



## **Diseño de un laboratorio de mandos neumáticos para carreras de Electricidad y Electrónica**

*Design of a laboratory of pneumatic control for Electricity and Electronics careers*

Kevin Fabara<sup>1</sup>, Cristian Tasiguano<sup>2</sup>, Pablo Ángulo<sup>3</sup> y María Gabriela Vera<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Nacional, kevin.fabara@epn.edu.ec

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, cristian.tasiguano@ister.edu.ec

<sup>3</sup> Escuela Politécnica Nacional, pablo.angulo@epn.edu.ec

<sup>4</sup> Instituto Tecnológico Universitario Rumiñahui, mariagabriela.vera@ister.edu.ec

Autor para correspondencia: mariagabriela.vera@ister.edu.ec

**Fecha de recepción:** 2021.01.30

**Fecha de aceptación:** 2021.04.19

**Fecha de publicación:** 2021.07.12

### **RESUMEN**

El presente trabajo describe el diseño de un Laboratorio de Mandos Neumáticos para carreras de Electricidad y Electrónica, y las principales consideraciones técnicas para la implementación del mismo a futuro. El diseño se realiza con el fin de ser una base teórica para el cálculo de parámetros en la realización de un laboratorio de mandos neumáticos para cualquier institución o centro de aprendizaje superior. Se realiza el dimensionamiento de todos los componentes tanto neumáticos y electro-neumáticos definidos en prácticas de laboratorio que cubren un pensum completo de esta asignatura y poder satisfacer el escaso de personal especializado en esta rama en la industria ecuatoriana. Se realiza el cálculo de sus parámetros principales y se efectúa el dimensionamiento de las mesas de trabajo con su distribución adecuada en el espacio designado para el laboratorio, el dimensionamiento del compresor y del tanque de almacenamiento. De igual manera, en base a los cálculos de los actuadores y componentes neumáticos, se establecen los parámetros de la cámara insonora para el compresor y la ubicación del mismo. Además, se realiza el diseño de la red de tuberías a ser implementada y la instalación eléctrica para el mismo. Las prácticas de laboratorio fueron creadas en base a planes de formación de personal técnico que manejan diferentes marcas industriales y considerando diferentes factores estructurales como lugar, ubicación, consumo de aire y altura de la ciudad de Quito. El diseño tanto eléctrico y neumático propuesto se lo realiza en base a la norma ISO 9001, de manera que cumpla las normativas técnicas esenciales para este tipo de laboratorio, y resulte tanto técnico como económicamente de interés y factibilidad en su implementación.

**Palabras clave:** Neumática, Electro-Neumática, Cámara Insonora, Dimensionamiento, Instalaciones, Laboratorio.

## **ABSTRACT**

The present work describes the design of a Laboratory of Pneumatic Controls for Electricity and Electronics careers and the main technical considerations for its implementation in the future. The design is carried out to be a theoretical basis for the calculation of parameters in the realization of a laboratory of pneumatic controls for any institution or higher learning center. The sizing of all the pneumatic and electro-pneumatic components defined in laboratory practices that cover a complete curriculum of this subject is carried out to be able to satisfy the scarce number of specialized personnel in this branch in the Ecuadorian industry. The calculation of its main parameters is carried out and the dimensioning of the work tables is carried out with their adequate distribution in the space designated for the laboratory, the dimensioning of the compressor, and the storage tank. Similarly, based on the calculations of the actuators and pneumatic components, the parameters of the soundproof chamber for the compressor and its location are established. In addition, the design of the pipe network to be implemented and the electrical installation for it is carried out. The laboratory practices were created based on training plans for technical personnel who handle different industrial brands and consider different structural factors such as place, location, air consumption, and height of the city of Quito. The proposed electrical and pneumatic design is carried out based on the ISO 9001 standard, so that it complies with the essential technical regulations for this type of laboratory, and is both technically and economically of interest and feasibility in its implementation.

**Keywords:** Pneumatics laboratory, Electro-pneumatics, Soundless Chamber, Dimensioning of Facilities, Laboratory.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, el aprovechamiento del aire comprimido en la industria, contribuye al mejoramiento y optimización de muchos procesos que se requieren a diario para la transformación de productos y oferta de servicios. Dentro de este contexto, cumplen un papel fundamental los principios o leyes físicas que se aplican a diario, así como en las diferentes técnicas de producción a nivel industrial tales como sistemas electrónicos, mecánicos, eléctricos, neumáticos e hidráulicos según las necesidades y requerimientos específicos de la industria con el fin de poder obtener mejores resultados en cuanto a la competitividad industrial, apuntando a un mayor control de sus procesos mediante la automatización industrial (INTEC, 2017).

Las aplicaciones de esta tecnología son muy amplias; se utiliza en la industria química, textil, el transporte o la carpintería metálica, y el aprovechamiento del aire comprimido es visible

hoy en muchos elementos cotidianos, como por ejemplo los sistemas de apertura y cierre de transporte público, como trenes o autobuses, pero también las aspiradoras o los sopletes de pintura, etc.

