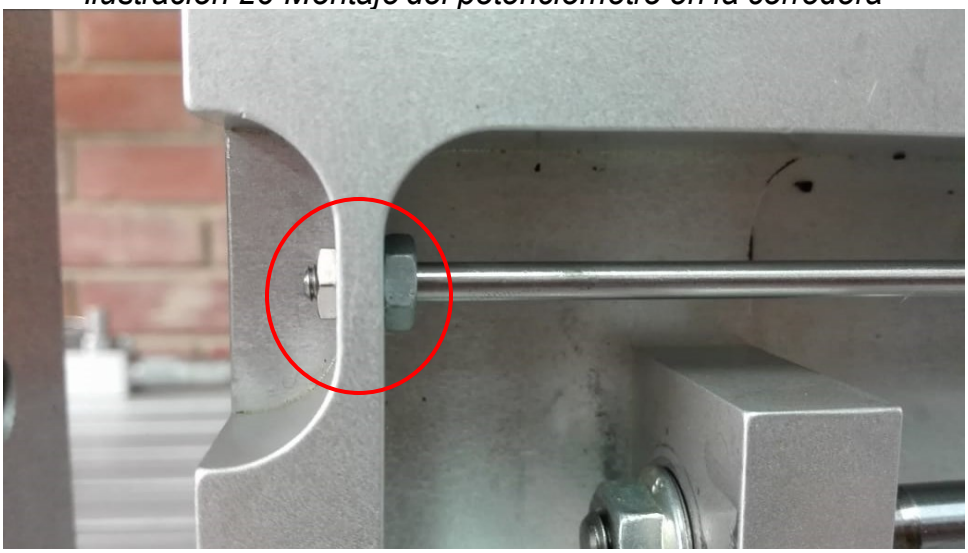
Ilustración 25 Montaje del potenciómetro en el actuador



Fuente: Autoras

✓ Después de haber cruzado por los dos agujeros el potenciómetro se llevó la varilla hasta su punto máximo, pasando por el agujero de la corredera; allí se ajustó el codificador de desplazamiento a la corredera por medio de tuercas (ver Ilustración 26).

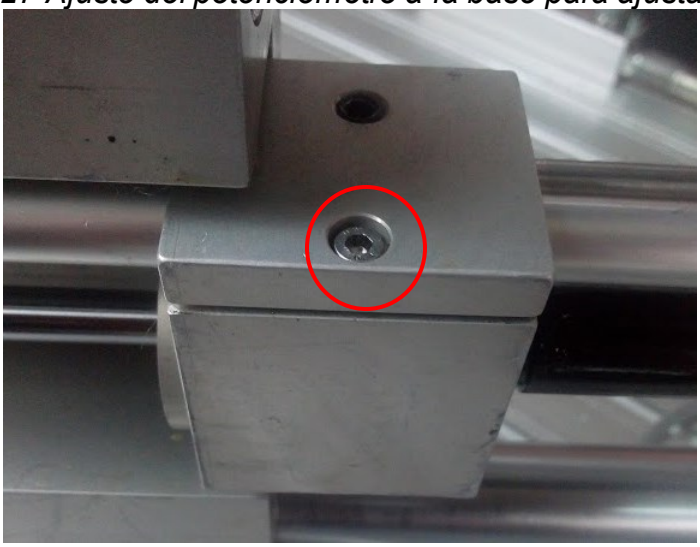
Ilustración 26 Montaje del potenciómetro en la corredera



Fuente: Autoras

✓ Se ajustó el codificador de desplazamiento a la base para ajustar con tornillos Bristol M4 x 12 con el fin de evitar el choque entre la placa final y la corredera como se muestra en la Ilustración 27

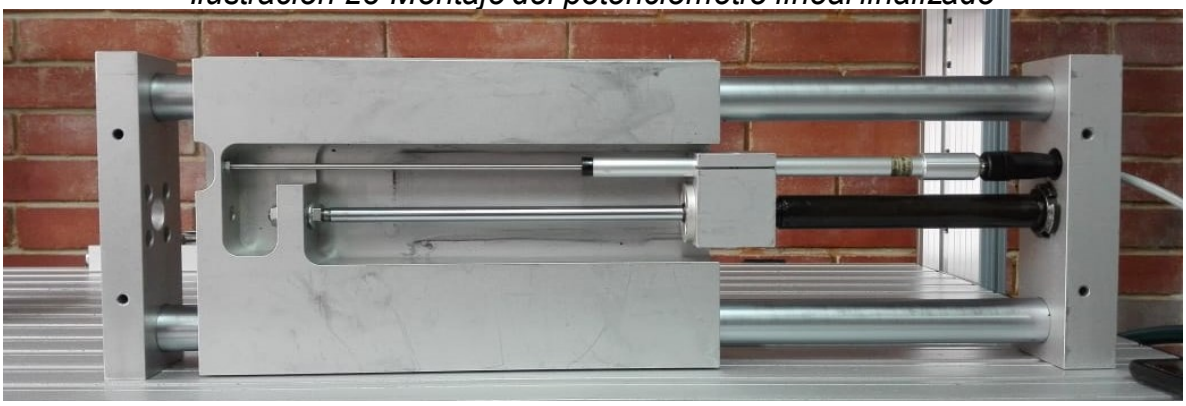
Ilustración 27 Ajuste del potenciómetro a la base para ajustar el sensor



Fuente: Autoras

✓ Al finalizar el proceso de montaje del codificador de desplazamiento quedó como se observa en la Ilustración 28

Ilustración 28 Montaje del potenciómetro lineal finalizado



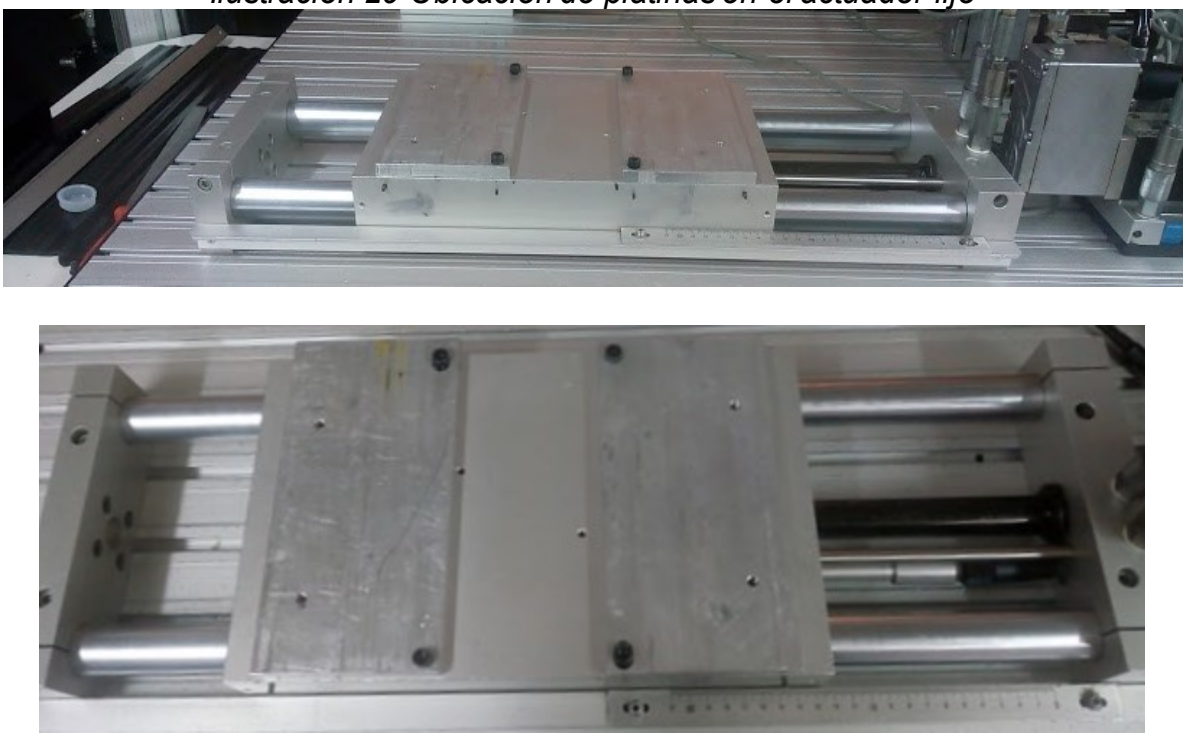
Fuente: Autoras

Este procedimiento se realizó con los dos actuadores y se continuó con el montaje.

✓ Primero se ubicó el actuador lineal hidráulico sobre el banco de manera horizontal y se fijó, encima de la corredera se ubicaron las dos platinas rectangulares de tal forma que los agujeros avellanados coincidieran con los

agujeros roscados establecidos para la sujeción (ver Ilustración 29) y se ajustaron con tornillos Bristol M6 X 1 (ver Ilustración 30)

Ilustración 29 Ubicación de platinas en el actuador fijo



Fuente: Autoras

Ilustración 30 Ajuste de platinas

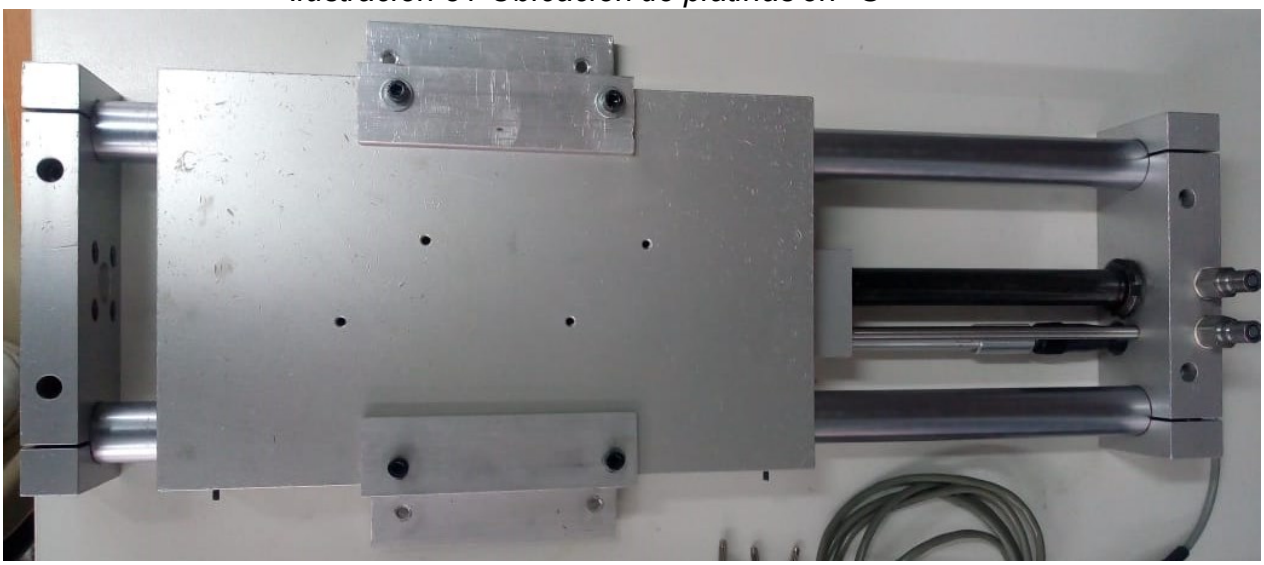


Fuente: Autoras

Antes de situar el otro actuador lineal hidráulico se le acoplarán las dos platinas en S de la siguiente manera.

✓ Se hicieron coincidir los agujeros superiores de las platinas con los agujeros laterales de la corredera, luego se ajustó la platina con tornillos Bristol M6 X 15 y arandelas como se puede observar en la Ilustración 31.

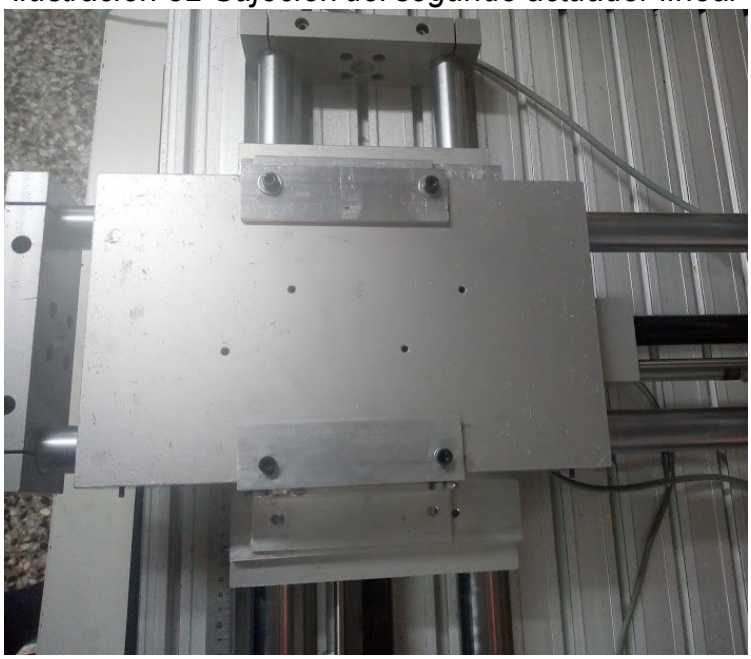
Ilustración 31 Ubicación de platinas en "S"



Fuente: Autoras

✓ Una vez puestas las 4 platinas, se ubicó el actuador lineal que aún no se había sujetado sobre la corredera del actuador fijo como se muestra en la Ilustración 32.

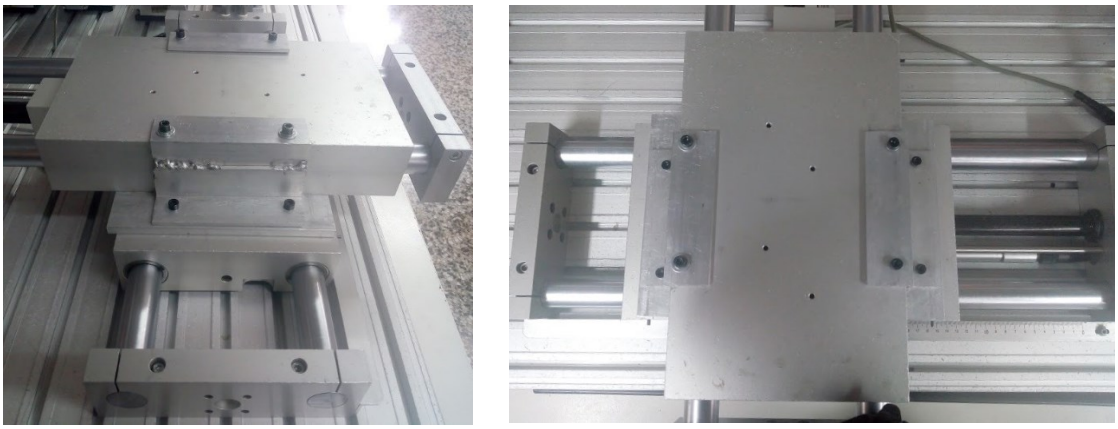
Ilustración 32 Sujeción del segundo actuador lineal



Fuente: Autoras

✓ Se encajaron los agujeros inferiores de la platina en S con los agujeros roscados de la platina inferior y se ajustaron con tornillos Bristol M6 X 10, teniendo como resultado el montaje de la Ilustración 33.

Ilustración 33 Montaje final del sistema hidráulico



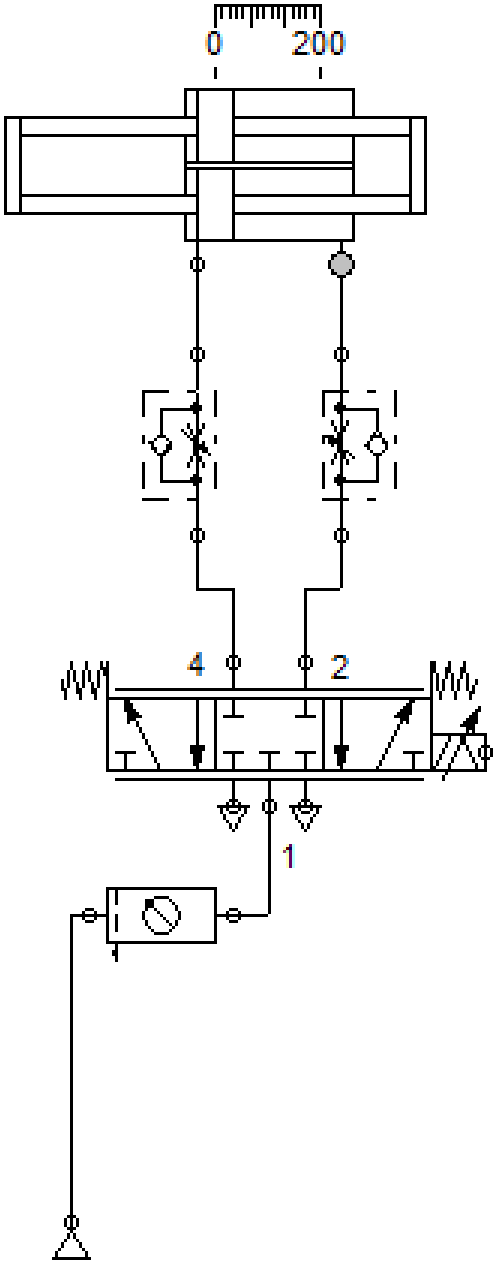
Fuente: Autoras

4.1.2. Conexión neumática e hidráulica

Seguido del montaje de los actuadores se continuó con la conexión neumática e hidráulica, para la conexión neumática se utilizó un distribuidor de aire y para cada actuador, una válvula proporcional 5/3 vías y dos reguladores de presión; para la conexión hidráulica se utilizó para cada actuador un filtro de presión y una válvula

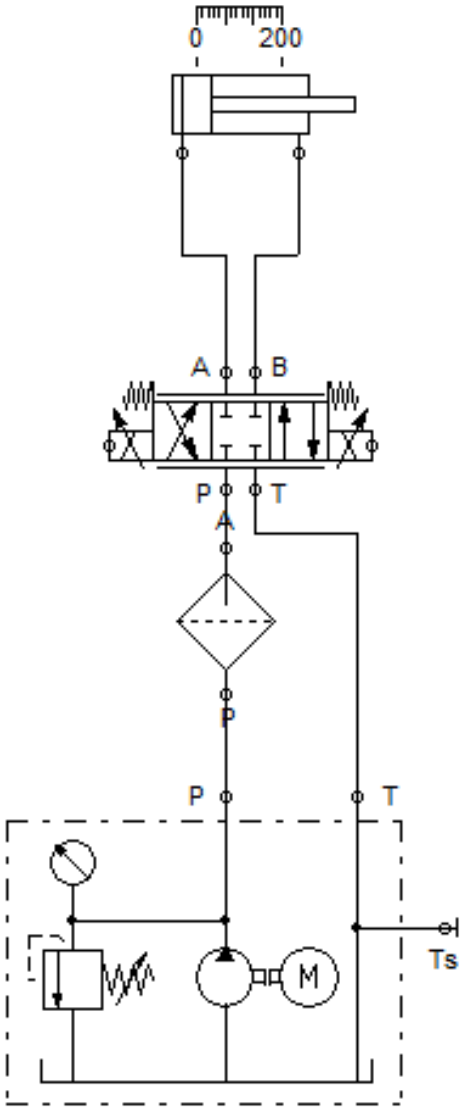
proporcional 4/3 MOOG. Las conexiones se muestran a continuación con un esquema que se realizó en la aplicación FluidSIM la cual es una herramienta pensada para la creación, simulación, instrucción y estudio electroneumático, electrohidráulico y de circuitos digitales. En las Figuras 7 y 8 se muestran las conexiones neumáticas e hidráulicas respectivamente.

Figura 6 Esquema neumático



Fuente: Creación propia

Figura 7 Esquema hidráulico



Fuente: Creación propia

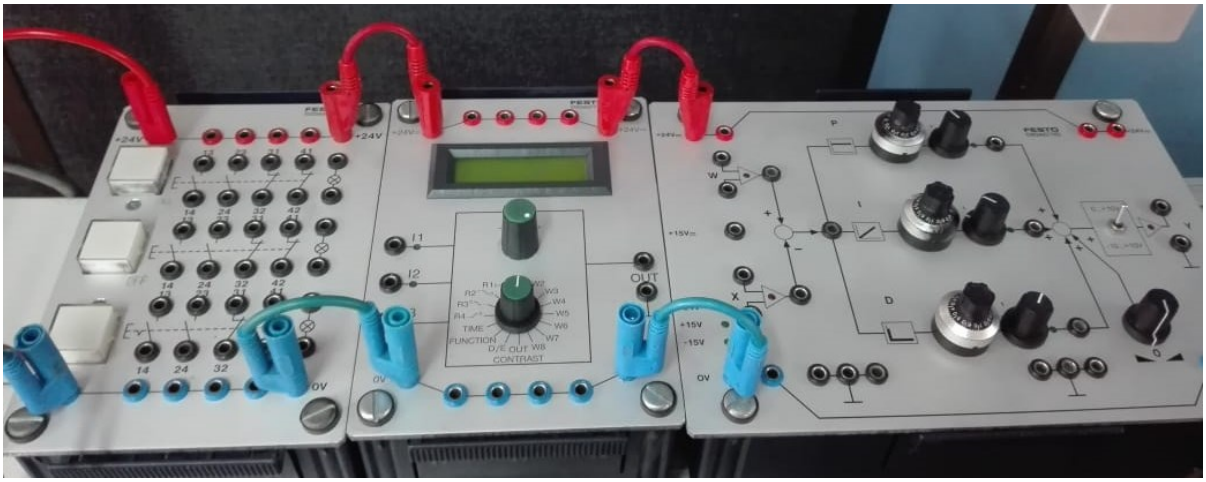
4.1.3. Conexión eléctrica.

Debido a que se estaba trabajando con servosistemas y este necesitaba de un controlador que estableciera una posición para cada entrada de voltaje se hizo necesaria una conexión eléctrica; esta conexión es la misma para los dos sistemas y sus componentes para cada actuador fueron una entrada de señales eléctricas, una tarjeta de consigna y una tarjeta PID.

- ✓ Primero, se aseguró la presencia de voltaje en todas las tarjetas (tarjeta PID, tarjeta de consigna y los pulsadores), para esto se conectó la fuente al pulsador y a partir del pulsador se logró establecer la conexión entre la tarjeta de consigna y la tarjeta PID como se muestra en la Ilustración 34.

Ilustración 34 Conexiones de alimentación 0V y 24V

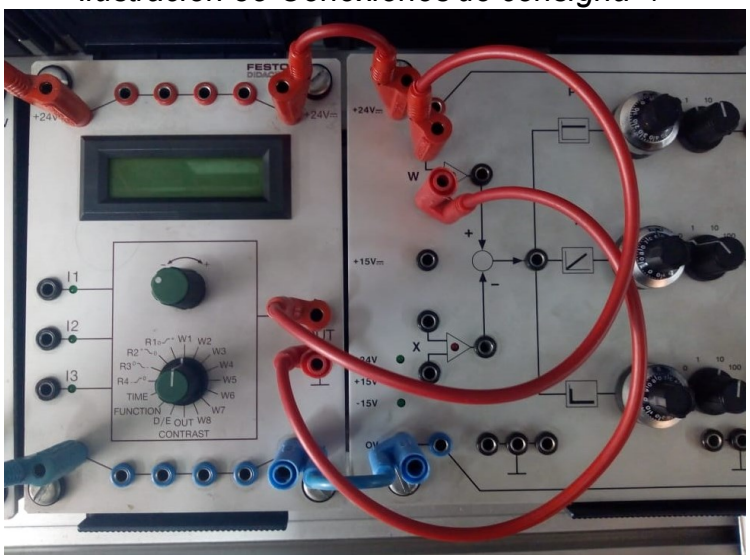




Fuente: Autoras

✓ Se aseguró que el error en la lectura de la tarjeta de consigna y el sensor fuera 0, para esto se estableció la conexión que permitió la entrada y la salida de voltaje de la tarjeta y el sensor. Esta conexión se hizo entre las señales de consigna +/- de la tarjeta de consigna y el punto de consigna diferencial W de la tarjeta PID como se ve en la Ilustración 35.

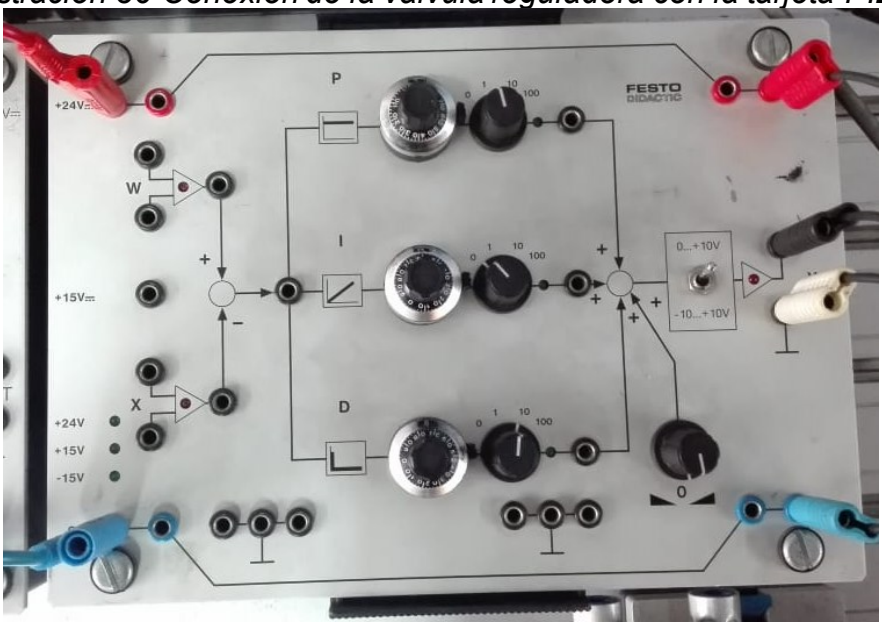
Ilustración 35 Conexiones de consigna +/-



Fuente: Autoras

✓ Se conectó la válvula reguladora a la tarjeta PID de la siguiente manera: la señal de tensión se puso en contacto con la variable de corrección Y superior, el cable tierra de la señal con la variable de corrección Y inferior y los cables de alimentación a su respectiva alimentación (0V y 24V), como se observa en la Ilustración 36.

