



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño y simulación de un sistema neumático para línea de envasado

Autor

Roberto Jiménez Torres

Director/es

José Ignacio García Palacín

Facultad/Escuela

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Año

2016



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. ROBERTO JIMENEZ TORRES,

con nº de DNI 72993455B en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
GRADO, (Título del Trabajo)

DISEÑO Y SIMULACION DE UN SISTEMA NEUMATICO PARA LINEA DE ENVASADO

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, a 19 de Septiembre de 2016



Fdo: ROBERTO JIMENEZ TORRES

RESUMEN

Con este trabajo se pretende diseñar, simular y ejecutar el funcionamiento de un sistema neumático para una línea de envasado, aplicándose los conocimientos desde el punto de vista de la neumática e hidráulica y empleándose diversos actuadores neumáticos de distintos tamaños para realizar cada uno distintas operaciones.

Para su realización, se han empleado distintos materiales facilitados por el área de mecánica de fluidos de la universidad y posteriormente adaptados para conseguir la correcta ejecución y funcionamiento del diseño previamente realizado. Este diseño de la línea de envasado, ha sido realizado con ayuda del programas de simulación: AutomationStudio, de tal forma que se han desarrollado previamente todos los distintos circuitos neumáticos y eléctricos y una vez simulados con este software, ha sido montado todos sus circuitos tanto eléctricos, neumáticos e hidráulicos y además todo lo que lleva implícito(montaje de soportes, ajustes de actuadores, etc.) para llevarse y ejecutarse tal y como previamente ha sido diseñado.

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	3
2. INTRODUCCIÓN	4
3. ESTACIONES	6
3.1. ESTACIÓN 0: CONTROL START/STOP	6
3.1.1. DESCRIPCIÓN	6
3.1.2. ELEMENTOS NEUMÁTICOS	6
3.1.3. ESQUEMA NEUMÁTICO	6
3.2. ESTACIÓN 1: ALMACÉN RECIPIENTES	8
3.2.1. DESCRIPCIÓN	8
3.2.2. ELEMENTOS NEUMÁTICOS	8
3.2.3. ESQUEMA NEUMÁTICO	8
3.2.4. DIAGRAMA ESPACIO-FASE	10
3.2.5. ESQUEMA ELÉCTRICO	11
3.3. ESTACIÓN 2: LLENADO	13
3.3.1. DESCRIPCIÓN	13
3.3.2. ELEMENTOS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS	14
3.3.3. ESQUEMA ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO	14
3.3.4. ESQUEMA HIDRÁULICO	16
3.3.5. DIAGRAMA ESPACIO – FASE	17
3.4. ESTACIÓN 3: CIERRE	18
3.4.1. DESCRIPCIÓN	18
3.4.2. ELEMENTOS NEUMÁTICOS	18
3.4.3. ESQUEMA ELÉCTRICO Y NEUMÁTICO	20
3.4.4. DIAGRAMA ESPACIO – FASE	22
4. ANEXOS	26
4.1. ACTUADOR NEUMÁTICO M/46016/M/400	26
4.1.1. DATOS	26
4.1.2. CÁLCULOS	26
4.2. ACTUADOR NEUMÁTICO RM/8016/M/50	26
4.2.1. DATOS	26
4.2.2. CÁLCULOS	26
4.3. ACTUADOR NEUMÁTICO RM/28016/M/50	27
4.3.1. DATOS	27
4.3.2. CÁLCULOS	27
4.4. ACTUADOR NEUMÁTICO M/46040/L4/400	27
4.4.1. DATOS	27

4.4.2.	CÁLCULOS	27
5.	<u>CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN</u>	28
6.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	29

1. Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: BOMBA CASERA MUSEO DEL FUEGO Y DE LOS BOMBEROS DE ZARAGOZA	4
ILUSTRACIÓN 2: COMPARATIVA BOMBA DE CTSIBIO A LA IZQUIERDA Y BOMBA CASERA CONSTRUIDA CON SUS VALVULAS A LA DERECHA	5
ILUSTRACIÓN 3: ESQUEMA NEUMÁTICO DE LA ESTACIÓN START/STOP	7
ILUSTRACIÓN 4: ESQUEMA NEUMÁTICO ESTACIÓN 1, DISEÑADO EN AUTOMATIONSTUDIO.	9
ILUSTRACIÓN 5, MONTAJE ESTACIÓN 1 CARRERA DEL ACTUADOR DOBLE EFECTO SIN VÁSTAGO	10
TABLA 1: DIAGRAMA ESPACIO FASE ESTACIÓN 1	10
ILUSTRACIÓN 6: DETALLE SENSOR PROXIMIDAD MAGNÉTICO(Z), COLOCADO EN EL FINAL DE CARRERA ACTUADOR.	11
ILUSTRACIÓN 7: ESQUEMA ELÉCTRICO ESTACIÓN 1 DISEÑADO EN AUTOMATIONSTUDIO.	11
ILUSTRACIÓN 8, RECIPIENTE YA TRANSPORTADO AL FINAL DE LA CARRERA DEL ACTUADOR NEUMÁTICO PARA QUE INICIE SU CAMINO HACIA LA ESTACIÓN SIGUIENTE.	12
ILUSTRACIÓN 9: ESTACION 2, DEPÓSITO DE AGUA QUE ALIMENTA A LA BOMBA CASERA MOVIDO POR UN ACTUADOR NEUMÁTICO.	13
ILUSTRACIÓN 10: ESTACION 2, ACTUADOR DOBLE EFECTO MUEVE PISTÓN DENTRO DE CILINDRO METACRILATO Y VÁLVULAS ANTI RETORNO Y LLAVES HIDRÁULICAS Y LLENADO DE RECIPIENTE	13
ILUSTRACIÓN 11: ESQUEMA ELECTRO NEUMÁTICO ESTACIÓN 2 DISEÑADO Y SIMULADO EN AUTOMATIONSTUDIO	15
ILUSTRACIÓN 12, RAMAS ASPIRACIÓN Y EXPULSIÓN DEL LÍQUIDO CON SU LLAVE DE PASO Y VÁLVULAS ANTI RETORNO	16
TABLA 2: DIGRAMA ESPACIO – FASE ESTACIÓN DE LLENADO	17
ILUSTRACIÓN 13: DETALLE SENSORES DE PROXIMIDAD MAGNÉTICOS ACTIVADOS LED EN NARANJA, IZQUIERDA SENSOR PROXIMIDAD MAGNÉTICO “BAJAR” ACTIVADO, Y DERECHA SENSOR PROXIMIDAD MAGNÉTICO “SUBIR” ACTIVADO.	17
ILUSTRACIÓN 14, DETALLE UNIÓN DE LOS 2 ACTUADORES CILÍNDRICOS NEUMÁTICOS Y LA VENTOSA AL ACTUADOR NEUMÁTICO” DE TRANSPORTE”	18
ILUSTRACIÓN 15, :DETALLE UNIONES ACTUADORES EN ALMACÉN DE TAPONES.	19
ILUSTRACIÓN 16: DETALLE ACOPLE DE PVC UTILIZADO PARA PONER EL TAPÓN EN EL RECIPIENTE	20
ILUSTRACIÓN 17: ESQUEMA NEUMÁTICO DE LA ESTACIÓN 3 DISEÑADO Y SIMULADO EN AUTOMATIONSTUDIO	21
ILUSTRACIÓN 18: ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA ESTACIÓN 3 DISEÑADO Y SIMULADO EN AUTOMATIONSTUDIO	21
TABLA 3: DIAGRAMA ESPACIO – FASE ESTACIÓN 3	23
ILUSTRACIÓN 19, SENSOR PROXIMIDAD MAGNÉTICO, C, ACTIVADO LED NARANJA.	23
ILUSTRACIÓN 20, DETALLE SENSOR DE PROXIMIDAD MAGNÉTICO, B, COLOCADO EN EL FINAL DE CARRERA DEL CILINDRO DE TRANSPORTE, DESPLAZAMIENTO EN EL SISTEMA SOLIDARIO.	24
ILUSTRACIÓN 21, DETALLE SENSOR PROXIMIDAD MAGNÉTICO XA, ACTIVADO LED NARANJA. ACTUADOR PRESIONA TAPA.	24
ILUSTRACIÓN 22, DETALLE ACTUADOR JUSTO ANTES DE SOLTAR TAPA Y PRESIONAR LA A CONTRA EL RECIPIENTE	25

2. Introducción

Hoy en día el uso de sistemas hidráulicos y neumáticos es muy empleado en diversas áreas de la ingeniería industrial, máquinas de obras públicas y agrícolas, amortiguadores, frenos, pero en lo que nos vamos a centrar es en las operaciones industriales de manufactura que se utilizan en una línea de montaje de cualquier empresa que se dedique a esta labor en el mundo de la ingeniería, en concreto en una línea de envasado.

Hemos diseñado previamente con el software AutomationStudio y posteriormente llevado a la práctica todos sus circuitos neumáticos e hidráulicos centrándonos propiamente en lo que se refiere a los circuitos, los actuadores, la secuenciación y la lógica pensada, además de la laboriosa tarea de montar desde cero toda la estructura y materiales necesaria para poder llevar a cabo la idea diseñada inicialmente. La línea de montaje diseñada está compuesta principalmente por tres estaciones bien diferenciadas, que son:

- Estación 1: Almacenaje y transporte de recipientes
- Estación 2: Aspiración del líquido mediante bomba neumática y llenado del recipiente.
- Estación 3: Almacén y transporte de las tapas para el cierre de recipientes.

