



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

T E S I S

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
PROCESOS ELECTRO NEUMÁTICOS DE LÓGICA
CABLEADA**

PRESENTADO POR

BACHILLER ASECIO EUGENIO REYNALDO NELSON

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

MOQUEGUA – PERÚ

2018

CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	
Página de jurado	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Contenido	iv
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Objetivo de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación	3
1.5. Alcances y limitaciones	4
1.5.1. Alcances	4
1.5.2. Limitaciones	4

1.6.	Variables	5
1.6.1.	Operacionalización de variables	5
1.6.2.	Costos... ..	5
1.6.3.	Rapidez de respuesta.....	5
1.7.	Hipótesis de la investigación	6
1.7.1.	Hipótesis general	6
1.7.2.	Hipótesis específicas.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	7
2.2.	Bases teóricas.....	11
2.2.1.	Definición de la neumática	11
2.2.1.1.	Ventajas de la tecnología neumática	14
2.2.1.2.	Desventajas de la neumática	15
2.2.2.	Análisis de calculo y selección de cilindro neumático	16
2.2.3.	Selección de válvulas de distribución.....	16
2.2.4.	Selección de compresor de aire	16
2.2.5.	Treatamiento de aire	16
2.2.6.	Coste del sistema electro neumáticos con lógica cableada.....	45
2.2.6.1.	¿Qué diferencia de ahorro presenta la electroneumática?.....	49
2.2.6.2.	¿Cuánto ahorro concientizando al personal?.....	50
2.2.6.3.	¿Cómo puedo monitorizar con lógica cableada?	50

2.2.6.4.¿Dónde puedo ahorrar más en generación o en distribución?.....	50
2.2.7.Evaluar costos con automatización de lógica programada.....	51
2.2.8.Rapidez de respuesta de sistemas tradicionales.....	52
2.2.8.1.La velocidad máxima de cilindro viene dada por los siguientes datos....	54
2.2.9.Rapidez de respuesta con lógica cableada en electro neumática.....	54
2.2.10. Rapidez de respuesta con lógica programada	55
2.2.10.1. Factores que inciden en el tiempo de respuesta del PLC	57
2.2.11. Costos de mantenimiento de vida útil del sistema	59
2.2.11.1. Mantenimiento preventivo	59
2.2.11.2. Mantenimiénto correctivo	60
2.2.11.3. Mantenimiénto predictivo	60
2.2.11.4. Costo en mano de obra.....	61
2.3. Definición de terminos	61

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación.....	66
3.2. Diseño de investigación	66
3.3. Diseño de investigación	73

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultado	74
4.1.1. Análisis de costos	75
4.1.2. Análisis de rapides de respuesta	82
4.2. Contrastación de hipótesis	84
4.3. Discusión de resultados	87

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
Apéndice	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	5
Tabla 2. Ventajas de la neumática	13
Tabla 3. Condiciones que afectan el funcionamiento neumático	17
Tabla 4. Elementos básicos de diagrama neumático tradicional	18
Tabla 5. Datos básicos de tablas de fabricante en unidades SIU	23
Tabla 6. Requerimiento básico para selección de una válvula	31
Tabla 7. Código de vías de válvulas	31
Tabla 8. Clasificación de compresores por número de etapas	34
Tabla 9. Tabla de longitud equivalente en metros	40
Tabla 10. Materiales de tuberías	41
Tabla 11. Fugas de aire con respecto a agujeros y pérdida de potencia	42
Tabla 12. Composición del aire atmosférico	43
Tabla 13. Causas del aire sin tratamiento	45
Tabla 14. Elementos que conforman la lógica cableada.....	48
Tabla 15. Comparativo de la neumática y la electricidad.....	53
Tabla 16. Elemento que conforman la lógica programada	58
Tabla 17. Datos técnicos de entrada (del diagrama a modelar)	68
Tabla 18. Datos de cilindro de catálogo festo.....	69
Tabla 19. Datos del Compresor marca Karson Sodimac	73
Tabla 20. Costo de elementos de neumática tradicional.....	75
Tabla 21. Presupuesto para el mantenimiento anual del compresor.....	75
Tabla 22. Presupuesto aproximado en el sistema neumático en periodos de un año	76

Tabla 23. Presupuesto global generado en un año con neumática tradicional	77
Tabla 24. Costo de lógica cableada seleccionada para el diagrama de prueba.....	78
Tabla 25. Costo anual para diagrama de lógica cableada	79
Tabla 26. Tabla de entradas y salidas de plc.....	80
Tabla 27. Costo de Elementos de lógica programada.....	81
Tabla 28. Costo anual para lógica programada.....	81
Tabla 29. Rapidez de respuesta de válvulas accionados por fluido aire	82
Tabla 30. Rapidez de respuesta de electroválvulas, accionamiento con bobinas	83
Tabla 31. Tiempo de respuesta PLC	84
Tabla 32. Velocidad de respuesta de neumática tradicional	86
Tabla 33. Velocidad de respuesta de lógica cableada.....	86
Tabla 34. Velocidad de respuesta PLC	87

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Circuito neumático con secador de aire en una línea de tuberías.....	16
Figura 2. Interpretación de presión y volumen constante (Ley Boyle-Mariotte)	19
Figura 3. Tipos de actuadores neumaticos	20
Figura 4. Factores de carga según el tipo de trabajo.....	22
Figura 5. Longitud de pandeo según el tipo de empotramiento.....	25
Figura 6. Cilindro neumatico que realiza trabajo a la salida	25
Figura 7. Circuito de tuberia de aire comprimido.....	27
Figura 8. Diagrama de amortiguacion Hidraulica para frenar grandes movimientos	30
Figura 9. Valvula 5/2 biestable, pilotada por aire y rotulado según norma ISO	32
Figura 10. Valvula 5/2 biestable, pilotada por aire rotulado según norma setop	32
Figura 11. Medición de volumen de entrega	33
Figura 12. Monograma de selección de compresor	35
Figura 13. Compresor tipo pistón, de un solo pistón y doble pistón.	37
Figura 14. Compresor de tornillo con algunas ventajas antes mencionadas	37
Figura 15. Monograma de caída de presión.....	39
Figura 16. Tipo de montaje de tuberías en línea recta con una inclinación y en derivaciones un cuello de cisne, para aprovechar la purga del condensado de agua.	42
Figura 17. Diagrama para calcular la cantidad de contenido de agua, entrar con temperatura ambiente	44
Figura 18. Elementos auxiliares de tratamiento de aire.....	45
Figura 19. Presentación de lógica cableada	46

Figura 20. Diagrama de lógica cableada.....	49
Figura 21. Velocidad/presión en cilindro doble efecto, nota: curva característica durante la carrera de un cilindro con amortiguación y regulador de caudal.....	53
Figura 22. Tipos de lenguajes de interpretación de PLC normalizados según IEC 61131.1	58
Figura 23. Diagrama de lógica programada de un plc con lenguaje FBD.....	59
Figura 24. Cuadro de comparación SMC de energía cinética para cilindro doble efecto.	71
Figura 25. Distribución de costos en neumática tradicional.....	77
Figura 26. Distribución de costos en lógica cableada electroneumática	79
Figura 27. Diagrama electroneumático de fuerza	80
Figura 28. Módulo de entradas y salidas del PLC	80
Figura 29. Distribución de costos en lógica programada.....	81
Figura 30. Distribución de costos en comparativa de las 03 tecnologías.	85

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Figura A 1. Monograma de selección de vástago	95
Figura A 2. Monograma de selección de vástago	95
Figura A 3. Catálogo de cilindro neumático de grandes carreras marca festo.	96
Figura A 4. Valor de factor de pandeo según el tipo de montaje.	97
Figura A 5. Tipos de conexiones	97
Figura A 6. Característica de válvula piloto marca Parker	98
Figura A 7. Característica de la electroválvula solenoide marca Parker	98
Figura A 8. Diagrama de modelamiento de proyecto	99
Figura A 9. Fuerza teórica en cilindros de doble efecto	100
Figura A 10. Comparación de los tipos de automatización	101
Figura A 11. Identificación por tipo de letra, de dispositivos según norma IEC 60617, ISO- 1219-2.....	102
Figura A 12. Enlaces lógicos de programación según normas DIN – ISO	104
Figura A 13. Simbología neumática	105
Figura A 14. Simbología electro neumática	106
Figura A 15. Diagrama presión según altitud	107
Figura A 16. Índices de presión según altitud	107
Figura A 17. Aceite para sistemas de aire comprimido	108
Figura A 18. Aceites para un lubricador	108
Figura A 19. Cálculo del acumulador de aire comprimido.....	109
Figura A 20. Monograma para calcular diámetro de tuberías de conducción de aire	110

Figura A 21. Cuadro comparativo de fibra óptica y cableado UTP.	110
Figura A 22. Elementos de circuito de fuerza de neumática	112
Figura A 23. Cuadro de ahorro del sistema electro-neumático	113
Figura A 24. Datos técnicos de compresor	113
Figura A 25. Recomendaciones de mantenimiento de compresor.....	114

RESUMEN

En este estudio de tesis se analiza la lógica cableada de electro neumática, con diferentes tipos de automatización, la lógica con neumática tradicional, la lógica cableada con electro neumática y la lógica programada con controladores programables. Persiguen dos resultados en base a dos variables como son: los costos comparativos de las tres técnicas de automatización y la rapidez de respuesta de las mismas antes mencionadas. El análisis empieza con un cuidadoso cálculo matemático de diseño de una planta de transporte y trituración, para lo cual generamos datos de selección de elemento de fuerza y mando con un sistema de neumática de fluidos. Esta etapa comprende evaluación de fuerzas neumáticas, análisis de línea de tuberías selección de elementos neumáticos y selecciona de compresor, y en seguida se evalúan el costo en cada etapa de tipo de automatización como son costos en automatización tradicional, costos con electro neumática con lógica cableada y costos con programa de lógica cableada y en la segunda parte se evalúa la rapidez de respuesta de automatización con neumática tradicional, rapidez de respuesta con electro neumática de lógica cableada y finalmente con Plc. Estos análisis se hacen con el objetivo de ver si una técnica de automatizar es mejor que las otras dos técnicas antes mencionadas tanto en economizar y garantizar las respuestas inmediatas a la producción del proceso, y estos como resultados nos dará cuál de los tipos de automatizar cuesta más en el mercado de nuestro medio y con qué rapidez responde a la flexibilidad y aumento de producción considerando paradas por mantenimiento y procesos continuos.