Ilustración 36 Conexión de la válvula reguladora con la tarjeta PID

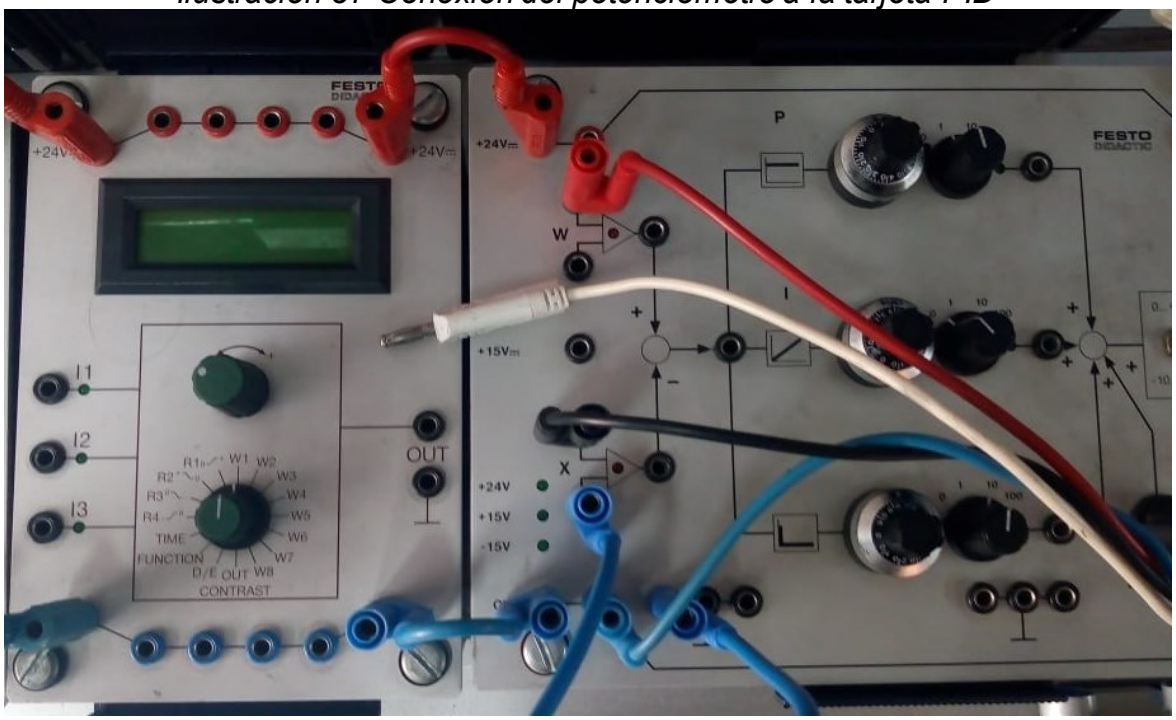


2

Fuente: Autoras

✓ Se conectó el potenciómetro lineal a la tarjeta PID de la siguiente manera: la señal positiva a la entrada de valor real diferencial X superior, los cables de alimentación a su respectiva alimentación (0V y 24V) y una conexión adicional entre la entrada de valor real diferencial X inferior y una alimentación tierra de la tarjeta PID como se ve en la Ilustración 37.

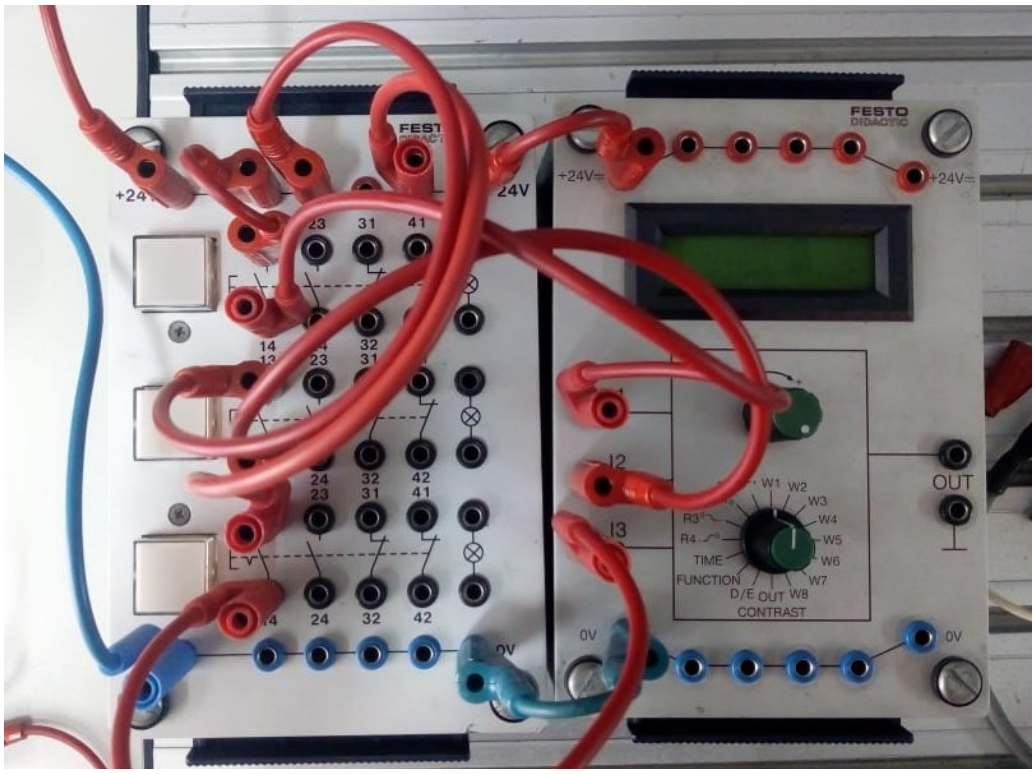
Ilustración 37 Conexión del potenciómetro a la tarjeta PID



Fuente: Autoras

✓ Finalmente se conectaron los pulsadores, para esto se estableció la conexión entre los contactos normalmente abiertos de las señales de entrada y las entradas binarias de la tarjeta de consigna de tal manera que las entradas identificadas con el número 13 se relacionan a la alimentación de 24V y las entradas identificadas con el número 14 a las entradas binarias de la señal de consigna, así el primer pulsador se vincula a I1, el segundo a I2 y el tercero a I3 como se observa en la Ilustración 38.

Ilustración 38 Conexión de la entrada de señales



Fuente: Autoras

Este montaje se hizo para cada actuador, tanto neumático como hidráulico, es decir, se realizó cuatro veces.

4.1.4. Programación de las tarjetas PID [4]

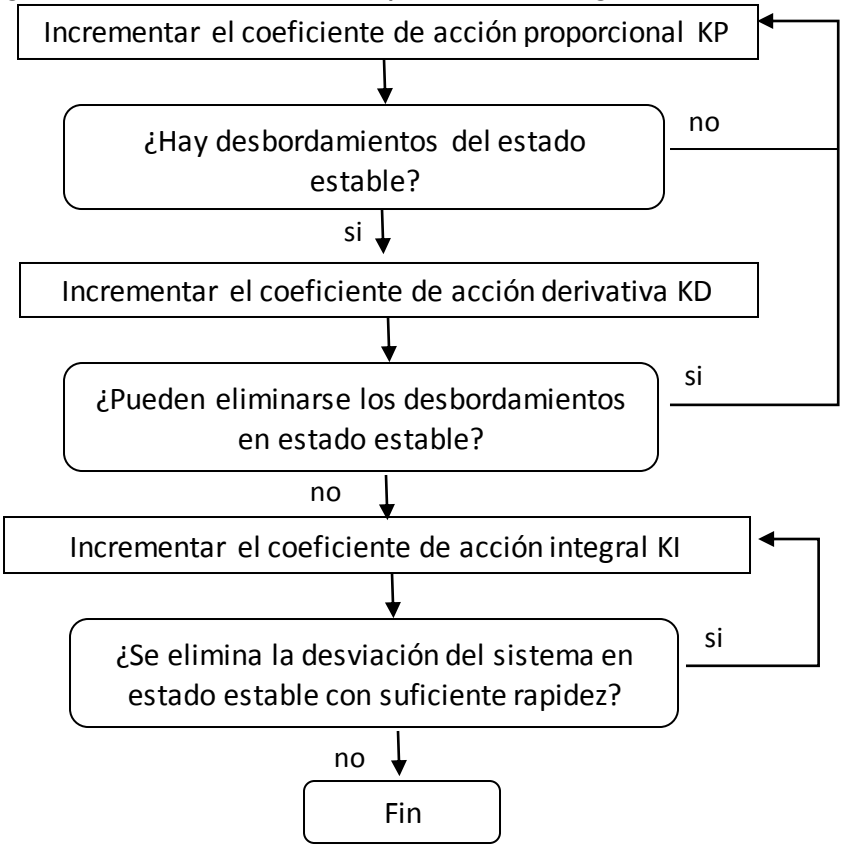
Para la programación del regulador PID la mejor calidad de regulación posible se ajusta por medio de la parametrización empírica

- ✓ Parametrización empírica: el ajuste de un regulador PID requiere experiencia. Por esto a continuación se describe un método muy probado en la parametrización de reguladores PID que se utilizó para el correcto desarrollo del proyecto, antes de utilizar este método se debió primero:

- ✓ Montar el circuito de regulación
- ✓ Comprobar el circuito
- ✓ Conectar la alimentación eléctrica
- ✓ Conectar el aire comprimido
- ✓ Comprobar y ajustar el sentido de la regulación
- ✓ Ajustar el selector de rango a (-10…+10v ó 0..10v)
- ✓ Ajustar el offset de la variable de corrección para compensar asimetrías

El método se muestra en la Figura 9 y se debe tener en cuenta que solo puede utilizarse en aquellos casos en los que está permitido llevar el circuito de regulación en bucle cerrado a un estado de oscilación durante las operaciones de ajuste.

Figura 8 Parametrización empírica de un regulador PID



Fuente: [4]

Siguiendo el procedimiento anterior, se logró tener un movimiento controlado del sistema de posición y los resultados para cada controlador (PID) se muestran en las Ilustraciones 39, 40 y 41 respectivamente.

Ilustración 39 Configuración regulador P



Fuente: Autoras

Ilustración 40 Configuración regulador I



Fuente: Autoras

Ilustración 41 Configuración regulador D



Fuente: Autoras

4.1.5. Programación de memorias en la tarjeta de consigna.

La tarjeta de consigna cuenta con dos perillas: la primera es el pomo de ajuste y la segunda el conmutador de selección. Moviendo el conmutador se escoge entre 8 opciones identificadas con la letra W y con el pomo de ajuste se asigna voltajes diferentes entre 0 y 10 a cada una.

✓ Para asignar un valor de voltaje a cada W, se empezó desde W1 hasta W8, el valor de W1 se asignó estableciendo el conmutador en W1, una vez ubicado el conmutador en W1 se giró la perilla de ajuste hasta tener un voltaje de 0 como se observa en la Ilustración 42.

Ilustración 42 Valor mínimo de la tarjeta de consigna



Fuente: Autoras

✓ Seguido a este se le asignó un valor a W2, este procedimiento se hizo de la misma manera; se ubicó el conmutador en W2 y se giró la perilla de ajuste hasta obtener un voltaje de 10 como se observa en la Ilustración 43.

Ilustración 43 Valor máximo de la tarjeta de consigna



Fuente: Autoras

✓ Una vez asignados los valores máximos y mínimos de voltaje, se suministró valores desde 1V hasta 6V en las memorias de W3 hasta W8 aumentando 1V en cada W. La Ilustración 44 muestra los valores asignados a W3 y W8.

Ilustración 44 Valores de la memoria



Fuente: Autoras

Ya que se fijaron los distintos voltajes, se hace uso de los pulsadores de la entrada de señales eléctricas los cuales activan los distintos W. Estos pulsadores funcionan con un código binario que se muestra en la Tabla 10.

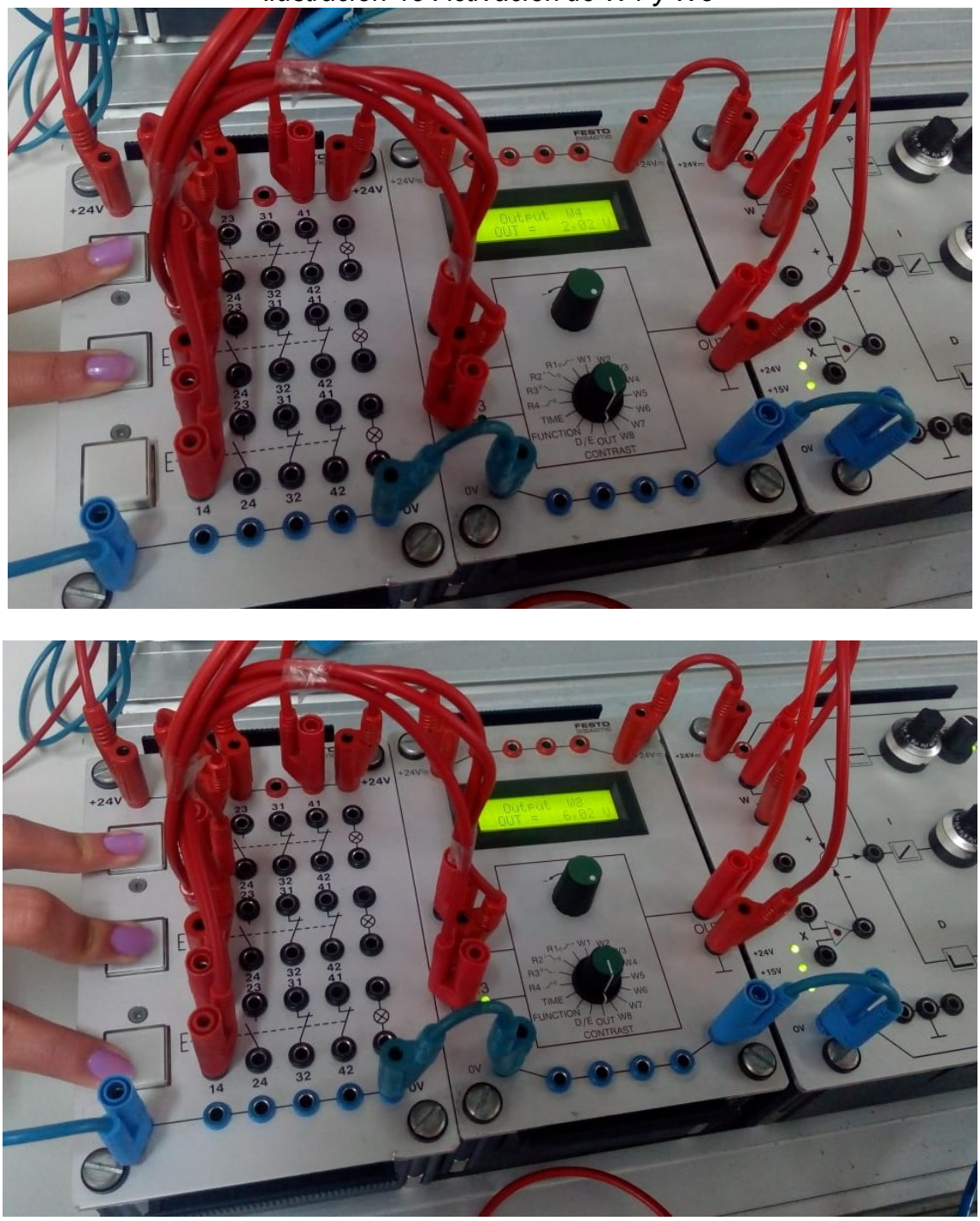
Tabla 10 Combinaciones para los pulsadores

W1	0	0	0
W2	1	0	0
W3	0	1	0
W4	1	1	0
W5	0	0	1
W6	1	0	1
W7	0	1	1
W8	1	1	1

Fuente: [6]

En la tabla se muestran las combinaciones para activar los valores de la memoria, por ejemplo, para activar el valor que corresponde a la selección W4 se oprime los dos primeros pulsadores o si se quiere activar W8 se oprimen los tres pulsadores al tiempo como se muestra en la Ilustración 45

Ilustración 45 Activación de W4 y W8



Fuente: Autoras

Así cada vez que se activa un valor de W a través de los pulsadores, el actuador recorre una distancia proporcional al valor del voltaje.

4.1.6. Determinar el área de trabajo de los sistemas.

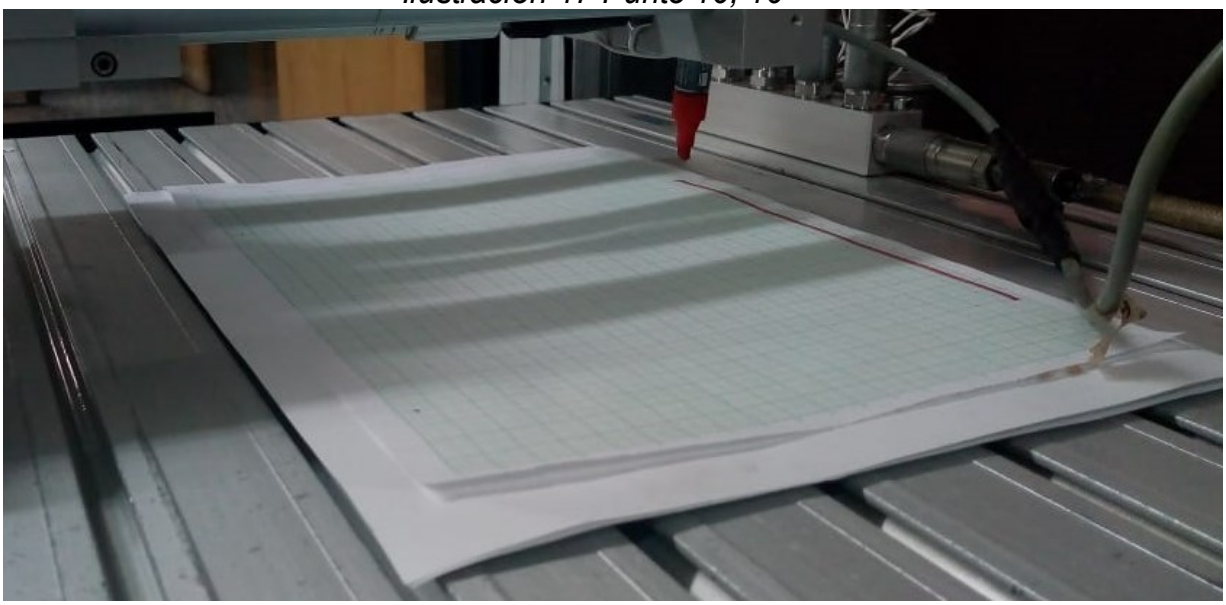
Para definir el área de trabajo de los sistemas se reemplazó el cilindro por un marcador y se ubicó una hoja milimetrada en lo que sería aproximadamente el área de trabajo; seguido a esto se utilizó la configuración de valor máximo y mínimo de voltaje asignado a la tarjeta de consigna. Teniendo en cuenta que el valor W1 equivale a 0V y el valor de W2 equivale a 10V, primero se ubicaron los actuadores en nuestro punto (0,0) en este punto el actuador inferior tenía un valor de 10V y el actuador superior de 0V, es decir, se activaron W1 y W2 para el actuador de arriba y de abajo respectivamente (ver Ilustración 46), después se activó W1 moviendo el actuador inferior horizontalmente mientras que el actuador superior permanecía en la misma posición (ver Ilustración 47), a continuación, se modificó el valor de voltaje del actuador superior activando W2 haciendo que este se desplazara verticalmente sin alterar la posición del actuador inferior (ver Ilustración 48), luego sin modificar el valor de voltaje del actuador superior se activó en el actuador inferior W2 nuevamente (ver Ilustración 49)y por ultimo sin cambiar el valor del actuador inferior se activó W1 para el actuador superior para así terminar de definir el área de trabajo (ver Ilustración 50). Esto se hizo para los dos sistemas (neumático e hidráulico) debido a la igualdad en la conexión eléctrica.

Ilustración 46 Punto 0, 10



Fuente: Autoras

Ilustración 47 Punto 10, 10



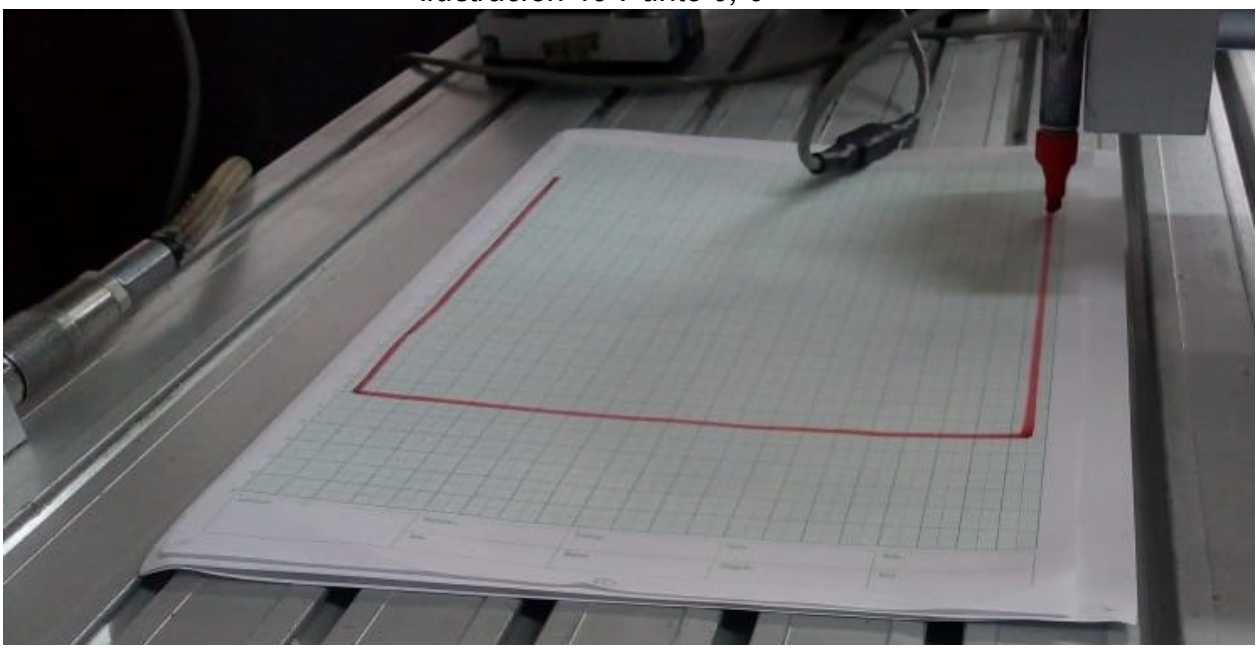
Fuente: Autoras

Ilustración 48 Punto 10, 0



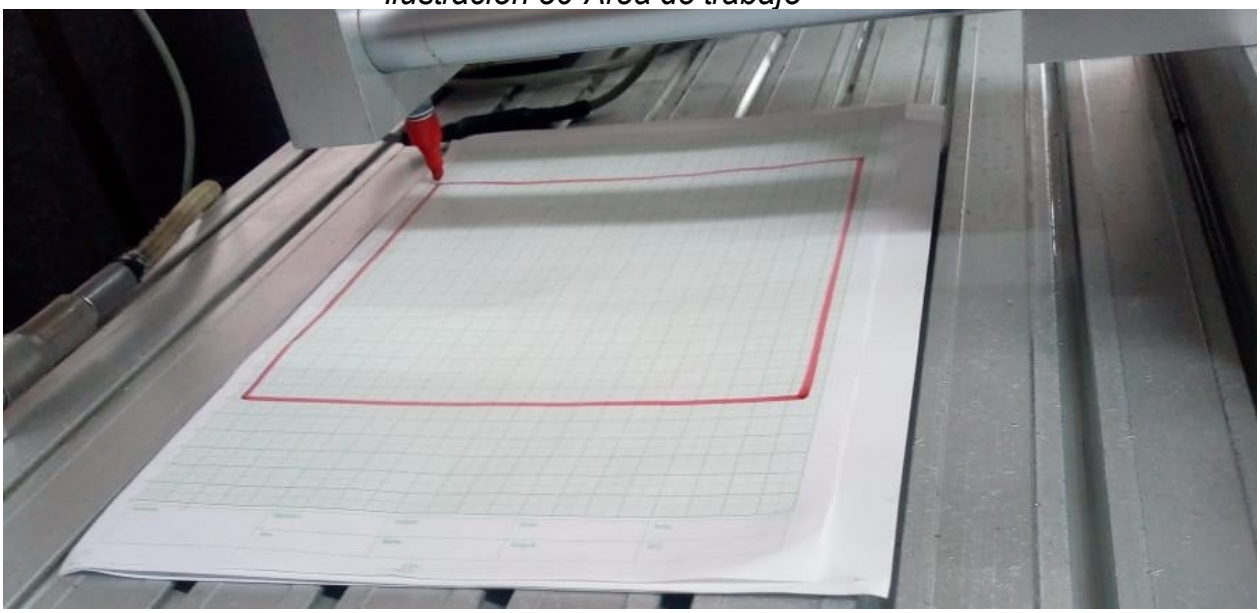
Fuente: Autoras

Ilustración 49 Punto 0, 0



Fuente: Autoras

Ilustración 50 Área de trabajo



Fuente: Autoras

Como los actuadores lineales neumáticos e hidráulicos son de la misma distancia (200mm) el área de trabajo calculada es la misma para ambos sistemas y tiene unas dimensiones de 19x19cm, teniendo en cuenta que hay un margen de error por el actuador ubicado en la posición z.