## **MARCO TEÓRICO**

La neumática es la técnica que se centra en estudiar el desarrollo del gas presurizado como medio de transferencia de energía para hacer funcionar diversos mecanismos con el uso de gases como el aire comprimido, nitrógeno u otros gases inertes, que funcionan como elementos de transmisión de energía.

Los sistemas neumáticos actualmente se usan para hacer más fácil el movimiento mecánico de cargas considerables mediante una instalación con conexión por tuberías para distribuir el aire comprimido a herramientas, maquinaria de montaje, sistemas de limpieza, etc.

La neumática ha supuesto una de las aportaciones más destacadas a la automatización de los procesos industriales en los últimos años. Esta tecnología utiliza el aire comprimido como modo de transmisión de la energía que se necesita para mover y hacer funcionar mecanismos en base a incrementar la presión del aire y, a través de la energía que se acumula sobre los elementos del circuito, efectuar un trabajo útil.

Hoy, la neumática industrial constituye una de las soluciones más sencillas, rentables y con mayor futuro de aplicación en la industria, y es empleada en la mayor parte de las máquinas modernas. En los circuitos de estas características los compresores son los encargados de elevar la presión del aire al valor del trabajo deseado, que llega hasta un depósito, para posteriormente distribuirse por las tuberías que recorren el circuito con la presión y temperatura que definamos previamente (INTEC, 2017).

## **MÉTODO Y MATERIALES**

### **Análisis de los requerimientos para el diseño del laboratorio de mandos neumáticos**

En esta sección, se efectúa un análisis del espacio designado para la implementación del laboratorio, y se definen las prácticas de laboratorio a en base al plan de estudios académicos de la rama.

### Mesas de trabajo

El Laboratorio de Mandos Neumáticos se implementará en un área aproximada de 24 m<sup>2</sup>. Este espacio se divide en dos partes, una destinada a una oficina con un área de 5 m<sup>2</sup> y la otra para el Laboratorio de Mandos Neumáticos de 19 m<sup>2</sup>, como se observa en la Fig. 1.

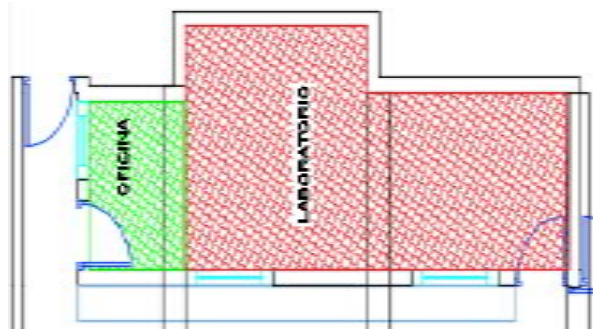
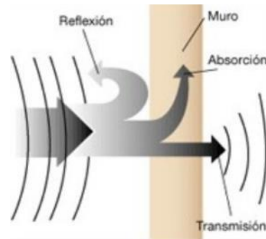


Fig. 1. División del área de trabajo - oficina y laboratorio.

Considerando un curso de 32 estudiantes, realizando prácticas cada 15 días, se dividirá en dos grupos quedando un total de 16 estudiantes por semana. En este laboratorio se podrán tener dos sesiones por cada semana, dividiéndose así a los 16 estudiantes en dos grupos, teniendo de esta manera 8 estudiantes por sesión. Con 8 estudiantes por sesión, se considera grupos de trabajo de dos estudiantes como óptimo para el aprendizaje. De esta manera, se calcula un número de 4 mesas de trabajo para este laboratorio.

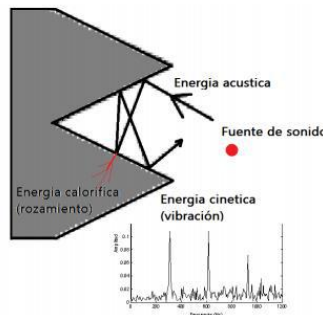
### Cámara para el compresor

La cámara para el compresor será un cuarto aislado contra el ruido. Este aislamiento se lo consigue utilizando paredes de gran espesor, recubiertas con materiales que posean características de atenuación, absorbentes del ruido (CREUS, 2007). La forma que tenga este material, Fig. 2, impedirá el rebote de la onda sonora, reduciéndose así el ruido que pueda salir de la cámara.



**Fig. 2.** Forma de material de absorción y aislamiento acústico.

La absorción del ruido no es una cuestión de volumen sino más de densidad y de uniformidad. Existen diferentes tipos de materiales acústicos absorbentes, entre los más usados están los resonantes (madera), los porosos (esponjas) y los aislantes (yeso, fibra de vidrio). El material más conocido y comúnmente usado es la espuma de poliuretano. La mayoría de estos materiales se los fabrica en forma de cuña, esta estructura se utiliza para atrapar el sonido ya que al llegar a la cuña es reflejado varias veces entre las cuñas contiguas, dando como resultado la transformación de energía acústica en energía calorífica, como se observa en la Fig. 3.