Estas tres estaciones están secuenciadas y coordinadas mediante un simulación de cinta transportadora que es la encargada de llevar de una estación a otra el recipiente desde el almacén, posteriormente su llenado de líquido y por último el cierre con su tapa correspondiente para cada recipiente. El encargado del movimiento de la cinta transportadora es llevado a la práctica con un motor de corriente continua, con sus respectivos sensores ópticos y finales de carrera para su inicio-parada de cada una de las correspondientes estaciones de las que está compuesto el proyecto.



Ilustración 1: Bomba casera museo del fuego y de los bomberos de Zaragoza

Para el diseño de la bomba, diseñada y construida para aspirar agua desde un depósito situado a una altura inferior, se ha tenido de ejemplo y se ha estudiado la bomba casera expuesta del museo del fuego de bomberos de Zaragoza, como se puede ver en la *ilustración 1*.

Esta bomba se construyó también de manera manual y su uso requiere el esfuerzo humano para aspirar agua, de forma distinta a la que se emplea en nuestro proyecto debido a que se ha acoplado, un cilindro actuador neumático de doble efecto de la marca Norgren y modelo RM/8016/M/50 con su correspondiente válvula distribuidora más adelante explicado, para que en nuestro caso la transformación de la energía del fluido, en nuestro caso aire a presión, en trabajo mecánico.

El funcionamiento en el cual está basado esta bomba casera es el mismo que en el funcionamiento que se construyó en el siglo III a. C por Ctesibio inventor y matemático griego. Esta bomba, como se muestra en la *ilustración 2*, está compuesta por dos recipientes idénticos de bronce, unidos por medio de un tubo en forma de horquilla que contiene las válvulas que se abren y cierran alternativamente para dar continuidad a la salida del agua. Cada uno de los cilindros de bronce posee a su vez un pistón, a través del cual entra el agua en el aparato. A diferencia de la bomba construida para este trabajo, se accionaba moviendo de arriba abajo con la mano una palanca de madera.

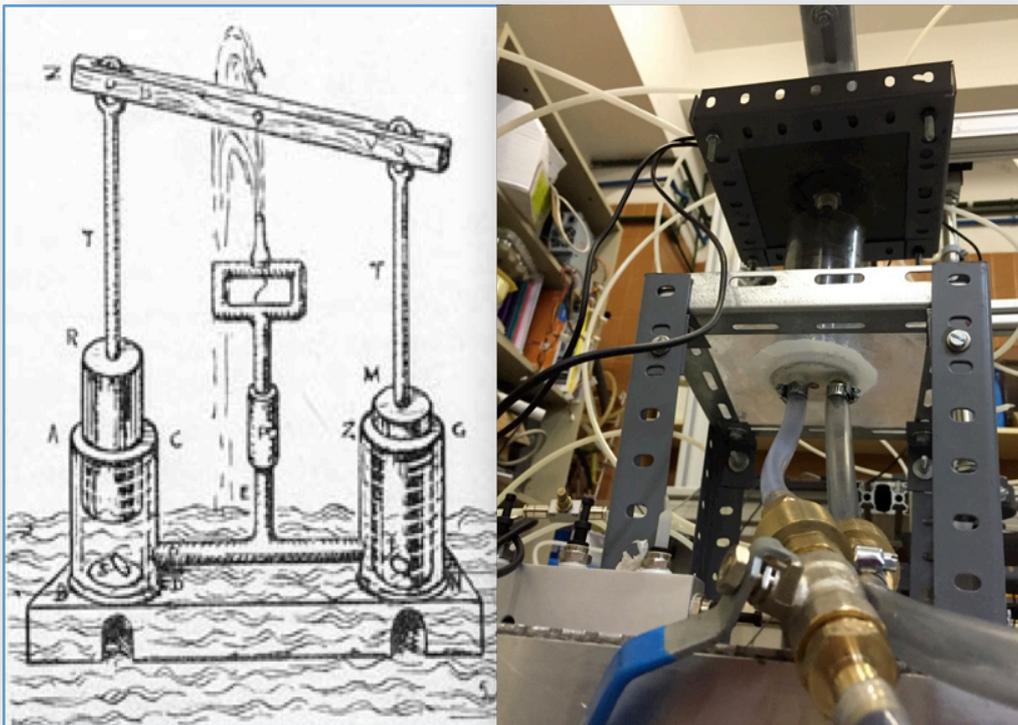


Ilustración 2: Comparativa Bomba de Ctesibio a la izquierda y bomba casera construida con sus válvulas a la derecha

3.Estaciones

En este apartado vamos a describir cada una de las estaciones a detalle con sus distintos elementos empleados, secuencia de activación-desactivación y su explicación.

3.1.Estación 0: Control START/STOP

3.1.1. Descripción

El motivo de esta estación es el control de cuanta presión queremos en el circuito neumático y el control de cuando y como queremos que pase la presión y así poder parar en caso de una emergencia cuando se desee y poder reanudarse sin problema. Por otro lado, esta estación es la encargada de alimentar a todas las demás, es decir, la salida de presión de esta estación de control START/STOP, está conectada a las entradas de presión necesarias de cada una de las otras tres estaciones de las que se compone el proyecto.

3.1.2. Elementos Neumáticos

Los elementos empleados para controlar la presión son:

- Regulador de presión, modelo R72G/2GK/RMN fabricante Norgren, con el cual decidimos cuanta presión queremos dejar pasar a nuestro proyecto. Además, su función es la de mantener constante la presión de trabajo, sean cuales fueren las oscilaciones de presión en la red y en el consumo de aire y no dañar ninguno de los componentes.
- Manómetro(acoplado al regulador de presión),modelo 18/013/989 para saber cuánta presión está pasando en tiempo real.
- Válvula distribuidora de presión 3/2 normalmente cerrada pilotada presión/presión, modelo V19A3DDAX0020 fabricante Norgren ,encargada de dejar pasar presión según su pilotaje.
- Válvula distribuidora de presión 3/2 normalmente cerrada pilotada Interruptor/Muelle, modelo QM/1553/21 fabricante Norgren, mediante la cual pulsando su interruptor, habrá presión en el circuito, función de START.
- Válvula distribuidora de presión 3/2 normalmente cerrada pilotada Interruptor/Muelle, modelo QM/1553/21 fabricante Norgren, mediante la cual pulsando su interruptor, dejará de haber presión en el circuito, función de STOP.

3.1.3. Esquema Neumático

Como se puede observar en la *ilustración 3*, las válvulas de START(en verde)/STOP(en rojo) están pilotando la válvula distribuidora 3/2 normalmente cerrada. El funcionamiento en esta estación es sencillo, ya que nos viene la presión filtrada en 1,luego en el punto 2,después del regulador de presión ya tenemos la presión deseada,6 bar ya que con los actuadores neumáticos que vamos a trabajar su funcionamiento ideal según sus datasheet así lo indican. Una vez tenemos la presión adecuada, esta alimenta a las dos válvulas 3/2 interruptor/muelle que al accionar una u otra, según se desee, pilotan la otra válvula distribuidora 3/2 que esta es la encargada de dejar salir o no presión a las demás estaciones del proyecto.

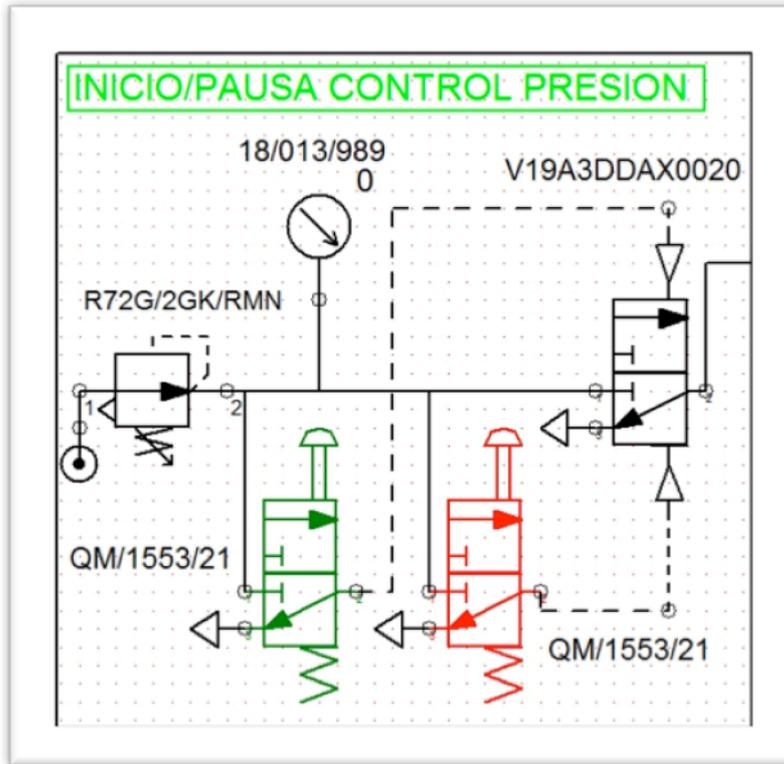


Ilustración 3: Esquema neumático de la estación START/STOP

3.2. Estación 1: Almacén recipientes

3.2.1. Descripción

La primera estación es la encargada de almacenar todos los recipientes utilizados, los cuales son transportados mediante un sistema ventosa-actuador. Este sistema está formado por dos partes; la primera la ventosa que hace que la aspiración sobre el recipiente utilizado quede adherido a la ventosa hasta que esta deje de aspirar y la segunda el cilindro actuador neumático de doble efecto que permite el desplazamiento de la ventosa y por consiguiente, del recipiente hasta la cinta transportadora.

