



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

TEMA: “Diseño e Implementación de una Red de Aire Comprimido para el  
Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas  
ESPE- Sede Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.”

AUTORES:  
PERALVO HARO, CHRISTIAN ANDRÉS  
VALENCIA CHICAIZA, DIEGO ARMANDO

DIRECTOR DE PROYECTO:  
ING. SANCHEZ OCAÑA, WILSON EDMUNDO

LATACUNGA  
FEBRERO, 2023



1

- Resumen

2

- Planteamiento del problema

3

- Justificación

4

- Objetivos

5

- Metodología

6

- Diseño e implementación

7

- Recomendaciones de Operación y Mantenimiento

8

- Pruebas de funcionamiento y análisis de resultados

9

- Conclusiones y Recomendaciones



Diseño de una red de aire comprimido para el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica, para alimentar los módulos neumáticos didácticos e industriales utilizados en el proceso de enseñanza aprendizaje de la institución.

Detallar los componentes neumáticos existentes en el laboratorio y obtener sus características técnicas principales.

Obtener la demanda real de aire comprimido con proyecciones a la implementación de futuros módulos. Seleccionar los componentes principales de la red de acuerdo a la demanda.

Implementar y probar el funcionamiento de la instalación, con el objetivo de asegurar su confiabilidad y correcta operación desde la generación hasta la utilización del aire comprimido.



# ➤ PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4

Daños por falta de uso de módulos neumáticos.

Daños en los sistemas de accionamiento.

Retraso en el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes.

Deterioro progresivo de las instalaciones de aire comprimido.



Diseño e implementación de una red de aire comprimido para el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Sede Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.



Factor de utilidad bajo de los módulos neumáticos por ausencia de alimentación adecuada.

Instalaciones de aire comprimido no técnicas y eventuales.

Uso de equipos de manera no simultánea.

Ausencia de plan de mantenimiento de redes neumáticas.



# ➤ JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto detalla el proceso de cálculo, selección de accesorios y pruebas para una red de aire comprimido que será utilizada por los módulos neumáticos del laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.



Garantizando el cumplimiento de los objetivos de enseñanza aprendizaje de la institución, mejorando el funcionamiento de los equipos neumáticos y contribuyendo a la formación de profesionales en las nuevas instalaciones



Logrando el diseño de una instalación que satisface la demanda actual y futura de aire comprimido, cumpliendo con todos los requerimientos operativos.



## Objetivo General

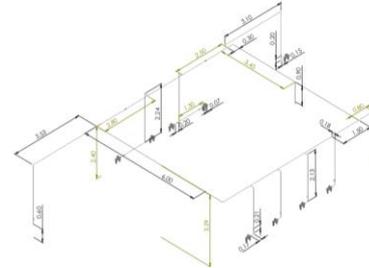
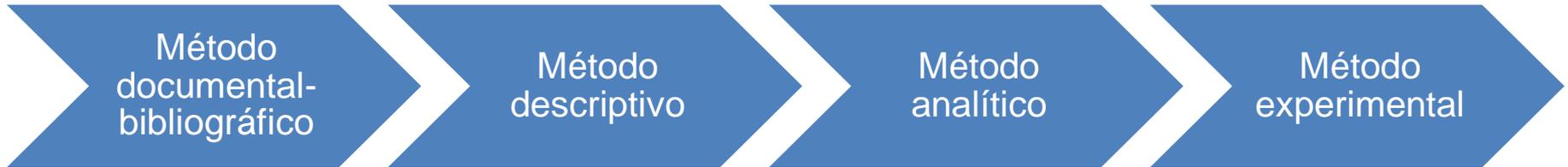
- Diseñar e implementar una red de aire comprimido para sistemas neumáticos y electroneumáticos para el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Sede Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara.



## Objetivos Específicos

- Calcular la demanda máxima de aire comprimido, considerando el caudal como factor primordial, el cual se estima a partir del consumo de los diferentes módulos que existen en el laboratorio
- Dimensionar el diámetro de la tubería acorde a la ubicación del compresor, para tener una trayectoria fija en la instalación.
- Implementar el diseño de la red de aire comprimido con criterios ingenieriles de alta índole, utilizando los conocimientos adquiridos en la formación e investigación académica durante la ejecución del tema y realización de pruebas de funcionamiento de la instalación.
- Desarrollar procedimientos de utilización y mantenimiento del sistema de aire comprimido.





## Ubicación



Provincia: Cotopaxi,  
Cantón: Latacunga,  
Parroquia: Belisario Quevedo  
Barrio: El Forastero  
Latitud 0°59'53.89"S  
Longitud 78°34'56.76"O  
Altura: 2820 msnm.



## Determinación de la Calidad del aire para la instalación

Aplicaciones	Cuerpos sólidos (um)	Punto de condensación del agua (°C)	Contenido max de aceite (mg/m <sup>3</sup> )	Clase de filtración recomendada (um)
Minería	40	-	25	40
Lavandería	40	+10	5	40
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40
Válvulas neumáticas	40- 50	+3	25	40- 50
Aire de almacén	1	-20	1	5- 1
Pintura	1	+3	0,1	5- 1



## Determinación de la Calidad del aire para la instalación

### - Norma ISO 8573

Clase	Tamaño partículas ( $\mu\text{m}$ )	Densidad max de las partículas ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Punto max de condensación bajo presión ( $^{\circ}\text{C}$ )	Contenido max de aceite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
1	0.1	0.1	-70	0.01
2	1	1	-40	0.1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	-	-	10	-
7	-	-	Sin definir	-