**Fig. 3.** Forma de material absorbente del ruido.

Para el diseño de la cámara insonora, se debe hacer en base al compresor que se va adquirir y al nivel sonoro que este generará, tomando en cuenta los niveles de ruido permisibles (MAJUMDAR, 1998). Tomando en cuenta la Tabla 1, el laboratorio se rige a la Zona Residencial ya que se encuentra en lo que es equipamiento para servicio público, teniendo que tratar de reducir de esta manera el ruido del compresor a un mínimo de 50 dB(A).

**Tabla 1.** Niveles máximos de ruido para fuentes fijas.

Tipo de Zona Según el Uso del Suelo	Nivel de Presión Sonora Equivalente: NPS eq [dB(A)]
--	--

	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona Equipamientos y Protección (1)	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial Múltiple (2)	55	45
Zona Industrial 1	60	50
Zona Industrial 2 (3)	65	55
Zona Industrial 3 y 4 (4)	70	60

### A. Análisis de prácticas de laboratorio y definición de equipo de trabajo.

Las prácticas de laboratorio se desarrollaron de acuerdo a un programa de estudios básico de una asignatura de Mandos Neumáticos. En la Tabla 2 se muestra en resumen los títulos de las prácticas a ser desarrolladas por el estudiante, considerando una práctica extra de neumática avanzada.

**Tabla 2.** Temáticas de prácticas laboratorio

<b>Práctica 1:</b>	Introducción al laboratorio de mandos neumáticos – circuitos básicos
<b>Práctica 2:</b>	Mandos alternativos – temporizadores y reguladores de velocidad
<b>Práctica 3:</b>	Métodos de diseño de mandos neumáticos
<b>Práctica 4:</b>	Métodos de diseño de mandos electro-neumáticos (Parte I)
<b>Práctica 5:</b>	Métodos de diseño de mandos electro-neumáticos (Parte II)
<b>Práctica 6:</b>	Métodos de diseño de mandos electro-neumáticos con otros lenguajes para PLC's.
<b>Práctica extra:</b>	Neumática proporcional con PLC's

### Definición de los módulos didácticos y especificación de sus componentes.

En esta sección se presenta el dimensionamiento de todos los elementos y equipos tanto neumáticos, como electro-neumáticos. Además, se realiza el dimensionamiento y la distribución de las mesas de trabajo en el espacio designado para la implementación del laboratorio.

#### A. Dimensionamiento de los elementos de trabajo.

**1) Actuadores:** Para el dimensionamiento y selección de los actuadores a utilizarse, es necesario tomar en cuenta la frecuencia de uso que se dará a los mismos y su aplicación. Como no serán sometidos a carga, la fuerza del émbolo, la fuerza de carga, la velocidad y amortiguación del cilindro, no serán factores que afecten al desarrollo del Laboratorio de

Mandos Neumáticos, siendo así el consumo de aire comprimido el factor más importante a ser considerado, ya que este parámetro sirve para dimensionar el compresor. (Tabla 5)

**2) Elementos de procesamiento de la señal neumática:** Para la selección de una válvula distribuidora es necesario tomar en cuenta la aplicación, el sistema de accionamiento para la misma, y el actuador que comandara esta.

Una vez seleccionado el tipo de válvula distribuidora es necesario calcular el tamaño para que esta pueda accionar en un tiempo apropiado el actuador al cual está comandando, para lo cual se hace uso del factor de capacidad de caudal (Cv o Kv). El factor de capacidad de caudal (Cv o Kv) indica el grado de resistencia de flujo de aire que presenta la válvula en un circuito neumático, Tabla 3.

**Tabla 3.** Resumen de KV para válvulas de acuerdo el actuador neumático

Actuadores	Caudal del actuador		Factor de capacidad de Caudal - Válvulas Distribuidoras		
	l/min	m3/h	Kv (m3/h)	Kv (l/min)	Cv (galones por min)
<b>Cilindro simple efecto</b>	1,1	0,066	0,003	0,05	0,004
<b>Cilindro doble efecto</b>	4,4	0,264	0,013	0,21	0,015
<b>Actuador giratorio</b>	2,5	0,15	0,007	0,12	0,008
<b>Cilindro sin vástago</b>	6	0,36	0,017	0,28	0,020
<b>Motor neumático</b>	120	7,2	0,341	5,69	0,396
<b>Generador de vacío</b>	12	0,72	0,034	0,57	0,040

Como se observa en la Tabla 3, el Kv de máximo valor será el de motor neumático, por ende, los elementos de procesamiento de la señal neumática deben ser de un Kv mínimo de 6 (l/min).

**3) PLC y pantalla táctil:** Para seleccionar un PLC adecuado para el laboratorio se recurre a las prácticas donde este será empleado. Al analizar los ejercicios, la cantidad de entradas, salidas digitales, señales análogas de entrada y de salida, puertos de comunicación, y accesibilidad de comunicación con pantallas táctiles, se procedió hacer la respectiva investigación en el mercado para encontrar un PLC que permita tener estas facilidades tanto en hardware como en software.

En la Tabla **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**4 se muestra el análisis efectuado por prácticas donde se hará uso el PLC y la pantalla táctil.