Palabras clave: sistema automatizado, electro-neumática, lógica cableada

ABSTRACT

In this thesis the wired logic of electro pneumatics is analyzed, with different types of automation, the logic with traditional pneumatics, the wired logic with electro pneumatics and the logic programmed with programmable controllers. They pursue two results based on two variables such as: the comparative costs of the three automation techniques and the speed of response of the aforementioned ones. The analysis begins with a careful mathematical calculation of the design of a transport and crushing plant, for which we generate data for selecting the force element and control with a fluid pneumatic system. This stage includes evaluation of pneumatic forces, pipeline analysis, selection of pneumatic elements and compressor selection, and then the cost in each stage of automation type is evaluated, such as costs in traditional automation, costs with pneumatic electro with wired logic and costs with wired logic program and in the second part the speed of response of automation with traditional pneumatics is evaluated, speed of response with electro pneumatic of wired logic and finally with Plc. These analyzes are done in order to see if a technique of automating is better than the other two techniques mentioned above both in economizing and guaranteeing immediate responses to the production of the process, and these results will give us which of the types of automate costs more in the market of our environment and how quickly it responds to flexibility and increased production considering stops for maintenance and continuous processes.

Keywords: automated system, electro-pneumatic, wired logic

INTRODUCCIÓN

La presente tesis de investigación titulada “Diseño de un sistema automatizado para procesos electro neumáticos de lógica cableada” tiene por objetivo determinar si los sistemas automatizados presentan mejores características en cuanto a costos y rapidez de respuesta respecto de sistemas neumáticos y electro neumáticos tradicionales que se presentan en nuestra medio industrial, ya que en los últimos años la importancia de la automatización de los procesos en la industria ha aumentado considerablemente debido a que nos encontramos en un entorno competitivo que está en constantes cambios. Para lo cual el medio industrial está involucrado a procesos de gran velocidad y procesos rápidos y evaluar costos entre los sistemas de neumática tradicional y electro neumático industrial para garantizar la demanda industrial.

Por esta razón el medio industrial emplea la automatización como una herramienta con el fin de mejorar sus procesos, optimizar los recursos, garantizar la producción, y finalmente reducir costos de operación, por ende, liberar al ser humano de trabajos difíciles y riesgosos que atente con su seguridad.

El diseño de sistemas automatizados para procesos electro neumáticos de lógica cableada es dar a conocer los resultados de las distintas evaluaciones de esquemas comparativos realizados en este proyecto, analizados minuciosamente el costo de instalación y mantenimiento de un sistema industrial y evaluado la rapidez de respuesta a demandas que se tienen en los procesos de producción.

En el capítulo I, se describen el problema de investigación teniendo en cuenta los objetivos que persigue, también las variables a estudiar. En el capítulo II, se investiga y selecciona las investigaciones anteriores que afirman datos que nos sirve

para nuestra investigación y la base teórica que engloba este proyecto. En el capítulo II, se menciona el tipo y diseño de investigación, también la población. En el capítulo IV, análisis de cronogramas de actividades, presupuesto y financiamiento con la que se realizará la tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

Cada día la automatización neumática está ganando un espacio importante en la industria nacional, permitiendo mayor productividad y más competitividad en nuestro país. Con frecuencias las personas dedicadas a esta rama de la neumática industrial, buscan soluciones de, analizar costos de instalación y mantenimiento, rapidez de respuesta en accionamientos de sus elementos dentro de su producción. De las cuales no se cuenta con información que den alternativas de solución de sistemas automatizados para procesos electro neumático con lógica cableada, con respecto a sistemas tradiciones y lógica programada. Y a la vez que brinden una serie de esquemas cuidadosamente recalculados y analizados. Si se opta por sistemas equivocados, por razones de no contar con esquemas claras y precisas, se tendrán equipos malogrados o con rendimientos bajos lo cual perjudicarían las producción y estos afectaran económicamente al proceso, para lo cual se hacen las correcciones y estos a la vez incrementarían los gastos extras hechos para reparar y el tiempo perdido por la parada de procesos que finalmente darán como resultado un gastos excesivo, las cuales se pueden disminuir, efectuando una evaluación

técnica para definir la selección de los equipos según sus exigencias de trabajo y de acuerdo a las normas pertinentes.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general

¿Los sistemas automatizados con lógica cableada presentan mejores características en cuanto a costos y rapidez de respuesta cuando se aplican a procesos electro neumático?

1.2.2. Problemas específicos

¿Los costos de sistemas electro neumático de lógica cableada justifican la inversión a realizar en comparación con sistemas tradicionales y lógicas programadas?

¿La rapidez de respuesta de los sistemas automatizados es mejor que los sistemas de lógica cableada?

1.3. Objetivo de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar si los sistemas automatizados con lógica cableada presentan mejores características en cuanto a costos y rapidez de respuesta respecto de sistemas neumáticos tradicionales y de lógica programada.

1.3.2. Objetivos específicos

Investigar si los costos de los sistemas automatizados con lógica cableada se justifican comparativamente con otros sistemas tradicionales.

Determinar la rapidez de respuesta en los sistemas automatizados con lógica cableada en comparación con los sistemas neumáticos y electro neumáticos tradicionales.

1.4. Justificación

Con la elaboración de este proyecto se contribuirá a alternativas de solución de diseño para evaluar costos y rapidez de respuesta de la lógica cableada en la automatización neumática electro neumática industrial para sectores de minería e industrias alimentarias en la ciudad de Moquegua, cabe precisar también que analizara todos los aspectos de selección, cálculos, comportamiento y tiempo de vida de todos los elementos electro neumáticos que intervengas en dicho proyecto para garantizar los costos adecuados de adquisición y mantenimiento, e Instalarlos para que presten garantía y buen funcionamiento teniendo como resultado las distintas velocidades de respuesta en relación a mejoras tecnológicas que se van dando en el mercado. Es por eso que vimos por conveniente hacer un comparativo de esquemas que permitan dar alternativas de diseño comparando las características de uno y otro esquema neumático electro neumático, para dar solución a la rapidez de respuesta de sistemas neumáticos, electro neumático y reducir costos de acuerdo a la investigación realizada. Existen diversas herramientas para implementar la solución de comparaciones para lo cual nos apoyaremos en el programa fluid sim ya que es un programa de simulación neumática y electro neumática mediante el uso de relevadores o plc, siendo un simulador muy certero y fácil de utilizar.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Este proyecto analiza los esquemas de lógica cableada, con elementos de neumática y electro neumático, comprende los aspectos de costos y rapidez de respuestas comparados a otros diseños como son los controlados únicamente por fluidos y los diseños de lógica programables (PLC), esta comparación se hará en base a un único diseño experimental que es un sistema de transporte y trituración de material donde se controlaría la alimentación o carga con cada uno de los diseños a comparar.

La investigación busca evaluar los siguientes elementos que intervienen en el proyecto como son: relés válvulas, sensores, cilindros, motores, compresores de aire, fuente de energía eléctrica, agrupados en un esquema para su diseño y manejo según normas peruanas e internacionales.

1.5.2. Limitaciones

Este proyecto solamente dará solución a problemas de neumática y electro neumático en aspectos económicos y aspectos de cálculos de selección de componentes en lógica cableada, para su óptima instalación y mantenimiento de procesos neumáticos, también contempla rapidez de respuesta de los elementos que intervienen en automatización con lógica cableada para comparar con sistemas tradicionales o PLC.

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Unidad de medida	Escala
Costos	Suma de recursos para la instalación	Nuevos soles	razón
Rapidez de Respuesta	Parámetros de medición	segundos	razón

Fuente: elaboración propia

1.6.2. Costos

Es la suma de los recursos económicos que se invertirán para instalar y mantener en el tiempo un proceso neumático, electro neumático y automatizado con plc para cierta industria, en las cuales intervienen costos de inversión, costos de instalación y costos de operación.

1.6.3. Rapidez de respuesta

Son parámetros y especificaciones de la estrategia que vamos a implementar es saber que reacción provocan nuestros usuarios, analizar y medir el grado de consecución de esos objetivos previamente marcados, ver que funciona y que no, para de esa manera poder modificar o ajustar las diferentes acciones realizadas, o poner en marcha otras nuevas técnicas con el fin de optimizar nuestra estrategia.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

Los sistemas automatizados con lógica cableada presentan mejores características en cuanto a costos y rapidez de respuesta respecto de sistemas neumáticos tradicionales y lógica programada.

1.7.2. Hipótesis específicas

Los costos de sistemas automatizados con lógica cableada se justifican por la mejora en otras características respecto a sistemas tradicionales.

La rapidez de respuesta de los sistemas automatizados con lógica cableada es mejor que los sistemas tradicionales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

EL Grupo Lab-Volt Quevec Ltd. (2000) señala que los sistemas neumáticos pueden ser controlados manual o eléctricamente. El control manual es bueno para las funciones del sistema que no requiere repeticiones constantes, o que implica una serie de eventos interrelacionados. El control eléctrico es más apreciable conforme la complejidad y el número de funciones del sistema aumenten. Con el control eléctrico, la flexibilidad mejora la ejecución, y la seguridad es agregada al sistema. Por otro lado, debemos resaltar entre otros trabajos importantes el realizado por Roldan, (1989) quien señala con mucho acierto que la combinación de electricidad, electrónica y neumática ha sido responsable de la revolución en la automatización industrial, la automatización brinda la optimización en los requerimientos de mano de obra, mayor precisión al ejecutar las tareas y en particular un ahorro muy significativo de tiempo en la ejecución de la tarea, sobre todo en aquellas que son altamente repetitivas, en conclusión la automatización electro neumática combina las ventajas de la electricidad con la neumática tradicional, para vencer las

limitaciones de ambas. El electro neumático es la introducción, procesamiento y curso de la energía eléctrica a través de los elementos neumáticos.

También es de suma importancia mencionar a Greus, (2007) quien sostiene que para dimensionar correctamente una red neumática debe considerarse que el compresor debe proporcionar tanto aire como el que las consumen de forma intermitente. Lo normal es que dichas unidades tengan tiempo muertos, ya que, por Ejemplo, el operario tiene que parar el consumo de aire del dispositivo neumático para posiciones las piezas en la maquinaria, cambiar los utensilios (brocas, y otros), situar un perno en posición etc. Y en estos tiempos muertos un compresor de menor capacidad tendría tiempo para cargar a presión el depósito o la red de aire comprimido y también el tiempo en que la maquinaria está consumiendo aire es decir la duración de la conexión, se denomina factor de uso que es propio de cada tipo de máquina y que está determinado por la forma en que esta trabaja. Estos coeficientes se han determinado mediante cronometraje en diversos trabajos realizados en varias fábricas otro factor que hay que tener en cuenta para calcular el consumo es el factor de simultaneidad, el cual depende del número de unidades que en cada momento consumen aire. Es prácticamente imposible que trabajen simultáneamente todas las unidades ya que siempre hay un desfase entre sus periodos de trabajo, el factor de simultaneidad se conoce por los datos determinados en distintas industrias, de esta manera conociendo el número de dispositivos neumáticos a alimentar y los factores de uso y de simultaneidad es posible dimensionar la red de aire comprimido con todas sus componentes como compresor, deposito, filtros, red de tuberías y dispositivos neumáticos.