Una vez determinada el área de trabajo se estableció una matriz de puntos que permite conocer la distancia que recorre el cilindro respecto al voltaje que se le proporciona, los valores encontrados para los actuadores neumáticos e hidráulicos se muestran en las tablas 11 y 12 respectivamente, en donde se le asigno la variable X a la cantidad de voltaje 1 V1 y Y a la cantidad de voltaje 2 V2.

Tabla 11 Matriz de puntos de sistema neumático

T1	T2		
V1 (V)	V2 (V)	X (cm)	Y (cm)
1	1	16,8	2,2
1	2	16,8	4,4
1	3	16,8	6,7
1	4	16,8	8,8
1	5	16,8	11,2
1	6	16,8	13,5
1	7	16,8	15,8
1	8	16,8	17,8
2	1	14,7	2,2
2	2	14,7	4,3
2	3	14,7	6,7
2	4	14,7	9,1
2	5	14,7	11,2
2	6	14,7	13,6
2	7	14,7	15,7
2	8	14,7	18,1
3	1	12,2	2,2
3	2	12,2	4,2
3	3	12,2	6,7
3	4	12,2	8,9
3	5	12,2	11,3
3	6	12,2	13,7
3	7	12,2	16
3	8	12,2	18
4	1	10	2,1
4	2	10	4,3
4	3	10	6,8
4	4	10	9,1
4	5	10	11,1
4	6	10	13,6
4	7	10	16,1
4	8	10	17,8
5	1	7,3	2,1
5	2	7,3	4,3
5	3	7,3	6,7
5	4	7,3	9
5	5	7,3	11,3
5	6	7,3	13,6
5	7	7,3	16
5	8	7,3	18
6	1	5	2,2
6	2	5	4,3
6	3	5	6,7
6	4	5	8,9
6	5	5	11,3
6	6	5	13,7
6	7	5	15,6
6	8	5	18,2
7	1	2,5	2,2
7	2	2,5	4,3
7	3	2,5	6,8
7	4	2,5	9
7	5	2,5	11,2
7	6	2,5	13,7
7	7	2,5	15,7
7	8	2,5	18,3

Fuente: Creación propia

Tabla 12 Matriz de punto actuador hidráulico

T1	T2		
V1 (V)	V2 (V)	X (cm)	Y (cm)
1	1	1,4	18,6
1	2	1,4	16,5
1	3	1,4	14,4
1	4	1,4	12,3
1	5	1,4	10,2
1	6	1,4	8,2
1	7	1,4	6,1
1	8	1,4	4,05
2	1	3,5	18,6
2	2	3,5	16,5
2	3	3,5	14,4
2	4	3,5	12,3
2	5	3,5	10,2
2	6	3,5	8,2
2	7	3,5	6,1
2	8	3,5	4,05
3	1	5,6	18,6
3	2	5,6	16,5
3	3	5,6	14,4
3	4	5,6	12,3
3	5	5,6	10,2
3	6	5,6	8,2
3	7	5,6	6,1
3	8	5,6	4,05
4	1	7,7	18,6
4	2	7,7	16,5
4	3	7,7	14,4
4	4	7,7	12,3
4	5	7,7	10,2
4	6	7,7	8,2
4	7	7,7	6,1
4	8	7,7	4,05
5	1	7,3	18,6
5	2	9,8	16,5
5	3	9,8	14,4
5	4	9,8	12,3
5	5	9,8	10,2
5	6	9,8	8,2
5	7	9,8	6,1
5	8	9,8	4,05
6	1	11,8	18,6
6	2	11,8	16,5
6	3	11,8	14,4
6	4	11,8	12,3
6	5	11,8	10,2
6	6	11,8	8,2
6	7	11,8	6,1
6	8	11,8	4,05
7	1	13,9	18,6
7	2	13,9	16,5
7	3	13,9	14,4
7	4	13,9	12,3
7	5	13,9	10,2
7	6	13,9	8,2
7	7	13,9	6,1
7	8	13,9	4,05

Fuente: Creación propia

5. MODELAMIENTO DE SISTEMAS Y ELEMENTOS

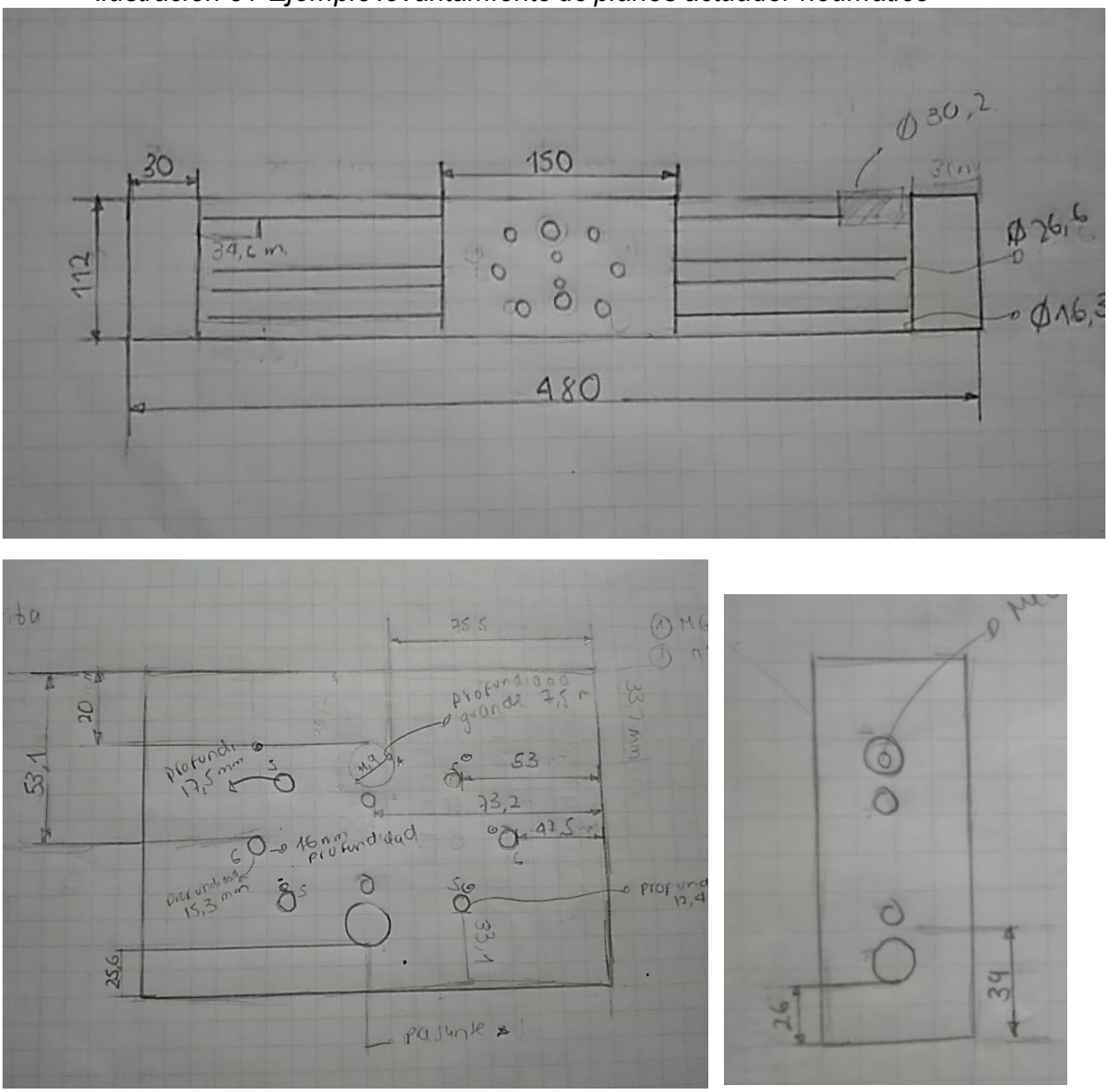
Es posible iniciar el proceso de modelado una vez se hayan identificado los componentes necesarios para el montaje, esta fase implica una gran inversión de tiempo y así mismo una adecuada organización para lograr los objetivos planteados. Para conseguir un adecuado desarrollo de esta fase se empezará por el levantamiento de planos, luego se hará una búsqueda en los catálogos virtuales para las piezas normalizadas, se hará el modelamiento de componentes por sistema (servoneumático y servohidráulico) y por último se hará el ensamble de cada sistema. Para esto se dispuso de un cuaderno de memorias en dónde no solo se hace el levantamiento de planos sino también se consignan las preguntas y observaciones que se tienen a lo largo del proyecto.

5.1. LEVANTAMIENTO DE PLANOS

Esta etapa es fundamental para el modelamiento de los componentes, hay que tener en cuenta que se debe realizar de manera adecuada y con precisión especialmente en las dimensiones críticas pues si no se hace de esta manera se pueden presentar inconvenientes que no permitan culminar el proceso de modelado.

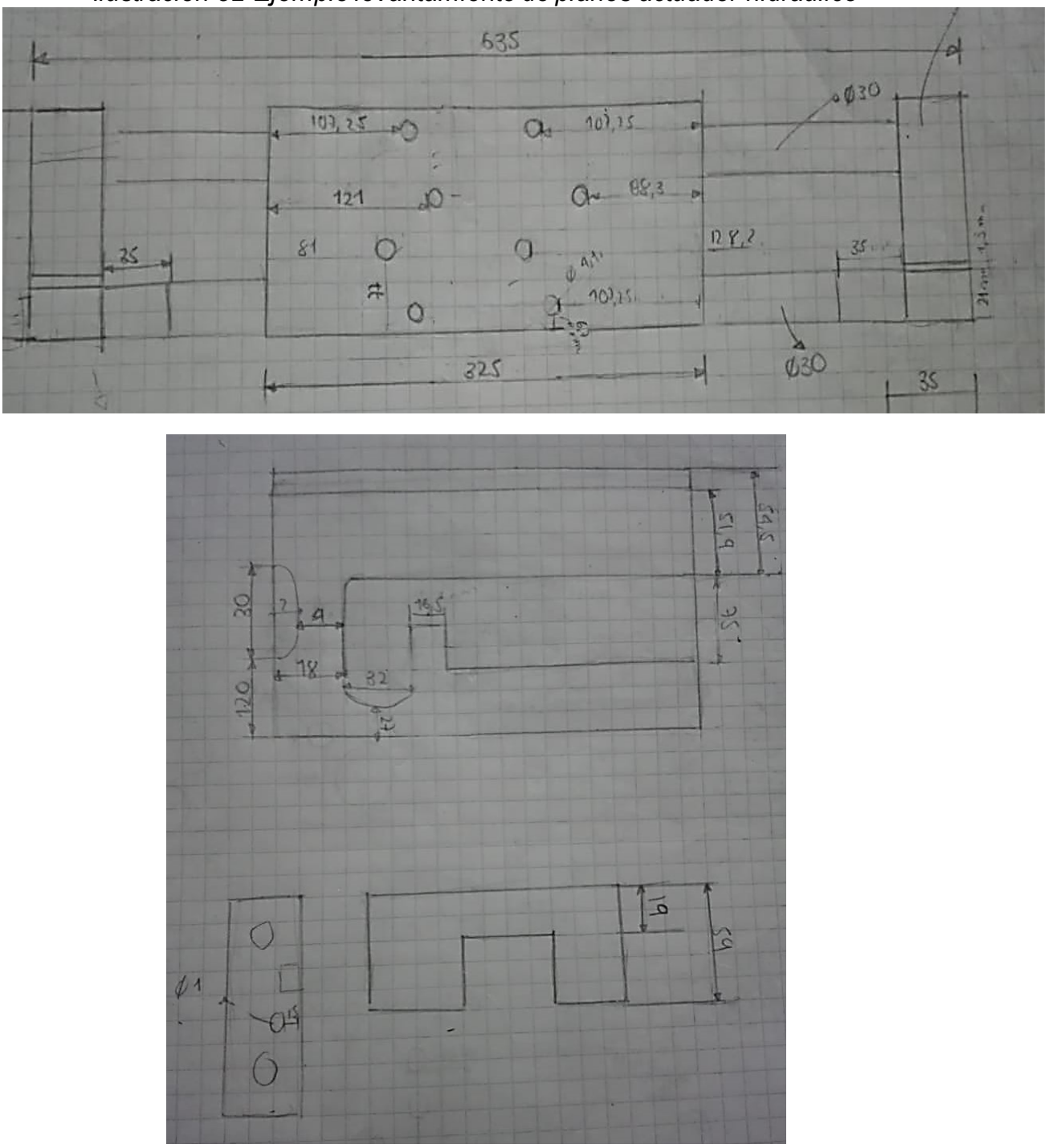
Debido a que no están disponibles los planos de los actuadores, era necesario hacer el modelamiento completo de todos componentes del actuador, teniendo en cuenta que se utilizarían dos actuadores por sistema; de esta manera se empezó registrando medidas con herramientas básicas como el flexómetro y calibrador pie de rey, identificando diámetro, longitud, espesor y profundidad de agujero. En las Ilustraciones 51 y 52 se muestra el levantamiento de los planos de los actuadores neumáticos e hidráulicos, respectivamente.

Ilustración 51 Ejemplo levantamiento de planos actuador neumático



Fuente: Creación propia

Ilustración 52 Ejemplo levantamiento de planos actuador hidráulico



Fuente: Creación propia

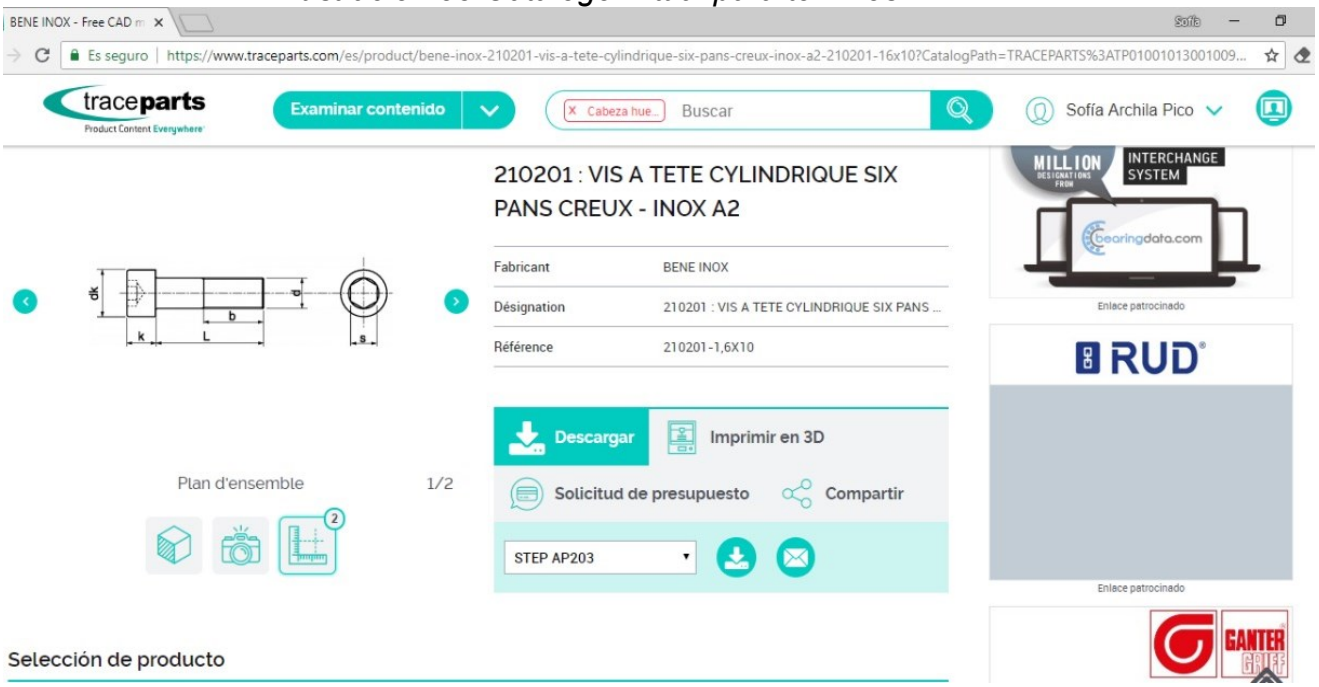
5.2. BÚSQUEDA DE CATALOGOS VIRTUALES

Gracias al avance y facilidad de la tecnología se puede tener al alcance plataformas en las que se pueden descargar modelos CAD en distintos softwares, en estas plataformas se encuentran modelos CAD que han sido desarrollados por otras personas los cuales permiten ahorrar tiempo que será valioso para actividades del proyecto.

Al hacer la división de las piezas (normalizadas y no normalizadas) se encontró que las piezas normalizadas en los actuadores eran tornillos, arandelas y tuercas de diferente diámetro y longitud. Estos modelos CAD se pudieron encontrar en la plataforma TRACEPARTS la cual nos permite elegir en el caso de los tornillos, el tipo de cabeza, la longitud de la rosca, diámetro, entre otras.

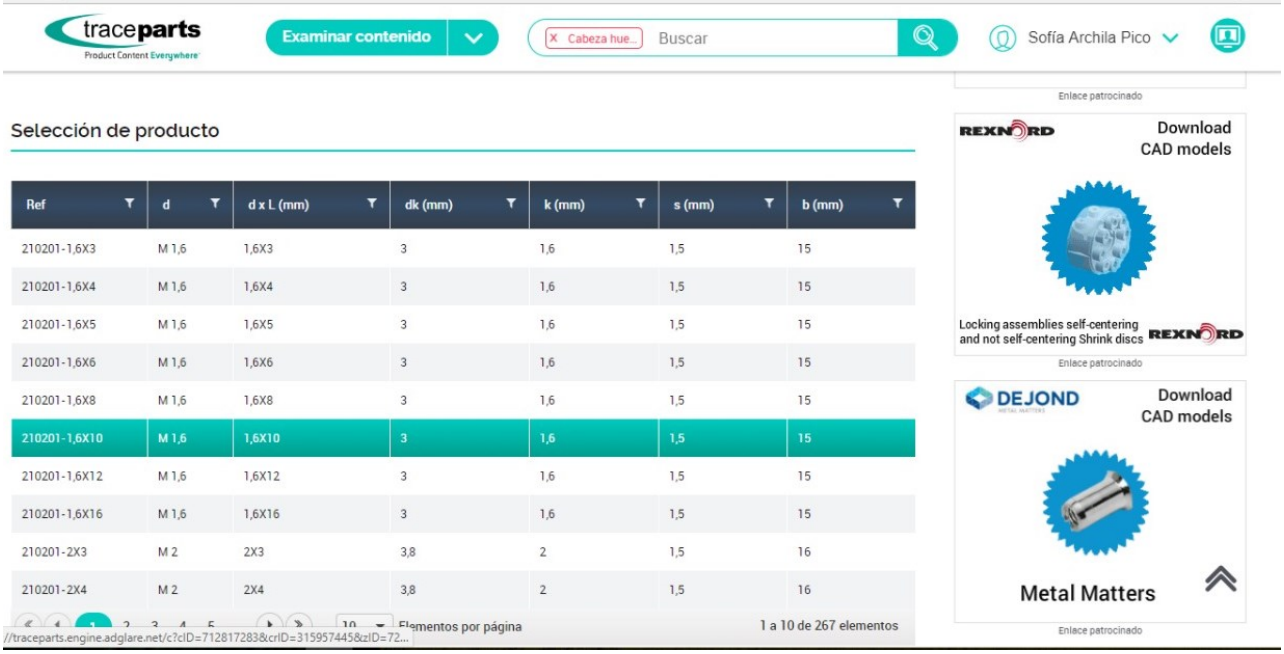
Para los tronillos semiroscados, se tiene un catálogo con la ilustración de las dimensiones básicas y un catálogo roscas que van desde M1.6 hasta M12 como se observa en la Ilustración 53.

Ilustración 53 Catalogo virtual para tornillos



Fuente: Traceparts

Ilustración 54 Catalogo virtual para tornillos (continuación)



Fuente: Traceparts

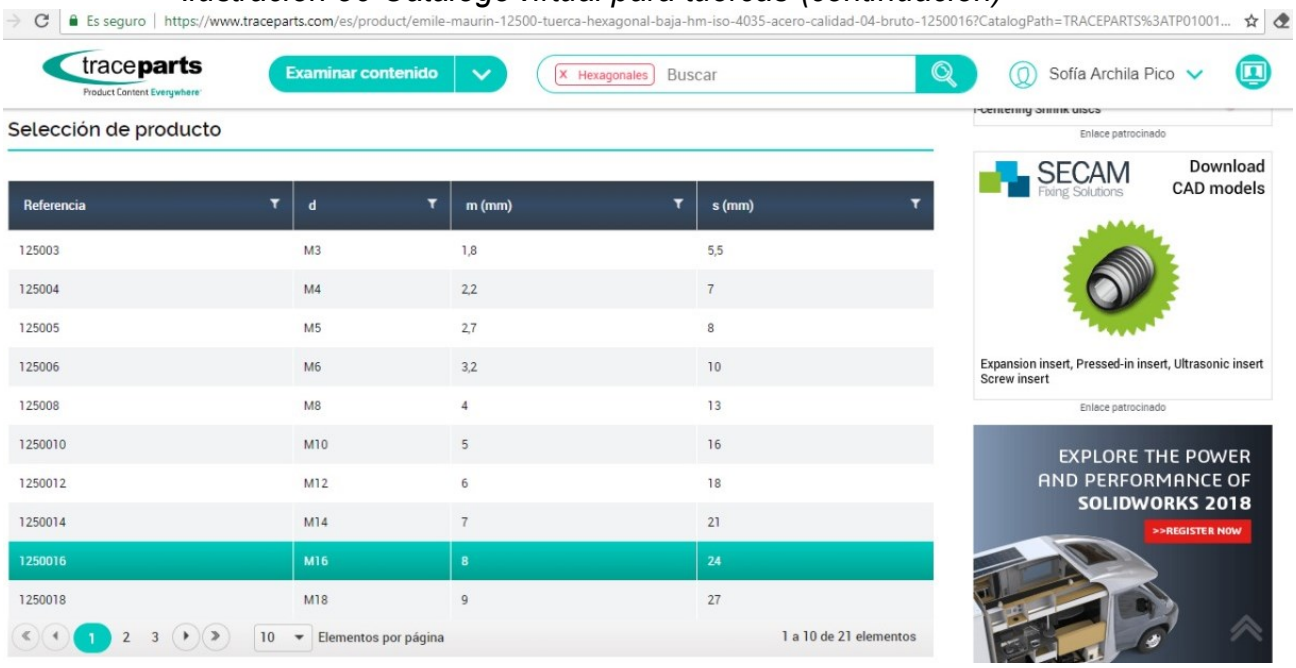
Para el caso de las tuercas, se tenían los datos de roscado y espesor para buscar en los catálogos, los resultados se ven en la Ilustración 54.

Ilustración 55 Catalogo virtual para tuercas



Fuente: Traceparts

Ilustración 56 Catalogo virtual para tuercas (continuación)



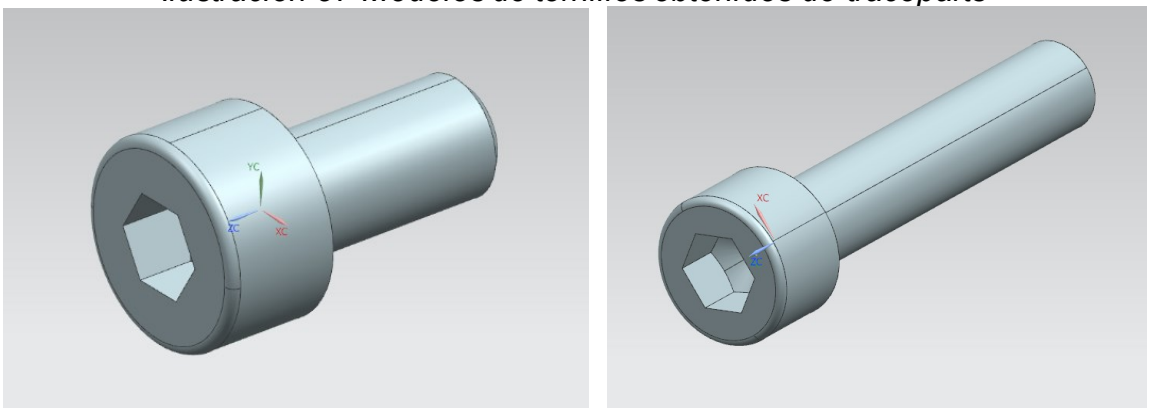
Fuente: Traceparts

Teniendo en cuenta la variedad de opciones que brinda la plataforma, se eligieron los siguientes modelos CAD de acuerdo a la necesidad del proyecto.