3.2.2. Elementos Neumáticos

En esta estación hemos empleado los siguientes elementos neumáticos:

- Cilindro actuador neumático de doble efecto con pistón magnético sin vástago, modelo M/46016/M/400 fabricante Norgren, hemos escogido este cilindro debido a su amplia carrera (400 milímetros) y poder así transportar los recipientes una amplia distancia.
- Válvula distribuidora 5/2 pilotada solenoide/solenoide, modelo V19A517AB213, empleada para controlar el actuador antes mencionado.
- Válvula reguladora de caudal, modelo T/100/M/0500 fabricante Norgren, empleado para controlar la velocidad de desplazamiento del actuador dependiendo de la cantidad de aire que dejemos pasar a través de él, siendo regulable.
- Válvula distribuidora 3/2 pilotada presión/muelle, modelo V60A3D7AX5090 fabricante Norgren y utilizada para controlar la válvula de vacío y su ventosa.
- Generador de vacío modelo M/58112/09 fabricante Norgren empleada para como su nombre indica, generar vacío cuando por ella pase presión y poder así aspirar la con la ventosa descrita a continuación.
- Ventosa M/58404/02 fabricante Norgren, empleada como hemos comentado para succionar los recipientes y así siendo solidario con el actuador neumático de doble efecto, poderlos transportar debido a su fuerza de aspiración.

3.2.3. Esquema neumático

Como se puede observar en el esquema neumático de la *ilustración 4*, están presentes todos los elementos descritos en el apartado anterior, hemos de entender, como ya hemos explicado en anteriormente, que la ventosa se mueve con el desplazamientos del actuador, por lo que es solidaria a él. El funcionamiento de esta estación comienza cuando llega presión a las válvulas distribuidoras, ambas conectadas a la salida de presión de la estación de control de presión START/STOP, es decir, una vez se pulse START, se inicia esta estación.

El primer evento que ocurre es que la válvula distribuidora 3/2 alimenta al generador de vacío y este se encarga de empezar la aspiración del recipiente, a una vez aspirado la válvula distribuidora comienza 5/3 alimenta el actuador neumático y este comienza su salida, por lo que transporta el recipiente una distancia equivalente a la longitud de su carrera, 400 milímetros.

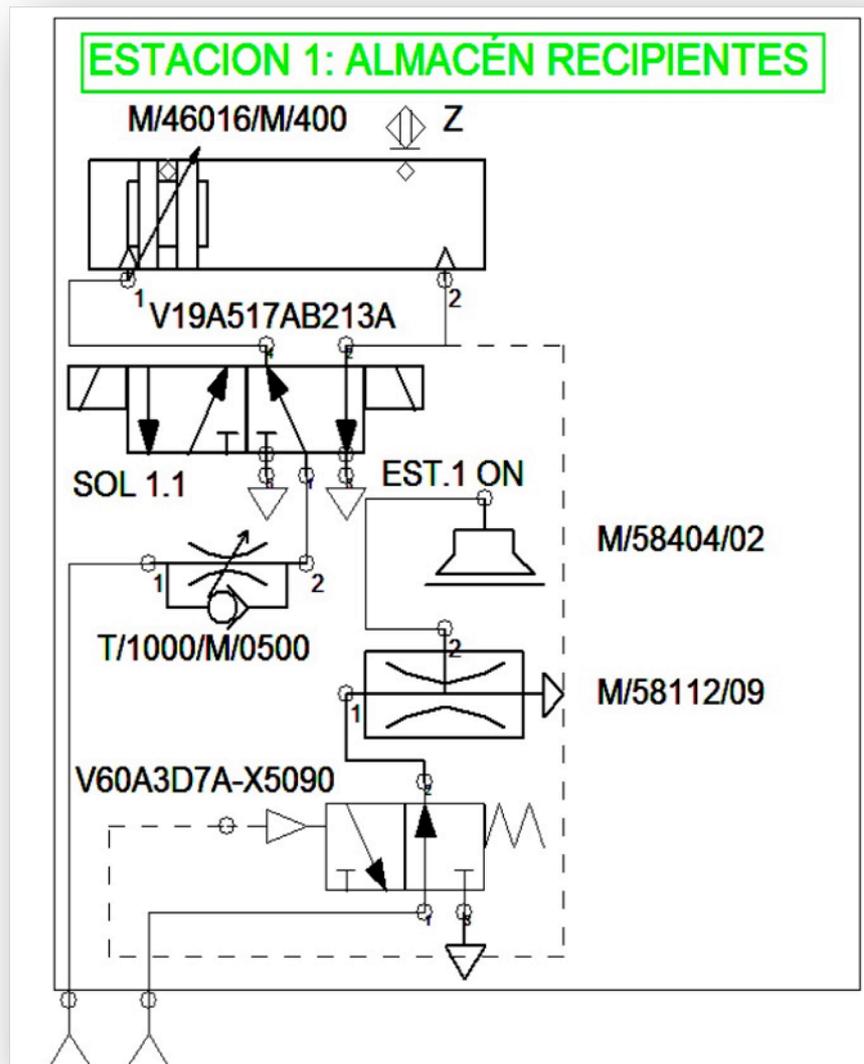


Ilustración 4: Esquema Neumático estación 1, diseñado en AutomationStudio

Una vez llega al final de su carrera, existe un sensor de proximidad magnético (Z) que nos avisa de ello por lo que sucederán dos eventos; por un lado cambiara el estado de la válvula distribuidora 5/3 haciendo entrar el actuador a su posición inicial y por otro al cambiar de estado esta válvula 5/3 hace que deje de aspirar la ventosa, debido a que la válvula 3/2 tiene el pilotaje de presión que se activa cuando la distribuidora 5/3 cambia de estado, por lo que dejara de haber presión en el generador de vacío y este ya no mandará vacío a la ventosa, por lo que dejara de aspirar el bote y este se deposita en el sitio deseado.

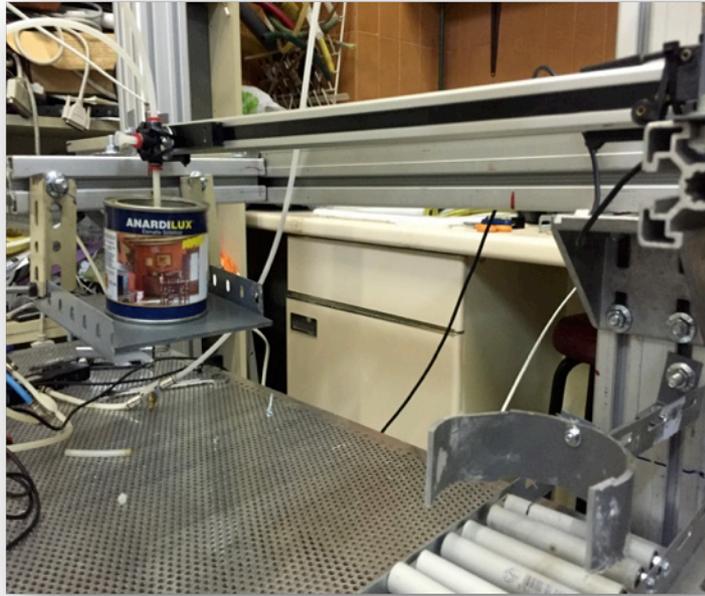


Ilustración 5. montaje estación 1 carrera del actuador doble efecto sin vástago

3.2.4. Diagrama espacio-fase

En el diagrama espacio-fase representado a continuación, se puede ver la secuencia de eventos que suceden en esta estación.

Como se puede observar la secuencia de esta estación es: A+B+A-B-, siendo el sensor de proximidad magnético Z, el cual hace que el cilindro A entre y que la ventosa B, deje de succionar.

ELEMENTO	NOMBRE	FUNCION	POSICION	FASE	
				1	2
Cilindro actuador neumático doble efecto sin vástago, M/46016/M/400	A	Traslado recipientes desde almacén a sistema de transporte	1		
			0		
			0		
Ventosa, M/58404/02	B	Aspirar el recipiente para que sea solidario al actuador y pueda ser transportado	1		
			0		
			0		

Tabla 1: diagrama espacio fase estación 1



Ilustración 6: Detalle sensor proximidad magnético(Z), colocado en el final de carrera actuador.

3.2.5. Esquema eléctrico

A continuación como se observa en la *ilustración 7*, vamos a describir el esquema eléctrico empleado en esta estación.

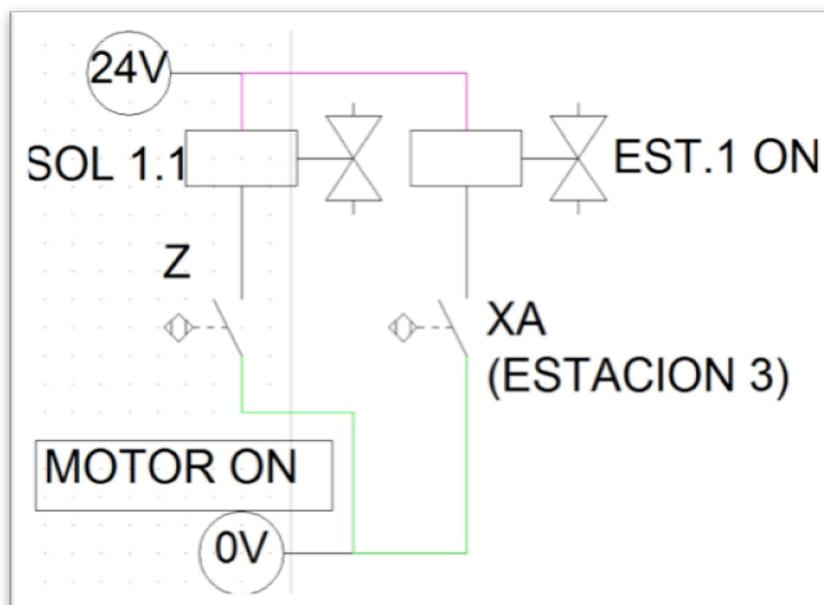


Ilustración 7: Esquema eléctrico estación 1 diseñado en AutomationStudio

En él, podemos observar dos líneas principales, la línea de la izquierda con un solenoide y el detector de proximidad magnético que está situado en el final de carrera del actuador neumático empleado en esta estación, por lo que esta primera línea eléctrica se activará cuando el actuador neumático llegue al final de su carrera, entonces al pasar corriente eléctrica por el solenoide 1.1 sucederán dos eventos.