Según Deppert & Stoll, (1991) nos dice que el factor tiempo es un parámetro que se considera integrante del proceso de tratamiento de la información y en la mayoría de los casos se trata de tiempos exigidos por el proceso de trabajo, independiente de los tiempos de respuesta propios de cada elemento las cuales varían según la tecnología de los componentes. En neumática los tiempos de retardo temporizaciones se obtienen por medio de depósitos o volúmenes de determinada capacidad que pueden ser elementos destinados a tal efecto o bien una longitud adecuada de los propios conductos de mando, mediante válvulas reguladoras de caudal. El volumen del depósito acumulador, y la estrangulación, determinan el tiempo total ajustable, con la regulación de la estrangulación sección ajustable puede graduarse el tiempo sin escalonamientos entre un máximo y un mínimo. El aire es uno de los medios de trabajo más rápidos utilizables en la industria, velocidad del aire en conductos es de 10 m/s y en velocidades de embolo hasta 1,5 m/s.

Por su importancia debemos señalar además el trabajo realizado por (Nicolas, 2009) quien señala con mucho acierto diciendo que con la neumática se puede lograr hoy en día cualquier nivel de automatización, grado de automatización dependerá de los requerimientos de la máquina y también del coste. El más elemental sistema puede estar formado por un cilindro de doble efecto, por ejemplo, comandado por una válvula de accionamiento manual que será manipulado por el operador cada vez que desee dar salida al vástago, o hacerlo retroceder. Un paso más avanzado de la automatización de dicho cilindro puede lograrse haciendo que con una sola orden de avance del vástago, este llegue al final de su carrera y de forma automática retroceda hasta el origen. Puede conseguirse también de manera

muy sencilla, que el vástago realice movimientos alternativos de entrada y salida de forma repetitiva con una sola orden de comienzo de ciclo. Y, para terminar, el grado más alto de sofisticación puede obtenerse comandando un cilindro especial mediante una válvula proporcional y, con ayuda de la electrónica y de la informática se logren rampas de aceleración y frenado, velocidades variables y fuerzas reguladas a voluntad. Todo ello mediante un programa informático especialmente concebido para este fin.

Por su importancia debemos señalar además que la simulación previa al montaje es indispensable puesto que mediante esta se pueda detectar posibles fallas en los esquemas neumáticos, electro neumáticos que afectarían a los elementos que se utilizarían en la práctica, ya que puede ser dañados con una mala instalación y podrían necesitar cambios innecesarios (Benavides Nuñez & Espinoza Yumi, 2011)

La lógica cableada y la lógica programada son sistemas de instalación en automatización de la industria, la lógica cableada consiste en el diseño de automatismos mediante la utilización de circuito cableados, utilizando para ellos contactos auxiliares de relés, contactares de potencia, relés temporizadores, válvulas hidráulicas y neumáticas, pulsadores y sensores. Estos elementos se usan de acuerdo a la necesidad del circuito, todos los diagramas de lógicas cableadas incluyen funciones de mando y control, de señalización, de protección, y de fuerza o potencia. ‘frecuencia, fuentes de potencia y diferenciales. Cualquier cambio en la programación de la instalación, pasará por modificar el cableado y los elementos de forma que cumplan las nuevas funciones de mando, protección y potencia (Ribas, s.f.).

En la lógica programada se sustituye la utilización de contactos auxiliares, temporizadores, contadores, etc. por un Autómata Programable o PLC con el consiguiente ahorro en mecanismos y cableados. Cualquier modificación de la programación será mucho más rápida al no tener que modificar mecanismos y volver a cablear los mismos para que cumplan la nueva función, ahorrando de esta forma tiempo y costes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Definición de la neumática

La neumática es una de las tecnologías que está usando al aire de la atmosfera para comprimirlo y hacer mover una carga, al comprimir el aire, estamos haciendo una práctica de almacenar energía mecánica, que puede ser utilizada para producir algún movimiento o trabajo. Dicho aire se comprime presionando las paredes del recipiente.

Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos.

En la industria de estos tiempos, la neumática ha sabido escalar enormemente en diagramas de automatización debido a la simplicidad de su aplicación y a su bajo coste de montaje. Se utiliza de forma casi poco notoria en multitud de industrias y en mecanismos de los más variados tipos, al igual que la energía eléctrica, se encuentra fácilmente disponible en todas las empresas o pequeños talleres de producción.

La aplicación generalizada de la neumática en la industria es relativamente reciente, ya que, al igual que otras formas de transmisión de energía, fue implantándose poco a poco hasta lograr el nivel de utilización alcanzado hoy en día, continuamente ha ido desarrollándose y ampliando su campo de aplicación. Hasta no hace mucho en el mercado solo se encontraba el clásico cilindro, algunas válvulas elementales y muy poco más. Aun con estos escasos de medios, y a través de este valioso medio de fuerza, se diseñaron miles de mecanismos con aplicación de fuerza directa del cilindro en unos, y transformando el movimiento lineal en otros.

Estas posibilidades múltiples de los cilindros siguen existiendo, y es con mucha ventaja, el dispositivo más comúnmente utilizado para desarrollar trabajo.

Además del cilindro clásico convencional, existen en la actualidad otros cilindros y actuadores con características peculiares que felicitan enormemente la solución directa de muchos problemas mecánicos: cilindros de carrearera corta, membrana, de varias atapas, multiplicadores de fuerza, accionadores de giros de paletas y cremallera, motores neumáticos y otros. Que se pueden encontrar en el mercado para combinar circuitos neumáticos y darnos esa facilidad de adaptar a distintas funciones que el sistema requiera, con menos complejidad y rápida adaptación y compatibilidad con los elementos de distintas marcas y fabricantes como Festo, Micro, Mc, Parker y otros que están relacionados al mercado industrial de nuestro país.

Tabla 2*Ventajas de la neumática*

Descripción	Fluido neumático
Efecto de fugas	Sólo pérdida de energía
Almacenaje de energía	Fácil
Transmisión de energía	Hasta 1 km, caudal 20 – 40 m/s, 20 – 40 m/s
Velocidad de operación	V = 1,5 m/s
Costo de alimentación	Muy alto
Movimiento giratorio	Simple, eficiente, alta velocidad
Exactitud de posición	1/10 mm posible sin carga
Estabilidad baja	El aire es compresible

Fuente: Graus, 2019

Nota: se muestra algunas diferencias ventajosas de la neumática.

Con la neumática se logrará hoy en día cualquier forma de automatización. El grado de automatización dependerá de la necesidad del cliente y de la inversión. El más elemental sistema puede estar formado por un cilindro de doble efecto, por ejemplo, comandado por una válvula de accionamiento manual que será manipulado por el operador cada vez que desee dar la salida del vástago, o hacerle retroceder. Un paso más avanzado de la automatización de dicho cilindro puede lograrse haciendo que con una sola orden de avance del vástago, este llega al final de su carrera y de forma automática retrocede hasta el origen. Puede conseguirse también, de manera muy sencilla, que el vástago realice movimientos alternativos de entrada y salida de forma repetitiva con una sola orden de comienzo del ciclo. Y finalmente, el grado más alto de sofisticación puede obtenerse comandando un cilindro especial mediante una válvula proporcional, con ayuda de la electrónica y de la informática, se logren rampas de aceleración y frenado, velocidades variadas y fuerzas reguladas

a voluntad. Y todo ello mediante un programa informático especialmente concedido para este fin.

2.2.1.1. Ventajas de la tecnología neumática

- La neumática es capaz de desarrollar grandes fuerzas, imposibles para la tecnología eléctrica.
- Utiliza una fuente de energía inagotable, el aire
- Es una tecnología muy segura; no genera chispas, incendios, riesgos eléctricos etc.
- Es una tecnología limpia, muy adecuada para la industria alimentaria, textil, química etc.
- Es una tecnología muy sencilla, que permite diseñar sistemas neumáticos con gran facilidad
- La neumática posibilita sistemas con movimientos muy rápidos, y precisos, y de gran complejidad.
- Los cilindros y motores neumáticos adoptan trabajar a velocidades razonablemente altas y tienen la facilidad de regular sus velocidades.
- También decimos que las sobrecargas de presión en líneas de tuberías y mangueras no son amenazas peligrosas o que estos malogren equipos conectados en línea
- Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa
- Pueden soportar cambio instantáneo de sentido.

2.2.1.2.Desventajas de la neumática

- El ruido es una desventaja que constantemente se viene disminuyendo con la tecnología
- Es relativamente costosa en comparación con la electricidad, pero la fabricación de máquinas lineales y equipos de manipulación lo hacen ventajoso sobre la electricidad
- Cuando la línea de conducción d efluído son muy extensas, se producen perdidas en los puntos de entrega
- su fuente principal es el compresor de aire comprimido, pero esta máquina solo tiene un rendimiento aproximada de 15% efectivo y el resto es calor que se va.
- Las presiones a las que trabaja normalmente, no permiten aplicar grandes fuerzas.
- El aire comprimido es una energía relativamente cara. No obstante, este elevado coste de energía, se absorbe, en gran parte por la utilización de elementos y aparatos más sencillos, más compactos y económicos.

Algunas aplicaciones que mencionamos como importantes en neumática industrial.

- Para el accionamiento de válvulas para aire comprimido, para líquidos y otros productos químicos
- Para accionar compuertas pesadas que trabajen en lugares de alta temperatura
- Descargando depósitos en todo tipo de construcción.
- Maquinas herramientas en mecánica automotriz, como llanternías, pulverizados, pistolas de aire, etc.

- Sujeción y manipuleo en industrias de la madera.
- Maquinas embotelladoras. Y Todo tipo de manipuleo.