- ✓ Tornillos

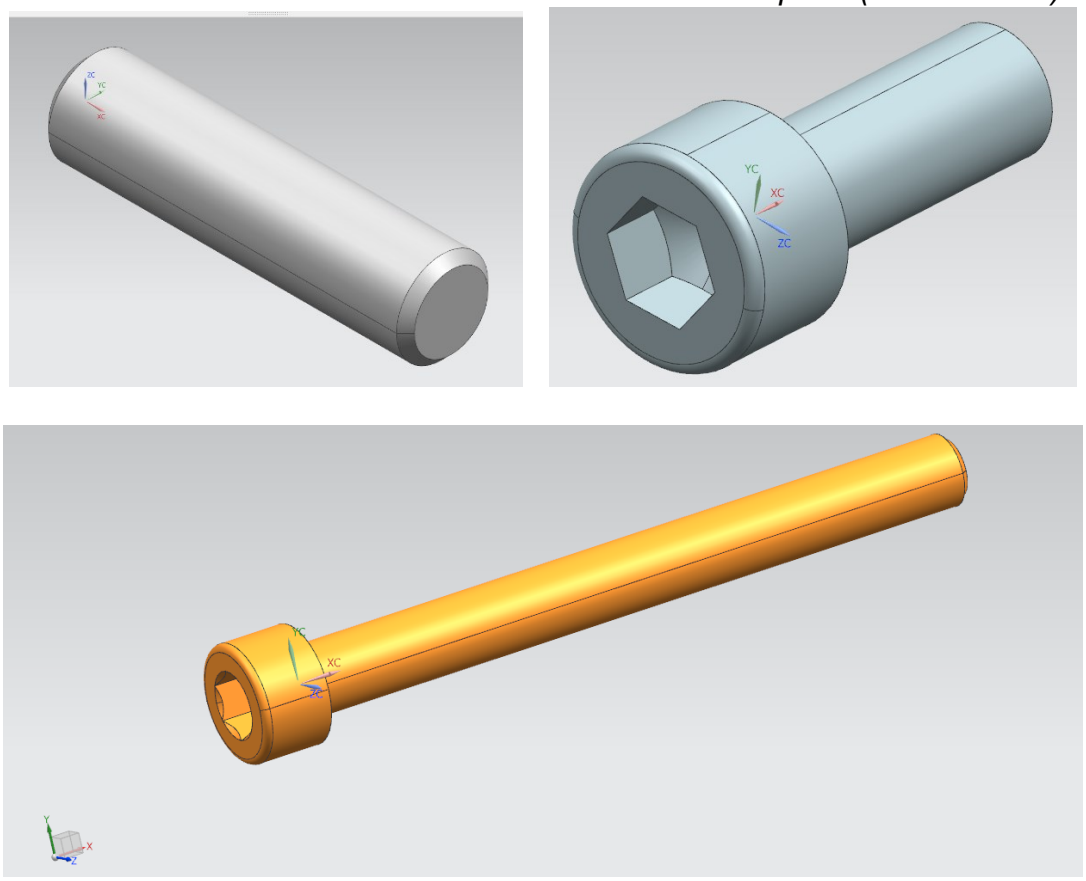
En la Ilustración 55 se pueden observar los tornillos que se descargaron para el correcto ensamble de los actuadores, se descargaron tornillos de rosca M5 y M6 de longitud 10mm, 70mm y 50mm y un prisionero de rosca M6.

Ilustración 57 Modelos de tornillos obtenidos de traceparts



Fuente: traceparts

Ilustración 58 Modelos de tornillos obtenidos de traceparts (continuación)

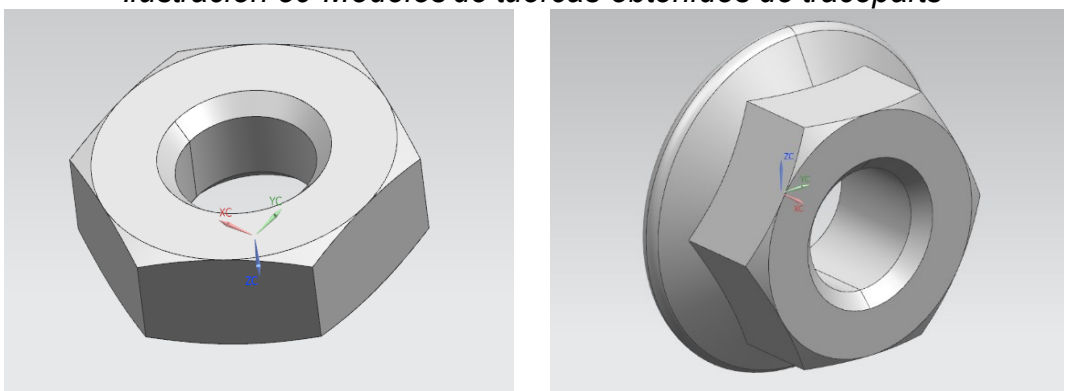


Fuente: Traceparts

- ✓ Tuercas

Para las tueras de descargaron dos clases de tuerca: una hexagonal con rosca milimétrica y otra hexagonal con rosca milimétrica como se observa en la Ilustración 56.

Ilustración 59 Modelos de tuercas obtenidos de traceparts

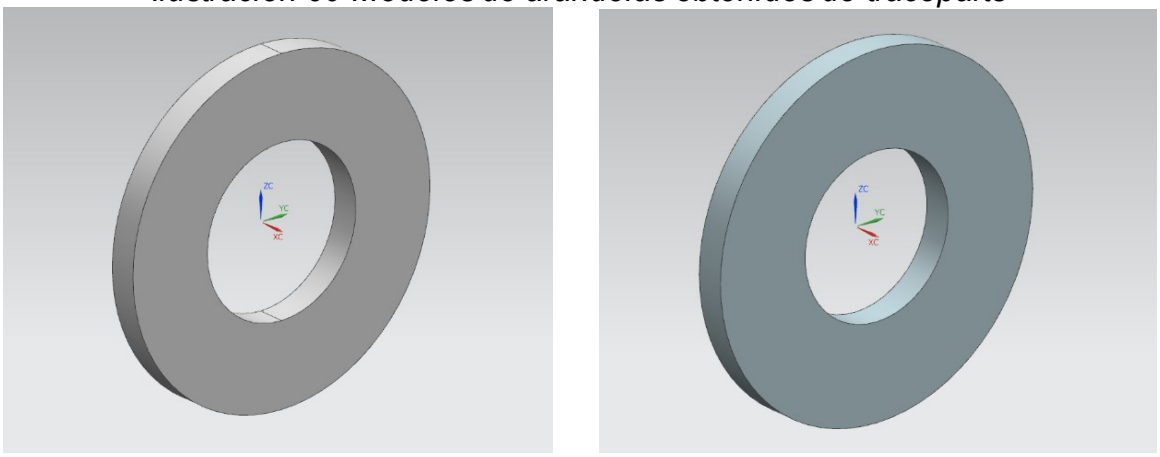


Fuente: traceparts

- ✓ Arandelas

Para las tuercas solo se utilizó un tipo de tuercas de diferentes espesores como se ve en la Ilustración 57.

Ilustración 60 Modelos de arandelas obtenidos de traceparts



Fuente: traceparts

5.3. MODELAMIENTO DE COMPONENTES POR SISTEMA

Gracias a la clasificación que se realizó entre elementos normalizados y no normalizados y el levantamiento de planos se logró optimizar el tiempo de trabajo, una vez terminada la etapa de búsqueda de piezas normalizadas en catálogos virtuales, se continuó con el modelamiento de piezas no normalizadas de los sistemas por medio de un programa asistido por computador (CAD) denominado NX12 como se había mencionado antes.

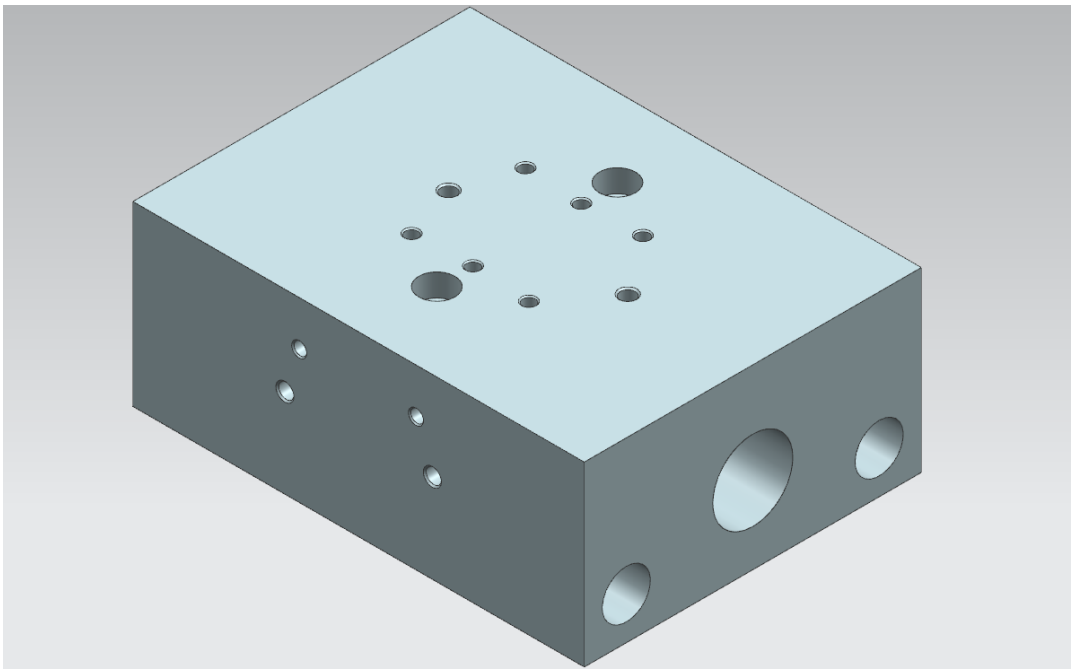
Para mayor organización y control se hicieron carpetas para cada sistema y se estableció que primero se haría el modelado del actuador lineal del sistema servoneumático y después el actuador lineal del sistema servohidráulico.; empezando así el modelamiento en cada sistema por los componentes de mayores dimensiones a los de menores.

5.3.1. Componentes actuador lineal sistema servoneumático

- ✓ Corredera

La corredera (ver Ilustración 58) es el bloque de aluminio que se desliza sobre las guías y va sujeto al potenciómetro.

Ilustración 61 Corredera actuador neumático

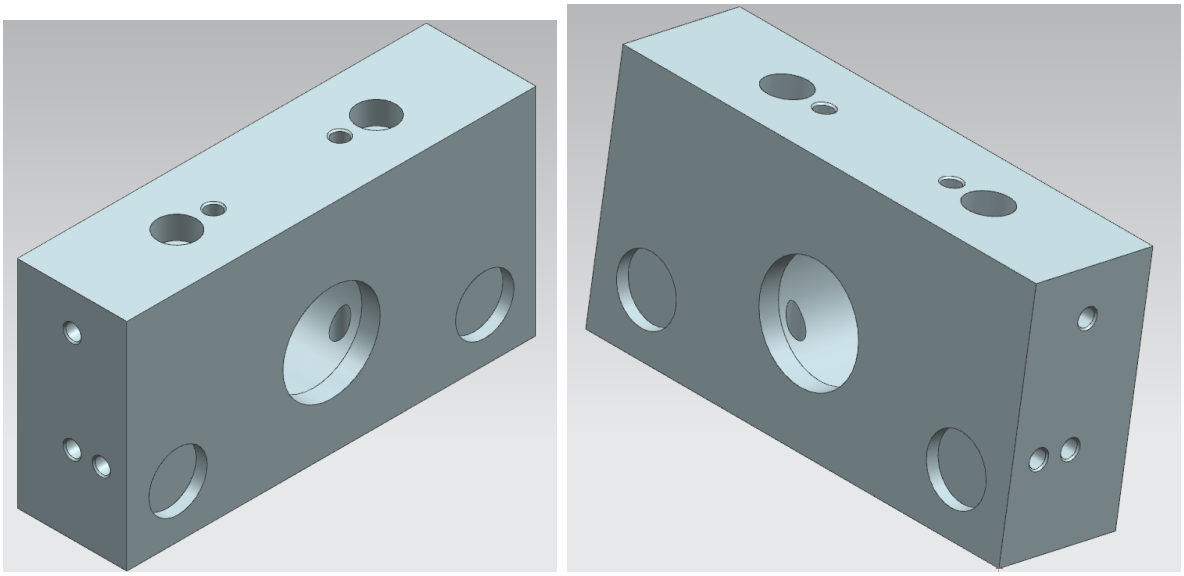


Fuente: Creación propia

- ✓ Placas finales

Las placas finales (ver Ilustración 59) son dos bloques de aluminio que van al final del actuador y de las guías además permiten sujetar el conjunto a la mesa de trabajo.

Ilustración 62 Placas finales actuador neumático

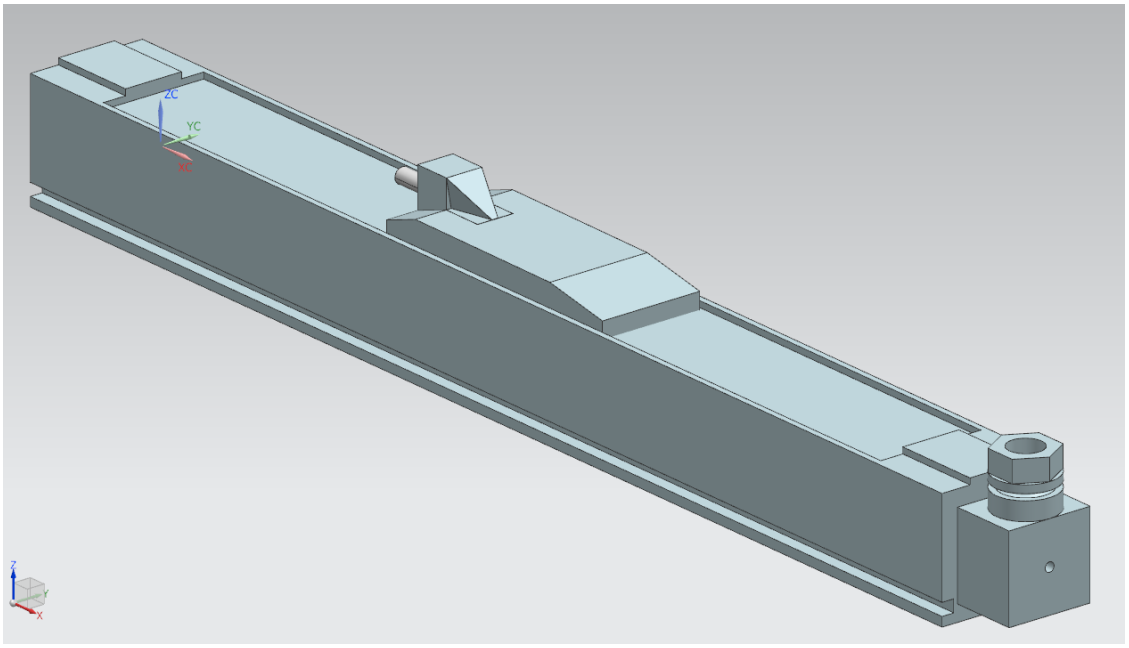


Fuente: Creación propia

- ✓ Potenciómetro lineal

Un potenciómetro lineal es un sensor de distancia resistivo que incorpora un cursor arrastrado por un vástago sobre una pista resistiva plástica, que provoca una variación de resistencia en los terminales de salida. La ilustración 60 muestra el potenciómetro utilizado para el actuador neumático.

Ilustración 63 Potenciómetro lineal del actuador neumático

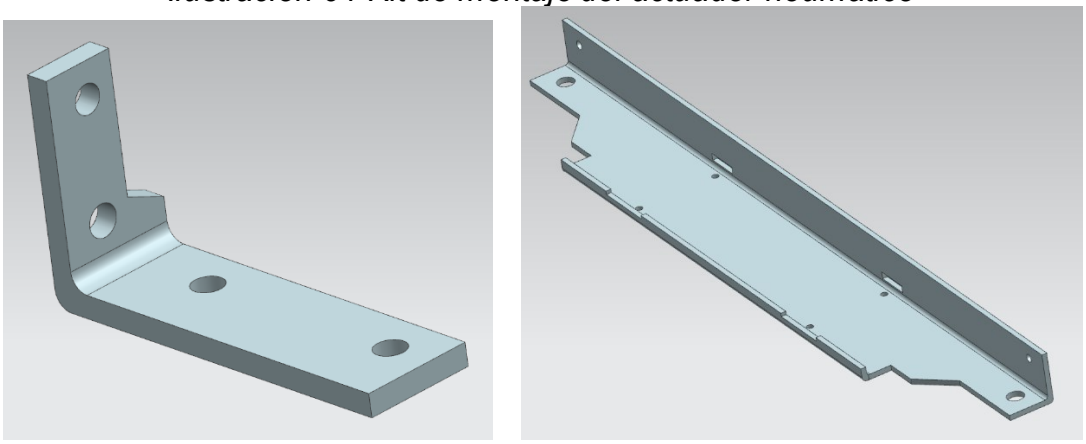


Fuente: Creación propia

- ✓ Kit de montaje

El kit de montaje son dos placas de aluminio que permiten unir el actuador al potenciómetro como las que se muestran en la ilustración 61.

Ilustración 64 Kit de montaje del actuador neumático

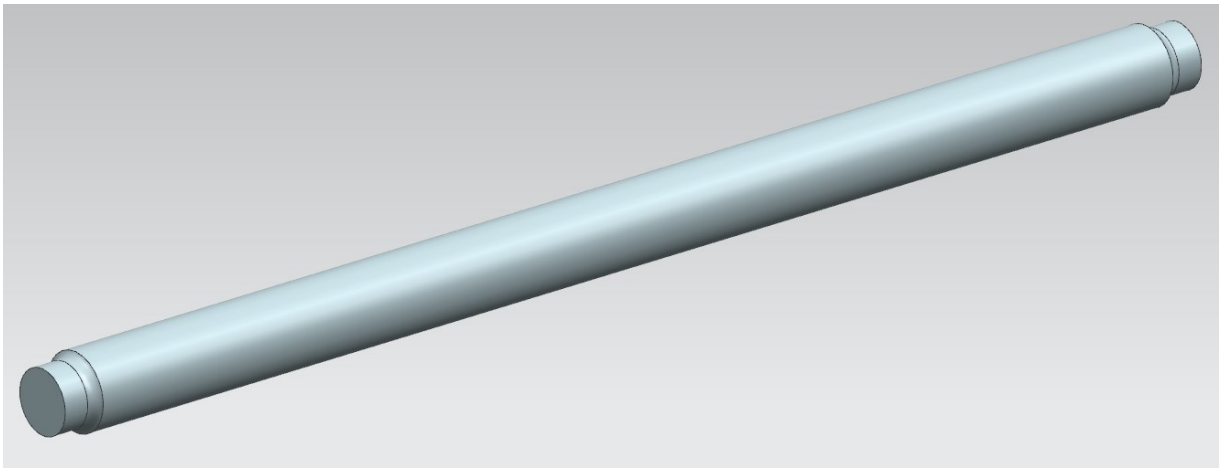


Fuente: Creación propia

- ✓ Cilindro actuador

El cilindro actuador en un dispositivo que transforma energía neumática en un efecto sobre un proceso, en este caso posición. En la Ilustración 62 se muestra el cilindro actuador neumático.

Ilustración 65 Cilindro actuador del actuador neumático

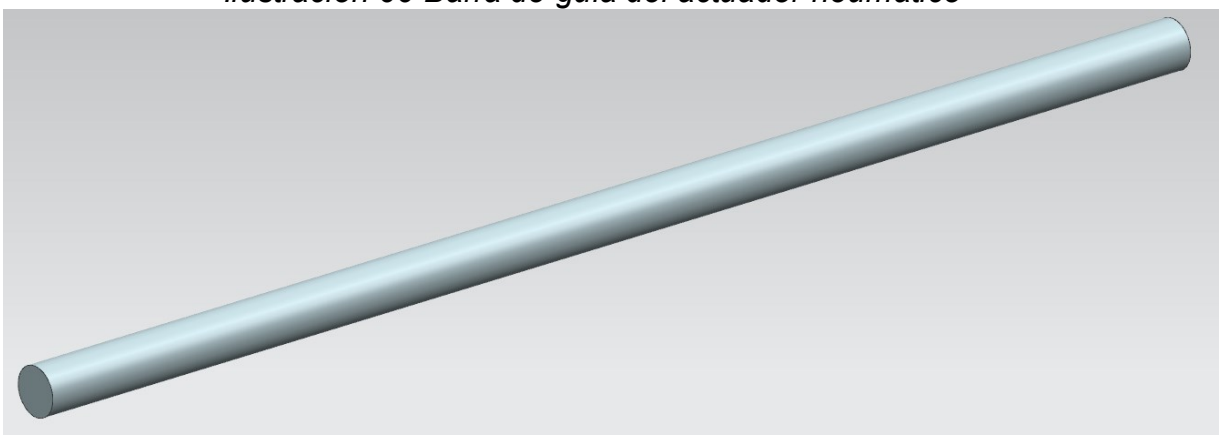


Fuente: Creación propia

- ✓ Barra de guía

Las barras guías son dos cilindros en aluminio (ver Ilustración 63) ubicados a los dos lados del actuador y permite al bloque seguir un recorrido constante.

Ilustración 66 Barra de guía del actuador neumático

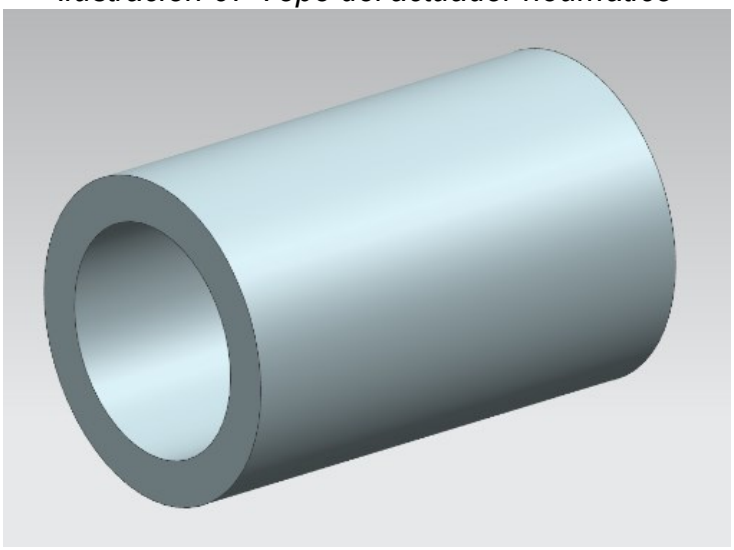


Fuente: Creación propia

- ✓ Tope

Los topes (ver Ilustración 64) son dos piezas en caucho, ubicadas en los extremos de las barras guías que amortiguan el golpe de la corredera.

Ilustración 67 Tope del actuador neumático

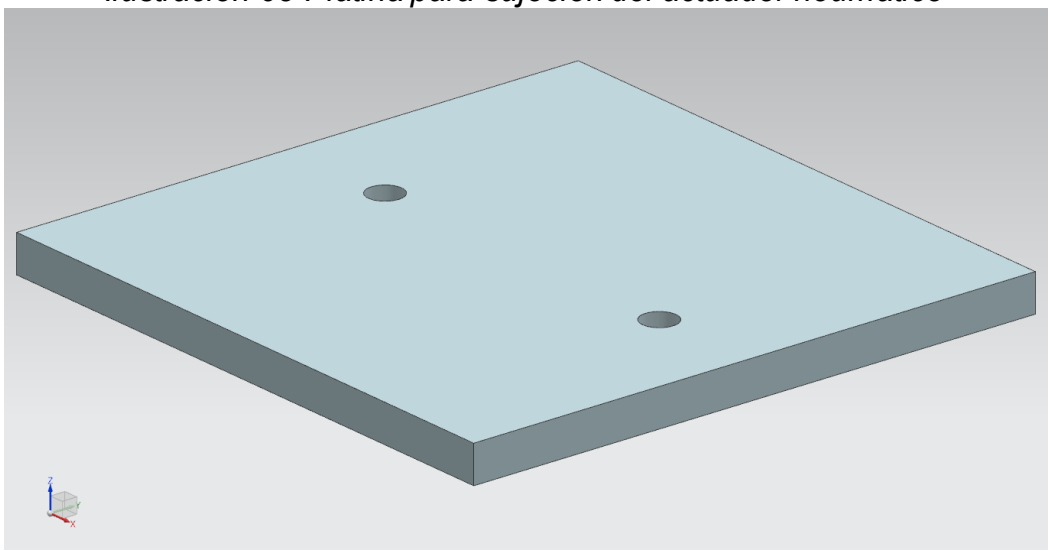


Fuente: Creación propia

- ✓ Platina 10x10cm para sujeción

La platina (ver Ilustración 65) es una placa de aluminio que se mecanizo con el fin de dar distancia entre los actuadores para evitar el choque entre ellos.

Ilustración 68 Platina para sujeción del actuador neumático



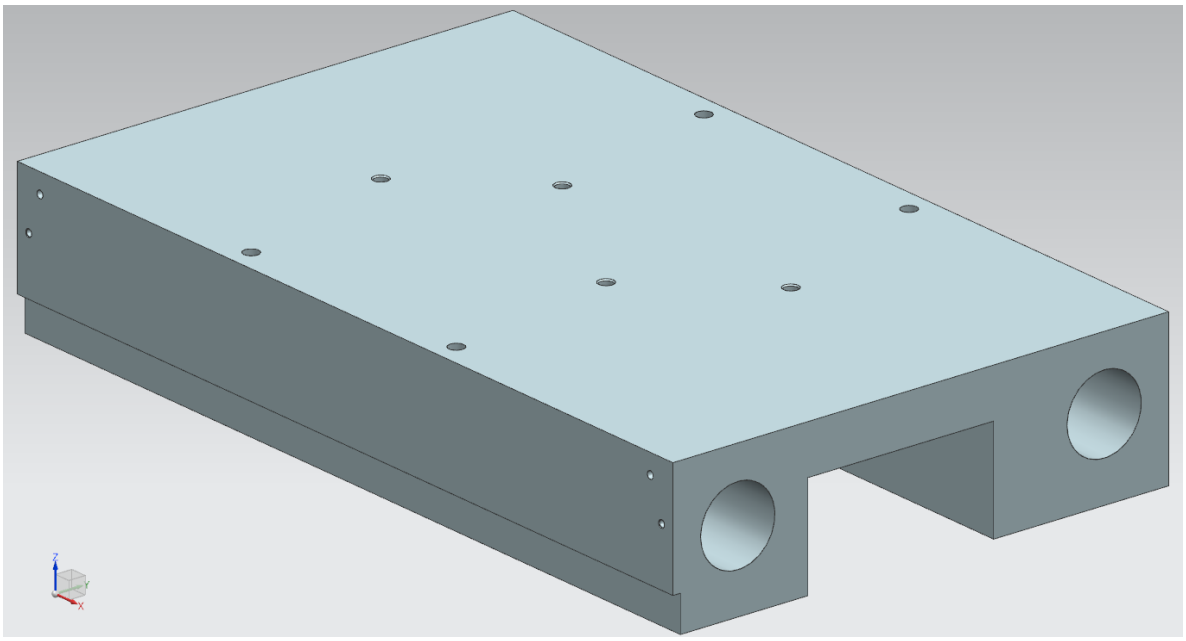
Fuente: Creación propia

5.3.2. Componentes actuador lineal sistema servohidráulico

- ✓ Corredera

La corredera (ver Ilustración 66) es el bloque de aluminio que se desliza sobre las guías y el actuador.