En primer lugar conmutara la electroválvula distribuidora 5/2, haciendo que vuelva el cilindro a su posición inicial y por otro lado al pasar corriente por esta primera línea eléctrica, como se ve en la *ilustración 7*, también pasara corriente por el motor cc encargado del transporte del recipiente entre las distintas estaciones comprendidas en el proyecto, por lo que comenzara su movimiento, pues el recipiente ya estará depositado en su posición para ser transportado, como vemos en la *ilustración 8*.

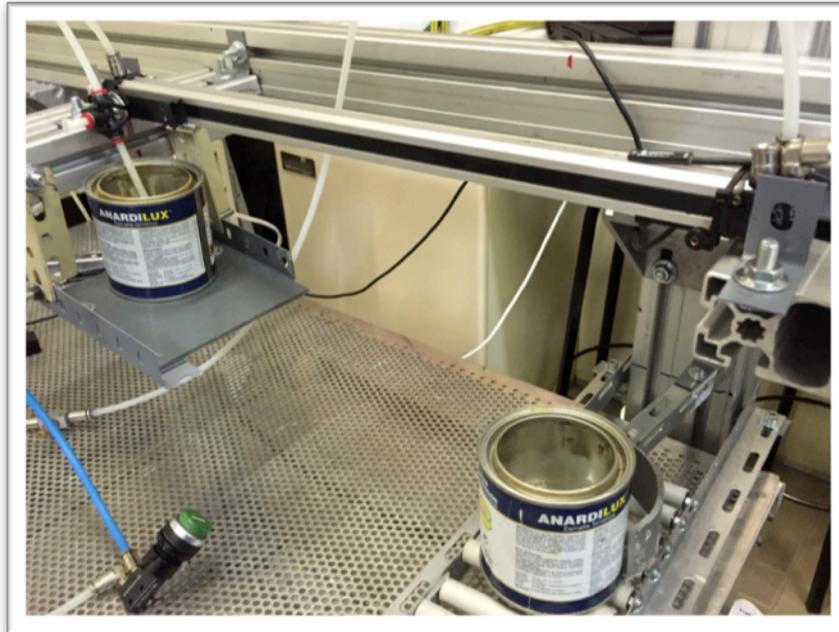


Ilustración 8, recipiente ya transportado al final de la carrera del actuador neumático para que inicie su camino hacia la estación siguiente.

3.3. Estación 2: Llenado

3.3.1. Descripción

Esta estación es la encargada de aspirar y expulsar agua mediante un pistón manualmente, gracias a la labor del actuador cilíndrico neumático de doble efecto, como se puede ver en la *ilustración 9 y 10*.



Ilustración 9: Estación 2, depósito de agua que alimenta a la bomba casera movido por un actuador neumático.

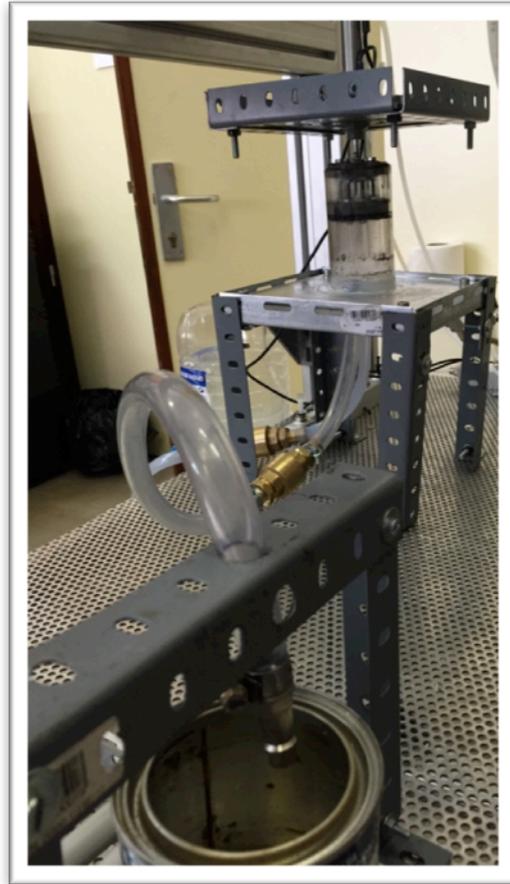


Ilustración 10: Estación 2, actuador doble efecto mueve pistón dentro de cilindro metacrilato y válvulas anti retorno y llaves hidráulicas y llenado de recipiente.

Esta aspiración, se lleva a cabo desde un depósito de agua situado a un nivel inferior a la bomba, pues esta se encarga de hacer la depresión suficiente como para vencer esa diferencia de altura. Una vez succionada el agua por la bomba, esta a su vez, se encarga también de llenar de agua los recipientes utilizados en la estación 1 y que mediante el sistema de transporte llegan a esta estación, es decir que cuando el actuador neumático sale, el pistón desciende verticalmente dentro del cilindro de metacrilato por lo que la presión aumenta dentro de él haciendo que el agua salga hacia el recipiente para su llenado y cuando el actuador neumático entra, el pistón asciende dentro del cilindro, haciendo que la presión disminuya y que el agua del depósito ascienda hasta el pistón.

3.3.2. Elementos neumáticos e hidráulicos

En primer lugar vamos a enumerar los elementos neumáticos:

- Cilindro actuador neumático de doble efecto con pistón magnético con vástago, modelo RM/8016/M/50 fabricante Norgren, hemos escogido este cilindro debido su doble efecto, para tener fuerza suficiente tanto en su salida(expulsión de agua) como en su entrada(aspiración de agua) y por lo tanto mover el pistón dentro del cilindro de metacrilato.
- Válvula distribuidora 5/2 pilotada solenoide/solenoide, modelo V19A517AB213A fabricante Norgren, empleada para controlar el actuador antes mencionado.
- Dos válvulas reguladoras de caudal, modelo T/100/M/0500 fabricante Norgren, empleadas para controlar la velocidad tanto de salida como de entrada independientemente.
- Válvula distribuidora 3/2 NC pilotada solenoide/solenoide, modelo V19A311AB200A fabricante Norgren y utilizada para dar señal de inicio, de la estación cuando el recipiente llega a esta y señal de parado, cuando el recipiente ya se ha llenado de líquido.

Como en esta estación empleamos el agua como líquido para el llenado del recipiente, necesitamos los siguientes elementos hidráulicos para su tratamiento, que son:

- Dos válvulas anti retorno, una en la rama hidráulica que va del depósito al cilindro-pistón utilizada para impedir el retroceso del líquido hacia el depósito cuando el pistón descienda y empuje el agua al recipiente y la otra en la línea que va desde el cilindro hasta el recipiente, que su función es impedir el retroceso del agua hacia el cilindro-pistón cuando el pistón ascienda y aspire el agua del depósito.
- Llave de paso de esfera hidráulica ,para permitir el paso o no del agua desde el depósito al cilindro-pistón.

3.3.3. Esquema eléctrico y neumático

En este caso, el esquema neumático es más sencillo ya que solo utilizamos un actuador neumático, el cuál es el siguiente.

Como observamos en la *ilustración 11*, el que comience el pistón a desplazarse para aspirar y expulsar líquido al recipiente depende de la activación de la válvula 3/2 ya que es normalmente cerrada, por lo que hasta que no se active el sensor 1 no se inicia.