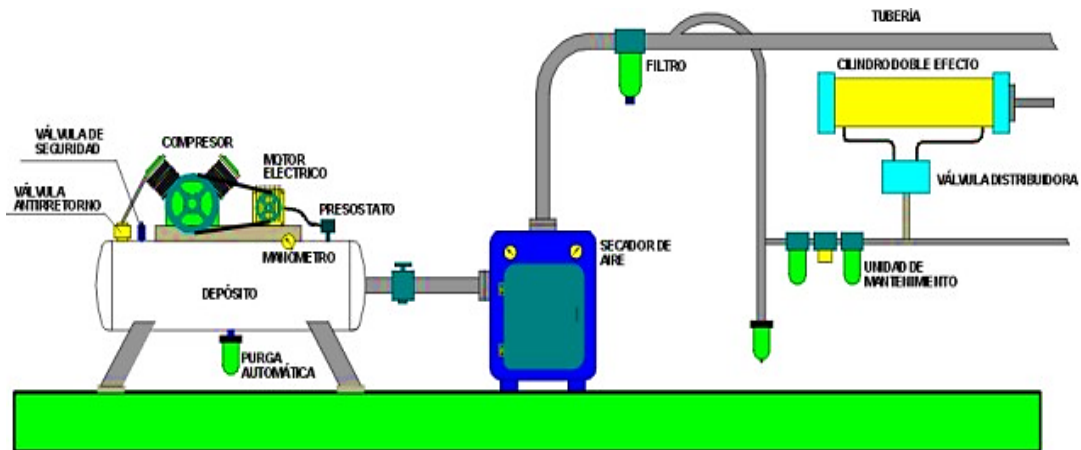


Figura 1. Circuito neumático con secador de aire en una línea de tuberías

Fuente: Ramírez, 2015

2.2.2. Análisis de cálculos y selección de cilindros neumáticos

En esta primera etapa se hace un planeamiento del proyecto a realizar, ¿qué tipo de proyecto se realizará?, ¿cuál será el nivel de automatización?, puede ser sistemas neumáticos tradicionales, electro neumático con lógica cableada y sistemas electro neumáticos con lógica programada. Todo de acuerdo a la necesidad del proyecto ajustándose acertadamente al nivel adecuado para tener una inversión económica adecuada.

También es importante la ubicación donde se ejecutará el proyecto, ya que estos datos nos facilitan a tomar en cuenta costos de traslado, costos de diseño, y lo más importante costos de viabilidad, factibilidad y sostenibilidad en el tiempo.

El proyecto analizará el comportamiento del clima durante el año para monitorizar cuanto afectaría a nuestro proyecto, ya sabemos que de esos datos depende la selección correcta de los equipos que instalaremos en nuestro proyecto como son.

Los actuadores, las válvulas, el compresor, etc. Y finalmente a modo de ejemplo anotaremos una tabla de condiciones que afectarían al funcionamiento de nuestros elementos de instalación.

Tabla 3

Condiciones que afectan el funcionamiento neumático

Localidad	Altitud	Temperatura extrema	Consecuencia
Ilo	0 msnm	30 – 32 c	Corrosión, humedad 72 %
Moquegua	1 410 msnm	25 c	Humedad 36 %
Mina	3 500 msnm	-3 c	Caída de presión

Fuente: elaboración propia

Nota: a modo de ejemplo las consecuencias del factor clima que trae consigo deterioros de un sistema neumático

También evaluaremos las temporadas en que se presenten condiciones adecuadas para el buen funcionamiento de todos los elementos, y las temporadas que se presenten las condiciones extremas que deberá soportar los elementos del sistema neumático industrial, ya que estas condiciones varían el rendimiento del sistema neumáticos por temporadas, esto significa que la producción en un año no es constante tiene sus niveles bajos y niveles óptimos. Las cuales afectarían a la producción.

Si es el caso de instalar en una altitud considerada es necesario recatar la tabla 5 para tener en cuenta las pérdidas de potencia de los motores, eléctricas o de combustión que están acopladas a los compresores de aire, estos a la vez generan caídas de presión en el sistema de generación y reducen el rendimiento del compresor.

Otra de las consideraciones a nivel del mar es, la humedad y este trae consigo la corrosión de todos los elementos en el sistema neumático es por eso la necesidad del tratamiento de aire que a la vez genera gasto en el proceso de generación de aire comprimido. Los temas de seguridad para el medio ambiente, para las personas que están directamente en operación con estas energías y para el proceso son temas a tomar en cuenta con mucha importancia ya que estos podrían causar enormes pérdidas económicas.

Tabla 4

Elementos básicos de diagrama neumático tradicional

Componente neumático	Energía neumática
Compresor de aire	Genera aire a presión
Unidad de mantenimiento (FRL)	Limpia el aire
Mangueras	Conduce el aire
Acoples	Une las mangueras
Pulsadores manuales	Comanda una acción
Válvulas direccionales	Direcciona el aire
Válvulas de control de flujo de aire	Controla el flujo
Cilindros de simple efecto	Realiza el trabajo
Cilindro de doble efecto	Realiza el trabajo

Fuente: elaboración propia.

Nota: son los materiales o elementos básicos para poner en marcha un sistema neumático tradicional.

a. Teoría de Boyle-Mariotte

Las leyes que nos brindan algunos autores como Boyle – Mariotte aplicados a gases perfectos afirmando a temperatura constante, la presión absoluta es inversamente proporcional al volumen.

$$v_1 p_1 = v_2 p_2 = v_3 p_3 = \text{Constante} \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 1]}$$

Donde:

p_1, p_2, p_3 = presiones absolutas

v_1, v_2, v_3 = volúmenes a esas presiones absolutas

Otra de las leyes a mencionar es la de Gay-Luseac propone que, a presión constante, el volumen ocupado por un gas perfecto es directamente proporcional a la temperatura absoluta del mismo (Nicolas, 2009).

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_2}{T_1} \dots \dots \dots \text{ [Ecuación 2]}$$

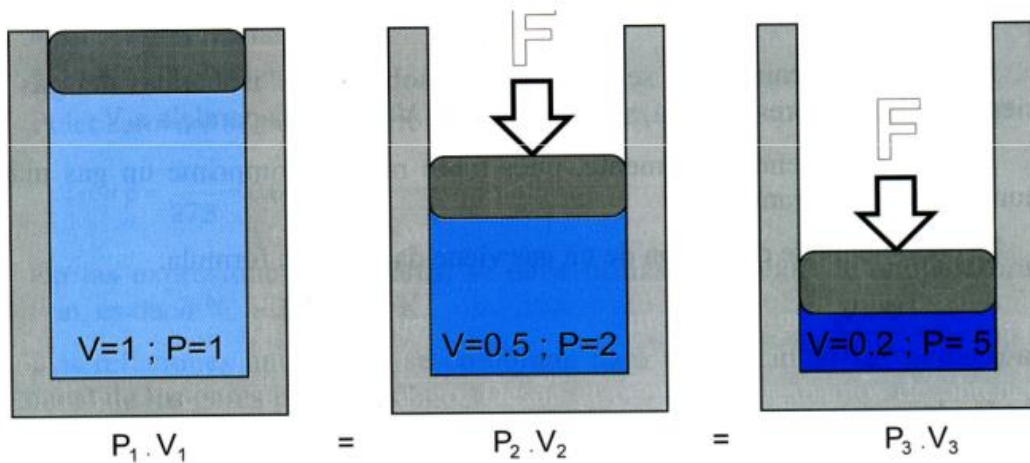


Figura 2. Interpretación de presión y volumen constante (Ley Boyle-Mariotte)

Fuente: Greus, 2007

b. Selección de cilindros neumáticos

En los sistemas de diseño de circuitos neumático entran distintas fuerzas, para lo cual debemos de separar la que nos asemeja al tipo de elemento a instalarse, como por ejemplo la fuerza de accionamiento de una válvula, la fuerza del pistón de un cilindro neumático o también la fuerza de bloqueo en la posición de paro. Entonces describiremos la fórmula de la fuerza para un cilindro neumático.

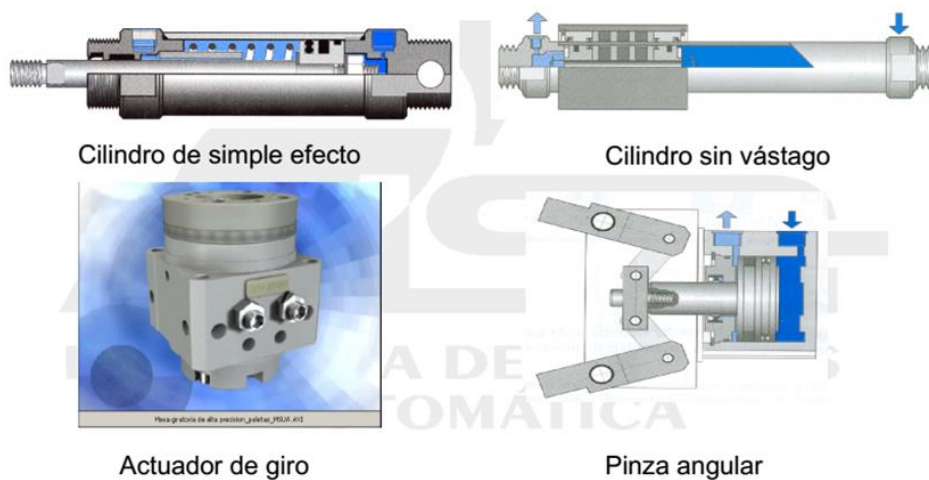


Figura 3. Tipos de actuadores neumáticos

Fuente: Nicolás, 2009

En esta etapa mencionamos la selección de los cilindros neumáticos como la más importante del circuito de fuerza de un sistema neumático tradicional, la fuerza que requiere la carga será importante para determinar la fuerza que ejerce el vástago del cilindro neumático a seleccionar, esta fuerza depende de solamente del diámetro del pistón y la presión suministrada en el cilindro, y también es necesario considerar otros aspectos como el tipo de conexión y tras funciones.

Actuadores estáticos serán aquellos cilindros que realicen su acción básicamente en fuerza en posiciones de su recorrido a velocidades muy bajas o casi nulas (LAF Equipo de docentes, 2013).

Mientras que los actuadores dinámicos son las que se componen de la fuerza y velocidad en todo su recorrido, entonces agrega el autor diciendo que el comportamiento del cilindro dinámico es diferente a cilindro estático, los cilindros dinámicos deben desarrollar fuerzas de inercia originadas por la aceleración de las masas desplazadas, hasta alcanzar la velocidad requerida.