## Presión de la red

Presión de trabajo max:  
7 bares  
120 psi

DEGEM SYSTEM

HERION

FESTO



## Cálculo del caudal de consumo de aire comprimido de la instalación

Parámetro	Fórmula
Cantidad de aire cilindro de simple efecto	$\dot{V} = s * n * \frac{D^2 * \pi}{4} * \text{Relación de compresión} * \left(\frac{1}{1000}\right) \left(\frac{l}{\text{min}}\right)$
Cantidad de aire cilindro de doble efecto	$\dot{V} = \left[ s * \frac{D^2 * \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) * \pi}{4} \right] * n * \text{Relación de compresión} * \left(\frac{1}{1000}\right) \left(\frac{l}{\text{min}}\right)$
Relación de compresión	$Rc = \frac{101.3 + P}{101.3} (kPa)$
Caudal global	$Q_G = Q + Q_P$



## Cálculo del caudal de consumo de aire comprimido de la instalación

MARCA	MÓDULO	Caudal consumo (l/min)	Caudal consumo (CFM)
DEGEM SYSTEM	PN-2140	47,15	1,66
	PN-2120		
	PN-2330		
	PN-2220		
	PN-2230		
HERION	HERION 6251147	11,72	0,41
	HERION 6251146		
FESTO	TP-201	2,29	2,29
	TP-202		
	TP-111		
	TP-111		



## Cálculo del caudal de consumo de aire comprimido de la instalación

MARCA	MÓDULO	Caudal consumo (l/min)	Caudal consumo (CFM)
FESTO MPS	TRANSPORTE Y DISCRIMINACIÓN DE DISCOS		
	VERIFICACIÓN Y ESCARIADO DE PIEZAS MECÁNICAS	239,79	8,69
	Almacenamiento/ Recuperación (AS/RS)		
	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN		
TOTAL		369,85	13,06