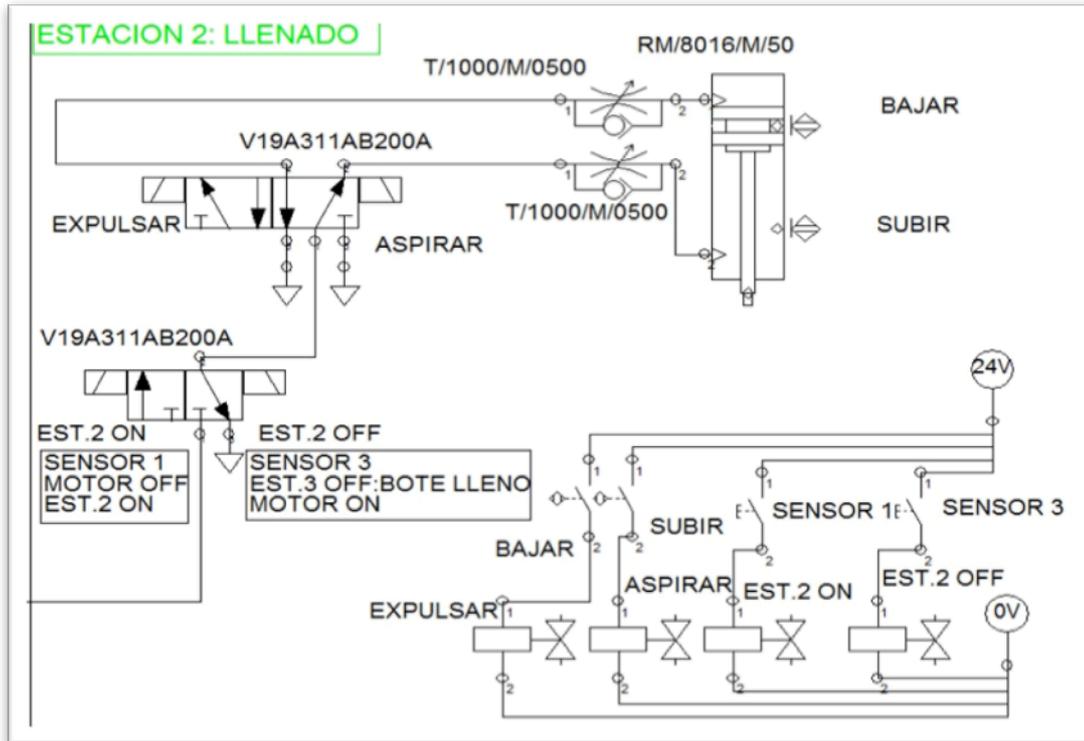


Ilustración 11: Esquema electro neumático estación 2 diseñado y simulado en AutomationStudio.

Nosotros hemos simulado los sensores 1 y 3 como pulsadores en el circuito eléctrico, pues ambos comportan como tal, ya que nos darán una señal eléctrica cuando, el recipiente llegue mediante el sistema de transporte entre estaciones y cuando el recipiente este lleno de líquido en su interior respectivamente. Una vez se conmuta la electroválvula 3/2 NC, pasa presión a la electroválvula que controla el actuador neumático y por lo que este comenzara su salida empezando a llenar el recipiente.

Como el recipiente empleado tiene 375 mililitros de volumen y la carrera del actuador neumático es de 50 milímetros y el diámetro del pistón es de 54 milímetros, por cada vez que salga el actuador cilíndrico, habrá llenado una cantidad de:

$$\text{Volumen}_{\text{SALIDA}}^{\text{AGUA}}_{\text{PISTON}} = \text{Carrera}_{\text{act.neumatico}} * \text{Area}_{\text{cilindrometacrilato}}$$

$$\text{Volumen}_{\text{SALIDA}}^{\text{AGUA}}_{\text{cilindrometacrilato}} = 50 * \frac{\pi * 54^2}{4}$$

$$\text{Volumen}_{\text{SALIDA}}^{\text{AGUA}}_{\text{PISTON}} = 114511,05 \text{ mm}^3 = 114,51 \text{ ml}$$

$$\text{Es decir, necesitamos : } \frac{\text{Volumen recipiente}}{\text{Volumen}_{\text{SALIDA}}^{\text{AGUA}}_{\text{PISTON}}} = \frac{375 \text{ ml}}{114,51 \text{ ml}} \cong 3$$

veces la salida del cilindro actuador neumático para llenarlo.

Cuando el sensor 3 detecte que el recipiente está lleno, el solenoide “EST.2 OFF”, se activara la que hará conmutar la electroválvula lo que hará que no pase presión a la otra electro válvula 5/2 y se parara la estación de llenado.

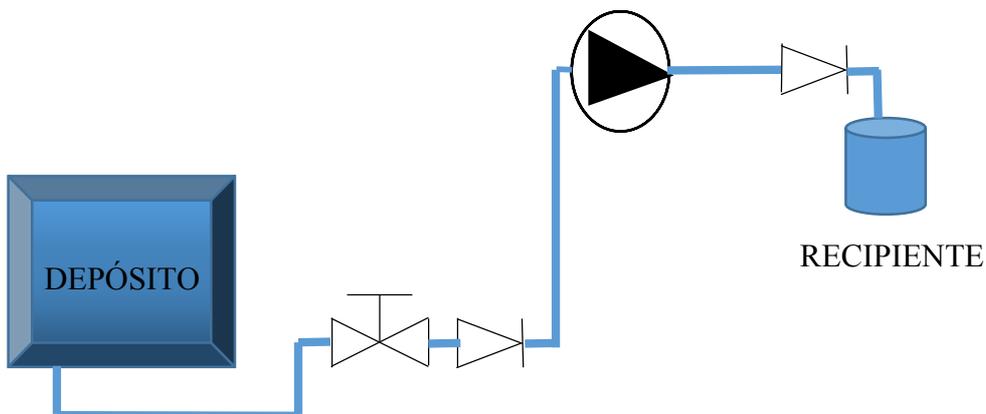
3.3.4. Esquema hidráulico

El esquema hidráulico que se ha empleado, se divide en dos ramas como se puede ver en la *ilustración 12*.



Ilustración 12, ramas aspiración y expulsión del líquido con su llave de paso y válvulas anti retorno

La rama de la izquierda de la foto, es la que va del depósito al cilindro pistón, en la que tiene en su camino en primer lugar la llave de paso y unida a ella una válvula anti retorno no dejando pasar agua en sentido del depósito.



La rama de la derecha es la que va del cilindro pistón al recipiente, esta tiene únicamente otra válvula anti retorno impidiendo pasar agua en sentido del cilindro-pistón.

3.3.5. Diagrama espacio – Fase

En este caso, es sencillo la secuencia de esta estación: B+B- , que se repetirá hasta que se detecte lleno el recipiente de líquido.

ELEMENTO	IDENTIFICADOR	FUNCION	POSICION	FASE
Cilindro actuador neumatico doble efecto,RM/8016/M/50	B	Aspirar agua del deposito(B-)y expulsar agua(B+) hacia el recipientepara su llenado	1	1
				2
			0	

Tabla 2: digrama espacio – fase estación de llenado

Como se observa, el evento que hace que cambie de salir a entrar el cilindro actuador ,cambio de la fase 1 a la fase 2 del diagrama, son los sensores de proximidad magnéticos colocados en el inicio y el final de la carrera del actuador, que conmutan la electroválvula 5/2 que controla este actuador neumático, como se puede ver en la *ilustración 13*.

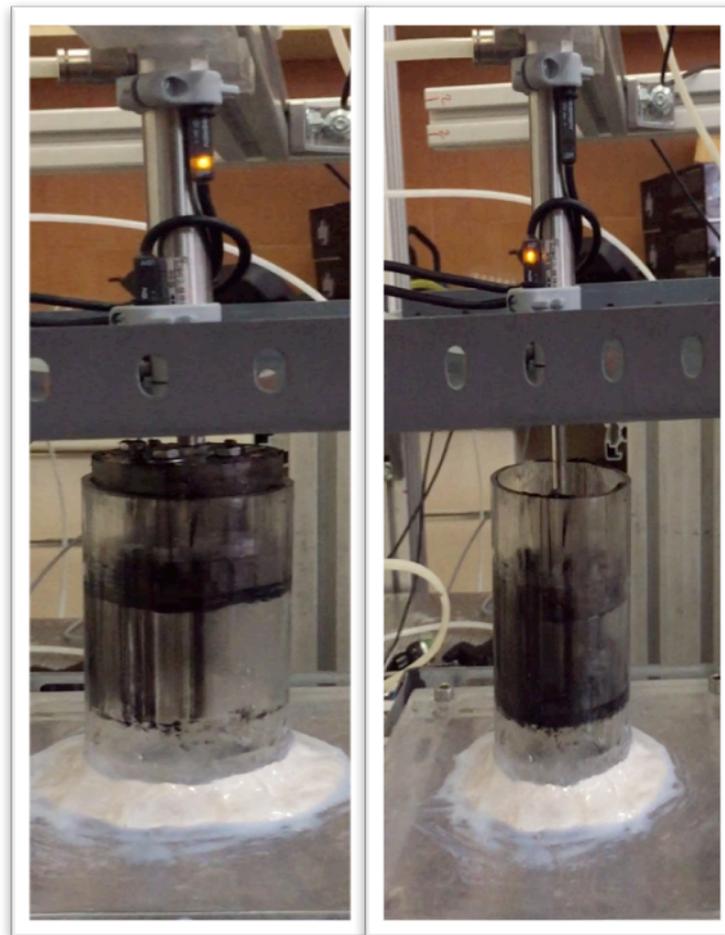


Ilustración 13:Detalle sensores de proximidad magnéticos activados led en naranja, izquierda sensor proximidad magnético “BAJAR” activado, y derecha sensor proximidad magnético “SUBIR” activado.

3.4. Estación 3: Cierre

3.4.1. Descripción

Esta última estación es la encargada de transportar los tapones del recipiente desde un almacén donde se encuentran almacenados, hasta donde se encuentra el recipiente llenado de líquido de la estación anterior, que una vez es transportado el tapón, el cual es colocado en el recipiente quedando cerrado al terminar la estación 3.

El traslado del tapón desde su almacén hasta su posterior colocado en el recipiente, se realiza mediante un sistema parecido al de la estación 1, ventosa solidaria a un actuador para su transporte.

Este sistema está compuesto por un actuador neumático sin vástago de amplia longitud de carrera, 400 milímetros, al cual han sido acoplados dos actuadores cilíndricos y una ventosa, como se puede ver en la *ilustración 14*.