- ***Fuerza necesaria para realizar trabajo (F1)***

Es toda la carga que debe de soportar el cilindro neumático, y directamente el vástago. Para el caso de apertura de una compuerta cual sea debemos seleccionar de acuerdo a la formula siguiente.

$$F1=m(\text{kg}) \times g\left(\frac{\text{m}}{\text{seg}^2}\right) \dots\dots\dots [\text{Ecuación 3}]$$

$$1\text{kg} \times (\text{m}/\text{seg}^2) = 1 \text{ newton}$$

- ***Factor de carga del actuador***

Se determinará el factor de carga, en función de la aplicación requerida, como muestra la figura siguiente,

- a) Funcionamiento estático ≤ 0.7
- b) Funcionamiento dinámico con guía ≤ 1
- c) Funcionamiento dinámico sin guía ≤ 0.5

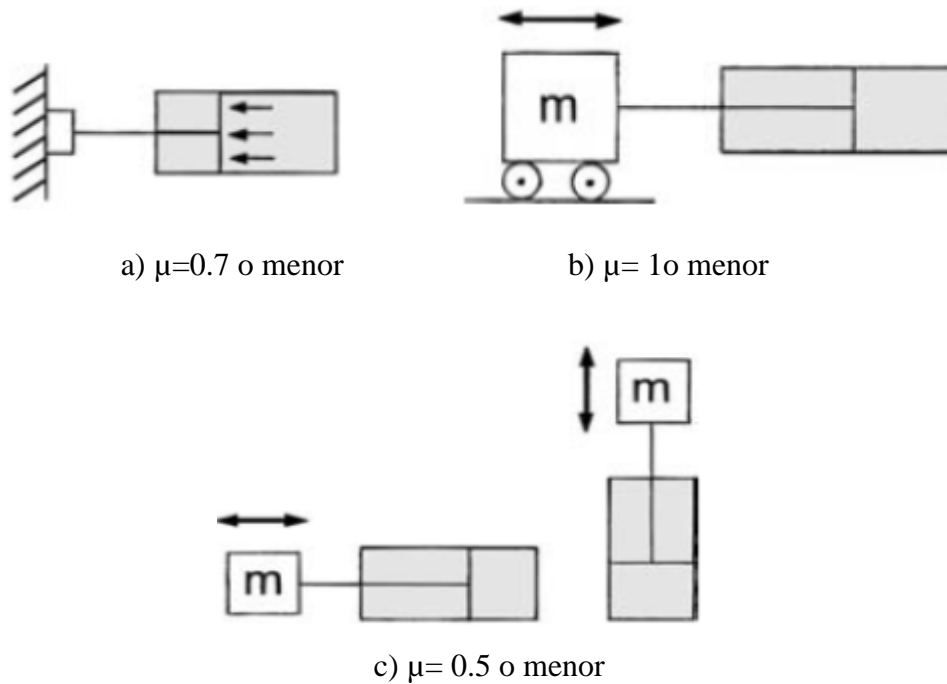


Figura 4, Factores de carga según el tipo de trabajo

Fuente: (Piñeros C., 2013)

Donde: F1 sufrirá un incremento, y sería Fs, la fuerza real de salida del cilindro

$$F_s = \frac{F_1}{\mu \times \eta} \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

μ = factor de carga

η = rendimiento del cilindro propio

F1 = masa a mover (newton)

Fs = Fuerza real de salida del cilindro (newton)

m. = masa en (Kg) la que tiene que vencer el cilindro.

Tabla 5

Datos básicos de cilindros, extraídos en tablas de fabricante

Descripción	Unidad
Diámetro del embolo	mm
Diámetro del vástago	mm
Presión de trabajo	bar
Longitud de carrera	mm
Funcionalidad	De simple efecto y doble efecto

Fuente: Elaboración propia.

Nota: estos datos se deben extraer de tablas para evaluar y calcular el sistema a instalarse.

Estos datos de la **Tabla 5**, nos proporcionaran como mínimo los catálogos del fabricante (planos de fabricante).

Una vez realizado la evaluación de campo y contrastado algunos datos del manual o catálogos con las unidades adecuadas y otras convertidas a unidades necesarias de acuerdo al siguiente orden de cálculos matemáticos, pasamos al siguiente.

- ***Evaluación de diámetro del embolo***

$$F_{si} = Presion \left(\frac{N}{mm^2} \right) \times Area(mm^2) \dots \dots \dots [Ecuación 5]$$

$$F_{si} = Presion \left(\frac{N}{mm^2} \right) \times \frac{\pi \times D(mm^2)}{4} \dots \dots \dots [Ecuación 6]$$

Despejando el diámetro del embolo de cilindro

$$D = \sqrt{\frac{F_2 \times 4}{\pi \times P \left(\frac{N}{mm^2} \right)}} \dots \dots \dots [Ecuación 7]$$

Convertir de bar a N/mm²

1 bar = 100 000 newton/m² entonces => 6 bar = 600 000 newton/m²

$$6 \text{ bar} = 600\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times \frac{1\text{m}^2}{1 \times 10^6 \text{mm}^2} = 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \dots \dots \dots \text{[Ecuación 8]}$$

Para evaluar la fuerza de retorno ideal usaremos la siguiente formula, con la finalidad de saber la direcciona en la que se aplicara la fuerza, puede ser extensión o contracción.

$$\text{Fri} = P \times \frac{\pi (D\text{mm}^2 - d\text{mm}^2)}{4} \dots \dots \dots \text{[Ecuación 9]}$$

$$\text{Fri} = 0,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \frac{\pi (D\text{mm}^2 - d\text{mm}^2)}{4} \dots \dots \dots \text{[Ecuación 10]}$$

Donde:

Fsi = Fuerza de salida ideal(newton)

Fri = Fuerza de retorno ideal(newton)

D = Diámetro del embolo (mm)

d = diámetro del vástago (mm)

- ***Evaluación de pandeo en diámetro del vástago***

La condición es, si F es igual Fp, se producirá pandeo, luego la fuerza de servicio deberá ser menor que Fp. Normalmente se toma como coeficiente de seguridad 3,5 de forma que (Guillen Salvado, 1993) dice, con esta máxima carga de servicio el vástago se pandea, 2,5 y 3,5 son un factor de seguridad.

La selección del diámetro del vástago depende mucho del tipo de montaje del cilindro, usaremos las fórmulas de EULER,

$$F_p = \frac{\pi^2 x E x I}{L_p^2} \dots \dots \dots [Ecuación 11]$$

$$I = \frac{\pi x d^4}{64} \dots \dots \dots [Ecuación 12]$$

Considerando en esta fórmula un coeficiente de seguridad de 2.5 a 3.5

$$F_{si} = \frac{F_p}{3.5} \dots \dots \dots [Ecuación 13]$$

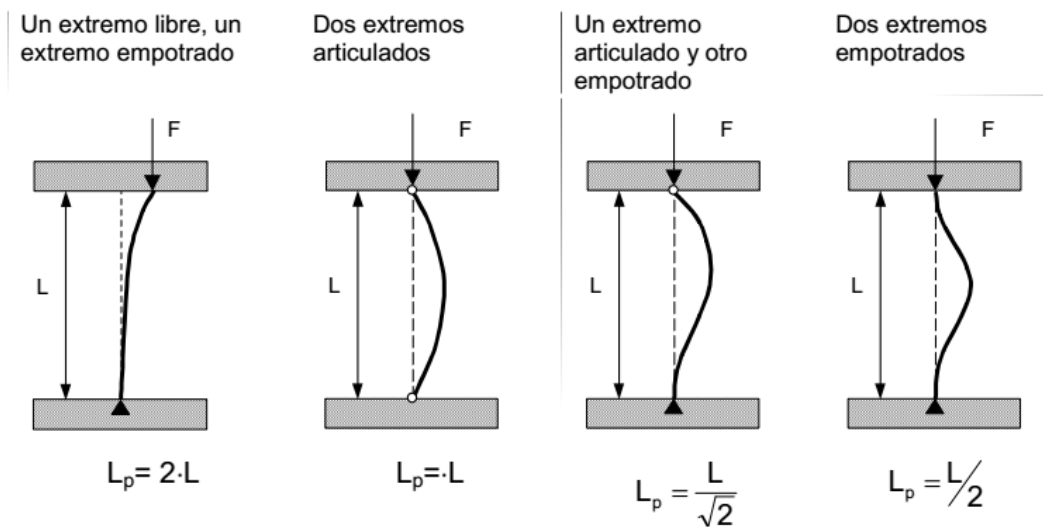


Figura 5. Longitud de pandeo según el tipo de empotramiento

Fuente: SMC, s.f.

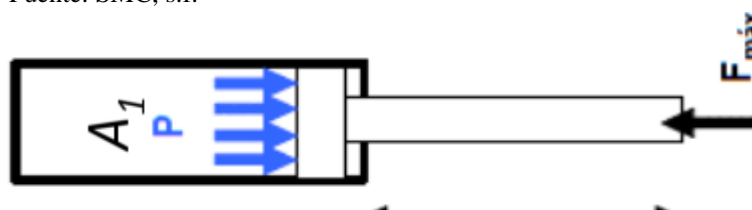


Figura 6. Cilindro neumático realiza trabajo a la salida.

Fuente: Piñeros C., 2013

Iniciamos usando la formula número nro. 05 de fuerza de teórica de salida del embolo

En seguida consideremos según el tipo de empotramiento la longitud básica de pandeo (L_p). Extraer datos de fig. 07.

La siguiente formula esta despejada de la formula nro. 13 tomando un valor intermedio 02.

$$F_p = 2 \times F_{si} \dots \dots \dots [Ecuación 14]$$

Despejado la formula anterior nro. 12 tenemos calcularemos el valor de I

$$I = \frac{L_p^2 \times F_p}{\pi^2 \times E} \dots \dots \dots [Ecuación 15]$$

Finalmente calculamos el nuevo valor de diámetro del vástago despejando la formula nro. 13

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{I \times 64}{\pi}} \dots \dots \dots [Ecuación 16]$$

Siempre se debe de cumplir que, $F_{si} < F_p$

Donde:

F_p = Fuerza critica en N a la que se produce el pandeo

E = módulo de elasticidad de construcción del vástago ($E=210 \times 10^9$ N/m²)

L_p = Longitud libre de pandeo(m), depende de la fijación del cilindro.

d . = diámetro del vástago en (m)

I = momento de inercia para secciones circulares transversales (m⁴)

L = longitud de carrera (mm)

2.5-3.5 = coeficiente de seguridad

Como segundo caso mencionaremos como un factor importante la evaluación de pandeo de los vástagos y cilindros neumáticos, para seleccionar correctamente y evitar el mal funcionamiento en relación a la carga aplicada que va a trabajar, esto también es importante para el costo. Una ruptura del vástago significaría pérdidas económicas de reparación, de la producción y quizás hasta pérdidas humanas.

- ***Consumo de aire del cilindro en un ciclo***

Para el consumo de aire tomaremos la formula general de ciclo se debe tener en cuenta el volumen del cilindro y el número de veces que se repite el movimiento en la unidad de tiempo, generalmente se mide en ciclos por minuto. En el cálculo del consumo de aire se tiene en cuenta la presión de trabajo, por lo que se obtiene el consumo de aire comprimido, para conocer el consumo de aire atmosférico se parte del consumo de aire a la presión de trabajo y se aplica la ley de Boyle - Mariotte. La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe superar los 2 000 mm. Para émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire que requiere. Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía es demasiado grande. Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal, desaconsejándose su uso.