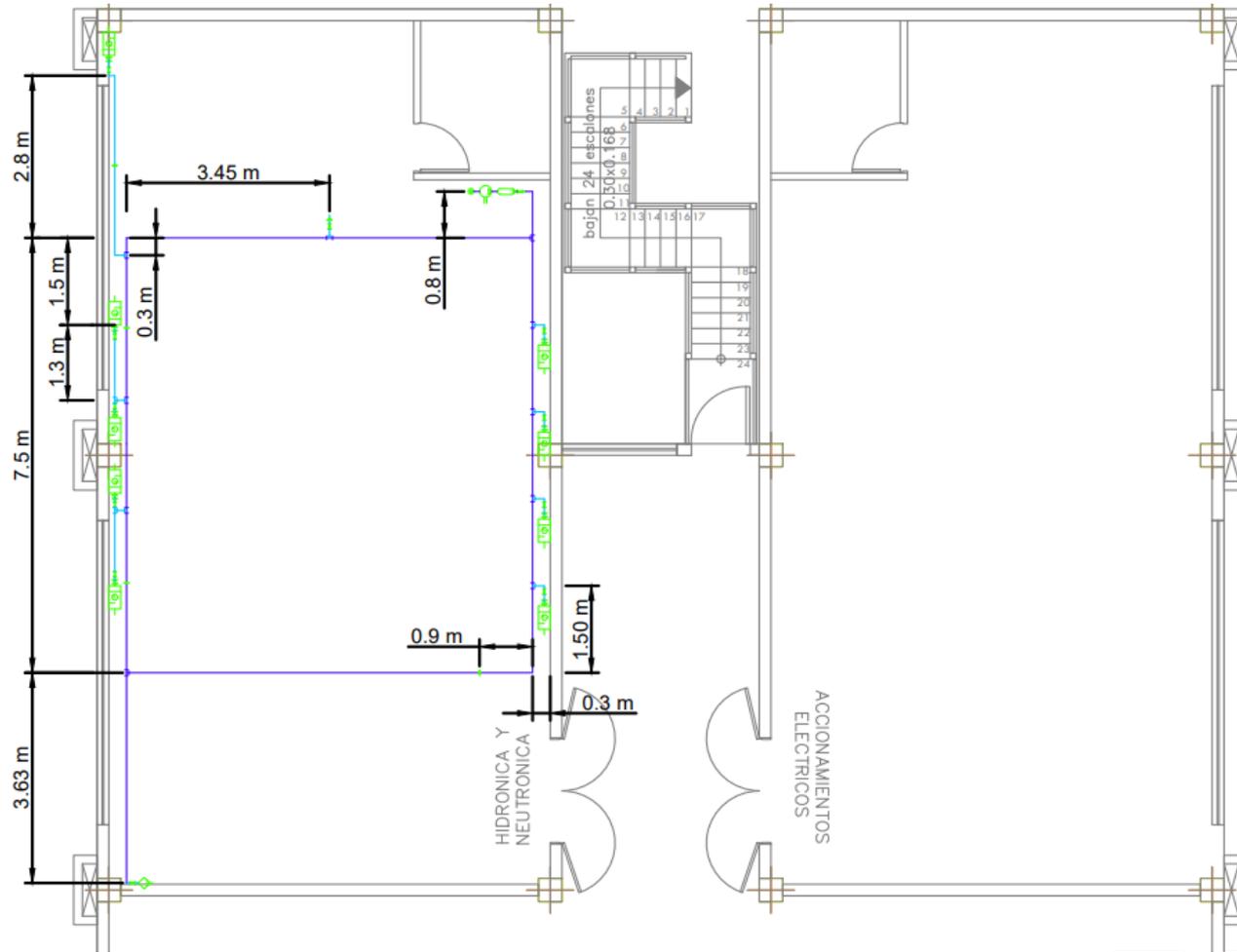


Cálculo del caudal de consumo de aire comprimido de la instalación

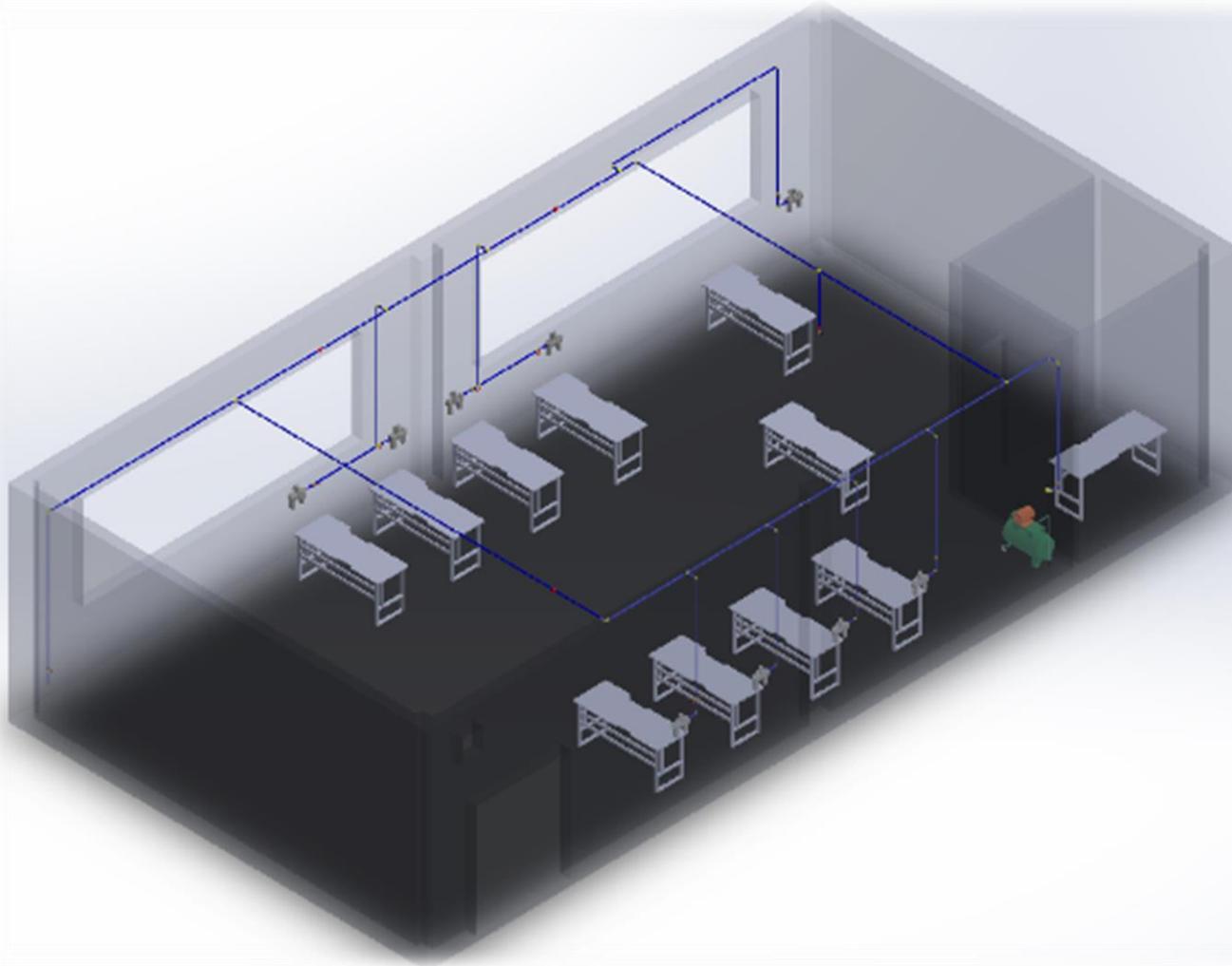
Caudal real instalado	Caudal proyectado a 50%	Caudal global a futuro
13,06 CFM	6,53 CFM	<b>19,59 CFM</b> $33,28 \text{ m}^3/h$



## Trazado de la red - Red en anillo cerrado



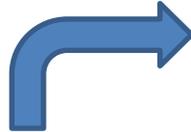
## Longitud de la tubería



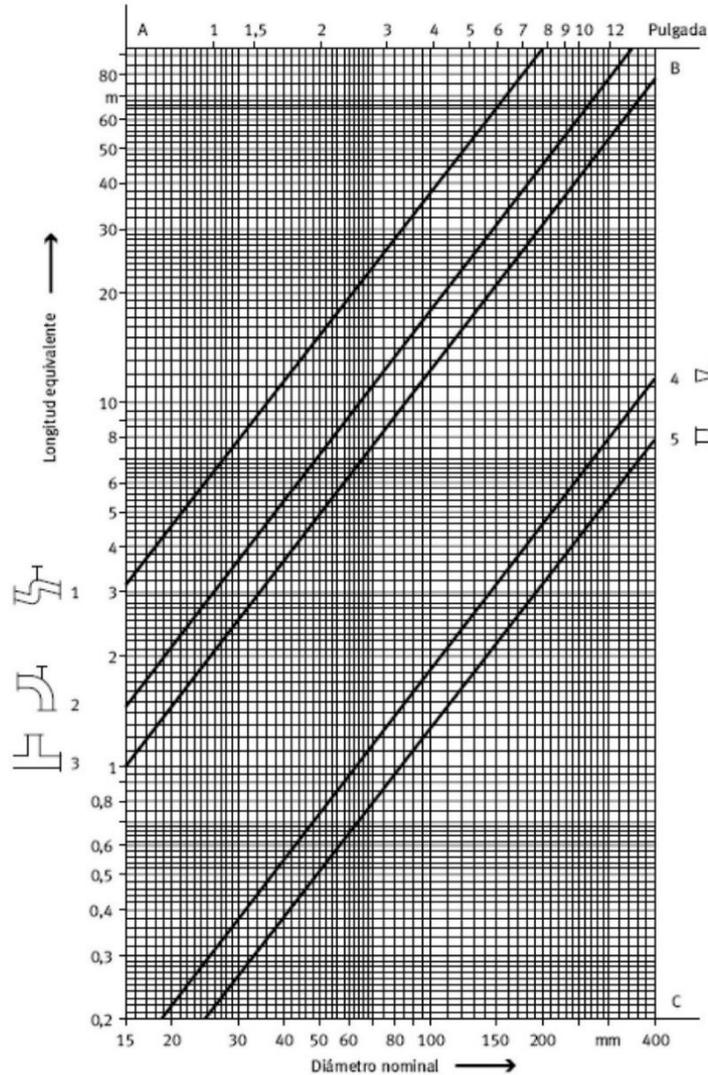
Longitud= 60,49 m

NOMOGRAMA "DETERMINACIÓN DE LONGITUDES EQUIVALENTES"