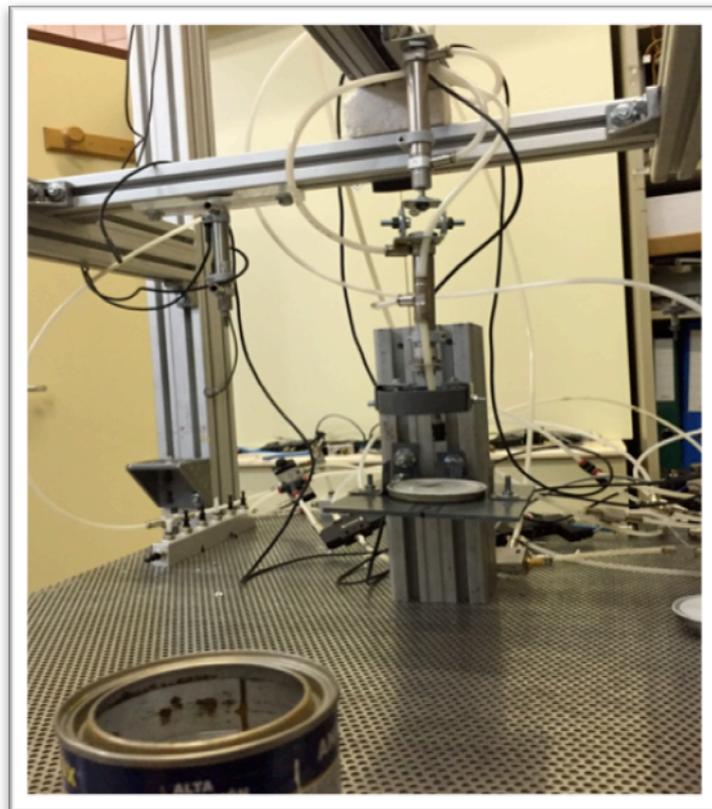


Ilustración 14, detalle unión de los 2 actuadores cilíndricos neumáticos y la ventosa al actuador neumático de transporte

3.4.2. Elementos neumáticos

En esta estación hemos empleado los siguientes elementos neumáticos:

- Actuador neumático de doble efecto magnético, modelo M/46040/L4/400 fabricante Norgren, de amplia longitud de carrera aprovechado para el traslado del tapón hasta el recipiente.
- Válvulas reguladores de caudal modelo T/1000/M/0500 fabricante Norgren empleados para variar las velocidades de salida y entrada de todos los actuadores empleados en esta estación.

- Válvula distribuidora 5/2 pilotada solenoide/solenoide modelo V19A17AB213A fabricante Norgren, mediante la cual controlamos el actuador de transporte antes citado.
- Cilindro actuador neumático de doble efecto magnético modelo RM/8016/M/50 fabricante Norgren, con el somos capaces de desplazar verticalmente la ventosa para que esta lo succione y pueda ser transportado el tapón. Este cilindro esta acoplado al actuador neumático de larga carrera y este a su vez está unido al cilindro de simple efecto de retorno por muelle posteriormente descrito como se observa en la *ilustración 15*.



*Ilustración 15.:*Detalle uniones actuadores en almacén de tapones.

- Válvula distribuidora 5/2 pilotada solenoide/solenoide modelo V19A517AB213A fabricante Norgren, con la que se alimenta y controla el cilindro de doble efecto.
- Cilindro actuador neumático magnético con retorno por muelle modelo RM/28016/M/50 fabricante Norgren, mediante el cual ha sido acoplado un anillo de PVC con las medidas del tapón para su apriete en el recipiente, como se muestra en la *ilustración 16*.



Ilustración 16: detalle acople de PVC utilizado para poner el tapón en el recipiente

- Generador de vacío modelo M/58112/09 fabricante Norgren, empleada para hacer succionar la ventosa cuando por ella pasa presión.
- Ventosa modelo M/58404/02 fabricante Norgren, mediante la cual somos capaces de succionar el tape del recipiente y su traslado desde el almacén.
- Válvula distribuidora 3/2 NC pilotada presión/presión modelo V19A3DDAX0020 fabricante Norgren, utilizada para alimentar y conmutar la presión que le llega al generador de vacío.
- Válvula distribuidora 3/2 NC pilotada presión/muelle modelo V60A3D7A-X5090 fabricante Norgren, empleada para alimentar y controlar el cilindro actuador de simple efecto de retorno con muelle.
- Válvula de selectora de circuito de simultaneidad, empleada para realizar la función lógica ‘AND’.

3.4.3. Esquema eléctrico y neumático

Como se muestra en las *ilustraciones 17,18*, el inicio de la estación ocurre cuando el recipiente llega a la posición que el sensor 2 detecta, entonces este manda una señal eléctrica activando el solenoide llamado en la *ilustración 18* como EST.3 ON, por lo que la salida de presión ha sido conmutada y el cilindro actuador neumático de doble efecto comienza a descender.

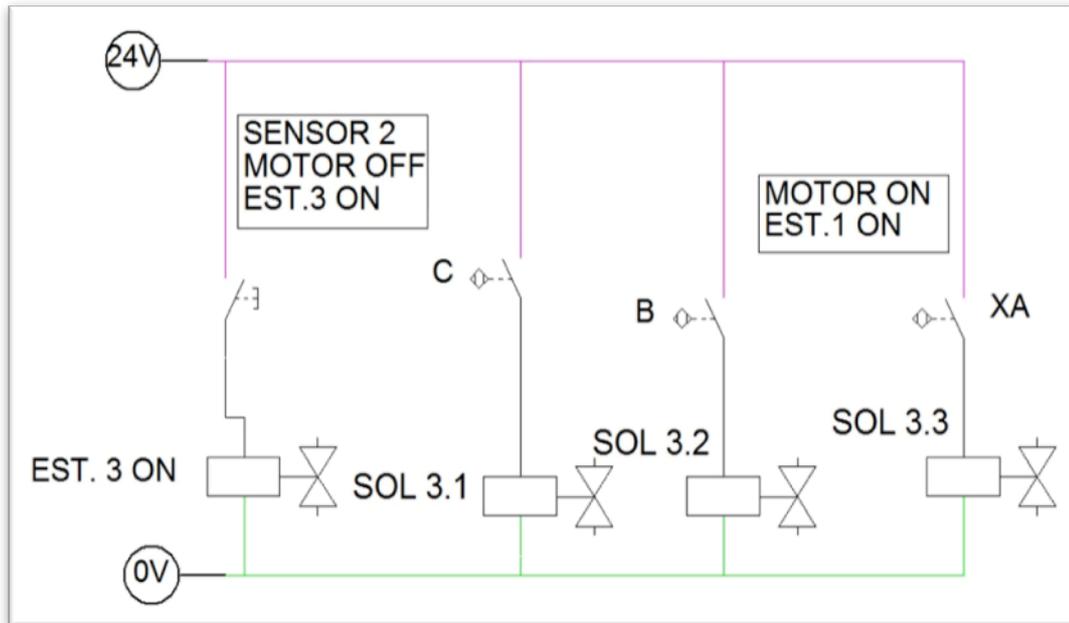


Ilustración 17: Esquema neumático de la estación 3 diseñado y simulado en AutomationStudio

Una vez este actuador llega al final de su carrera, el señor de proximidad magnético manda señal eléctrica al solenoide 3.1, *ilustración 18*, conmuta la electroválvula 5/2 y entonces ocurren dos eventos;

- primero se activa el pilotaje de la válvula 3/2 NC por lo que manda presión a la válvula de simultaneidad (función lógica 'AND') y esta al tener presión por ambas de sus entradas, sale presión de ella hacia el generador de vacío haciendo que la ventosa aspire el tapón.

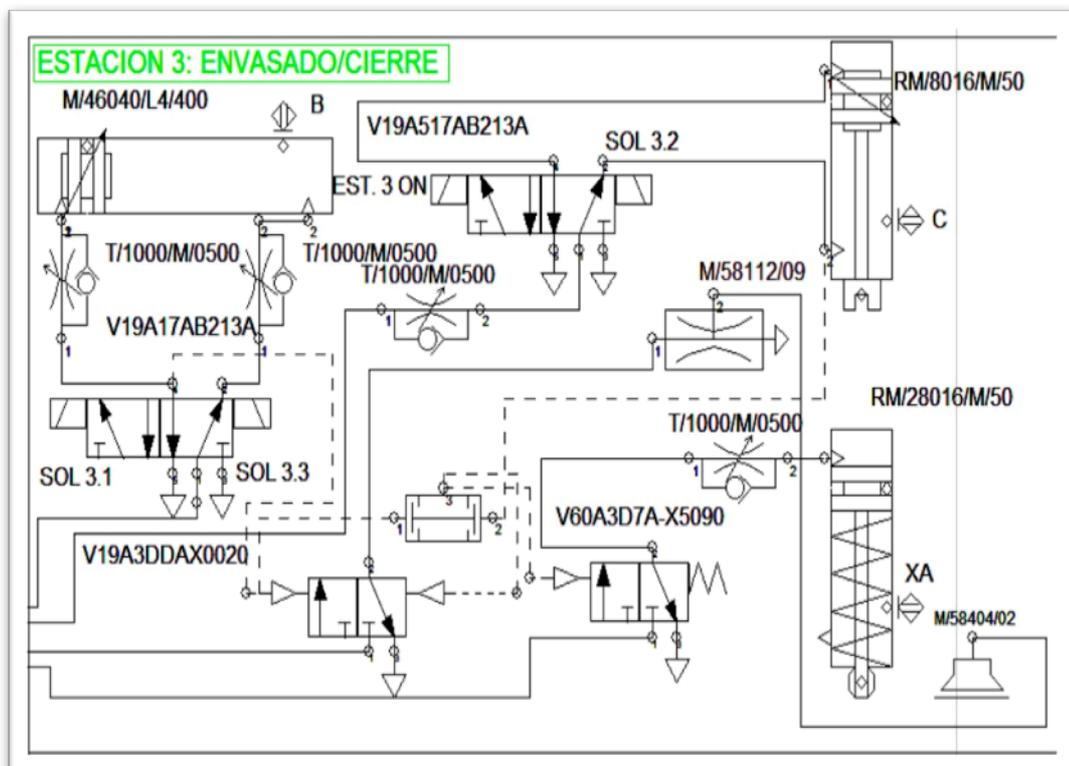


Ilustración 18: Esquema eléctrico de la estación 3 diseñado y simulado en AutomationStudio

- el segundo evento que ocurre es el comienzo de la salida actuador de amplia longitud de carrera (M/46040/L4/400), por lo que se comienza el transporte horizontal, tanto de los dos cilindros actuadores como de la ventosa ya con el tapón succionado.