Ilustración 69 Corredera del actuador hidráulico

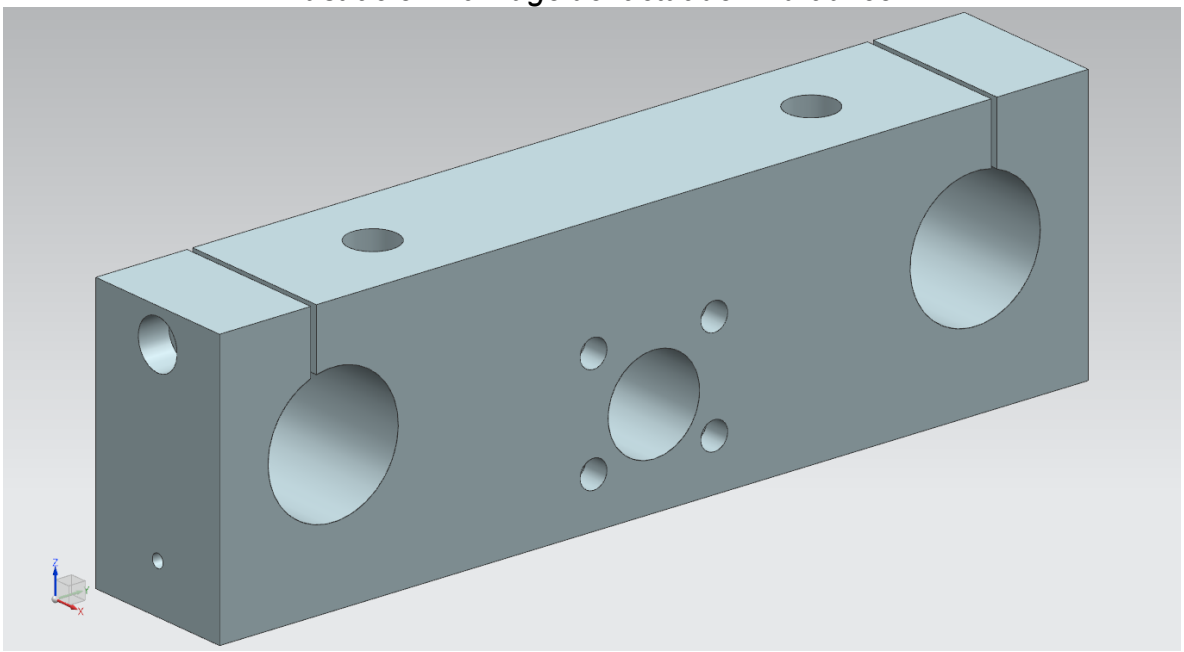


Fuente: Creación propia

- ✓ Yugo

El yugo (ver Ilustración 67) es un bloque de aluminio ubicado en uno de los extremos de las barras guías y que permiten sujetar el conjunto a la mesa de trabajo.

Ilustración 70 Yugo del actuador hidráulico

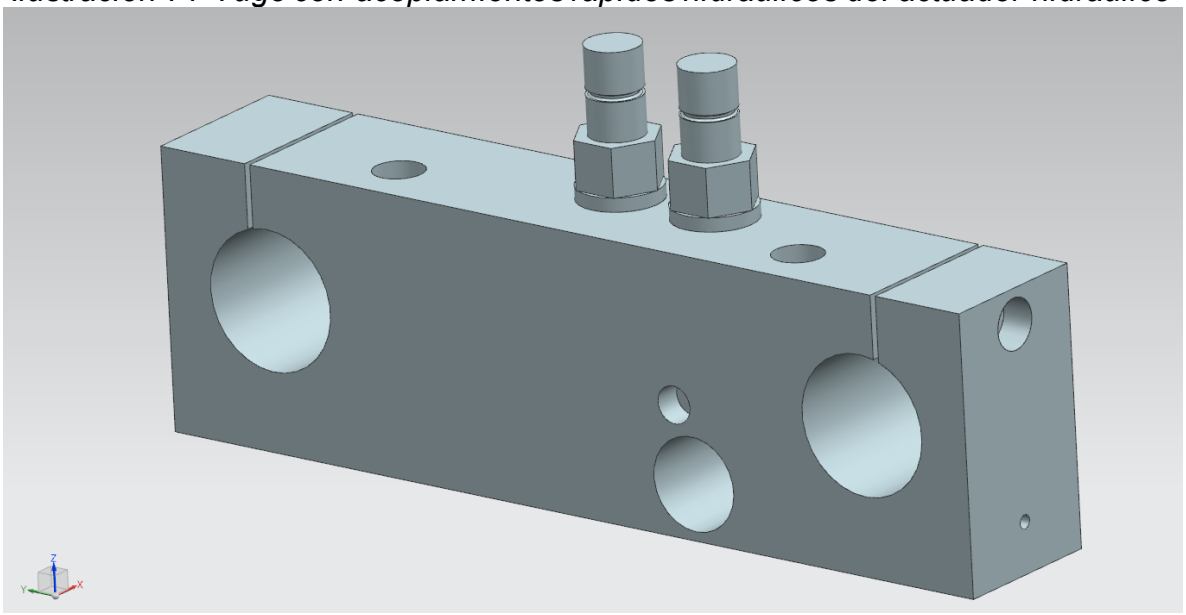


Fuente: Creación propia

- ✓ Yugo con acoplamientos rápidos hidráulico

El yugo con acoplamientos hidráulicos (ver Ilustración 68) es una barra de aluminio que permite el enlace de accesorios con activación hidráulica al actuador.

Ilustración 71 Yugo con acoplamientos rápidos hidráulicos del actuador hidráulico

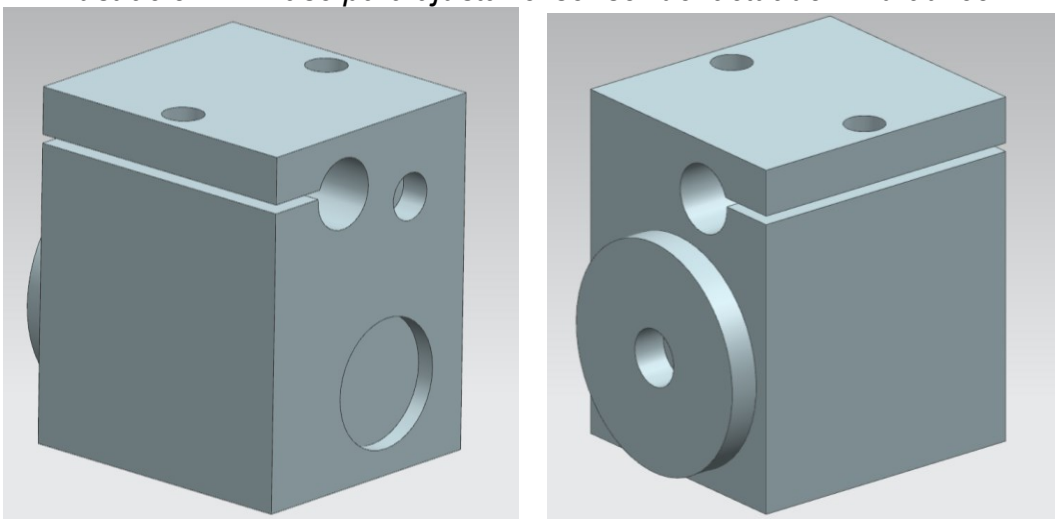


Fuente: Creación propia

- ✓ Base para ajustar el sensor

La base para ajustar el sensor es un cubo de menor tamaño que la corredera, esta base esta ubicada en la parte trasera de la corredera y cuenta con unos agujeros que sirven para ajustar el potenciómetro.

Ilustración 72 Base para ajustar el sensor del actuador hidráulico

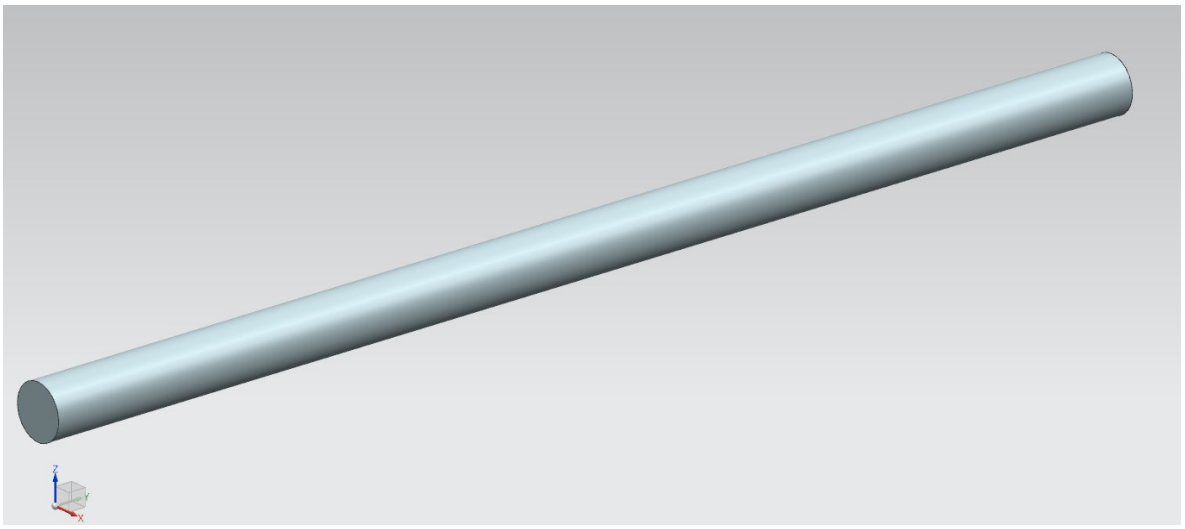


Fuente: Creación propia

- ✓ Guías cilíndricas

Las guías cilíndricas (ver Ilustración 70) son dos barras de aluminio ubicadas a los lados del actuador y sirven como soporte a la corredera.

Ilustración 73 Guías cilíndricas del actuador hidráulico

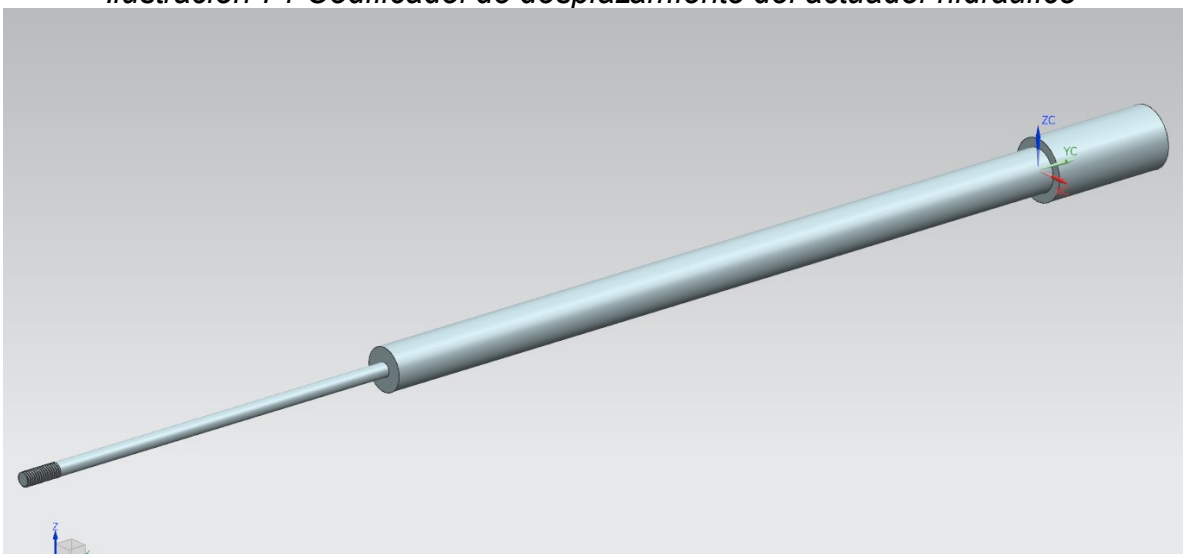


Fuente: Creación propia

- ✓ Codificador de desplazamiento

El codificador de desplazamiento (ver Ilustración 71), al igual que el potenciómetro, es un sensor de distancia resistivo que incorpora un cursor arrastrado por un vástago sobre una pista resistiva plástica, que provoca una variación de resistencia en los terminales de salida. La ilustración 60 muestra el potenciómetro utilizado para el actuador neumático.

Ilustración 74 Codificador de desplazamiento del actuador hidráulico

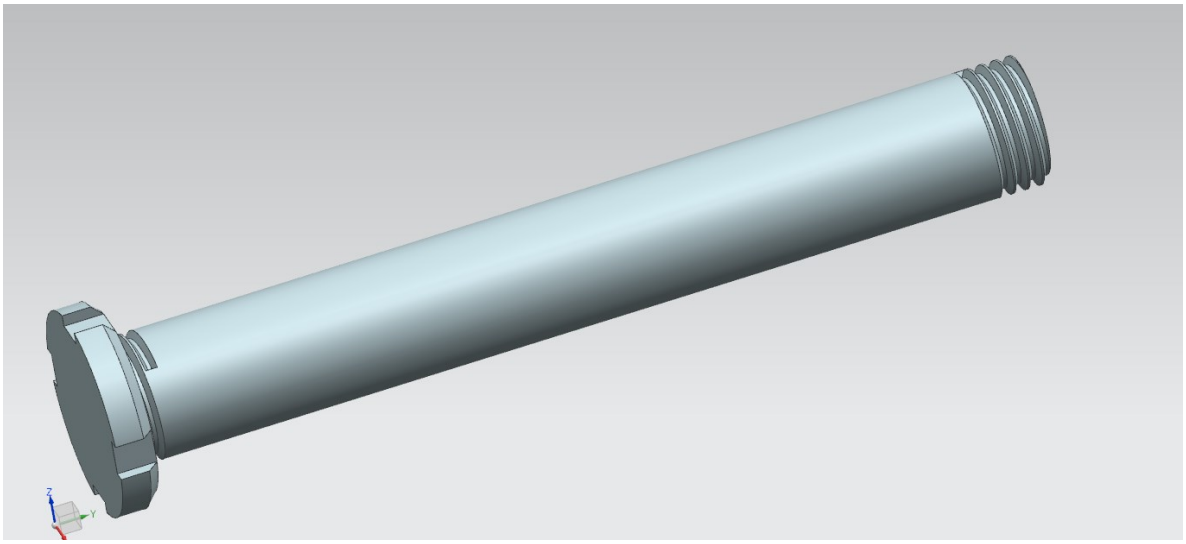


Fuente: Creación propia

- ✓ Cilindro de doble efecto

Un cilindro de doble efecto (ver Ilustración 72) tiene la capacidad de producir un trabajo en dos sentidos: avance y retroceso.

Ilustración 75 Cilindro de doble efecto del actuador hidráulico

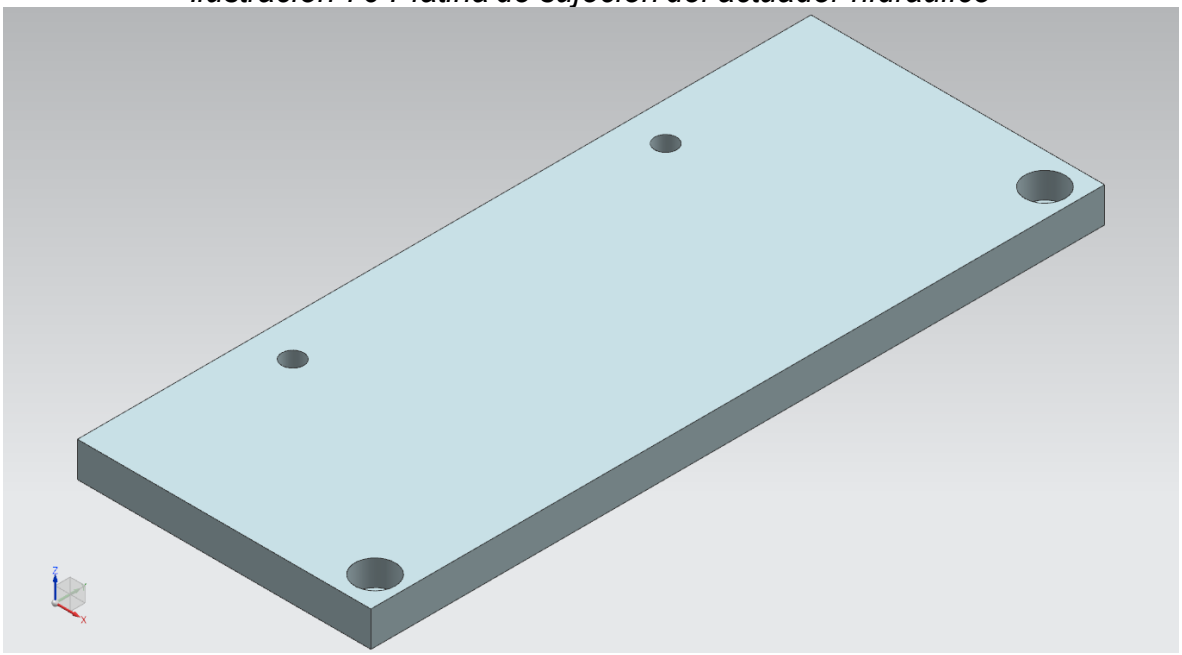


Fuente: Creación propia

- ✓ Platina de sujeción

La platina de sujeción (ver Ilustración 73) tiene como función de crear una base para el actuador fijo sobre la que se puede ubicar el otro actuador.

Ilustración 76 Platina de sujeción del actuador hidráulico

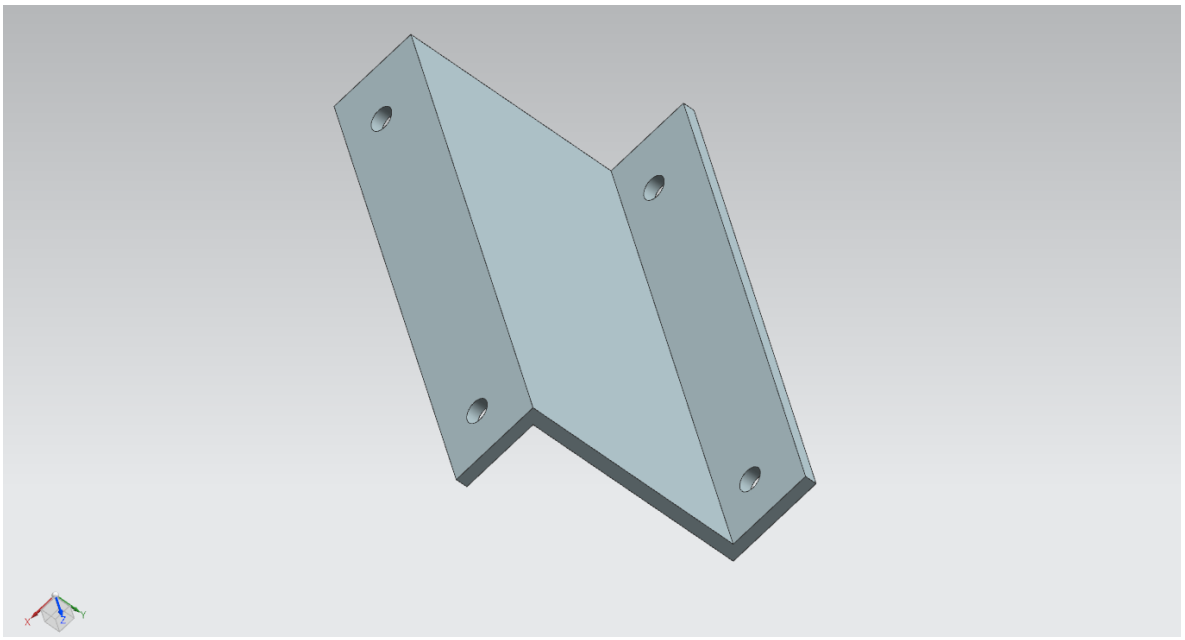


Fuente: Creación propia

- ✓ Perfil en “S”

El perfil en S (ver Ilustración 74) tiene la función de crear el ajuste con el que se puede ubicar un actuador sobre otro actuador.

Ilustración 77 Perfil en "S"



Fuente: Creación propia

5.4. ENSAMBLE DE SISTEMAS

Una vez modelados todos los componentes el paso a seguir es el ensamble del sistema neumático e hidráulico, para esta labor fue importante tener en cuenta el montaje que se realizó en el laboratorio de automatización de la Facultad Tecnológica pues su montaje debe ser de la misma manera.

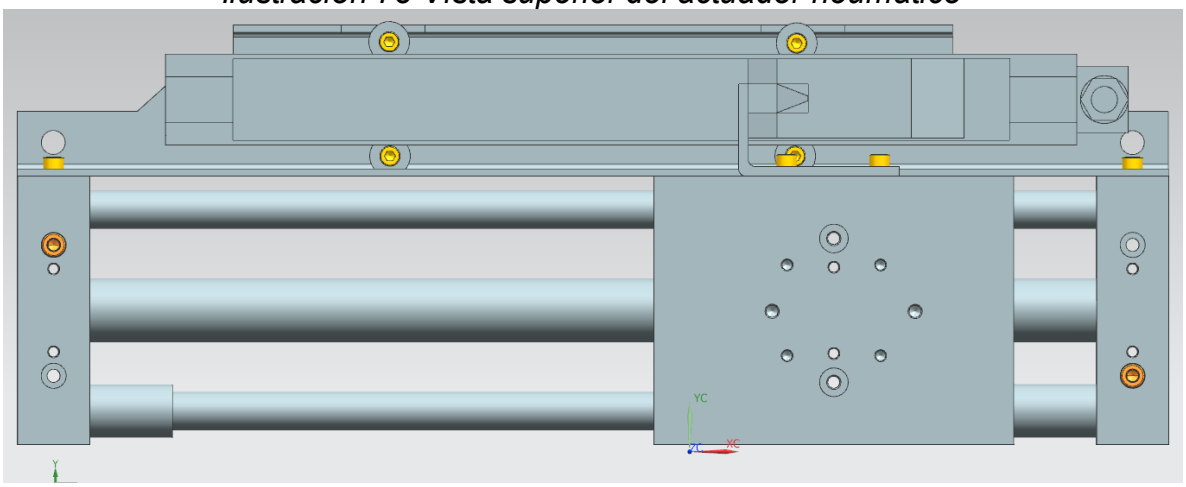
Debido a que para cada sistema era necesario el uso de dos actuadores primero se hizo un subensamble para cada uno de los actuadores con los componentes que llevaría al utilizarlos en un solo eje.

5.4.1. Subensamble actuador neumático

Al finalizar el modelado de todas las piezas no normalizadas se realizó un subensamble para cada uno de los actuadores.

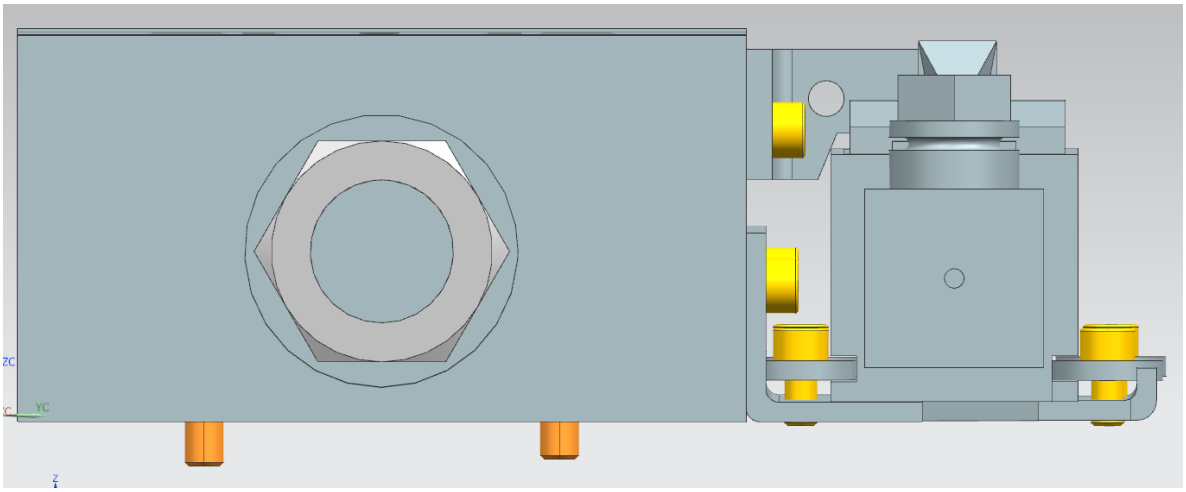
Para el actuador neumático su ubicó la corredera y partiendo de ahí se ensamblaron las guías, el actuador y los topes; teniendo el actuador completo, se hizo el acople del potenciómetro con el kit de ajuste. Las ilustraciones 75, 76 y 77 muestran las vistas superior, lateral y frontal, respectivamente, y la Ilustracion 78 un modelo 3D del conjunto final.