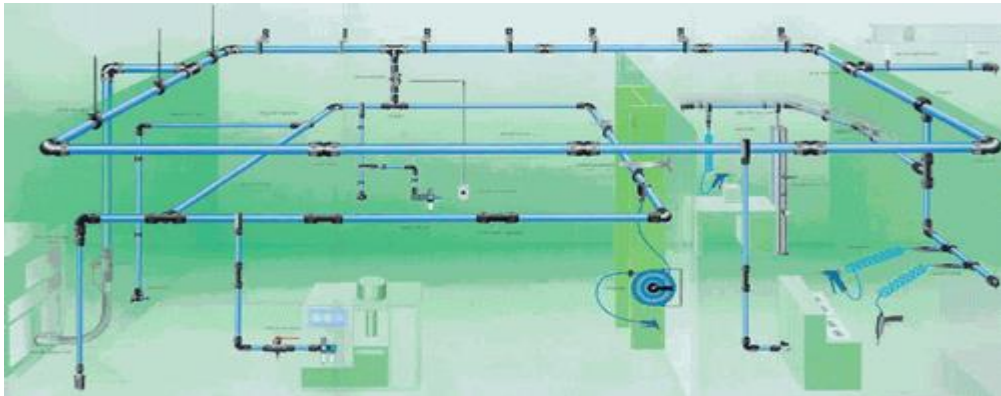


Figura 7. Circuito de tuberías de aire comprimido.

Fuente: Nicolás, 2009

El consumo de aire en un ciclo (una salida y un retorno del embolo), dependerá mucho de la zona donde se instalará el sistema de aire comprimido, en especial ubicación (msnm) del compresor y todos los elementos de accionamiento. Como se sabe a mayor altitud el consumo de aire aumenta considerablemente, por una razón de relación de presiones(RP), según apéndice A pag. 109. La fórmula está a 0 metros sobre el nivel del mar. Y según autor Parker Hannifin Latin America Group, 2003, pag. 8.

$$RP = \frac{101,3 \text{ Kpa} + Pt(\text{Kpa})}{101,3 \text{ Kpa}} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 17}]$$

En seguida el consumo del aire, tanto en la salida y retorno del cilindro

$$V_s = \left(\frac{\pi \times D^2}{4} \right) \times S \times RP. \dots \dots \dots [\text{Ecuación 18}]$$

$$V_r = \left(\pi \frac{(D^2 - d^2)}{4} \right) \times S \times RP. \dots \dots \dots [\text{Ecuación 19}]$$

Donde:

V_s = volumen de consumo a la salida (m³)

V_r = volumen de consumo al retorno (m³)

D = Diámetro de embolo en (mm)

d. = diámetro del vástago en (mm)

n = ciclos por minuto

S = longitud de carrera (mm)

RP = relación de presión según la altitud

- ***Evaluación de la fuerza de impacto***

Para este caso primero calcularemos la velocidad con la que se desplaza el embolo del cilindro tanto en la salida y retorno

Datos:

n. = 10 ciclos/minuto

v = 0.1 a 1.5 m/seg. Velocidad extraída de catálogos de cilindros estándares.

Con los datos anteriores de nro. de ciclos por minuto y la sumatoria del volumen de salidas más el volumen retorno, calcularemos un caudal (Qt).

$$Q_t = V \frac{\text{litros o m}^3}{\text{por cada ciclo}} \times 10 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}} \dots \dots \dots [Ecuación 20]$$

En seguida se puede calcular la velocidad de salida del embolo para evaluar la máxima energía cinética producida.

La velocidad media de los cilindros neumático de todas las marcas de fabricación está comprendida entre 0.1 a 1.5 metros/segundo, en cilindros especiales donde los requerimientos son muy especiales pueden variar estos datos, Jamás deberán utilizarse los cilindros sin amortiguación para trabajar a grandes velocidades o bajo condiciones de choque,

El autor (Guillen Salvado, 1993) menciona que la velocidad está en función de la presión de trabajo, de la fuerza antagonista (choque), de las secciones de las tuberías y también del diámetro nominal de la válvula de mando, también la velocidad del pistón puede ser afectada por agregarle válvulas externas de estrangulamientos, escape rápido. La necesidad de conseguir velocidades

uniformes a lo largo de la carrera es muy compleja ya que no debemos olvidar que estamos trabajando con fluidos compresibles.

$$V = \frac{Qt \text{ o } \frac{m^3}{\text{seg}}}{\frac{\pi(D)^2}{4}} = \frac{\text{metros}}{\text{segundo}} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 21}]$$

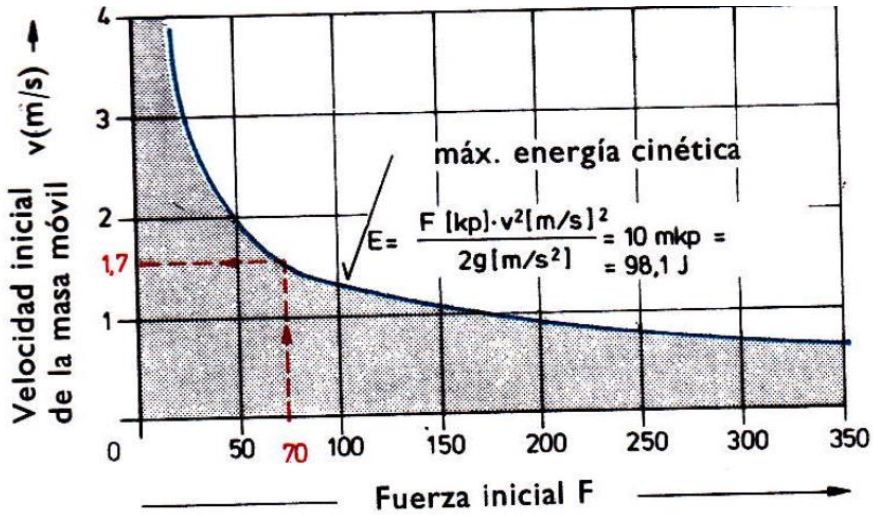


Figura 8. Diagrama de amortiguación hidráulica para frenar grandes masas de movimiento
Fuente: Deppert & Stoll, 1991

Finalmente, la energía cinética producida será:

$$EC = \frac{m + mp \times V^2}{2} \text{ en joule} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 22}]$$

Donde:

V = velocidad del cilindro (m/seg.)

Qt = caudal total consumido (m³/seg.)

EC = energía cinética (joule)

m, mp = masa a vencer, masa propia del vástago. (Kg)

1 daN = 10 Newton 1daN = 1,01972 Kp 1 Bar = 1,01972 Kp/cm²

2.2.3. Selección de válvulas de distribución

Las válvulas están clasificadas en los circuitos neumáticos como los elementos para controlar el arranque, control de parada, dirección y el sentido del flujo de aire. Para una correcta selección de válvulas y electroválvulas se debe de tener en cuenta los siguientes parámetros.

Tabla 6.

Requerimiento básico para selección de una válvula

Parámetros	Descripción
Posición inicial	Puede ser NC o NO, normalmente cerrado o abierto
Número de posiciones	Cantidad de maniobras que puede realizar
Número de vías	Cantidad de conexiones de aire que posee
Tipo de accionamiento	Puede ser: neumático, mecánico o eléctrico
Tipo de retorno	Puede ser por muelle u otro tipo de energía
Caudal de aire	Cantidad de flujo a la que está diseñado
Tipo constructivo	para el montaje o fijación en estructura

Fuente: elaboración propia

Tabla 7

Código de vía de válvulas

Conductos	Norma ISO	Norma CETOP
Alimentación de presión	P	1
Conductos de trabajo	A B C...	2, 4, 6
Conductos de escapes	R S T	3 ,5,7
Conductos de pilotaje	Z Y X	12,14, 16
fugas	L	9

Fuente: norma ISO – SETOP, s.f.

Nota: estos códigos de orificios sirven para hacer diagramas que sean interpretables por los instaladores.

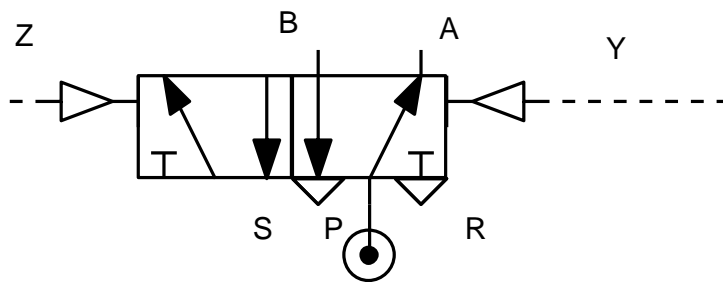


Figura 9. Válvula 5/2 inestable, pilotada por aire y rotulado según la norma ISO

Fuente: Comité europeo de las transmisiones oleo hidráulicas y neumáticas.

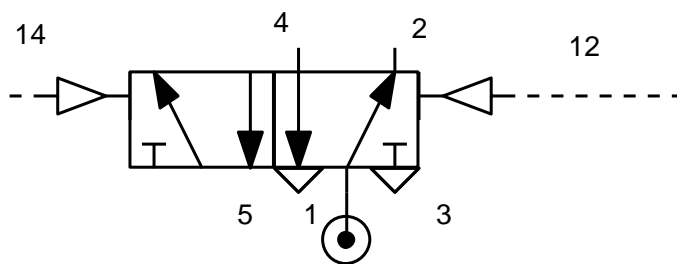


Figura 10. Se muestra una válvula 5/2 biestable, pilotada por aire y rotulado según la norma SETOP.

Fuente: Comité europeo de las transmisiones oleo hidráulicas y neumáticas.

La selección de las válvulas distribuidoras es de dos tipos, la primera es la válvula de asiento que tiene las características como. Cierre y apertura por medio de disco o bola, su fuerza de accionamiento es muy elevada, el desgaste es menor, paso de caudal elevado con desplazamiento mínimo, tiempo de respuesta corto y cierre estancado.

Mientras que las válvulas de corredera ofrecen otras características como: el cierre y apertura se realiza mediante corredera de embolo, la fuerza necesaria para accionar la válvula es pequeña, paso del caudal elevado con desplazamiento grande.

2.2.4. Selección de compresor de aire

La selección de generador de aire o compresor se realiza en base a la labor que este realice y también considerando algunas variables como, presión de aire, caudal de generación, relación de volúmenes y potencia del motor. La presión será un dato de entrada que generalmente se suele usar en la mayoría de los proyectos y es de 6 bar, pero el compresor debe ser capaz de generar hasta 8 bar para lograr la presión de calidad de 6 bar en los puntos donde la caída sea considerable. Para evaluar matemáticamente la selección del compresor, Los parámetros importantes a considerar para una elección de compresor son: el caudal aspirado y la presión deseada a la salida.