**Tabla 4.** Resumen de entradas y salidas prácticas electro-neumáticas.

PRÁCTICAS	ENTRADAS		SALIDAS		COM-PROFINET
	Digitales	Análogas	Digitales	Análogas	
Práctica 4	6	-	4	-	SI
Práctica 5	8	-	7	-	SI
Práctica 6	13	1	9	-	SI
Práctica extra	2	1	-	1	SI

En el mercado local, el PLC que cumple con todas las características técnicas antes mencionadas es el PLC marca Siemens S7-1214 AC/DC/Relay.

**4) Equipos extra:** Los demás equipos usados en el laboratorio como sensores, mangueras, y racores serán dimensionados en base a las características físicas de los elementos a ser adquiridos y en base a las dimensiones y presiones a utilizarse en el laboratorio (6 bares).

## B. Dimensionamiento de las mesas de trabajo

Los módulos de trabajo deben ser ergonómicos y distribución confortable para el desarrollo de las prácticas. El dimensionamiento de las mesas de trabajo se realizó en base a distintos comerciantes que distribuyen equipo de neumática didáctico y a la norma DIN ISO 9001, constando como medidas ideales para realizar prácticas con total ergonomía las siguientes (FESTO, 2016):

- **ALTO:** 1.6 m.
- **ANCHO:** 1.2 m.
- **LARGO:** 0.6 m.

Las mesas de trabajo están constituidas por:

- Bastidor.
- Tablero neumático.
- Cajones de almacenamiento de equipo neumático.

Tomando en cuenta estas consideraciones se define que el tipo de mesa de trabajo seleccionado debe costar con un tablero de placa perfilada a doble lado, debido a que una sola mesa de trabajo sirve para 2 grupos, mientras que una sola solo abarcaría 1 solo grupo; esta ventaja de tener la placa perfilada también radica en costos y a la vez en optimizar el espacio físico destinado para el laboratorio. La mesa de trabajo también deberá constar con un bastidor para el montaje de los dispositivos para realizar las prácticas de electro-neumática



como PLC, fuente, pantalla táctil; y a la vez debe constar con mínimo tres cajones en los cuales se distribuirán para los elementos de neumática, electro-neumática, y el ultimo cajón para los elementos de conexión como mangueras, racores, y cables.

En la Fig. 4 se muestra las dimensiones de las mesas de trabajo con tablero perfilado a doble lado, diseñada en el software Learnline Configurator de Festo Didactics.

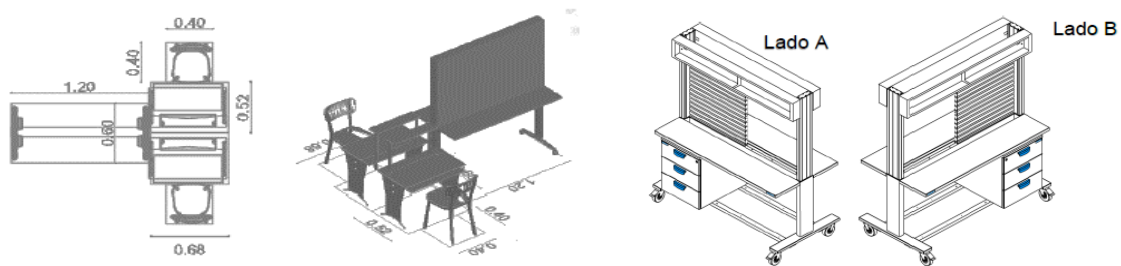


Fig. 4. Dimensiones de las mesas de trabajo

### C. Distribución de los módulos de trabajo.

Una vez seleccionado el tipo de mesa de trabajo, se procede a realizar la distribución en el área destinada al laboratorio, para lo cual se realizó un análisis del espacio. Tomando en cuenta la cantidad de personas que accederán al laboratorio, más el profesor son un total de 9 personas; según (ORDOÑEZ y VELEZ, 2014) y la DIN ISO 9001, expone que por habitante se requiere mínimo 1 m<sup>2</sup> de superficie, lo cual nos da un total 9 m<sup>2</sup>. El área por mesa es de 0.72 m<sup>2</sup> aproximadamente 1 m<sup>2</sup>, y por mesa de computadora y silla 0.5 m<sup>2</sup>, lo que da un espacio utilizado de 4.5 m<sup>2</sup>. Por ende, el área total a ser utilizada es de 13.5 m<sup>2</sup>. El área que se dispone es de aproximadamente 19 m<sup>2</sup>, al restar el área total utilizada da un espacio de libre de 5.5 m<sup>2</sup> dentro del laboratorio; teniendo de esta manera una distribución factible. La primera mesa debe estar a más de 1.60 m de la pizarra, según [VENE, 2015].

Con el tipo de mesa de trabajo seleccionada se distribuye el espacio como se muestra en la Fig. 5.

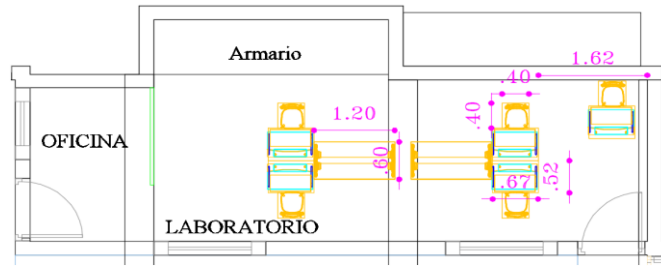


Fig. 5. Distribución de mesas de trabajo en el laboratorio.