Ilustración 78 Vista superior del actuador neumático



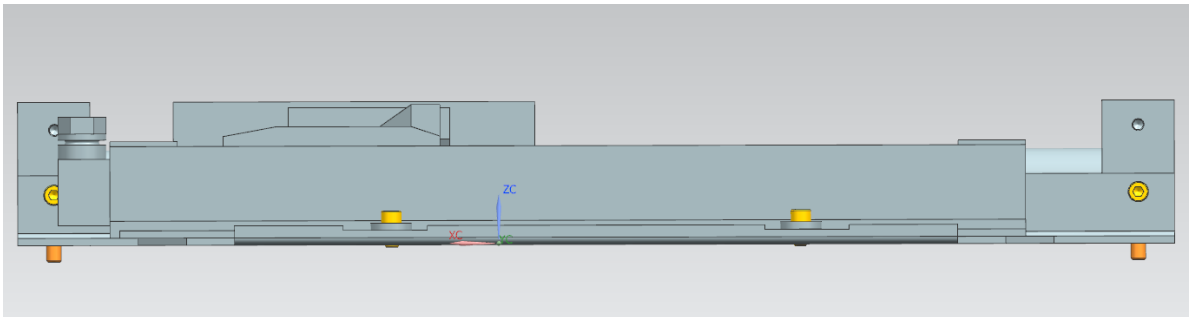
Fuente: Creación propia

Ilustración 79 Vista lateral del actuador neumático



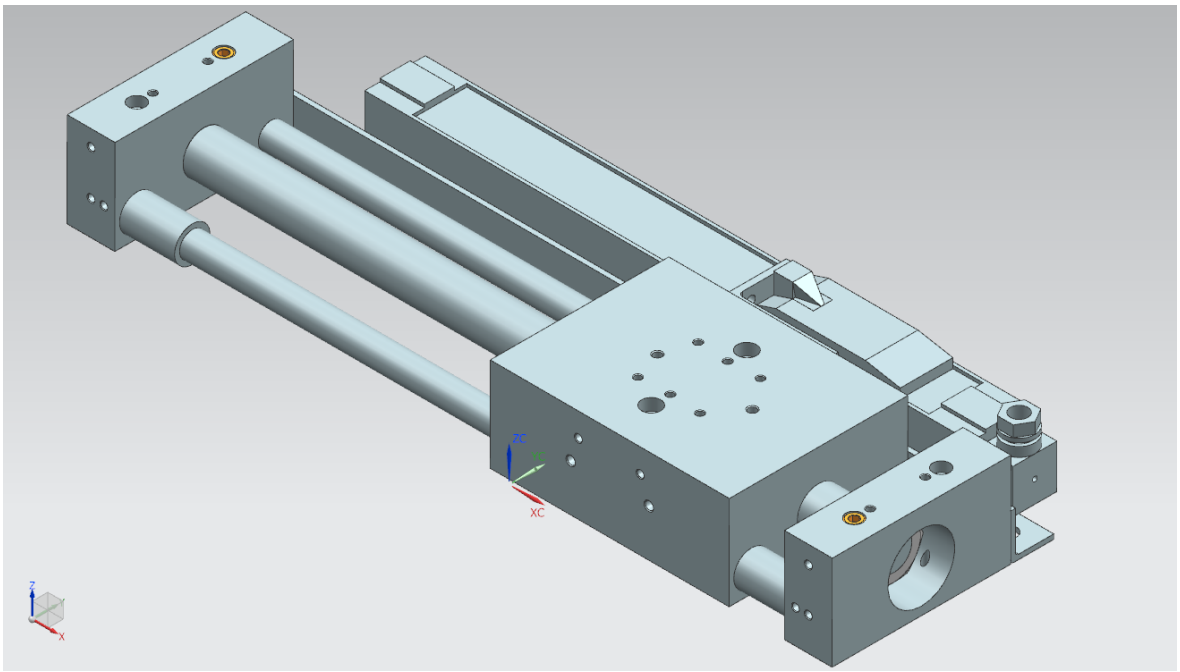
Fuente: Creación propia

Ilustración 80 Vista frontal del actuador neumático



Fuente: Creación propia

Ilustración 81 Modelo 3D del actuador

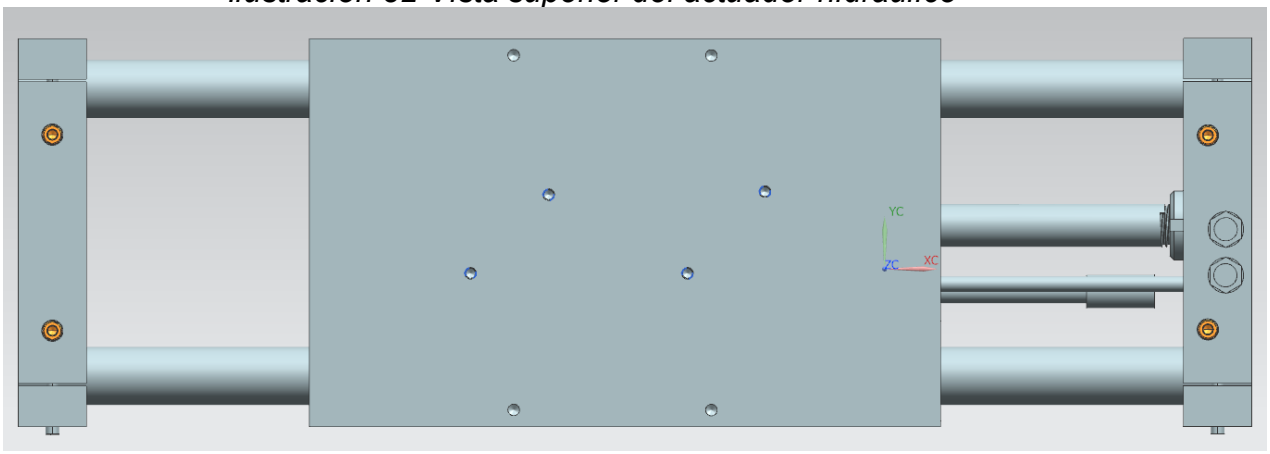


Fuente: Creación propia

5.4.2. Subensamble actuador hidráulico

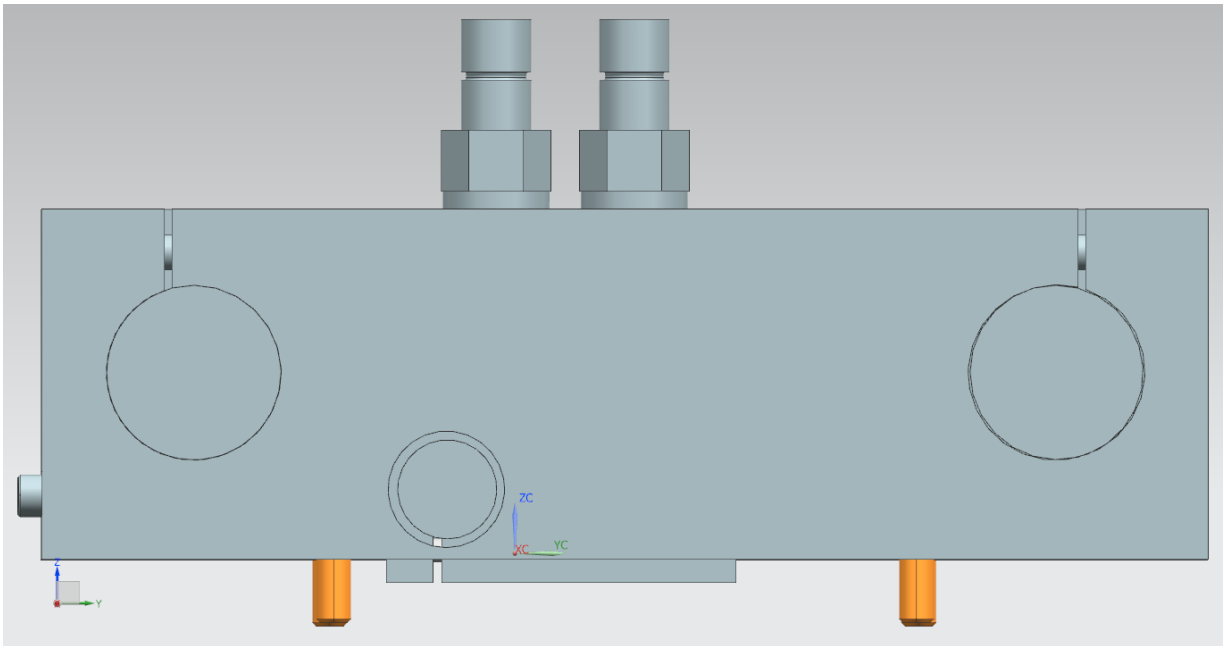
Para el subensamble del actuador hidráulico se empezó por la corredera, donde se ubicaron las dos guías y los dos yugos, con lo que se tendría la base del actuador y a partir de ahí se empezaron a acoplar la base del sensor, el sensor y el actuador de doble efecto. Las ilustraciones 79, 80 y 81 muestran las vistas superior, lateral y frontal del resultado y la Ilustración 82 un modelo 3D del mismo.

Ilustración 82 Vista superior del actuador hidráulico



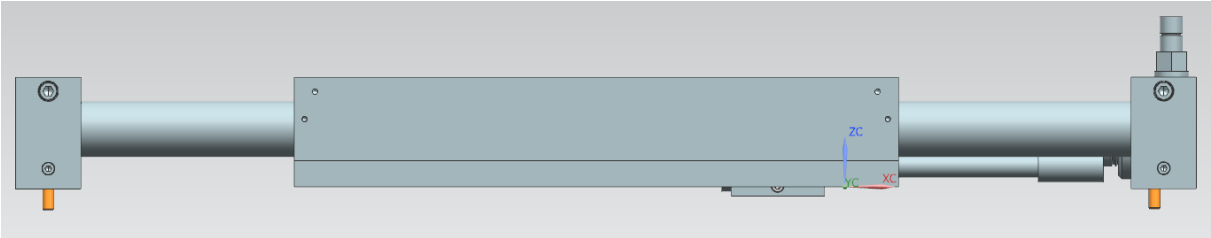
Fuente: Creación propia

Ilustración 83 Vista lateral del actuador hidráulico



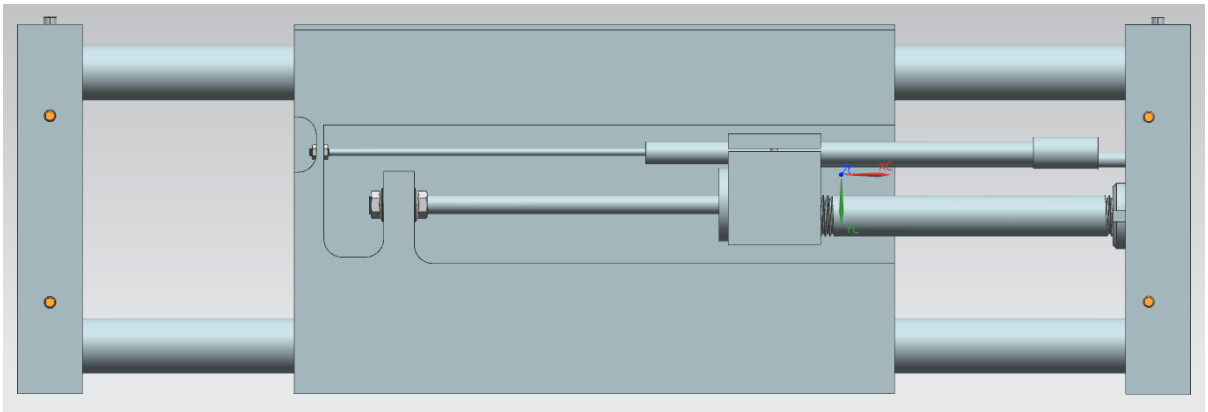
Fuente: Creación propia

Ilustración 84 Vista frontal del actuador hidráulico



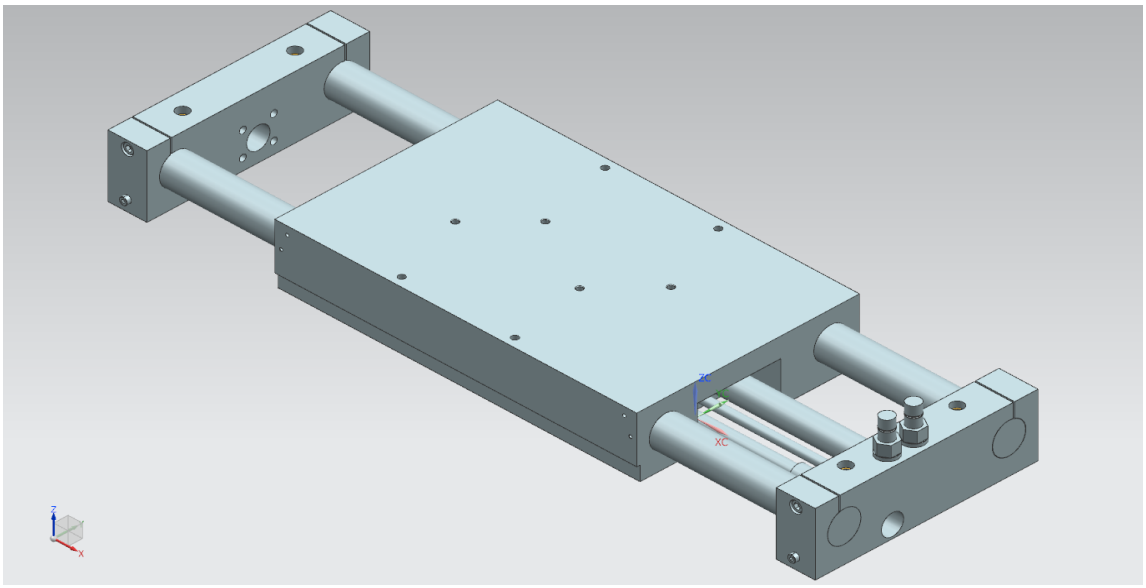
Fuente: Creación propia

Ilustración 85 Vista inferior del actuador hidráulico



Fuente: Creación propia

Ilustración 86 Modelo 3D del actuador hidráulico



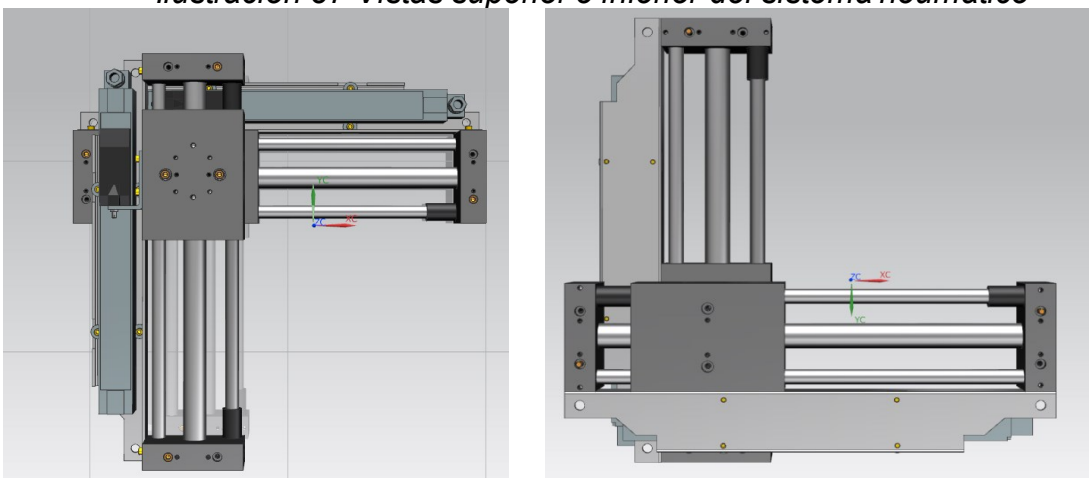
Fuente: Creación propia

Después de realizar el subensamble de cada actuador se realizó el ensamble por completo de cada sistema. Este ensamble contiene dos actuadores y además cuenta con unas platinas necesarias para el acoplamiento correcto entre estos, como ya se había mencionado antes, el método de acoplamiento es diferente para cada sistema. A continuación, se muestra el ensamble final de cada sistema.

5.4.3. Ensamble sistema neumático

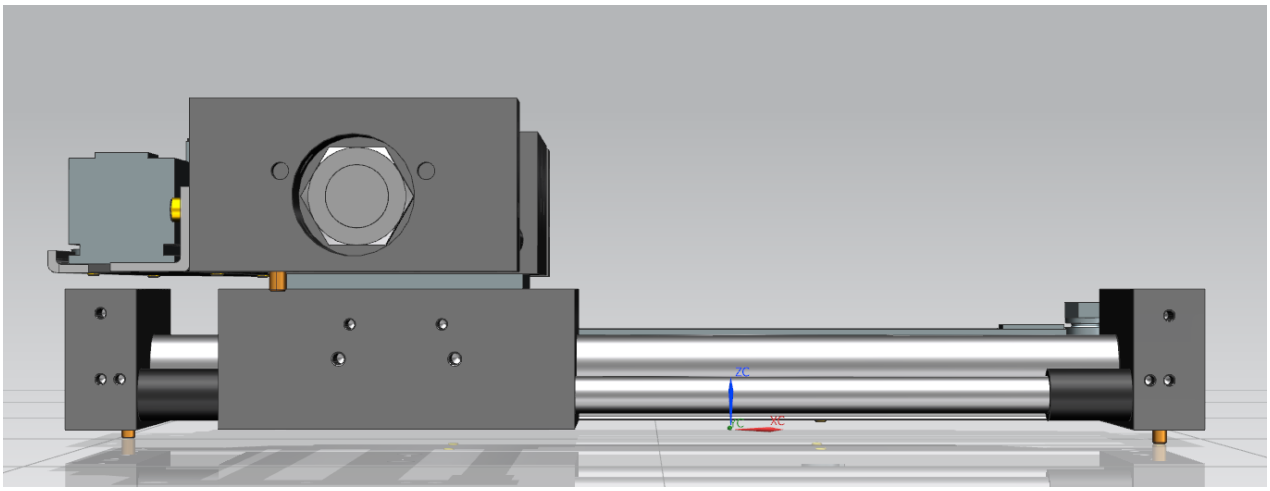
Para el sistema neumático se hizo uso del subensamble del actuador y el modelado de la platina 10x10, tal como se hizo en el montaje. Las ilustraciones 84, 85 y 86 muestran las vistas y el modelo 3D del ensamble final.

Ilustración 87 Vistas superior e inferior del sistema neumático



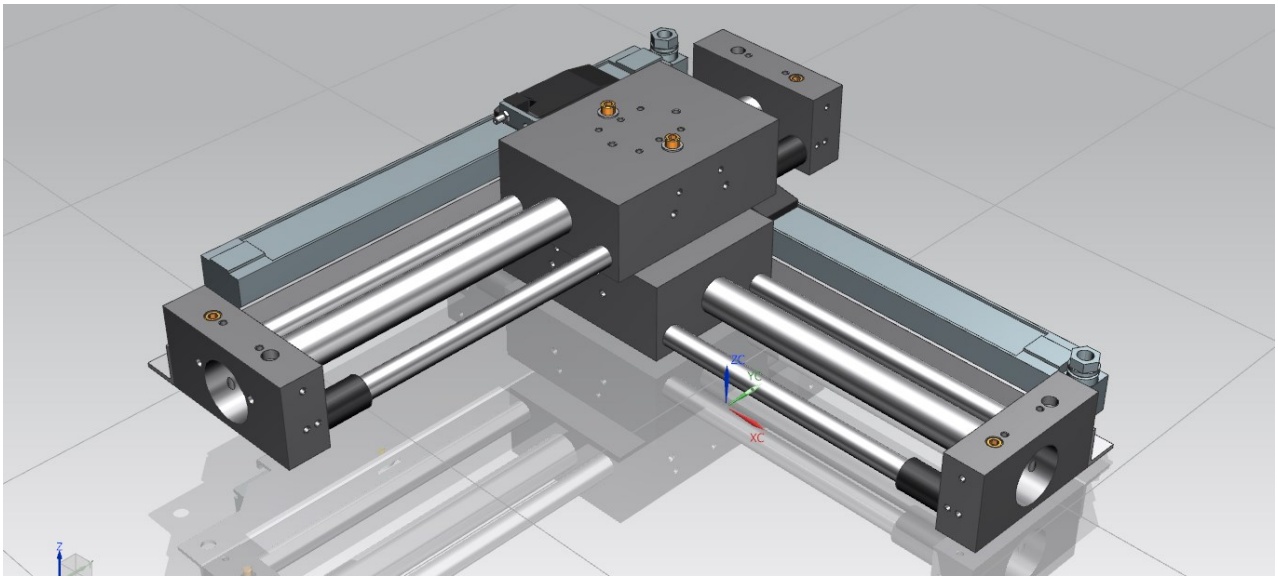
Fuente: Creación propia

Ilustración 88 Vista frontal del sistema neumático



Fuente: Creación propia

Ilustración 89 Modelo 3D del ensamble neumático

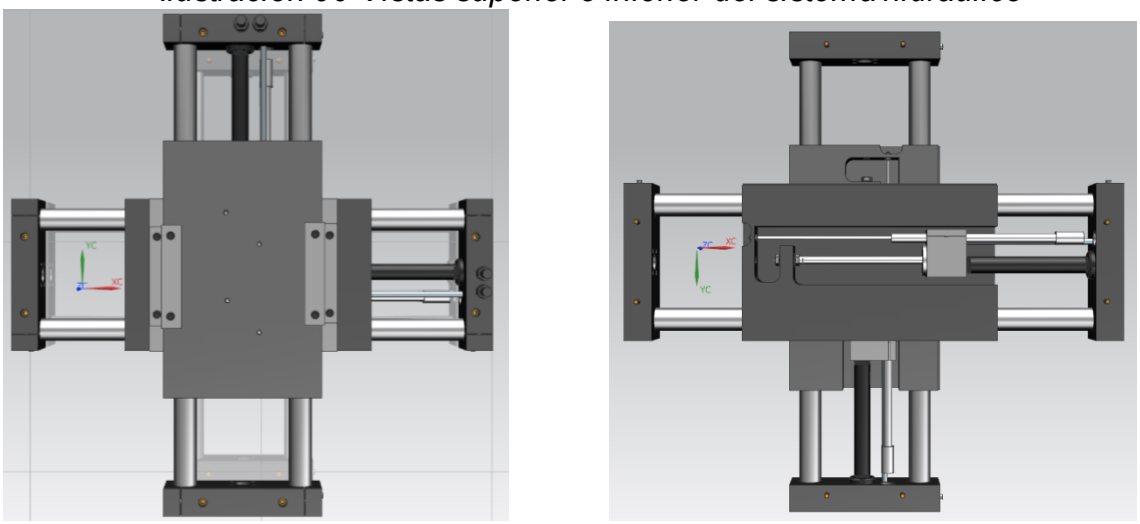


Fuente: Creación propia

5.4.4. Ensamble sistema hidráulico

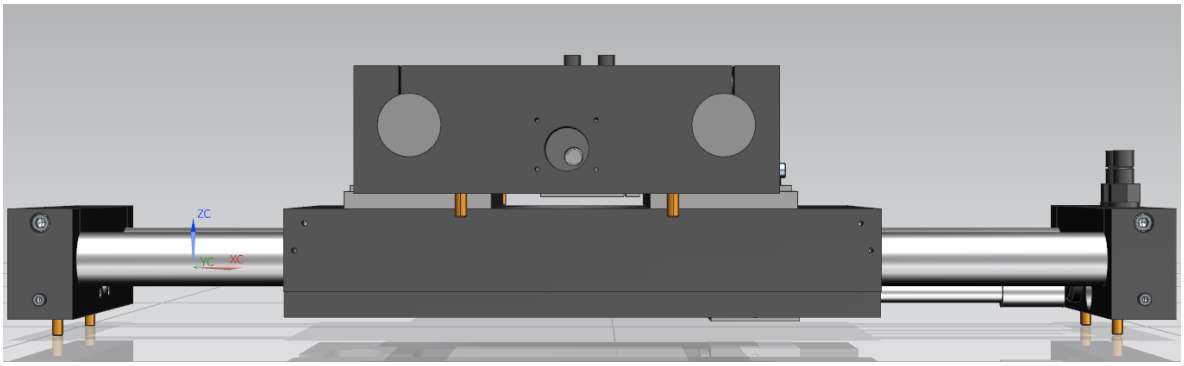
Para el ensamble del sistema hidráulico se usó el subensamble del actuador y los modelados de las platinas rectangulares y las vigas en S, al igual que en el montaje. Las ilustraciones 87, 88 y 89 muestran las vistas y el modelado 3D del conjunto final.