Diámetro de la tubería



Elemento	Cantidad
Válvula esférica	12
Desviación en T	12
Codo 90°	18



Longitud equivalente	Longitud 3D
23,64 m	60,49 m

**84,13 m**



## Diámetro de la tubería

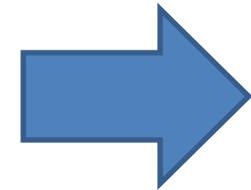
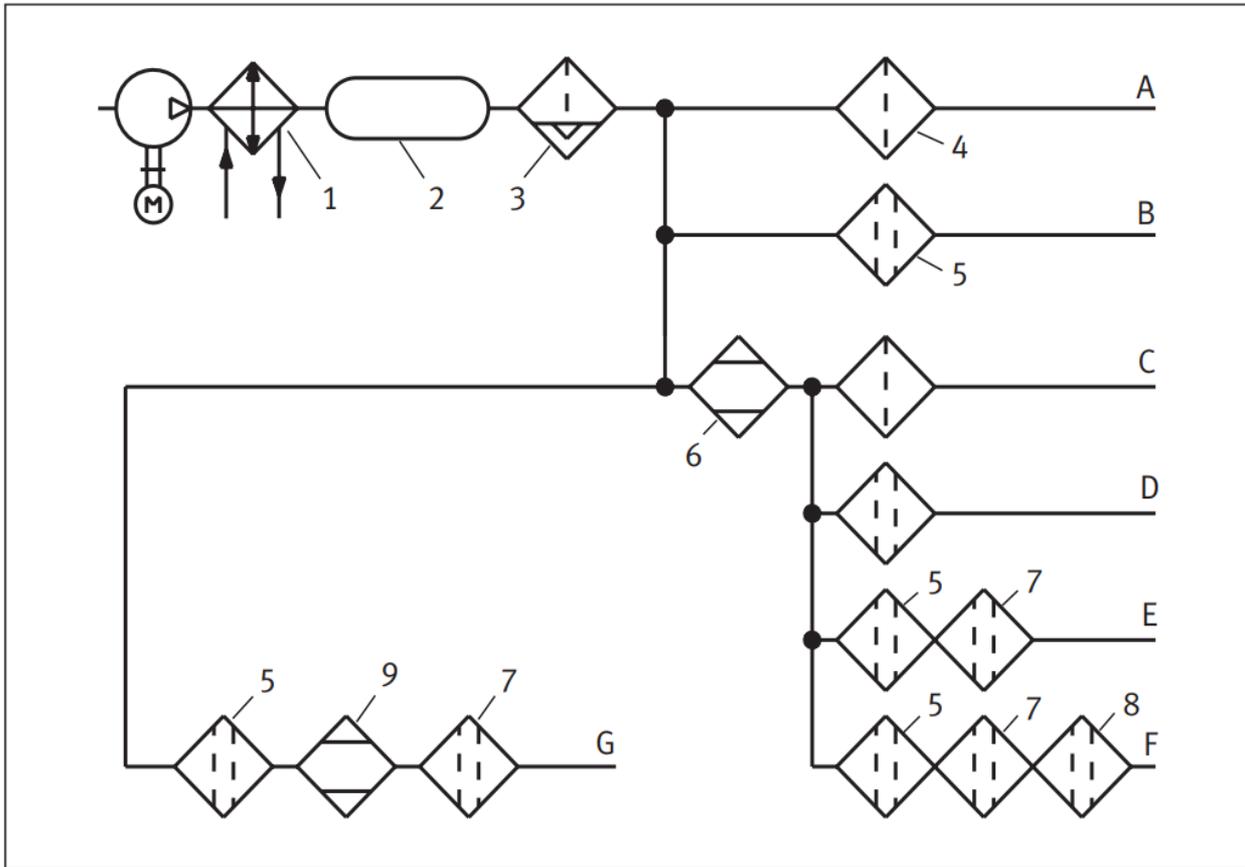
Parámetro	Fórmula	Resultado
Diámetro tubería	$d = \sqrt[5]{(1.6 * 10^3) * V^{1.85} * \frac{L_T}{\Delta P * P1}}$	19,54 mm > 20 mm

## Material de la tubería

Característica	Valor
Diámetro	20 [mm]
Longitud	6 [m]
Presión Máxima	16 [bar]/ 232 [psi]
Temperatura	-20 [°C]/ +80 [°C]
Funcionamiento	
Par de Apriete	3 [Nm]



## Unidades de mantenimiento y filtrado



A

## Unidades de mantenimiento y filtrado

Característica	Valor
Presión Máxima	10 [bar]
Temperatura	5[°C]-60 [°C]
Tipo de filtro	Estándar