### Diseño de instalaciones generales del laboratorio de mandos neumáticos

En esta sección se presenta el dimensionamiento del compresor y del tanque de almacenamiento en base a los cálculos de los actuadores neumáticos. Además, se presenta el diseño de la cámara insonora para el compresor, el diseño de la red de tuberías y la instalación eléctrica para la implementación del laboratorio de mandos neumáticos.

#### D. Diseño de la instalación neumática.

**1) Dimensionamiento del compresor:** Para el dimensionamiento del compresor se debe tomar el consumo de aire de los actuadores neumáticos que se dispondrán para realizar las prácticas de laboratorio, el consumo de aire se debe calcular en base a tamaño, diámetro, Kv y Cv de cada dispositivo. En la Tabla 5, se muestra un resumen de la cantidad y el consumo en l/s de los actuadores para el laboratorio de mandos neumáticos.

Tabla 5. Consumo en L/S de los actuadores para el laboratorio

ACTUADORES	CANTIDAD	Consumo l/s
Cilindro simple efecto	4,00	0,02
Cilindro doble efecto	12,00	0,07
Actuador giratorio	4,00	0,04
Cilindro sin vástago	4,00	0,10
Motor neumático	4,00	2,00
Generador de vacío	4,00	0,20

De acuerdo con las prácticas a realizarse, se analiza un factor de uso de los actuadores neumáticos, en una escala donde 1 significa que siempre se mantendrá activos los equipos y 0 significa que no se los utilizará; por ser laboratorio se le considera un factor de uso de “0.5” (este factor de uso cubre las posibles expansiones del laboratorio, así como también el uso del mismo para dictar cursos de capacitación) a los actuadores básicos, siendo la única

excepción el motor neumático con un factor de “0.1” debido a que su uso será momentáneo en algunas de las prácticas y evitar un sobredimensionamiento del compresor.

Se analiza un factor de simultaneidad, el cual depende del número de unidades que en un mismo instante consumen aire.

Una vez analizado los factores de simultaneidad y de uso a ser utilizados para los actuadores, se procede al cálculo del consumo de aire total de cada actuador neumático. Realizado el cálculo del consumo de aire total de cada actuador neumático, se procede al cálculo del consumo total de aire de la instalación. Es necesario sobredimensionar el compresor en caso de futuras ampliaciones y tomando en cuenta las posibles fugas del sistema.

Para el cálculo del caudal corregido, se estima un 30% de reserva en caso de aplicaciones, y considerando un buen estado de la red de tuberías, uniones bien selladas, y una caída de presión en la red de tuberías no mayor a 1 bares, se supone un 10% de fugas (FESTO, 2016).

El caudal de consumo corregido que se obtiene es a nivel del mar, por lo que a la altura de Quito se debe aumentar un “27%” a lo obtenido, debido a la pérdida de presión que se obtiene por la altura (la altura a nivel del mar es de 1 bares, mientras que la altura en Quito es de 0.73 bares, lo que nos da una pérdida del 27% de la presión a nivel del mar). A continuación, en la Tabla 6, se indica los diversos factores, y consumo de aire calculados.

**Tabla 6.** Cálculo del caudal del compresor

<b>Compresor de aire</b>					
<b>Actuadores</b>	<b>Cant</b>	<b>Q l/s</b>	<b>Factor de uso</b>	<b>Factor simul</b>	<b>Caudal consumo l/s</b>
<b>Cilindro simple efecto</b>	4,00	0,02	0,50	0,50	0,02
<b>Cilindro doble efecto</b>	12,00	0,07	0,50	0,50	0,22
<b>Actuador giratorio</b>	4,00	0,04	0,50	0,50	0,04
<b>Cilindro sin vástago</b>	4,00	0,10	0,50	0,50	0,10
<b>Motor neumático</b>	4,00	2,00	0,10	0,50	0,40
<b>Generador de vacío</b>	4,00	0,20	0,50	0,50	0,20
<b>Caudal total</b>					0,98
<b>Reserva %</b>					30
<b>Fugas %</b>					10
<b>Caudal corregido (nivel mar)</b>					2,61

<b>Caudal (quito 2800m)</b>	<b>3,39</b>
-------------------------------------	-------------

De acuerdo con los parámetros establecidos anteriormente se necesita un compresor que cumpla como característica técnica de caudal 3.4 l/s para abastecer a las mesas de trabajo. Este caudal no existe comercialmente por lo que se toma un caudal de 4 l/s.

**2) Tanque de almacenamiento:** El tanque debe ser al menos lo suficientemente grande como para contener el aire entregado por el compresor en un minuto [6]. De esta manera para un caudal de aproximadamente 4 l/s (Tabla 6) equivalentes a 240 l/min, se requiere de un tanque de aproximadamente 240 litros. Por lo tanto, Para el laboratorio se utilizará un compresor de pistón con un caudal mayor o igual a 4 l/s, presión mayor o igual a 6 bares, acoplado con un tanque de almacenamiento en forma horizontal de 250 litros.