Ilustración 90 Vistas superior e inferior del sistema hidráulico



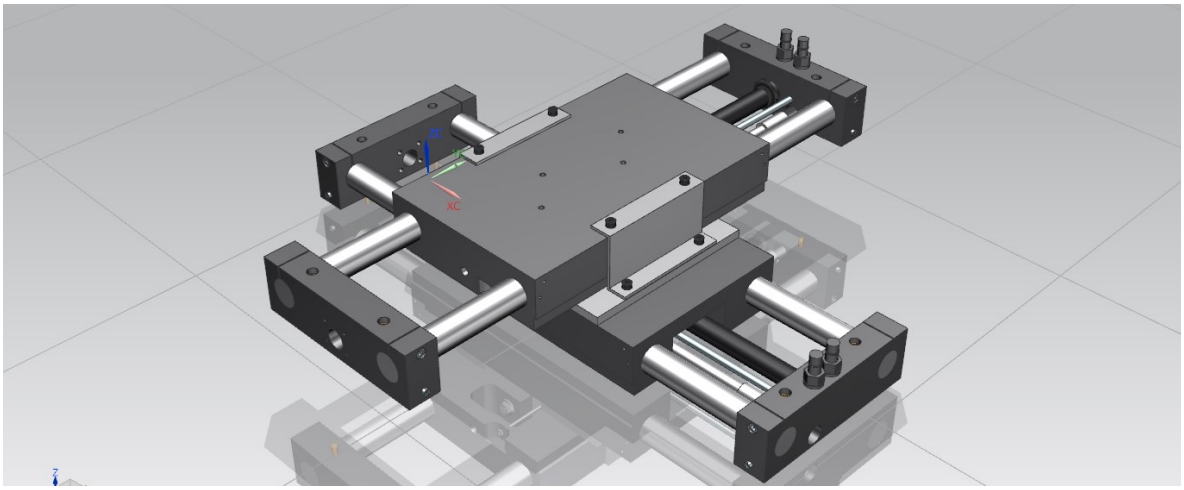
Fuente: Creación propia

Ilustración 91 Vista frontal del sistema hidráulico



Fuente: Creación propia

Ilustración 92 Modelo 3D del sistema hidráulico



Fuente: Creación propia

Un paso que se debe tener en cuenta en las diferentes etapas del proyecto es la revisión y retroalimentación en el resultado final, pues así se garantiza que no haya presencia de errores en el modelo; para esto se comparó el modelo realizado con el montaje que se hizo en el laboratorio de la universidad, por medio de sesiones en las cuales se verificaron y retomaron medidas que hacían falta para poder definir los modelos y así mismo su ubicación.

6. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS Y ELEMENTOS EN CONJUNTO EN ENTORNO VIRTUAL

Esta fase se concentra en la simulación de movimiento del sistema servoneumático y servohidráulico, esta etapa es importante para generar una herramienta adicional de trabajo para la formación de estudiantes.
Para este paso se utilizará el mismo programa NX el cual cuenta con un módulo especializado y dedicado a la simulación de movimiento.

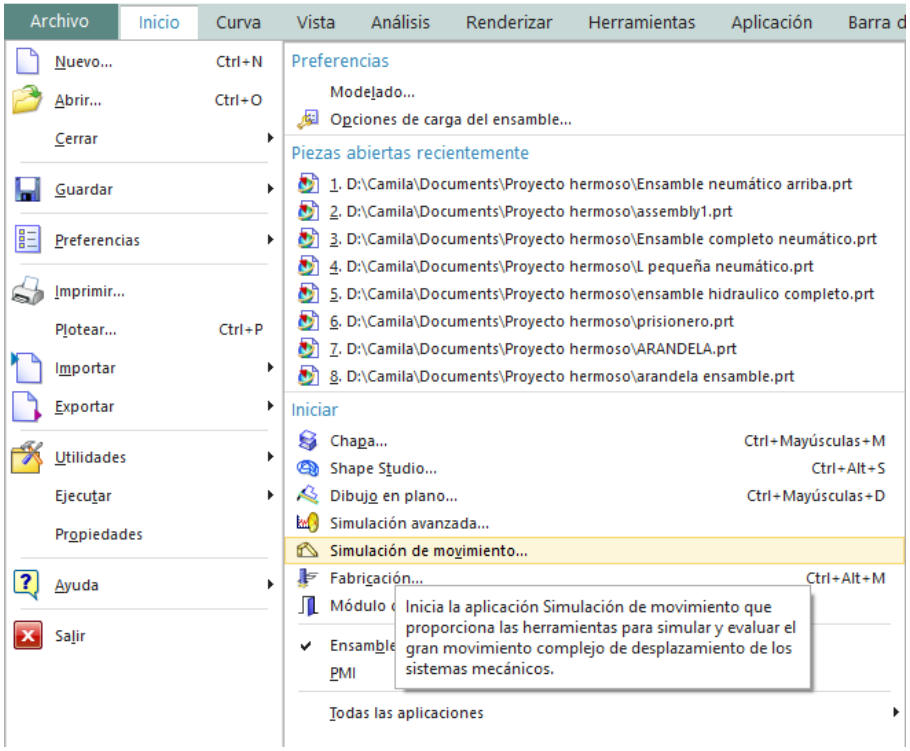
6.1. DESCRIPCIÓN DE PASOS PARA REALIZAR SIMULACIÓN DE MOVIMIENTO EN NX12.

Ahora se describirá paso a paso el procedimiento que se llevó a cabo para la simulación de los sistemas.

6.1.1. Sistema neumático

- ✓ Abrir el archivo donde se encuentra el ensamble. En la opción Archivo se selecciona el módulo de Simulación de movimiento como se observa en la Ilustración 90.

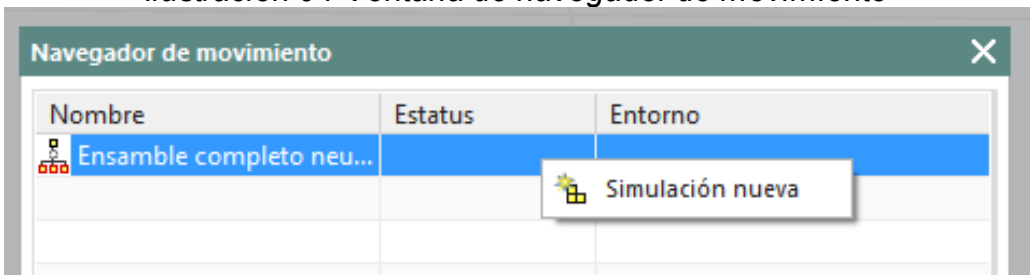
Ilustración 93 Pantalla inicio de software NX12 con módulo para simulación de movimientos



Fuente: NX 12

✓ Al seleccionar *Simulación de movimiento* se abre una ventana denominada *Navegador de movimiento* (ver Ilustración 91), en esta se da click derecho y luego *Simulación nueva*

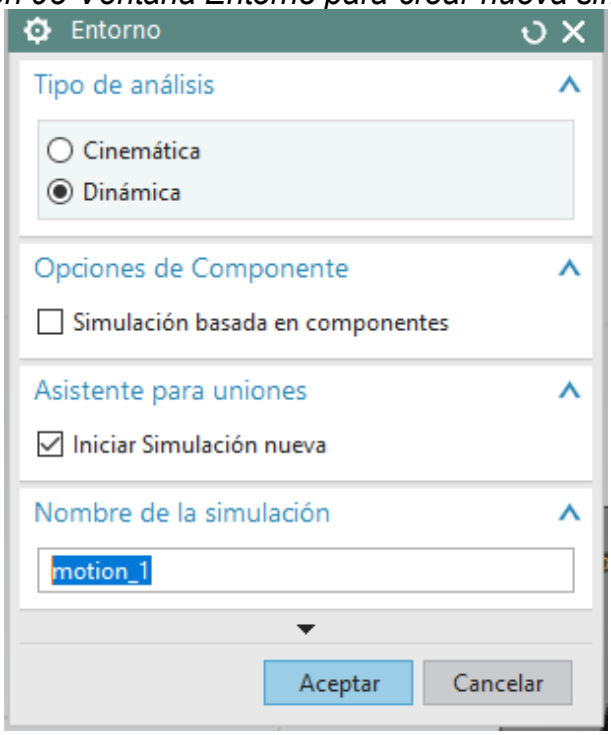
Ilustración 94 Ventana de navegador de movimiento



Fuente: NX 12

✓ Se abre una ventana de *Entorno*, se debe seleccionar el tipo de simulación que en este caso será dinámica y se indicará un nombre como se observa en la Ilustración 92.

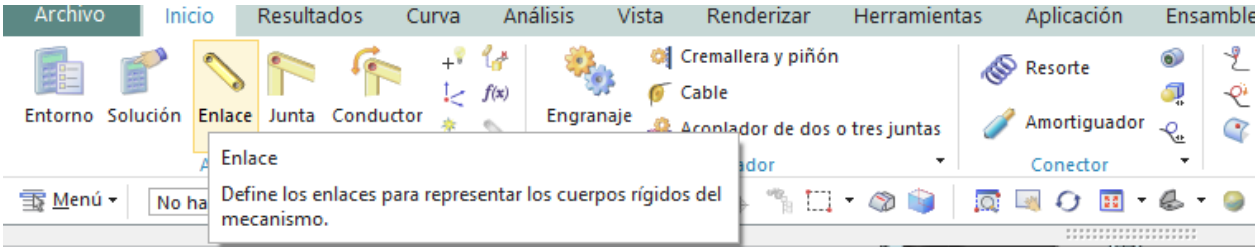
Ilustración 95 Ventana Entorno para crear nueva simulación



Fuente: NX 12

✓ Una vez seleccionada el tipo de simulación se dirige a la opción Inicio y se establecen los enlaces del ensamble dando click en Enlace como se ve en la Ilustración 93.

Ilustración 96 Identificación de comando enlace

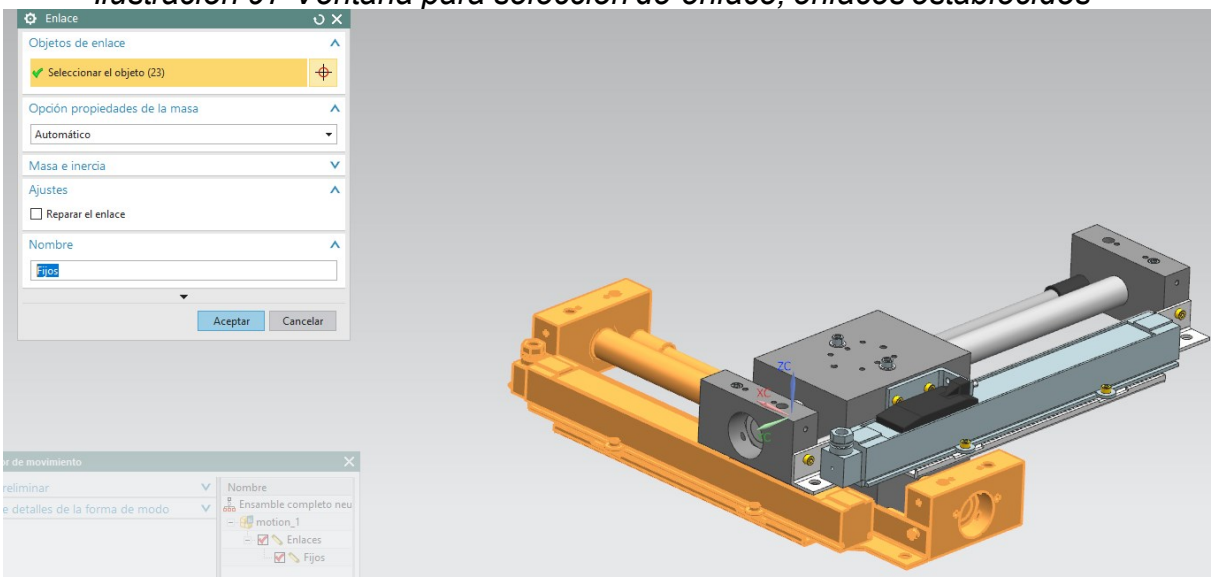


Fuente: NX 12

En este se abrirá una ventana en la cual se deben seleccionar las partes que serán seleccionados como elemento, luego se debe dar un nombre al enlace para el control en el navegador de movimiento.

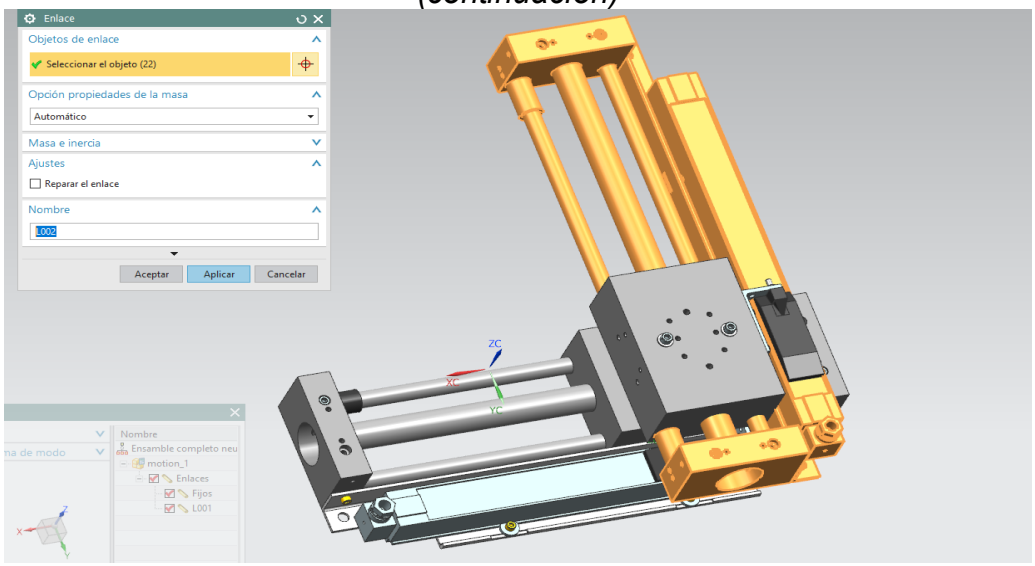
El primer enlace está compuesto por las guías del primer actuador, las platinas extremas, el kit de ajuste y la base del potenciómetro, el segundo enlace tiene los mismos elementos del primero, pero con el actuador dos y el final está compuesto por las dos correderas de los actuadores y los potenciómetros y la platina. La Ilustración 94 muestra los tres enlaces mencionados anteriormente.

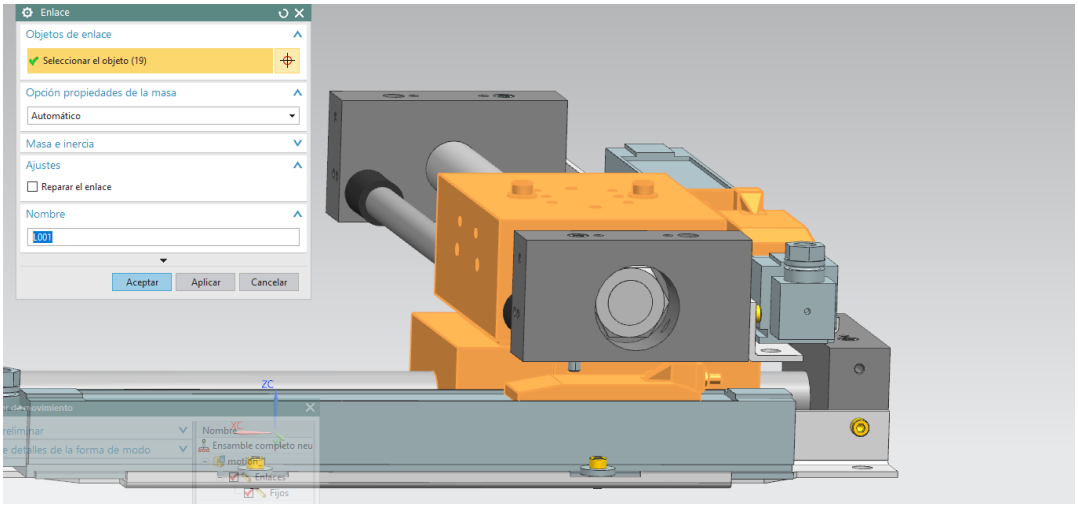
Ilustración 97 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos



Fuente: Creación propia

Ilustración 98 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos (continuación)





Fuente: Creación propia

✓ Luego de establecer los ensambles, en la misma opción de Inicio se establecen las juntas en la opción Junta como se muestra en la Ilustración 95.

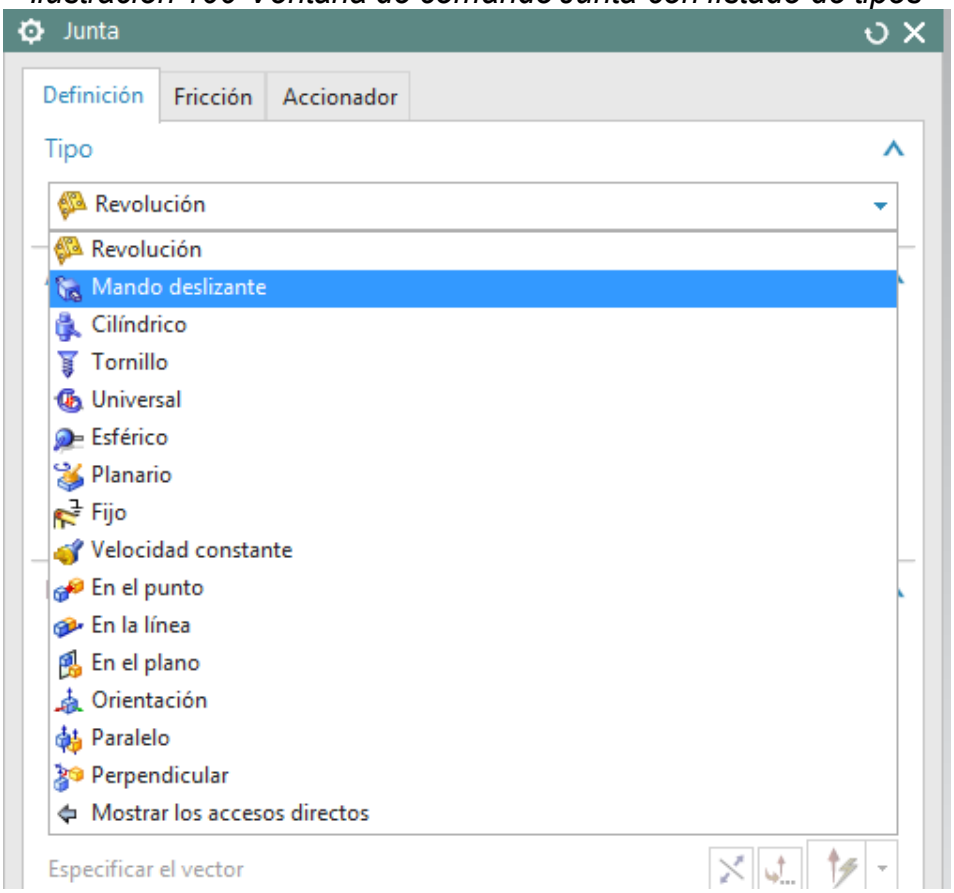
Ilustración 99 Identificación de comando Junta



Fuente: NX 12

Hay que tener en cuenta que existen diferentes tipos de juntas como revolución, cilíndrico, tornillo, universal, esférico entre otros dependiendo de la necesidad. En la Ilustración 96 se presentan todos los tipos de juntas disponibles en NX 12.

Ilustración 100 Ventana de comando Junta con listado de tipos

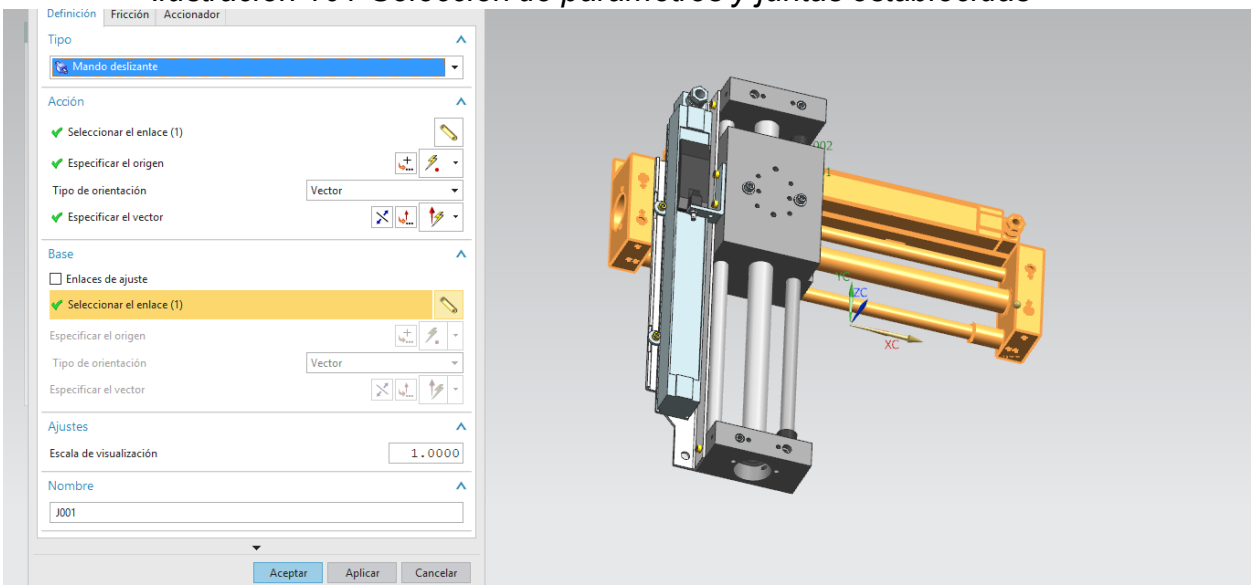


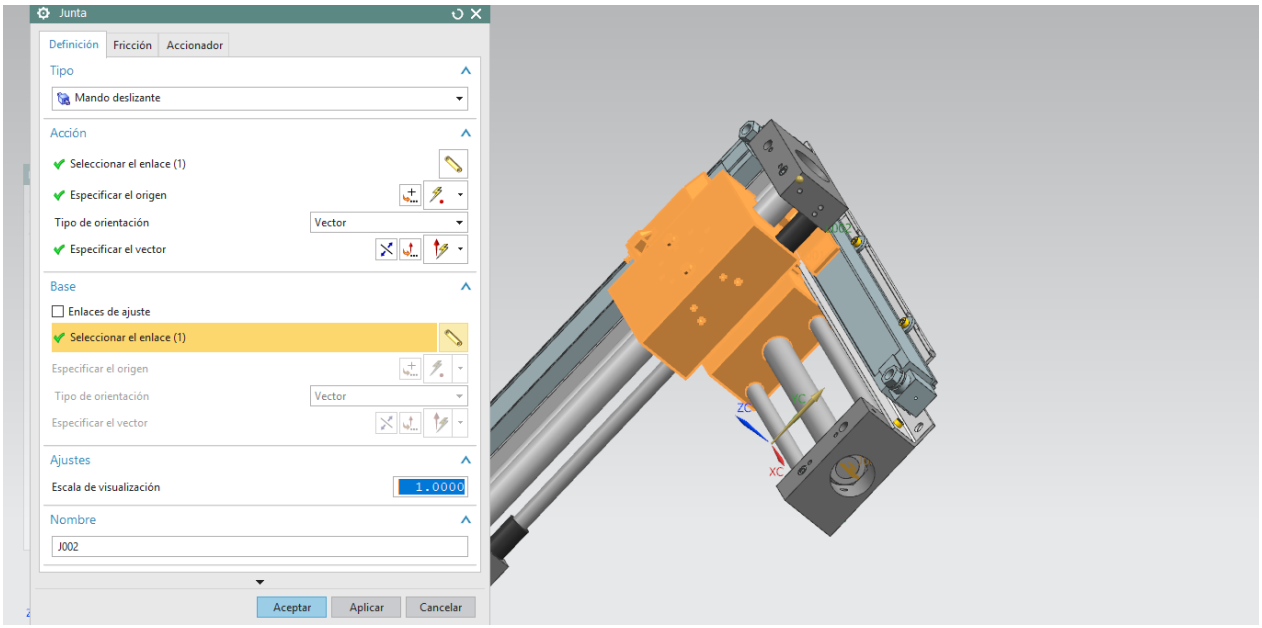
Fuente: NX 12

Para el desarrollo de la animación de los sistemas el tipo de junta que se va a utilizar es el mando deslizante debido a que los elementos de los que se compone el modelo sólo interactúan o se desplazan a lo largo de un eje específico.

Después de seleccionar el tipo de junta, se establecerá el enlace sobre el que se va a mover, el origen y dirección del movimiento. En la Ilustración 97 se muestra el enlace base y de acción seleccionados, además de los parámetros de origen y vector.

Ilustración 101 Selección de parámetros y juntas establecidas

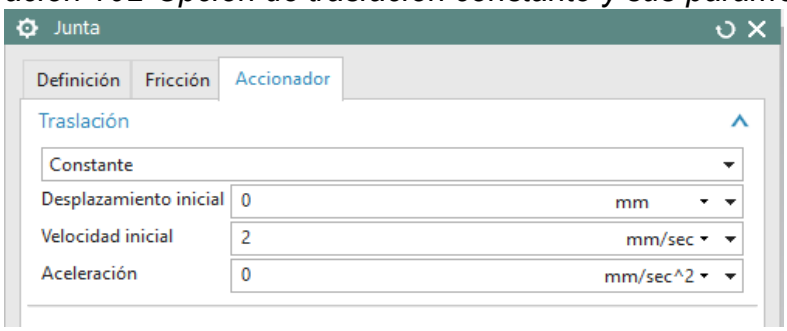




Fuente: NX 12

✓ Posteriormente para que se genere movimiento se deben establecer los valores de velocidad y el tipo de movimiento en la opción *Accionador*. En la Ilustración 98 se muestran las opciones disponibles para el accionador y el valor de velocidad escogido.

Ilustración 102 Opción de traslación constante y sus parámetros

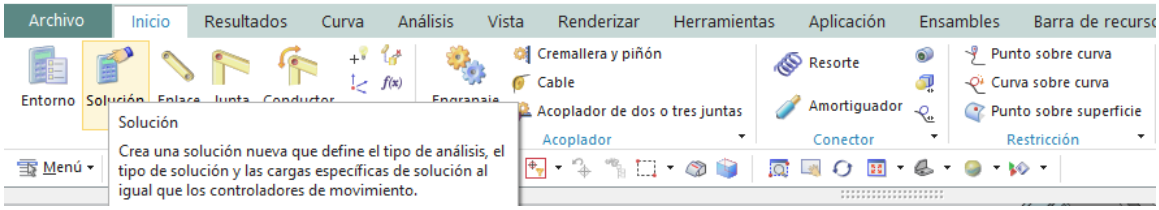


Fuente: NX 12

El tipo de traslación que se debe seleccionar es *Constante* en esta opción el elemento al dar comienzo a la animación se desplazará a lo largo del eje establecido desde el instante cero.