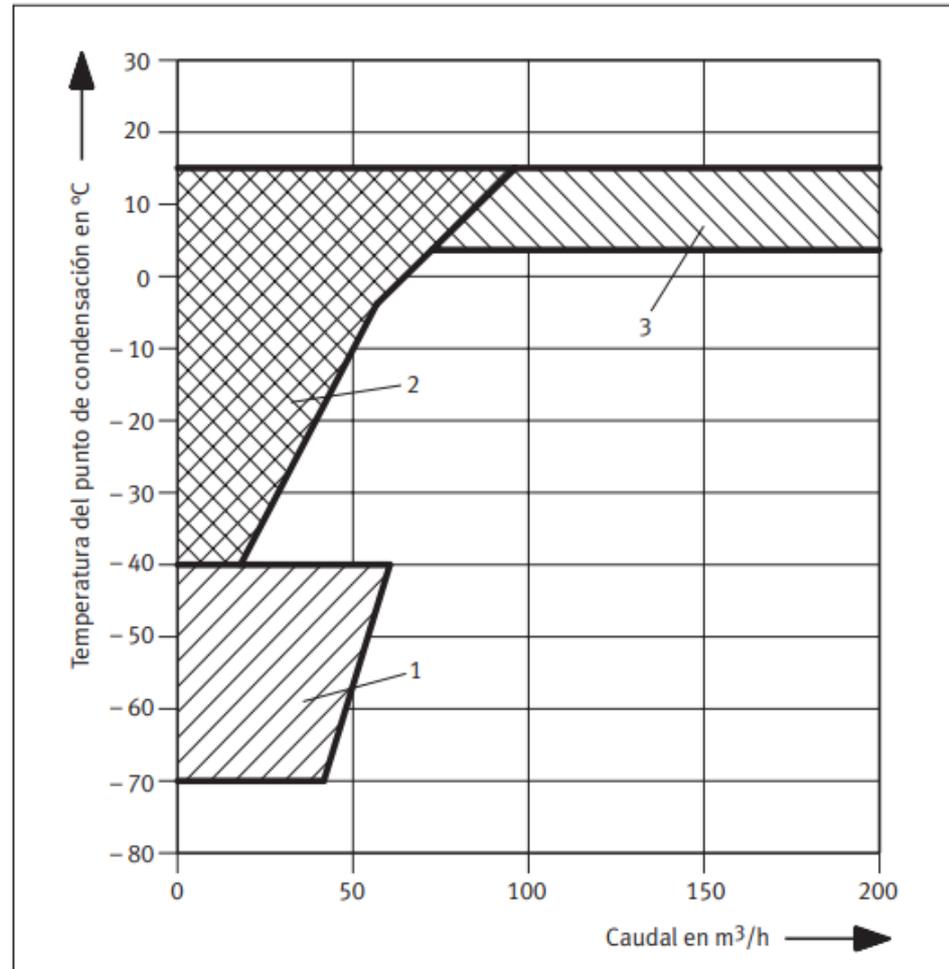
Característica	Valor
Presión Máxima	10 [bar]
Temperatura	60 [°C]
Tipo de filtro	Principal



## Análisis de selección de secador

### Datos meteorológicos-Estación M0004

Código	M004
Provincia	Cotopaxi
Cantón	Salcedo-Rumipamba
Altitud	2685 msnm
Latitud	-1,020000
Longitud	-78,594600
Precipitación	719,2 mm
Temperatura	14°C
Humedad	75%
Punto de rocío	9,3°C



➤  
**Secador de Membrana**



## Análisis de selección de secador

Característica	Valor
Marca	Atlas Copco
Código	SD 3P7
Presión	10 [bar]
Caudal	25.4 [CFM]
Purga	11 [%]
Caída de presión	2.5 [psi]
Conexión	G ½
Peso con filtro	1.7 [kg]
Peso sin filtro	4.0 [kg]
Filtro	DD9-PD9

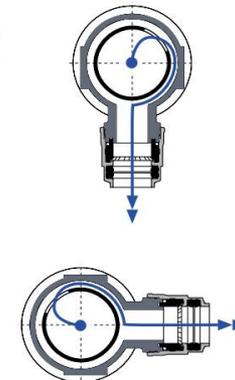
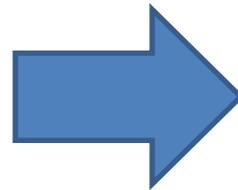


Calidad de aire	¿Secador?
1-3	
4-5-6-7	



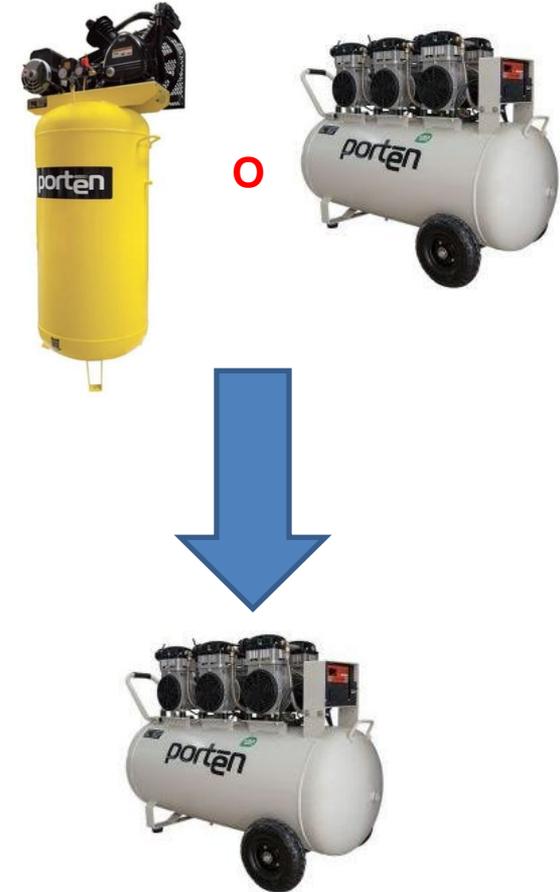
## Accesorios

Diámetro (mm)	Par de Apriete (Nm)
20	3
25	3
32	4
40	6,5



## Selección del compresor

Características	PCO-5530V	PCO-6200S
Motor	4.1 [kW]-5.5 [HP]	4.7 [kW]-6 [HP]
Voltaje	220 [V]- Monofásico	220 [V]- Monofásico
Caudal	550 [l/min]-19.4 [CFM]	588 [l/min]-21 [CFM]
Tanque	300 [L]-80 [gal]	200 [L]-53 [gal]
Presión Max	125 [PSI]-8.6 [bar]	116 [PSI]-8 [bar]
Transmisión	Por banda	Directa
Nivel Ruido	>72 <80 [dBA]	<70 [dBA]