**3) Diseño de la cámara insonora para el compresor:** Para la ubicación del compresor y su cámara insonora se consideran 3 lugares: en la parte externa al laboratorio, dentro del laboratorio, y en el área anexa al laboratorio, Tabla 7. Se realizó un análisis en base a tres aspectos principales:

- Nivel de ruido con respecto al laboratorio.
- Pérdida de presión en la red de tuberías desde el compresor hasta las mesas de trabajo.
- Costos.

**Tabla 7.** Comparación de espacios para la ubicación del compresor cula del caudal

Características	Ubicación		
	Exterior	Laboratorio	Área Anexa
Nivel de ruido	Nulo	Alto	Bajo
Pérdida de presión	Medio	Bajo	Bajo
COSTO	Alto	Medio	Bajo

La cámara en la cual estará el compresor debe reducir los decibeles producidos por el compresor a un valor de 50 dB según (MAJUMDAR, 1998), para lo cual uno de los criterios aplicados en el diseño de la cámara es que debe ser de forma rectangular para maximizar la absorción de la onda sonora reflejada en las paredes (AUTOM. INDUST 2010).

Para la dimensión de la cámara del compresor se tomó en cuenta diseños de cámaras insonoras comerciales en las cuales la distancia mínima entre la fuente y la pared es de 0.5 metros para fuentes de 70 a 80 dB. Las dimensiones son las siguientes:

- Largo de la cámara: 2.70 m
- Alto de la cámara: 2.00 m
- Profundidad de la cámara: 1.04 m

Tomando en cuenta todos estos parámetros, para el diseño de la cámara insonora se considera que las paredes que deben ser construidas (pared izquierda, puerta) y se las realizará en base a tabla triplex reforzada de un grosor de 18mm. Todas las paredes serán recubiertas de esponja de poliuretano con cuñas anecoicas tipo Wedge, como se indica en Fig. 6.



**Fig. 6.** Formas cuña tipo wedge

Cabe recalcar que para un análisis adecuado se necesita tener la instalación del compresor realizada y en base a esto partir para una insonorización más exacta. La cámara debe poseer una ventilación adecuada para mantener la temperatura dentro de un rango de 15 a 30 °C (CREUS, 2007). Tomando en cuenta que el funcionamiento del compresor no es continuo, la ventilación se la realizará mediante una rejilla cuyas dimensiones son 30x30 cm, ubicada en la parte superior izquierda de la cámara.

**4) Tubería:** La red de tubería a diseñarse será en circuito abierto, debido a que la aplicación es un laboratorio, siendo así que la pérdida de presión admisible puede estar entre 0.1 bares hasta 1 bares lo cual no afectará mucho en el desarrollo de las prácticas. Para el diseño de la red de tubería es necesario conocer varios factores como:

- El caudal
- La longitud de la tubería

- La pérdida admisible
- La presión de servicio
- La pérdida de carga adicional por accesorios de red

La longitud de la tubería se la toma de acuerdo con la red de tubería que se implementará para el laboratorio, la cual a su vez es diseñada conforme a la distribución de mesas. En la Fig. 7 se muestra la vista panorámica de la red de tubería.

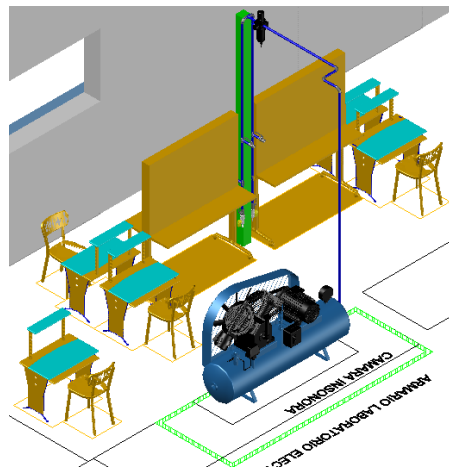


Fig. 1. Red de tubería circuito abierto (color azul) – vista 3D.

El tipo de material de la tubería depende de la cantidad de presión que este pueda soportar. La tubería de la red de aire considerando el material, y la baja presión, se recomienda que sea tubo de acero galvanizado. En la Tabla 8 se ve un resumen de los materiales para el diseño de la red.

Tabla 8. Longitudes equivalentes de accesorios de tubería

Ítem	Elemento de la red	Cantidad	Longitud (m)	Total (m)
1	Codo 90"	6	0,70	4,20
2	Pieza en T	5	0,85	4,25
3	Válvula esférica	5	0,20	1,00
<b>Total, de longitud ficticia</b>				9,45
<b>Longitud de tubería</b>				10
<b>Total de tubería de la red</b>				19,45

Una manera más rápida para el cálculo del diámetro de la tubería es mediante el uso de monogramas en donde se debe considerar la longitud del tubo en m, caudal total en m<sup>3</sup>/h, presión de funcionamiento y posible pérdida de presión al juntar estos ejes transversalmente

se define el diámetro de la tubería mínima en mm para el diseño, (mientras más ancha la tubería es mejor ya que ayuda como tanque de almacenamiento de presión).