Tan pronto como el actuador utilizado para el transporte horizontal llegue al final de su carrera, activará el sensor de proximidad magnético B, que hace que ocurran tres eventos simultáneos;

- primer lugar activa el solenoide 3.2 y entonces la electroválvula 5/3 que controla el cilindro de doble efecto conmuta, haciendo que este actuador comience a entrar, ascendiendo verticalmente y volviendo a su posición inicial.
- En segundo lugar, al conmutar la electroválvula 5/2, hace que ya no salga presión por donde hasta ahora (actuador saliendo), y entonces al conmutar cambia la salida de presión cambia, por lo que conmuta la válvula 3/2 NC al estar pilotada por presión dejándola en su estado inicial. Al no salir presión de ella, deja de salir presión también por la válvula de simultaneidad, pues a una de sus dos entradas ya no llega presión, por lo que a su vez al generador de vacío tampoco genera vacío y deja de succionar la ventosa, depositando el tapón en la parte superior del recipiente.
- Y en tercer lugar, al activar el solenoide 3.2 sale presión hacia la válvula de simultaneidad y esta al tener presión en ambas de sus entradas, por su salida sale presión para pilotar la válvula 3/2 NC presión/muelle, que conmuta debido a su pilotaje que le llega de la válvula de simultaneidad haciendo que comience el descenso del cilindro actuador presionando la tapa en el recipiente quedando totalmente cerrado cuando este actuador llega el final de su carrera, en el cual está colocado un sensor de proximidad magnético XA, el cual hace que ocurran varios eventos:
 - activa el solenoide 3.3 de la electro válvula 5/2 que controla el actuador de desplazamientos, por lo que hace que este comienza su entrada y la vuelta a su posición inicial.
 - Por otro lado, activa el motor de desplazamiento del sistema de transporte entre estaciones haciendo que este recipiente ya lleno de líquido y cerrado con el tapón avance.
 - Y por último y para volver a iniciarse el ciclo de nuevo, este sensor de proximidad magnético XA, activa el solenoide EST.1 ON, *ilustración 7*, por lo que se activará de nuevo la estación 1.

3.4.4. Diagrama espacio – Fase

En esta estación, como podemos ver en la *tabla 3*, la secuencia de eventos es: D+G+E+D-G-F+E-F-

Este diagrama está compuesto por cuatro fases, en las que el cambio de una fase a otra es debido al suceso de un evento que a continuación vamos a explicar cronológicamente.

El inicio de esta estación sucede cuando el sensor 2, *ilustración 18*, detecta que el recipiente ha llegado, el motor encargado de su transporte se desactiva y por otro lado el

ELEMENTO	IDENTIFICADOR	FUNCION	POSICION	FASE			
				1	2	3	4
Cilindro actuador neumatico doble efecto con vástago, RM/8016/M/50	D	Trasladar la ventosa G verticalmente	1				
			0				
Actuador neumatico doble efecto sin vástago, M/46040/L4/400	E	Trasladar horizontalmente, los actuadores D y F y la ventosa G	1				
			0				
Cilindro actuador neumatico de simple efecto con vástago y retorno por muelle, RM/28016/M/50	F	Descender el tapón y ponerlo al recipiente	1				
			0				
Ventosa, M/58404/02	G	Aspirar el tapón	1				
			0				

Tabla 3: diagrama espacio – fase estación 3

actuador D empieza a salir, este es el cambio de la fase 0 a la 1. El segundo evento, es decir, lo que hace que se cambie de la fase 1 a la 2, es debido al final de carrera del cilindro actuador de doble efecto D, representado: d1, letra asignada en minúscula y un 1 porque es el final de carrera. Este final de carrera ha sido como hemos visto con el sensor de proximidad magnético C, *ilustración 19*.

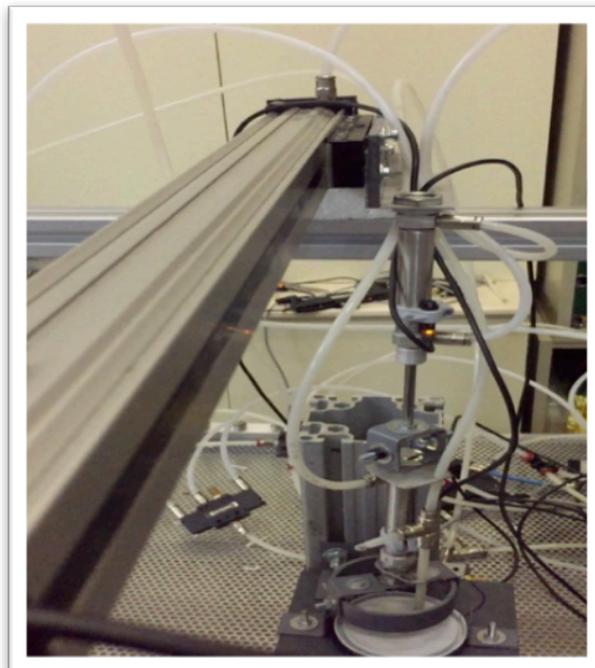


Ilustración 19, sensor proximidad magnético, C, activado led naranja.

El tercer evento que sucede el cambio de fase de la fase 2 a la fase 3, es debido al final de carrera del actuador de amplia carrera E, e1, gracias al sensor de proximidad magnético B, *ilustración 20*.

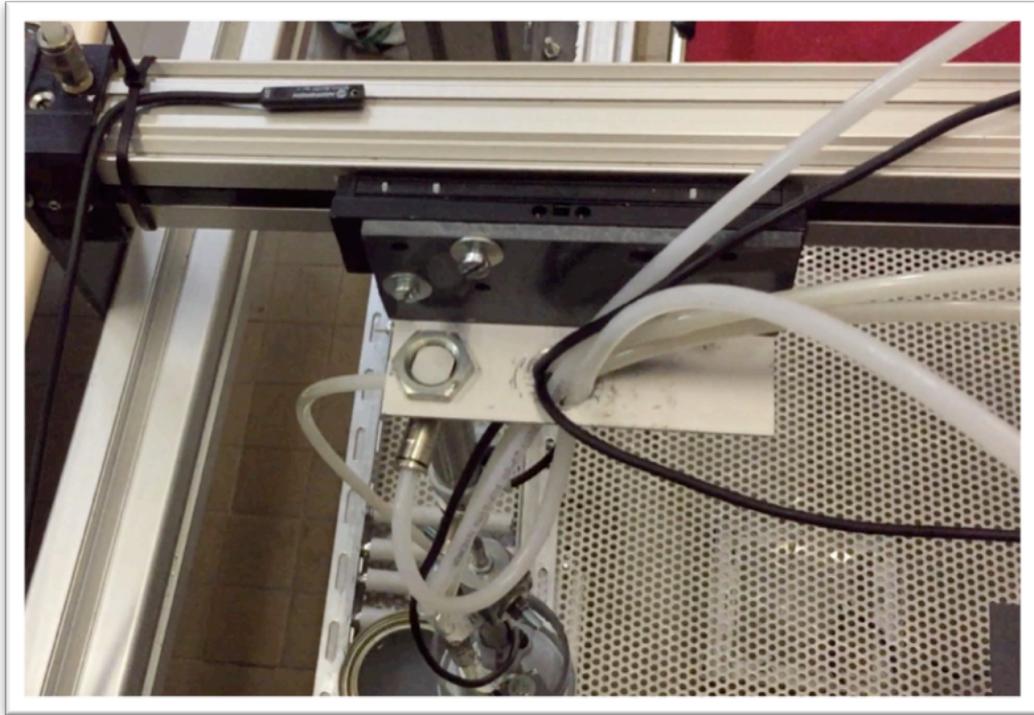


Ilustración 20, detalle sensor de proximidad magnético, B , colocado en el final de carrera del cilindro de transporte, desplazamiento en el sistema solidario.

El siguiente evento que sucede el cambio de la fase 3 a la 4, se explica gracias a la llegada al final de carrera de F,f1, teniendo esta información ya hemos colocado otro sensor de proximidad magnético XA, ver *ilustración 21*, el cual también hace que comience de nuevo la estación 1 y el motor encargado del transporte de recipientes.