PCO-6200S

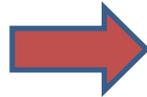


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

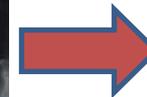
## Implementación



Trazado y soportes



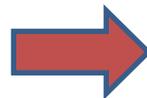
Corte de la tubería



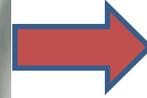
Instalación de tubería



Accesorios y bajantes



Compresor



Red terminada



## COMPRESOR

- Activar los dos interruptores termomagnéticos
- Purgar semanalmente



## PURGADOR

- Purgar antes de usar



## VÁLVULAS ESFÉRICAS

- En posición de la dirección del flujo abiertas



## UNIDAD FRL

- Calibrar la presión a 7 bares
- Purgar antes de usar



## TUBERÍAS

- Verificar si no existen fugas en el funcionamiento.





Al realizar un plan de mantenimiento para la red de aire comprimido del laboratorio, se pretende que se mantenga funcionando continuamente en perfectas condiciones, además de alargar la vida útil de los componentes y de los equipos, se lo realizará al implementar una guía sistemática, que detalla los tiempos exactos de mantenimiento.



## UBICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR

Se ubica donde no interfiera con la movilidad. Su funcionamiento se realiza activando los dos interruptores termomagnéticos, generando aire comprimido mediante los compresores que lo almacenarán en el tanque de 200 [l], para posteriormente mediante la válvula esférica permitir el paso a la instalación de aire comprimido.



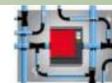
## CODIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Elemento	Código
Compresor	RAC1-COM-01
Filtro	RAC1-FIL-02
Regulador	RAC1-REG-03
Lubricador	RAC1-LUB-04
Purgador	RAC1-PUR-05
Tubería 20 [mm] y Accesorios	RAC1-TUB-06
Válvula esférica	RAC1-VAL-07
Manguera y Acoples	RAC1-MAN-08





## ORDEN DE TRABAJO RED AIRE COMPRIMIDO



LABORATORIO	Hidráulica y Neutrónica	
UBICACIÓN	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Sede Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara	
DOCENTE ENCARGADO	Ing. Sánchez Ocaña, Wilson Edmundo	
PARTE SOLICITANTE		FECHA DE SOLICITUD

### Consideraciones:

<ul style="list-style-type: none"> <li>La red de aire comprimido cuenta con: un compresor monofásico de 220V, con una potencia de 6HP, un tanque de almacenamiento de 200 litros, una caja de control y manómetros, que genera un caudal de consumo de 21CFM</li> <li>Los acoples utilizados para empatar la red son muy sencillos de desmontar y montar.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La diámetro de la tubería tanto para la red principal y secundaria es de 20 mm, cuenta con nueve tomas reguladas y 1 no regulada, en cada una de las tomas existe una válvula esférica, solo en las tomas reguladas existen unidades de mantenimiento FRL.</li> <li>La zona de purga se encuentra con una inclinación aproximada del 2% para que los condensados se evacuen en esa zona y luego sean liberados hacia el exterior.</li> </ul>	
ÁREA AFECTADA	ACTIVIDADES A REALIZAR

RAZONES PORQUE SE EFECTUÓ LA ORDEN DE TRABAJO	
---	--

### ORDEN DE TRABAJO ELABORADA POR

NOMBRE		CARGO	
FIRMA		FECHA	

### ORDEN DE TRABAJO REALIZADA POR

NOMBRE		CARGO	
FIRMA		FECHA	





## PLAN DE MANTENIMIENTO

PROYECTO:	Red de Aire Comprimido del Laboratorio de Hidrónica y Neutrónica
UBICACIÓN:	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE- Sede Latacunga, Campus Gral. Guillermo Rodríguez Lara
DOCENTE ENCARGADO DEL LABORATORIO:	Ing. Sánchez Ocaña, Wilson Edmundo
FECHA DE APLICACIÓN:	24/1/2023

	ELEMENTO	CÓDIGO	ACTIVIDAD	AL USAR	SEMANAL	MENSUAL	ANUAL
1	Compresor	RAC1-COM-01	Comprobar que no existan ruidos o vibraciones inusuales	X			
			Asegurarse que los pernos y tuercas estén bien asegurados	X			
			Retirar y limpiar el filtro de aire, procediendo a lavar con agua y jabón, dejar secar completamente para volver a colocarlo. Sustituir si es necesario		X		
			Inspeccionar el sistema en busca de fugas, aplicando agua jabonosa en las juntas y uniones. Apretar los puntos donde existan fugas		X		
			Eliminar los condensados desde el tapón del tanque de almacenamiento		X		
			Inspeccionar las tomas eléctricas que alimentan al compresor				X
			Realizar un ajuste general del compresor y de las tomas eléctricas que lo alimentan				
2	Filtro	RAC1-FIL-02	Purgar los condensados	X			
			Limpiar el depósito del filtro		X		
			Revisar si están en buen estado las juntas, uniones y orings del filtro. Sustituir si es necesario			X	
3	Regulador	RAC1-REG-03	Ajustar la presión de funcionamiento	X			
			Revisar si están en buen estado las juntas, uniones y orings del Regulador. Sustituir si es necesario			X	
4	Lubricador	RAC1-LUB-04	Revisar si existe aceite, debe existir una pequeña cantidad	X			
			Limpiar el depósito del lubricador			X	
			Revisar si están en buen estado las juntas, uniones y orings del lubricador. Sustituir si es necesario			X	
5	Purgador	RAC1-PUR-05	Purgar los condensados	X			
			Limpiar el purgador, de posibles contaminantes que se hayan impregnado durante la evacuación de condensados			X	
6	Tubería 20 mm y Accesorios	RAC1-TUB-06	Inspeccionar el sistema en busca de fugas, aplicando agua jabonosa en las juntas y uniones. Apretar los puntos donde existan fugas			X	
			Realizar un ajuste general de la tubería y accesorios. Sustituir juntas si es necesario.				X
7	Válvula esférica	RAC1-VAL-07	Inspeccionar el sistema en busca de fugas, aplicando agua jabonosa en las juntas y uniones. Apretar los puntos donde existan fugas			X	
			Realizar un ajuste general de las válvulas esféricas. Sustituir juntas si es necesario.				X
8	Manguera y Acoples	RAC1-MAN-08	Inspeccionar el sistema en busca de fugas, aplicando agua jabonosa en las uniones. Apretar los puntos donde existan fugas. Sustituir si es necesario			X	



## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR

La presión considerada para las pruebas es de 7 bares

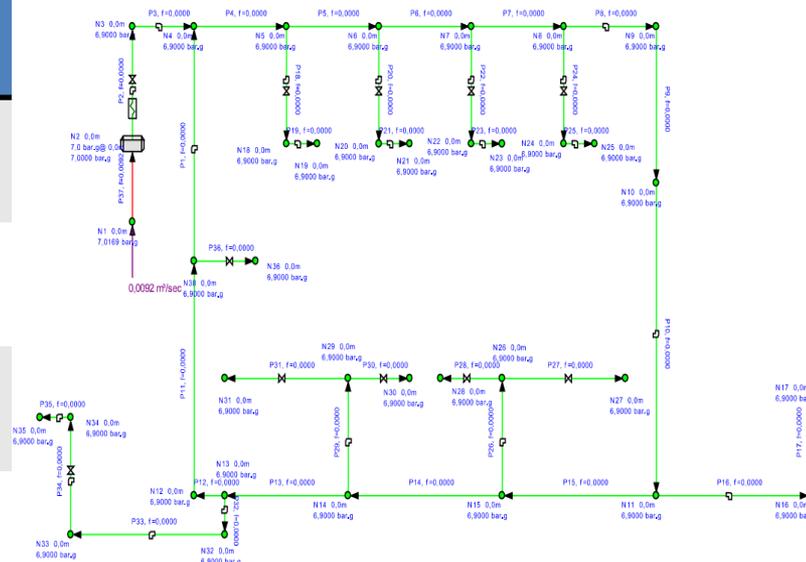
PRUEBA	TIEMPO
Carga en vacío del compresor	4.23 [min]
Carga de aire en la red	7.85 [s].
Descarga plena carga (19,59 CFM)	3.56 [min].
Descarga DEGEM SYSTEM (1,53 CFM)	45.52 [min].



## PRUEBAS DE CAÍDA DE PRESIÓN

La presión considerada para las pruebas es de 7 bares

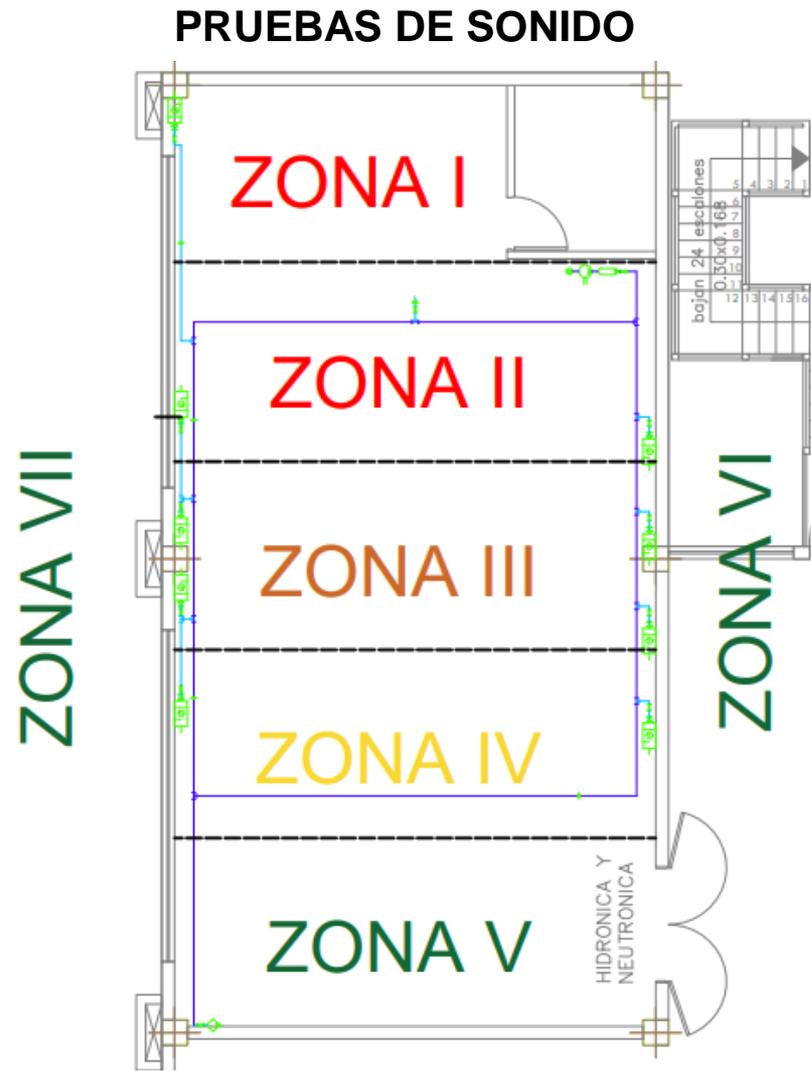
PRUEBA	Caída de presión
En vacío, real	3.28% (6,77 bar)
En vacío, simulación	1.42% (6,90 bar)
En funcionamiento, real	3.50% (3.86 bar)
En funcionamiento, simulación	2.21% (6,84 bar)



## PRUEBAS DE ONDENSADOS

Volumen de condensados en una semana, 106 ml (0.106 l)





## PRUEBAS DE SONIDO

COMPRESOR ACTIVADO	ZONA 1 (dBA)	ZONA 2 (dBA)	ZONA 3 (dBA)	ZONA 4 (dBA)	ZONA 5 (dBA)	ZONA 6 (dBA)	ZONA 7 (dBA)
1	59.43	64.30	60.87	59.85	58.08	46.57	35.86
1 y 2	67.42	66.82	63.71	63.52	61.42	49.00	36.75
1, 2 Y 3	68.99	68.02	65.15	65.40	63.57	51.04	37.00



Se calculó la demanda real del laboratorio de Hidrónica y Neutrónica, teniendo en cuenta el caudal de los módulos neumático; aplicando los factores de uso y de simultaneidad se obtuvo un valor de 13.06 [CFM].