## **E. Diseño de instalación eléctrica**

El laboratorio tendrá su propio circuito de iluminación y circuito de tomas en un tablero separado, con el fin de independizar este laboratorio de los laboratorios anexos a este, para que, en caso de fallo de alguno de estos, el laboratorio de mandos neumáticos funcione normalmente.

**1) Diseño de iluminación:** Se realizó los cálculos necesarios para la selección de luminaria, tomando en consideración según (ORDOÑEZ y VÉLEZ, 2014), un nivel de iluminación entre 300 y 500 lux para el laboratorio y oficina. Al realizar los cálculos mediante la ayuda del software de Dialux se observa que el flujo luminoso promedio en el área de trabajo es de aproximadamente 400 lx, lo cual está dentro del rango admisible para un laboratorio y oficina. En la Fig.8 se muestra la distribución de las luminarias. El calibre que utilizar es 14 AWG, usado comúnmente para circuitos de iluminación.

**2) Diseño de iluminación:** En cada puesto de trabajo existirá un punto de energía que proporcionará la alimentación de 120 Vac necesaria tanto para la computadora y para las prácticas de electro-neumática (PLC, fuentes, etc).

Adicionalmente, el puesto del instructor contará con un punto de 120 VAC para la alimentación de la computadora del laboratorio. El proyector será montado en el techo del laboratorio por lo que se deberá también implementar un punto de 120 VAC para dicho equipo. En la oficina del encargado del laboratorio constara de un solo punto a 120 VAC para alimentar la computadora que este necesita.

En la cámara insonora se ha previsto un punto de energía para alimentar el compresor el cual es de 220 VAC. Tomado en cuenta todos los puntos de energía se estableció un diseño de dos circuitos de tomas, en donde:

- Un circuito contiene todos los puntos de mesas de trabajo, mesas de profesores, y el proyector.

- Otro circuito comprende al compresor ya que debido a que es una carga especial se lo debe considerar en un solo circuito.

El calibre de cable para la instalación de los dos circuitos de tomas es de 12 AWG. En la Fig. 8 se puede observar el diseño eléctrico del laboratorio.

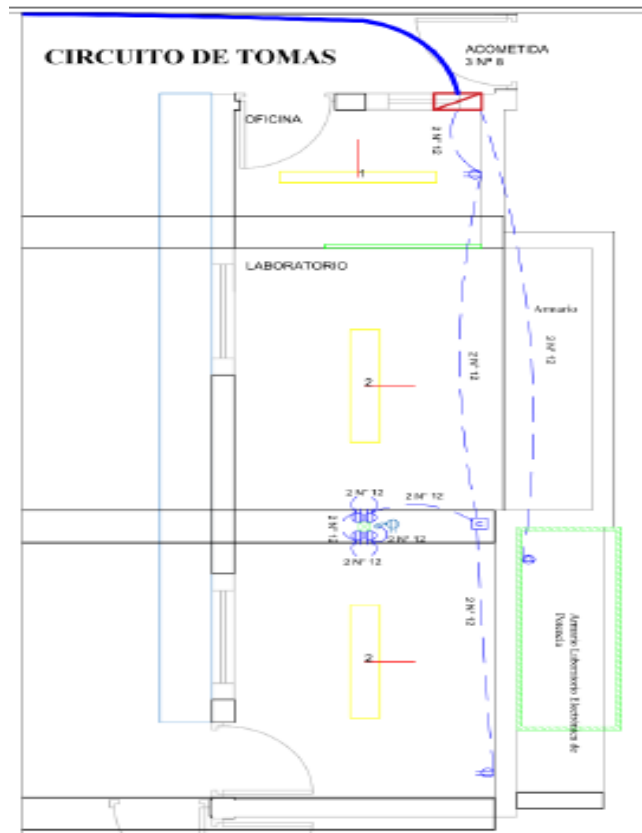


Fig. 2 Circuito de tomas del laboratorio.

Para el dimensionamiento de la protección se basa en el calibre del cable que tiene cada circuito diseñado y las fases de las que están comprendidos (monofásico, bifásico, trifásico). En la Tabla 9 se muestra un resumen de los circuitos a ser generados con sus debidas protecciones para la instalación del laboratorio de mandos neumáticos.

Tabla 9. Cuadro de tablero del laboratorio

CIRCUITO	# Pts.	CARGA INSTALADA		CAL. AWG	PROT.	Fas
		W	VA			
C. TOMAS 1	7,00	2782,29	2782,29	12	1P-20A	A
C. COMPRESOR	1,00	3240,00	3240,00	12	2P-20A	A-B
C. ILUMINACION	3,00	275,00	275,00	14	1P-15A	A



## Especificaciones técnicas para la implementación del laboratorio

Todos los equipos mencionados en la Tabla 10, acoplados a un sistema de fijación rápido, para autoajuste con el tablero perfilado.

**Tabla 10.** Elementos neumáticos por mesa de trabajo

TIPO	ELEMENTO	CANT
<b>ACTUADORES</b>	Cilindro de simple efecto	1
	Cilindro de doble efecto	3
	Motor Neumático	1
	Cilindro sin vástago	1
	Actuador Giratorio con sensores	1
	Ventosa	1
<b>VÁLVULAS</b>	Válvula distribuidora de 3/2 vías accionada por pulsador, con retorno de muelle - NC	2
	Válvula distribuidora de 3/2 vías accionada neumáticamente, por un lado, con retorno de muelle – NC.	1
	Válvula distribuidora de 3/2 vías accionada por rodillo, con retorno de muelle – NC	2
	Válvula distribuidora de 5/2 vías accionada neumáticamente, por un lado, con retorno de muelle	1
	Válvula distribuidora de 5/2 vías accionada neumáticamente, por ambos lados.	4
	Válvula distribuidora de 3/2 vías con interruptor (selector manual), NC	1
	Válvula distribuidora de 3/2 vías accionada neumáticamente, por un lado, con retorno de muelle – NA.	2
	Válvula distribuidora de 3/2 vías accionada por pulsador, con retorno de muelle - NA.	1
	Válvula distribuidora de 5/2 vías con interruptor (selector manual)	1
	Electroválvula de doble bobina de 5/2 vías	4
	Electroválvula de bobina simple de 3/2 vías- NC	1
	Válvula de simultaneidad (AND)	2
	Válvula de selectora (OR)	1
	Generador de vacío	1
	Temporizador neumático, con tiempo regulable.	1
	Válvula de escape rápido	1
	Regulador de flujo unidireccional	2
	Regulador de presión, con manómetro	1
	Válvula de secuencia	1
	Válvula proporcional de 5/3 vías	1
<b>SENSORES</b>	Detector de proximidad neumático, con fijación para cilindro (es como una válvula distribuidora de 3/2)	2
	Final de carrera eléctrico, accionado por la izquierda	2
	Detector de posición electrónico con elemento con fijación a cilindro	4
	Sensor de proximidad óptico	1
	Sensor de caudal analógico	1
	Sensor de presión analógico	1
	Módulo de entradas digitales (pulsantes)	1

<b>ACTUADORES ELECTRÓNICOS</b>	Fuente de alimentación (24 Vdc)	1
	Módulo de indicadores	1
	PLC	1
	Pantalla táctil - HMI	1
<b>EQUIPO EXTRA</b>	Tapón ciego para válvulas	1
	Juego de cables para la conexión de electroválvulas	1
	Adaptadores de manguera a la unidad de mantenimiento	1
	Manguera de acople entre tubería y unidad de mantenimiento	1
	Juego de mangueras para conexión	1
	Juego empates en forma de T	1
	Juego de accesorio y herramientas para desmontajes (RACORES)	1
	Distribuidor de aire	1
	Unidad de Mantenimiento	1
	Computadora	1
	Sillas	2
	Mesa de computadora	1
	Cortapicos	1

## CONCLUSIONES

El compresor fue dimensionado en base al consumo de aire de los actuadores neumáticos, posibles expansiones, reservas, posibles fugas en la red, y considerando a la vez la altura a la que se encuentra la ciudad de Quito.

Se consideró un factor de uso 0.5 para los actuadores neumáticos con excepción del motor neumático al cual se le dio un valor menor de 0.1, con el fin de evitar un sobredimensionamiento elevado del compresor, debido a que para la implementación de un laboratorio no existen tablas para el análisis de este factor.

Para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento se consideró un tanque que contenga la capacidad impartida por el compresor en un minuto, evitando así un sobredimensionamiento del tanque muy elevado ya que las dimensiones que este podría tener serían muy grandes para caber en el espacio destinado para el compresor.

Los elementos con los cuales se planteó el diseño la cámara insonora son elementos comúnmente usado para insonorización de cabinas grabación y cuartos de centrales de comunicación. Para obtener un mayor grado de insonorización es necesario un análisis de frecuencias a fondo con el compresor ya instalado.

Se consideró para el diseño de red de tuberías el uso de válvulas de purga en su trayectoria con el fin de ayudar a vaciar los condensados que se producen en la misma. En caso de no adquirir el compresor propuesto, el diámetro de la tubería debe ser del mismo diámetro de salida del compresor que se adquiera para evitar pérdida de presión y caudal en la línea.

## **REFERENCIAS**

INTEC, Suministros Industriales, <https://suministrointec.com/blog/aplicaciones-neumatica-industria/>

Creus A, Neumática e Hidráulica. España: Marcombo S.A, 2007.

Majumdar S, Sistemas Neumáticos Principios y Mantenimiento. México: Mc Graw Hill, 1998.

FESTO, “Condiciones de utilización, almacenamiento y transporte para los productos Festo”, dic-2016. [En línea]. Disponible en: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/334159/Techinfo\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/334159/Techinfo_es.pdf).

Ordóñez y P. Vélez, “Estudio, diseño e implementación de una cámara anecoica para el análisis acústico de sistemas mecánicos del motor de combustión interna alternativo”, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2014.

Vene 155, “Materiales absorbentes”, 17:59:27 UTC.

Automatización Industrial: Elementos de Fuerza: Cilindros y Motores Neumáticos”, Automatización Industrial, 04-sep-2010.