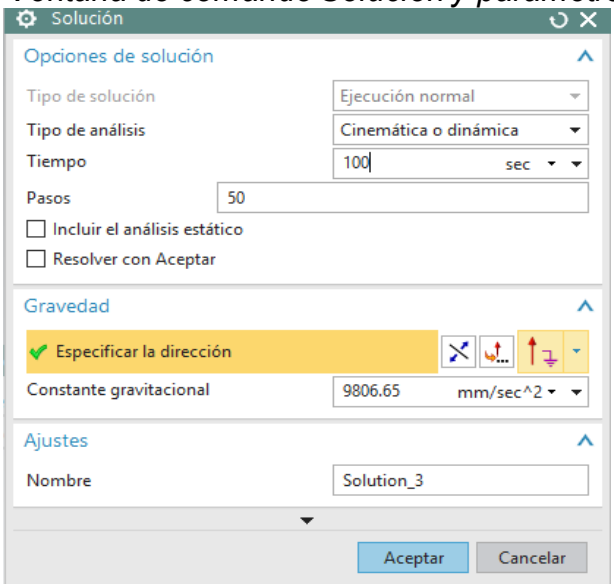
- ✓ Ahora se da click en *Solución* y se establece el tiempo y el número de pasos para la animación como se muestran en las ilustraciones 99 y 100.

Ilustración 103 Identificación de comando Solución



Fuente: NX 12

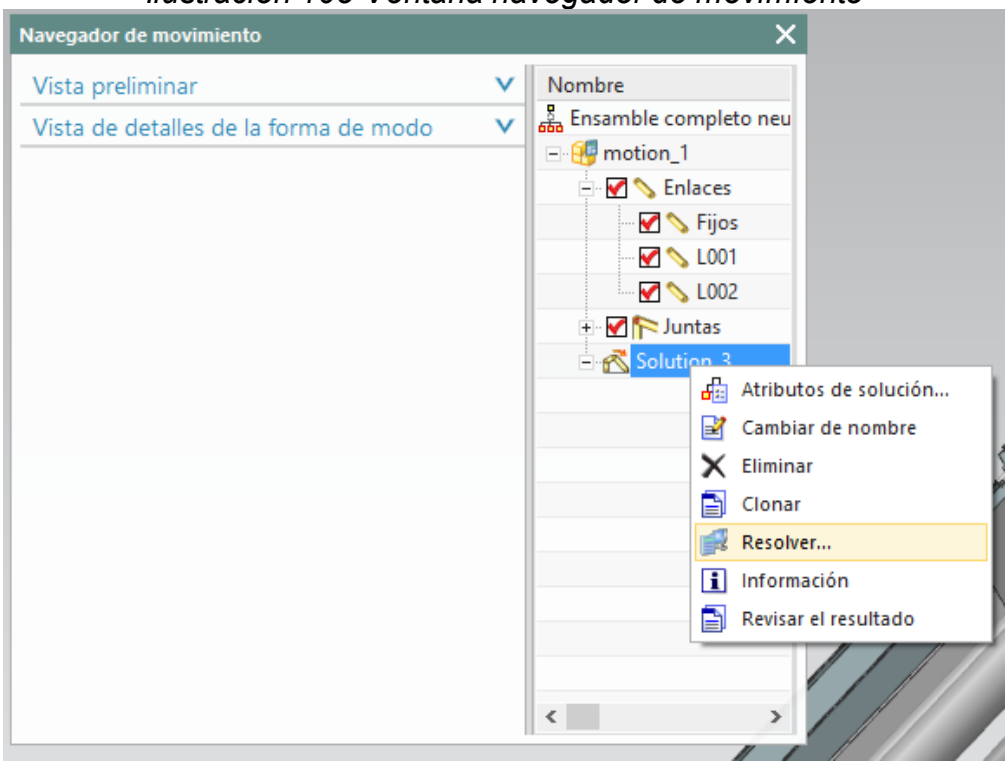
Ilustración 104 Ventana de comando Solución y parámetros a establecer



Fuente: NX 12

✓ Seguidamente en el navegador de movimiento se selecciona *Solución* y se hace click en *Resolver* como se muestra en la Ilustración 101.

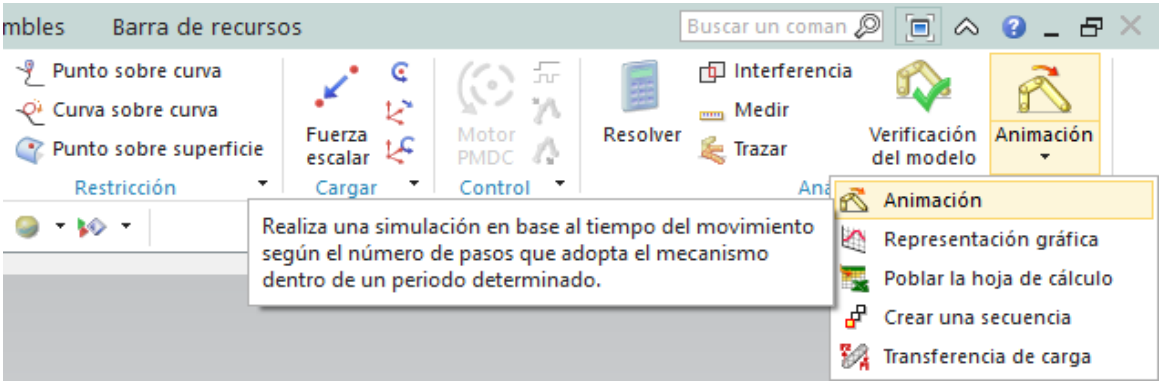
Ilustración 105 Ventana navegador de movimiento



Fuente: NX 12

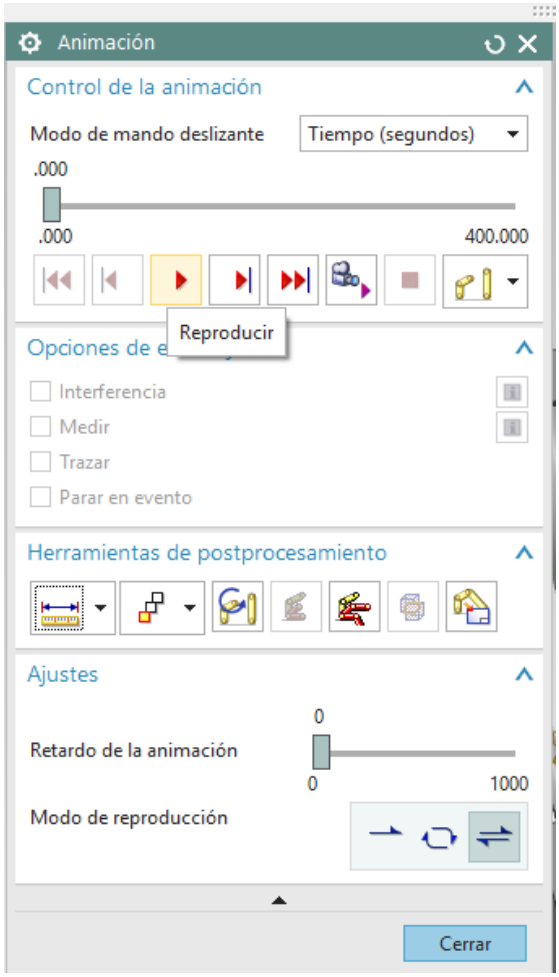
✓ Finalmente verificamos que la simulación funcione correctamente en el menú *Inicio* seleccionando la opción *Animación* (ver Ilustración 102) y la opción *Reproducir* (ver Ilustración 103).

Ilustración 106 Identificación de comando Animación



Fuente: NX 12

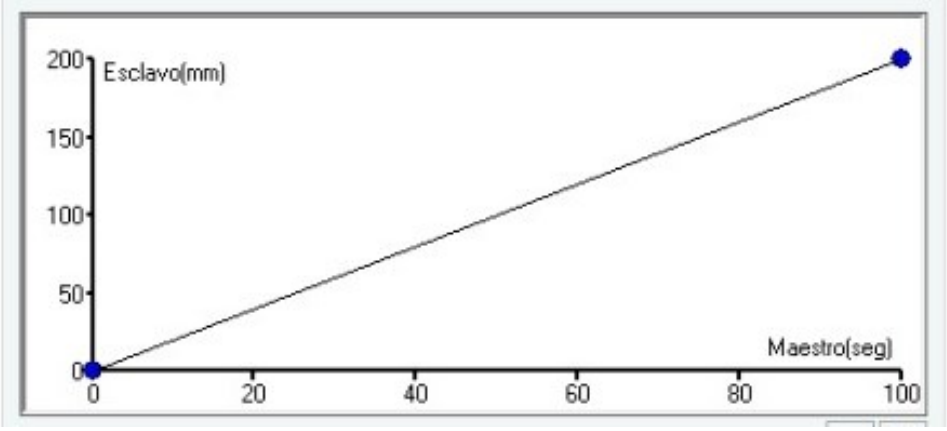
Ilustración 107 Ventana Animación



Fuente: NX 12

La simulación arrojo la gráfica que se observa en la Figura 10.

Figura 9 Gráfica de movimiento sistema neumático distancia vs tiempo

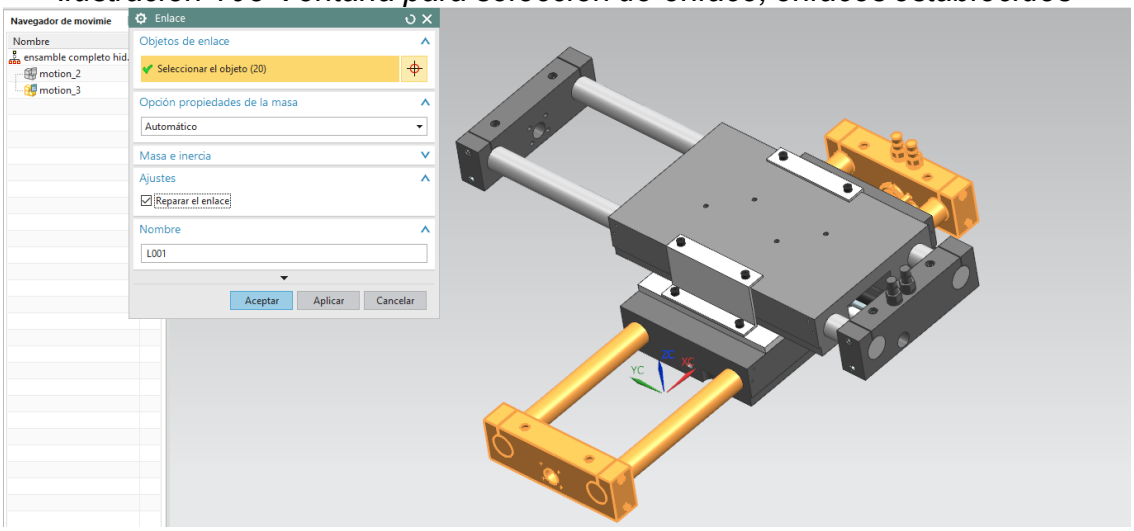


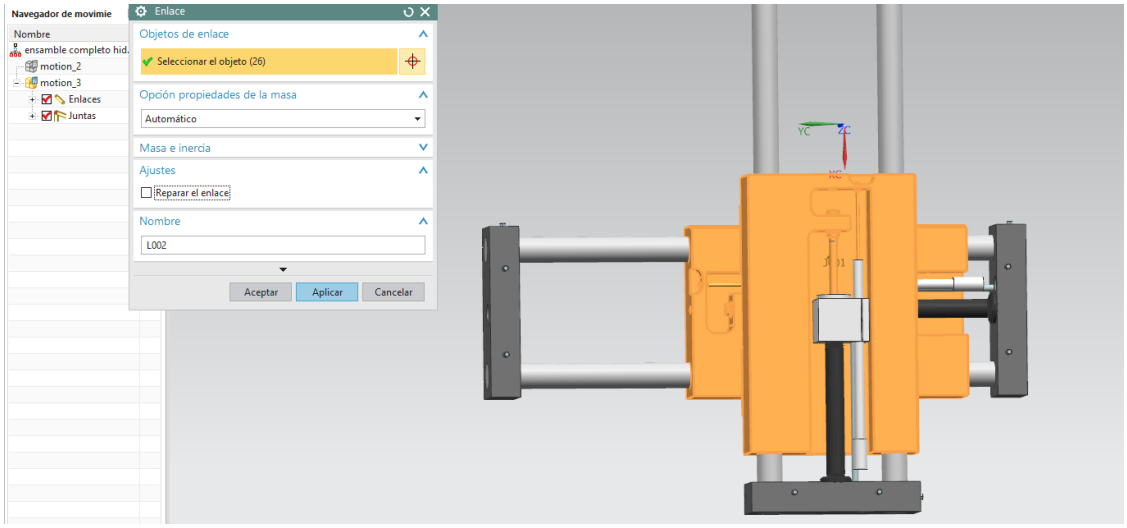
Fuente: NX 12

6.1.2. Sistema hidráulico

El procedimiento que se sigue para la simulación del sistema hidráulico es el mismo descrito anteriormente para el sistema neumático, con la particularidad de que los enlaces contienen más elementos como los sistemas de sujeción. En la Ilustración 104 se observa el enlace fijo y el enlace móvil que se estableció para el sistema hidráulico.

Ilustración 108 Ventana para selección de enlace, enlaces establecidos

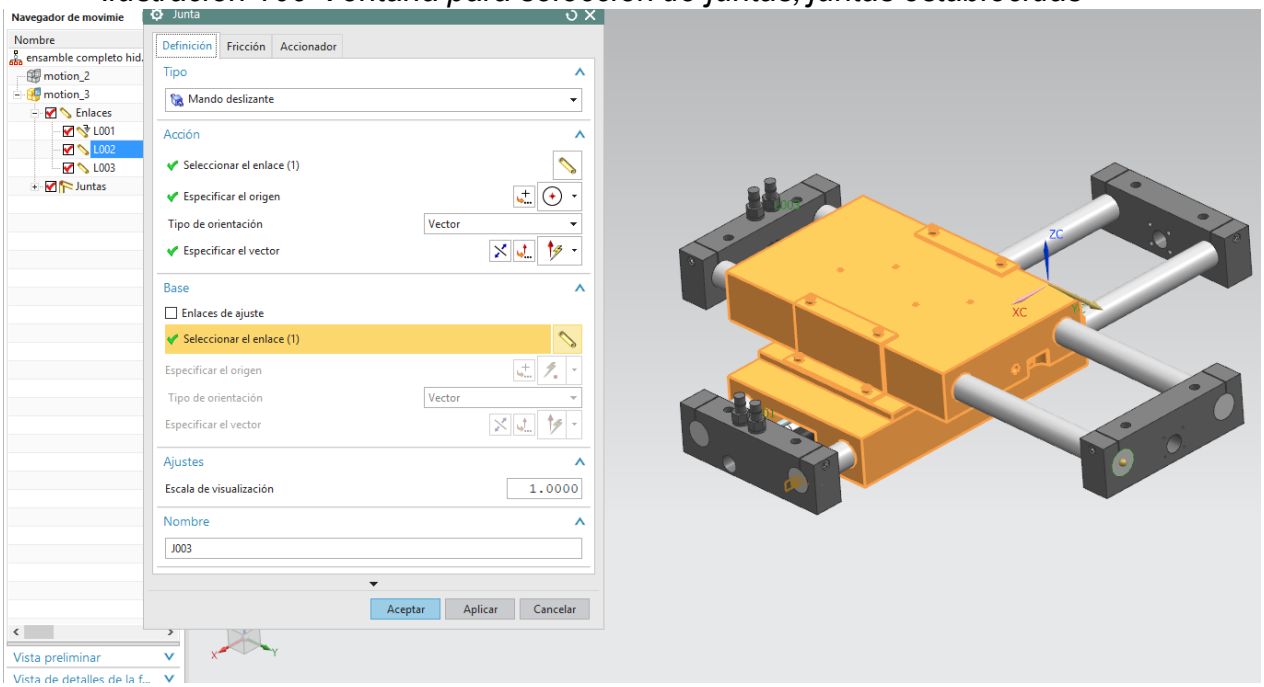




Fuente: Creación propia

El tipo de junta que se utilizará en el sistema hidráulico es el mismo que en el sistema neumático: mando deslizante debido a que también se realiza un movimiento lineal a lo largo de un eje específico. En la Ilustración 105 se muestra la ventana para la selección de juntas y el enlace seleccionado.

Ilustración 109 Ventana para selección de juntas, juntas establecidas

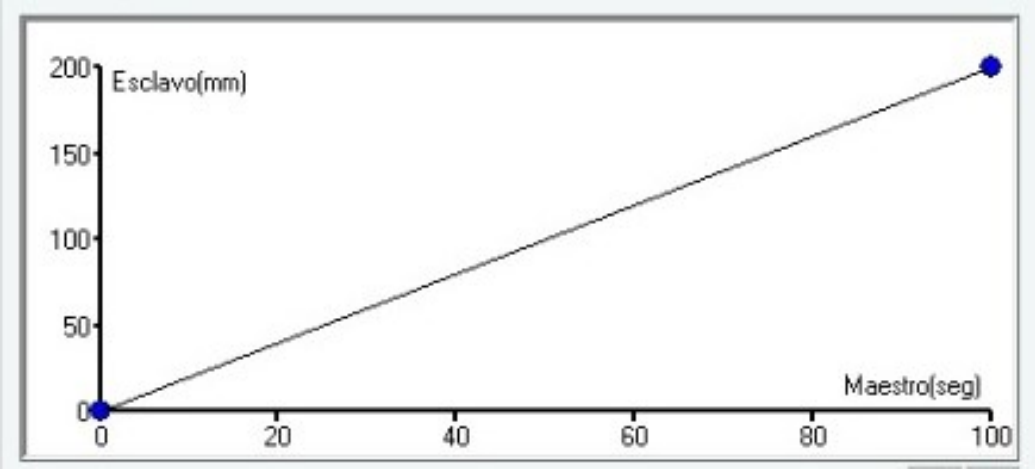


Fuente: creación propia

Luego de haber terminado la selección de enlaces y juntas, el procedimiento para la simulación es el mismo que se realizó para la simulación el sistema neumático.

Finalmente se verifica de la misma manera que la simulación funcione correctamente y se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 11.

Figura 10 Gráfico sistema hidráulico distancia vs tiempo



Fuente: NX 12

7. CONCLUSIONES

Al finalizar el proyecto planteado, se presentan los aspectos que tuvieron mayor incidencia en el logro de los objetivos y en la culminación de dicho proyecto.

El cumplimiento a cabalidad del proyecto se logró gracias al planteamiento de una metodología clara y precisa, además del seguimiento de esta lo que dio como resultado el cumplimiento de los objetivos planteados y el termino total del proyecto.

- ✓ La implementación de sistemas de desplazamiento XYZ ha tenido un gran auge en la industria, desde el movimiento X-Y en una mesa hasta centros de mecanizado, lo que crea la necesidad de un entorno académico donde los estudiantes se puedan relacionar mejor con este sistema. A pesar de que existen los espacios y los equipos no se encuentran completamente a disponibilidad de los estudiantes, pues no existen manuales que indiquen el correcto funcionamiento de estos y algún daño conllevaría costos muy altos. De acuerdo con esto, se logró establecer un sistema de posicionamiento en bucle cerrado neumático e hidráulico que usa el mismo principio de funcionamiento con el fin de comprender mejor los fundamentos de este sistema, crear un manual de funcionamiento y poner a disposición de los estudiantes estos espacios.
- ✓ Definir los principios de funcionamiento de los sistemas de desplazamiento y el comportamiento de los componentes usados en el montaje de los sistemas neumáticos e hidráulicos en bucle cerrado permite al estudiante comprender mejor la dinámica de estos, además de proporcionarle herramientas que le permiten analizar el modelo y llegar a los resultados esperados.
- ✓ La búsqueda de la información y gestión adecuada fue un factor importante para la realización del proyecto, el uso de planos, manuales y paginas comerciales fueron de gran utilidad a la hora de la identificar los componentes realizar los montajes, los modelados, la elaboración de las guías y el logro de los objetivos propuestos, además de permitir agilizar el trabajo con buenos resultados. Este es el paso más importante de todo el proceso, su correcta ejecución lo llevara a los resultados esperados.
- ✓ Con la información recolectada de los manuales se logró realizar los montajes de los sistemas de desplazamiento neumáticos e hidráulicos en bucle cerrado, se obtuvo una mejor compresión de los fundamentos de los componentes y del principio de funcionamiento del sistema lo que permitió identificar los fallos y corregirlos para cumplir con la elaboración del montaje.
- ✓ La búsqueda de información aporto datos importantes sobre el funcionamiento de los controladores PID, además de las múltiples aplicaciones que tiene, pero no arrojo un método exacto con el que se

pueda llegar a la configuración adecuada de los tres componentes. Teniendo en cuenta esto la configuración del controlador PID se realizó de manera empírica, siguiendo el procedimiento descrito en los manuales, lo que tuvo como resultado el desplazamiento adecuado de los actuadores y el correcto funcionamiento de los sistemas.

- ✓ Disponer de un entorno que permite la simulación de movimientos pone a disposición una herramienta de aprendizaje con la que docentes y estudiantes pueden interactuar, aumentar su compresión sobre los sistemas de posicionamientos y complementar su labor a la hora de hacer uso de los laboratorios.
- ✓ La comprensión del proceso que se llevó a cabo durante la elaboración del proyecto fue de vital importancia para la preparación de una guía que pusiera a disposición de los estudiantes y los docentes los espacios y equipos con los que cuenta la Facultad Tecnológica para el montaje de sistemas de desplazamiento XYZ. Con esto, se eliminó la barrera que se tenía con respecto a los manuales de uso adecuado de estos equipos y la falta de información específica que permitiera la compresión del proceso.
- ✓ Finalmente, con el cumplimiento de los objetivos específicos se logró la creación de un espacio virtual para los sistemas de desplazamiento XYZ en el que se ve el comportamiento de estos sistemas y que permite interactuar para comprender el funcionamiento de dichos sistemas.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] J. C. Villajulca, «Instrumentación y control.net,» [En línea]. Available: http://instrumentacionycontrol.net/servosistemas-definiciones/. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[2] J. C. R. Francisco Candela Herías, «Aurova,» [En línea]. Available: http://www.aurova.ua.es/previo/dpi2005/docs/publicaciones/pub09-ServoMotores/servos.pdf. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[3] FESTO, Hidráulica en bucle cerrado, Festo Didactic, 1995.

[4] FESTO, Neumática en bucle cerrado, Festo Diactic.

[5] FESTO, «Festo Didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/equipos-de-practicas/hidraulica/componentes/regulador-pid.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC41NjAuMzYxNg. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[6] FESTO, «FESTO Didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/00435451001075223684.pdf. [Último acceso: 12 Junio 2018].

[7] FESTO, «Festo Didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/equipos-de-practicas/hidraulica/componentes/conector-en-t.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU2MC4zNDc4. [Último acceso: 14 7 2018].

[8] FESTO, «Festo Didactic,» [En línea]. Available: https://www.google.com.co/search?q=MANGUERA+CON+ACOPLAMIENTO+RAPIDO+FESTO&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=HHFSW2JJDVUgNM%253A%252C2yhQWa9DaBJNIM%252C_&usg=___nZRFwEDxWZvyEfZSGLYXqEyH5c%3D&sa=X&ved=0ahUKEwiY3ZnY_Z3cAhUCvlMKHTj6BesQ9QEIKjAA#imgrc=HHFSW2JJDVUg. [Último acceso: 14 7 2018].

[9] Y. Barrios, «Pymempresario,» 5 Agosto 2016. [En línea]. Available: https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/08/la-importancia-de-la-capacitacion-en-la-empresa/. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[10] J. J. G. Pineda, «Modelamiento en un entorno virtual de la celda de manufactura SMC-FMS-200,» Bogotá, 2015.

[11] V. A. Ruíz, «Métodos de sintonización de controladotes PID que operan como

servomecanismos,» *Ingeniería,* vol. 13, Diciembre/Enero 2003.

[12] E. Carletti, «Robots Argentina,» [En línea]. Available: http://robots-argentina.com.ar/MotorServo_basico.htm. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[13] Autodesk, «Autodesk,» [En línea]. Available: https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/cad-software. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[14] FESTO , «Festo Didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/equipos-de-practicas/neumatica/componentes/valvula-proporcional-de-5-3-vias.htm?fbid=aW50LmVzLjU1Ny4xNC4xOC41NjQuMzY3Mw. [Último acceso: 9 7 2018].

[15] FESTO, «Festo Didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/equipos-de-practicas/neumatica/componentes/potenciometro-lineal.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU2NC4zNDcx. [Último acceso: 9 7 2018].

[16] FESTO, «Festo,» [En línea]. Available: https://www.festo.com/cat/es-cl_cl/search?query=dgc. [Último acceso: 14 Marzo 2018].

[17] FESTO, «Festo,» [En línea]. Available: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ES/PDF/ES/SLM_ES.PDF. [Último acceso: 9 7 2018].

[18] «Pinterest,» [En línea]. Available: https://www.pinterest.at/pin/797770521468413314/. [Último acceso: 9 7 2018].

[19] FESTO, «Festo didactic,» [En línea]. Available: http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/00435451001075223684.pdf. [Último acceso: 13 7 2018].