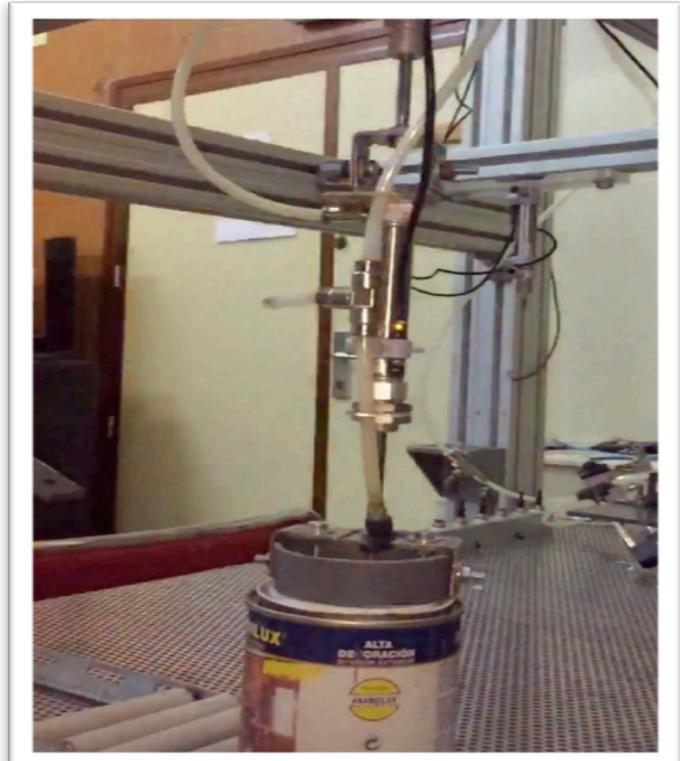


Ilustración 21, detalle sensor proximidad magnético XA, activado led naranja. Actuador presiona tapa.



Ilustración 22, detalle actuador justo antes de soltar tapa y presionar la a contra el recipiente

4. Anexos

En este apartado vamos a escribir los cálculos realizados sobre los actuadores neumáticos empleados en todo el proyecto.

4.1. Actuador neumático M/46016/M/400

4.1.1. Datos

Este cilindro es el empleado en la estación 1, destacar que es un actuador sin vástago, con una guía interna y con el pistón interior magnético, además los datos extraídos del datasheet proporcionado por el fabricante son:

Funcionamiento	Doble efecto
Diámetro cilindro	16 mm=0,016 m
Diámetro del vástago	0 mm
Fuerza de avance teórica	120 N
Presión de trabajo	6 bar=600000 Pa
Longitud carrera	400 mm
Rendimiento	Aprox. 90%

4.1.2. Cálculos

$$\text{Area_cilindro} = (\pi * (\text{Diametro_cilindro})^2) / 4 = 2,01 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Favance} = \text{Area_cilindro} * \text{Presion_trabajo} * \text{Rendimiento_cilindro} = 108,57 \text{ N}$$

Area_retroceso = A_cilindro, ya que este actuador no tiene vástago, por lo que la fuerza de retroceso también es la misma.

4.2. Actuador neumático RM/8016/M/50

4.2.1. Datos

Este cilindro actuador neumático es de doble efecto y en su interior tiene un pistón magnético útil para los sensores de proximidad magnéticos empleados para detectar en qué posición se encuentra en todo momento.

Funcionamiento	Doble efecto
Diámetro cilindro	16 mm=0,016 m
Diámetro del vástago	6 mm=0,006 m
Fuerza de salida teórica	120 N
Fuerza de entrada teórica	104 N
Presión de trabajo	6 bar=600000 Pa
Longitud carrera	50 mm
Rendimiento	Aprox. 90%

4.2.2. Cálculos

$$\text{Area_cilindro} = (\pi * (\text{Diametro_cilindro})^2) / 4 = 2,01 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Favance} = \text{Area_cilindro} * \text{Presion_trabajo} * \text{Rendimiento_cilindro} = 108,57 \text{ N}$$

$$\text{Area_retroceso} = (\pi * (\text{Diametro_cilindro}^2 - \text{Diametro_vástago}^2)) / 4 = 1,73 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Fretroceso} = \text{Area_retroceso} * \text{Presion_trabajo} * \text{Rendimiento_cilindro} = 93,4 \text{ N}$$

4.3. Actuador neumático RM/28016/M/50

4.3.1. Datos

Este cilindro neumático es de simple efecto, tiene el retorno con muelle, en su interior tiene el pistón magnético y es empleado en la estación 3 del proyecto.

Funcionamiento	Simple efecto
Diámetro cilindro	16 mm=0,016 m
Diámetro del vástago	6 mm=0,006 m
Fuerza de salida teórica	102 N
Fuerza de retorno del muelle	10,5 N
Presión de trabajo	6 bar=600000 Pa
Longitud carrera	50 mm
Rendimiento	Aprox. 90%

4.3.2. Cálculos

$$F_{avance}=F_a = (A_{avance} \cdot P - F_{muelle}) \cdot \text{Rendimiento}_{\text{Cilindro}}$$

$$F_{avance} = (\pi/4 \cdot 0,016^2 - 10,5) \cdot 600000 \cdot 0,9 = 98,07 \text{ N}$$

La fuerza de avance es máxima al iniciar el avance y mínima al final debido a la fuerza del muelle pues está en oposición cuando el cilindro sale.

$$F_{retroceso}=F_r = F_{muelle} \cdot \text{Rendimiento}_{\text{Cilindro}} = (F_{muelle_inicial} + k \cdot x) \cdot \text{Rendimiento}_{\text{Cilindro}}$$

$$F_{retroceso} = 10,5 \cdot 0,9 = 9,45 \text{ N}$$

La fuerza de retroceso es máxima al iniciar el retroceso y mínima al final, debido a la fuerza del resorte que lleva en el interior del cilindro neumático.

4.4. Actuador neumático M/46040/L4/400

4.4.1. Datos

Este actuador neumático ha sido elegido por su amplia carrera es utilizado en la estación 3, destacar que su pistón interior es magnético, lo que ayuda para saber luego con ayuda de sensores la posición de él en todo momento. Los datos extraídos de su datasheet son:

Funcionamiento	Doble efecto
Diámetro cilindro	40 mm=0,040 m
Diámetro del vástago	0 mm
Fuerza de salida teórica	754 N
Presión de trabajo	6 bar=600000 Pa
Longitud carrera	400 mm
Rendimiento	90%

4.4.2. Cálculos

$$A_{\text{cilindro}} = (\pi \cdot (\text{Diametro}_{\text{cilindro}})^2) / 4 = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_{avance} = A_{\text{cilindro}} \cdot \text{Presion}_{\text{trabajo}} \cdot \text{Rendimiento}_{\text{cilindro}} = 680,04 \text{ N}$$

$A_{\text{retroceso}} = A_{\text{cilindro}}$, ya que este actuador no tiene vástago, por lo que la fuerza de retroceso también es la misma que la de avance.

5. Conclusiones y discusión

Atendiendo diseño previamente realizado, se ha visto como con el manejo de un programa de simulación, se puede proceder a realizar una simulación detallada antes de llevada a la práctica. Este tipo de software es de gran ayuda en las fases de diseño ya que en el puedes simular todo tipo de elementos neumáticos, conexiones y secuencias lógicas, que luego su puesta en práctica es mucho más sencillo. Gracias a ello, ha sido posible la correcta puesta en marcha de todos circuitos tanto neumáticos como eléctricos debido a que previamente habían sido estudiados y simulados antes de ser montados en el laboratorio.

Destacar la ayuda del área de mecánica de fluidos, gracias a la cual ha sido posible llevar a la práctica este proyecto debido a la facilitación del espacio para trabajar y también por todo tipo de material suministrado necesario para su montaje y puesta a punto, ya que sin esta ayuda habría sido más complicado llegar a realizar en la práctica, el diseño previo pensado en el inicio del proyecto.

6. Bibliografía

- [1] AutomationStudio 3.0.5 guía de usuario.
- [2] García Palacín, José Ignacio, “Apuntes asignatura optativa Hidráulica y neumática industrial”, [Documentos pdf], 5 de Marzo de 2015. Disponible en: <https://moodle2.unizar.es/add/course/view.php?id=8615>
- [3] Norgren(IMI Precision Engineering). “Hojas de características elementos neumáticos”, [Documentos pdf], 19 de Septiembre de 2016. Disponible en la web: <http://www.norgren.com/es/info/2/productos>
- [4] Ministerio de Educación, Cultura Y Deporte(MECD),”Museo arqueológico nacional”, [En línea]. 19 de Septiembre de 2016. Disponible en: [http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MANT&txtSimpleSearch=Cala%F1as&simpleSearch=0&hipertextSearch=1&search=advancedSelection&MuseumsSearch=MANT%7C&MuseumsRolSearch=36&listaMuseos=%5BMuseo%20Arqueol%F3gico%20Nacional%20\(Colecci%F3n%20Tesor](http://ceres.mcu.es/pages/ResultSearch?Museo=MANT&txtSimpleSearch=Cala%F1as&simpleSearch=0&hipertextSearch=1&search=advancedSelection&MuseumsSearch=MANT%7C&MuseumsRolSearch=36&listaMuseos=%5BMuseo%20Arqueol%F3gico%20Nacional%20(Colecci%F3n%20Tesor)
- [5] Circuitos básicos de neumática. Miquel Carulla, Vicent Lladonosa. Barcelona : Marcombo Boixareu, D.L. 1993. ISBN 8426709095.
- [6] Control electro neumático y electrónico. Hyde, J. Regué, J. Cuspinera, A. Editorial Norgren. Biblioteca Técnica. Barcelona. 1997. ISBN 8426710972.
- [7] Instalaciones neumáticas. Heras Jiménez, Salvador de las, Editorial UOC. 2013. ISBN 9788490292662.
- [8] Neumática e hidráulica. Creus Solé, Antonio. Barcelona: Marcombo, 2011. 2ª Edición. ISBN 9788426716774.