Al proyectar un aumento de consumo del 50%, se obtuvo un caudal de consumo proyectado de 19.59 [CFM], los cuales sirvieron para calcular las características del compresor y de los elementos necesarios para la red de aire comprimido.

Al ser un área educativa el compresor que se optó para alimentar a la red de aire comprimido, es un silencioso, libre de aceite, de 6 [HP], con un caudal de 21 [CFM], que supera el consumo proyectado del laboratorio.

Con las características del caudal, la longitud de la tubería y considerando una pérdida de presión de 0.1 [Bar], se aplicó el nomograma para el cálculo del diámetro de tubería, obteniendo un diámetro de 20 [mm] y 16 [mm]. Para la tubería principal y secundaria respectivamente. En el mercado no se encuentra la tubería de 16 [mm], por lo cual la red se implementó, tanto la tubería primaria como secundaria con un diámetro de 20 [mm].



El diseño de la instalación no requiere de la implementación de un secador debido a que la calidad del aire determinado será de 5 y los costos de implementación se elevarían considerablemente. Sin embargo, se seleccionó un secador de membrana de acuerdo a los datos de la estación meteorológica más cercana proporcionados por el INAMHI y se detalló sus características técnicas requeridas en la instalación. Este secador podrá ser implementado en futuras ampliaciones o cuando la calidad del aire para los equipos neumáticos sea necesario que se encuentre entre 1 y 3.

Para seleccionar la longitud real de la tubería, acoples, válvulas esféricas, unidades de mantenimiento, etc. Se diseñó una simulación de la red de aire comprimido, enlistando el número exacto de elemento que será parte de la instalación.

Al implementar la red de aire comprimido la tubería principal se colocó con un 2% de inclinación hacia el sistema de purgado, se lo realizó de esta manera para que los condensados se dirijan a esta zona y poder evacuar los condensados, impidiendo que se dirijan hacia los módulos neumáticos.



Las tuberías secundarias tienen un sistema de bajante que separa el aire de los condensados, logrando que llegue solo aire a los módulos neumáticos, además en cada toma se colocó una unidad de mantenimiento FRL. En la instalación se encuentran nueve tomas reguladas y una toma no regulada.

El compresor se colocó en un área específica donde no genera inconvenientes mecánicos, físicos y de funcionamiento, proporcionando facilidad en su uso y servicio. Al estar en funcionamiento sus tres motores a plena carga el nivel de ruido más fuerte se produce en la zona 1 es de 68.99 [dBA], lo que no genera lesiones graves en el oído humano.

Las pruebas de funcionamiento fueron muy exitosas porque las pérdidas de presión que tienen un valor de 3.28% en vacío y del 3.5% en funcionamiento, estos porcentajes se encuentran en el rango establecido, que es máximo del 10%. El tiempo en descargarse el tanque del compresor cuando todos los módulos DEGEM SYSTEM estén funcionando a plena carga es de 45.52 [min], que es un tiempo aceptable porque los estudiantes en realizar la práctica se toman un tiempo aproximado de 30 [min].

Para una correcta operación de la red de aire comprimido se ha creado un diagrama de bloques que se muestra en el ANEXO F, donde se detalla los pasos sistemáticos a seguir para obtener aire en cada una de las tomas de manera eficiente. El plan de mantenimiento ANEXO E se detalla todos los componentes, con su respectiva actividad a realizar, en un lapso específico de tiempo.



Para diseñar una red de aire comprimido es recomendable partir del consumo que vamos a tener en dicho laboratorio, por lo cual se debe realizar un estudio el caudal de todos los elementos neumáticos que existan.

El compresor es un elemento primordial, es por ello que se debe seleccionar adecuadamente sus características de funcionamiento, porque de ello dependerá que la red de aire comprimido entregue el caudal necesario a los módulos neumáticos.

La selección del diámetro de la tubería debe seguir una serie de pasos hasta llegar a su valor final, de esto dependerá que no existan pérdidas de presión, cuando se encuentre transportando el aire, hacia su destino final.

La simulación de la red de aire comprimido es muy importante, porque se podrá evidenciar algunas falencias que pueden ocurrir, de esta manera se puede ir corrigiendo para que, al momento de implementar la instalación, se cuente con todos los elementos y consideraciones, llegando a no tener inconvenientes en su aplicación.



Será necesaria la implementación de un secador cuando la calidad necesaria de aire de los equipos neumáticos del laboratorio aumente a valores entre 1 y 3, por el momento no es necesario su implementación, pero en el caso de futuras ampliaciones se recomienda adquirir e instalar un secador de membrana para una presión de 10 [bar], un caudal de 25.4 [CFM], una caída de presión máxima de 2.5 [psi], y con una conexión G ½, estos valores corresponden a datos normalizados por la marca Atlas Copco para su futuro análisis.

Las pruebas que se deben tomar en cuenta, cuando un correcto funcionamiento de la red de aire comprimido son las de: tiempo de funcionamiento, pérdidas de presión, purga de condensados y niveles de ruido causadas por el compresor.

Es ideal que exista un documento que detallen los pasos de operación de la red de aire comprimido, además de un plan de mantenimiento, de esta manera cualquier persona podrá efectuar el funcionamiento y manipulación de la instalación.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN