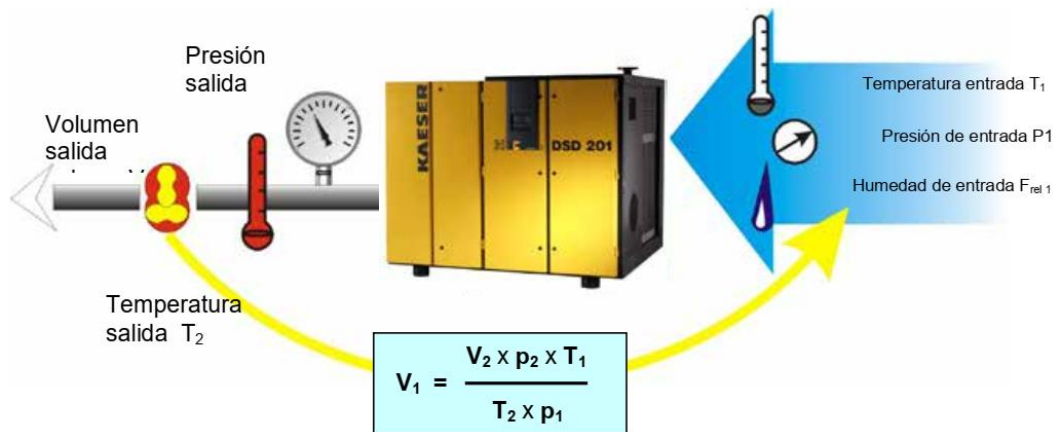


Figura 11. Medición de volumen de entrega

Fuente: Manual Kaiser compressed air

La la figura anterior muestra la relación de presiones que tiene un compresor

Cálculo del caudal total consumido por un solo cilindro, este dato se puede multiplicar por las cantidades que sean necesarios y también darle un porcentaje de proyección de cilindros que se requieran en el futuro.

$$Q_c \left(\frac{m^3}{s} \right) = Q_s + Q_r \dots \dots \dots [Ecuación 23]$$

$$Q_t \left(\frac{m^3}{s} \right) = Q_c \times \# \text{cilindros} \times n \times \% \text{perdidas} \dots \dots \dots [Ecuación 24]$$

Cálculo de la potencia neumática del compresor, hacer conversiones de bar ha N/m², y L/s a m³/s para dar resultado Nm/s que es lo mismo decir KW.

$$P_c \left(\frac{Nm}{s} \right) = Q_r \left(\frac{m^3}{s} \right) + P_t \left(\frac{N}{m^2} \right) \dots \dots \dots [Ecuación 25]$$

Donde:

Q_c = caudal de ciclo de un cilindro en m³/s o l/s

Q_t = caudal total requerido en línea instalada m³/s

P_c = Potencia entregada del compresor Kw

P_t = presión total de línea en newton/m²

η = rendimiento del compresor

Tabla 8

Clasificación de compresores por número de etapas

Hasta 3 a 4 bar	1 etapa
De 8 a 10 bar	2 etapas
Más de 10 bar	Mas etapas

Fuente: Centralair S. A., s.f.

Siempre se debe estimar un valor típico de fugas, revisar los ciclos de trabajo y determinar los factores de carga de los elementos y fijar las máximas caídas de presión admitidas tanto para los diversos elementos como las conducciones.

- **Selección según el modelo y ventajas que ofrecen el mercado de compresores.**

El mercado en este tiempo ofrece dos tipos de compresores que están sobresaliendo (Ver *Figura 8*) con más frecuencia, con diferentes características de funcionamiento y compatibilidad con los sistemas de automatización electro neumático de lógica cableada. Entonces hablaremos del compresor de pistón describiendo las ventajas y desventajas que ofrecen frente a compresores de tornillo. En la producción de aire del compresor de pistón es el 70 % de aire aspirado, mientras que en el de tornillo es aproximado del 95 % de aire aspirado. Esto significa que la tecnología de los compresores rotativo rentabiliza el aire aspirado, ahorrando ese % en costo energético. El continuo rozamiento de los pistones produce un desgaste, pero el motor eléctrico consume siempre la misma energía eléctrica.

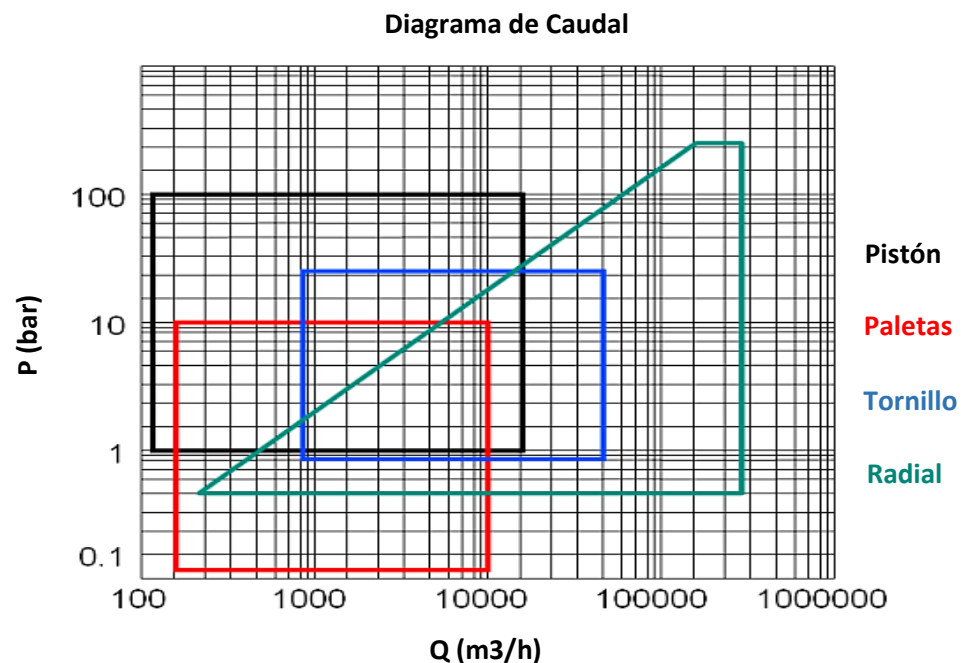


Figura 12. Monograma de selección de compresor

Fuente: Benavides & Espinoza, 2011

Mientras los compresores de tornillo, al carecer sus álabes de rozamiento no existe desgaste, produciendo siempre el mismo aire.

En los compresores de tornillos podemos regular el tiempo de marcha en vacío, (funcionamiento del compresor sin que haya producción de aire) ahorra arranque del motor, por consiguiente, sus picos de consumo eléctrico abaratando así el coste de luz. La ausencia de rozamiento en los álabes del grupo de tornillos, el menor número de arranques, la carcasa insonorizante, menor vibración, nos reduce considerablemente el nivel sonoro en los compresores de tornillo, en comparación el de pistón es muy ruidoso aproximadamente de 85-90 DB en comparación de compresor de tornillos que será de 62- 70 DB. El compresor de pistón limita el tiempo de funcionamiento debido a su necesidad de descansar para refrigerarse, los compresores de pistón que no se detienen cada espacio corto de tiempo son muy susceptibles de anomalías producidas por la temperatura excesiva en el cabezal, especialmente las juntas o la placa de válvulas. El compresor de tornillo nos permite largos periodos de funcionamiento sin descanso ya que poseen un circuito de refrigeración de aceite. Esto nos permite rentabilizar todo el rendimiento que el compresor puede producir. El compresor de tornillo incorpora múltiples protecciones, reduciendo anomalías, ahorrándonos así costosas reparaciones.

Los compresores de tornillo incorporan un refrigerador de aire que enfría el aire en la salida, ayuda considerablemente en la posterior condensación de agua. Panel de control, gestiona todas las funciones del compresor de tornillo, ofreciendo en cada momento la información necesaria para la correcta utilización y el adecuado mantenimiento (Airum Logistic S. L. Compresores, 2016).



Figura 13. Compresor tipo pistón, de un solo pisto, doble pistón.

Fuente: Catálogo Córdor, s.f.



Figura 14. Compresor de tornillo con algunas ventajas antes mencionadas

Fuente: Catálogo Córdor, s.f.

- ***Costos en la tapa de instalación de tuberías, mangueras y accesorios***

Selección de tuberías y accesorios utilizaremos el monograma para dimensionar tuberías, como datos de entrada tendremos consumo de aire en litros/seg, longitud máxima de tubería en metros, presión de trabajo en bar y como resultado encontraremos es diámetro interior de tubería en mm y la caída de presión en bar. Además, el monograma tiene 07 líneas verticales que a continuación describiremos A es la longitud de tubería, que tiene como rango de 10 metros hasta los 5 000 metros si tenemos como dato será el primer punto a ubicar. Luego ubicamos el segundo punto con dato de cauda, será el punto B, trazamos una línea entre los dos puntos prolongando hasta la línea vertical C y se crea otro , después entramos con el dato de presión de trabajo para marcar el punto E, en seguida entramos con caída de presión para tener el punto G y hacemos una línea entre los dos puntos y tendremos en medio otro punto en la vertical F, finalmente marcamos de punto C al F y leemos la línea vertical D, el cual nos dará como resultado el diámetro interior de tubería (Rufes, 2005).

Entrando con los cuatro datos interesamos la línea vertical del diámetro interior de tubería, el dato que encontramos en la figura 11 es 65 mm, pero este diámetro se puede incrementar con la cantidad de accesorios que se instalara en toda la línea de tubería, con la ayuda de la tabla 9 y obtenemos una longitud equivalente y sumar con la longitud inicial para finalmente obtener un nuevo diámetro, Para entender mejor asumiremos 5 codos y 3 válvulas de esfera.

Si no se lee el nuevo valor del diámetro en la tubería por ende no salen los valores de accesorios entonces se hará una interpolación para ser más

exactos. Calcular la longitud equivalente del tramo de tubería. Como dato tendremos al diámetro interior nominal de tubería que sería 65 mm según la figura anterior, a esta longitud le sumaremos los valores de pérdidas por accesorios, entonces como resultado nos da otro valor del diámetro, que significa que aumentara el diámetro

Nomograma de caída de presión

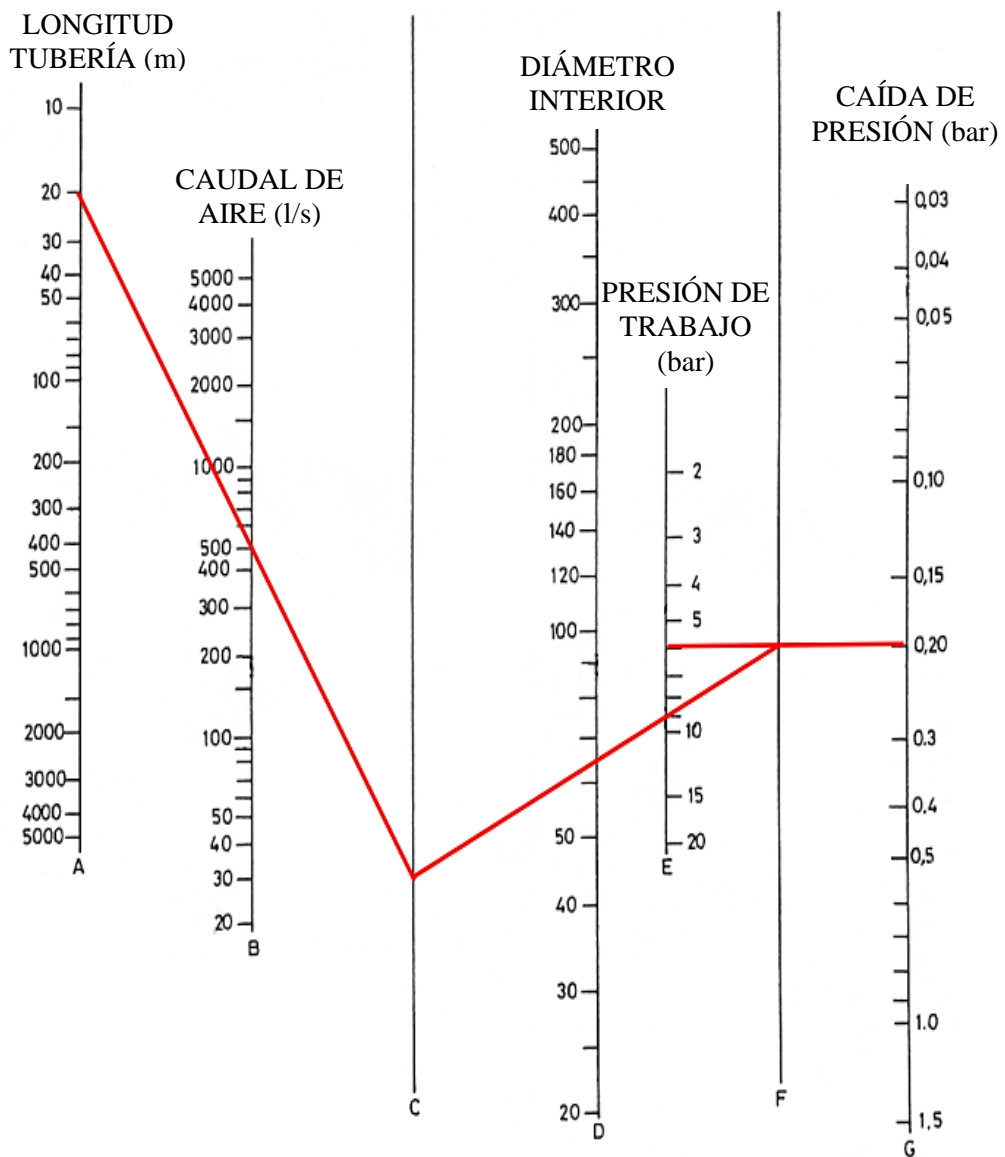


Figura 15. Monograma de caída de presión
Fuente: Centralair S. A., s.f.

Nota: Unir la longitud de tubería (A) con el caudal de aire (B) y prolongar hasta la línea C. La intersección con la línea C se une luego con el diámetro de tubería (D) y se prolonga hasta la línea F. Girando sobre esta última intersección unir la presión de trabajo (E) con la escala G y leer la caída de presión.

Tabla 9

Tabla de longitud equivalente en metros

Tipo de Accesorios	Diámetro interior nominal de tubería en mm									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125
Codo	0,26	0,37	0,49	0,67	0,76	1,07	1,37	1,83	2,44	3,20
Curva de 90°	0,15	0,18	0,24	0,38	0,46	0,61	0,76	0,91	1,2	1,52
Curva de 180°	0,46	0,61	0,76	1,07	1,2	1,68	1,98	2,6	3,66	4,88
Válvula de esfera	0,76	1,07	1,37	1,98	2,44	3,36	3,96	5,18	7,32	9,45
Válvula de compuerta	0,107	1,14	0,18	0,27	0,32	0,40	0,49	0,64	0,91	1,20
T ST. Paso recto	0,12	0,18	0,24	0,38	0,40	0,52	0,67	0,85	1,24	1,52
T ST Paso angular	0,52	0,70	0,91	1,37	1,58	2,14	2,74	3,66	4,88	6,40

Fuente: Greus, 2007

Nota: valores de accesorios a instalar en línea de tuberías, con relación a los diámetros a considerar según el diagrama de la *Figura 9*.

$$Le (m) = 5 (1,37) + 3 (3,96) \dots\dots\dots [Ecuación 26]$$

Calculamos la longitud total considerando la longitud proyectada sumando con la nueva longitud equivalente que encontramos

$$LT (m) = Lp + Le \dots\dots\dots [Ecuación 27]$$

Donde:

Le = Longitud nueva equivalente

LT = Longitud total

Lp = Longitud proyectada antes de entrar al diagrama

Ya teniendo el nuevo valor de longitud total, podemos ingresar con el mismo procedimiento anterior, pero con el valor del diámetro inmediato superior de la tabla de longitud equivalente. Y sabremos de un nuevo valor de diámetro de tubería, entonces nos ajustaremos a un diámetro comercial el cual estará en el inmediato superior.

Tabla 10

Materiales de tuberías

Nro.	Materiales de tubería	Presión máxima en bar
1	Cobre	250
2	Aluminio	125
3	Latón	200
4	Acero inoxidable	2 500 – 4 500
5	Polietileno a 80 C°	12 – 15
6	Nylon a 100 C°	7 – 10
7	Vinilo a 25 C°	8 – 10
8	Caucho a 28 C°	3 - 7

Fuente: Majumdar, 1996

Nota: con esta tabla se puede seleccionar tuberías de acuerdo a la presión máxima de trabajo en la línea de conducción de fluido

Tener en cuenta la presión nominal, el espesor de la pared de la tubería y el diámetro está interrelacionados, de donde se debe realizar el cálculo detallado del espesor del tubo al seleccionar la presión nominal (Majumdar, 1996).

En esta etapa ya se ha evaluado las caídas de presión, el tipo de tuberías, con las cuales ya se pueden estar viendo el tipo de instalación que puede ser de circuito abierto, circuito cerrado y mixto dependiendo del espacio y las comodidades que ofrecen in situ, para lo cual consideramos “pérdida máxima de presión para el diámetro pequeño de tubería debe ser menor a 0,05 bar y para el diámetro grande

de tubería la caída máxima será 0.1 con respecto a la presión aplicada 6 bar”
(Majumdar, 1996).

Tabla 11

Fugas de aire con respecto a agujeros y pérdida de potencia

Diámetro del agujero (mm)	Fuga de aire a 7 bar (l/s)	Potencia necesaria del compresor (KW)
0,4	0,19	0,06
1	1,18	0,37
1,6	3,07	0,97
3	10,59	3,36
6	49,1	15
10	122	37

Fuente: Centralair S. A., s.f.

Nota: tabla para considerar algunas fugas que nos resulta perdidas en compresor.

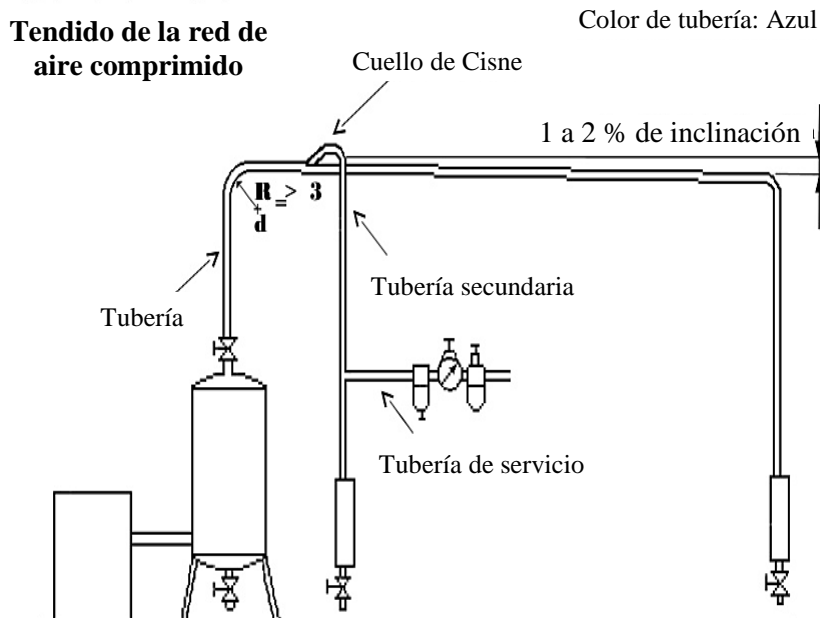


Figura 16. Tipo de montaje de tuberías en línea recta con una inclinación y en derivaciones un cuello de cisne, para aprovechar la purga del condensado de agua.

Fuente. SENA, s.f.

2.2.5. Tratamiento de aire comprimido

El tratamiento de aire comprimido tiene como finalidad eliminar o minimizar al máximo que se pueda las impurezas sólidas y el condensado de agua, con la única finalidad de proteger los elementos de servicio en la línea y garantizar la vida útil de los elementos del sistema, también podremos reducir los tiempos de averías y la reparación de los elementos en mención. Las impurezas a combatir perenalmente son gotas de agua, polvo, restos de aceite de los compresores, óxidos y otras, de todos estos malestares se debe de prestar mucha atención a la humedad que contiene el aire, asumiendo que el agua (humedad) llega al interior de las tuberías y toda la red con el aire que aspira el compresor. Revisar Norma ISO 8573-1-2010. En general aire está compuesto básicamente por algunas composiciones que se menciona en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Composición del aire atmosférico

Composición del aire atmosférico		
Nitrógeno = 78 %	Óxido nitroso	Neón
Oxígeno = 21 %	Helio	Yodo
Hidrógeno = 1 %	Radón	Dióxido de carbono
Monóxido de carbono	Argón	Óxido nitroso

Fuente: Greus, 2007

Nota: algunas composiciones que tiene el aire en la atmosfera, las cuales debemos de combatir para purificar.

La cantidad de humedad depende de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y del clima en particular. La humedad absoluta es la cantidad de agua que contiene en un metro cubico de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua que un metro cubico de aire puede

admitir a una determinada presión y temperatura, Punto de rocío es la temperatura a la que comienza la condensación de la humedad contenida en el aire. Para usar el diagrama se debe tener los siguientes datos:

- Volumen de aspiración en $m^3/hora$
- Temperatura de ambiente en c
- Humedad relativa ambiente de la zona de ejecución %
- El diagrama nos solicita la temperatura, hacemos un trazo vertical hasta intersectar con línea curva, trazamos otra línea horizontal y tendremos de la cantidad de contenido de agua por cada metro cúbico de aire.

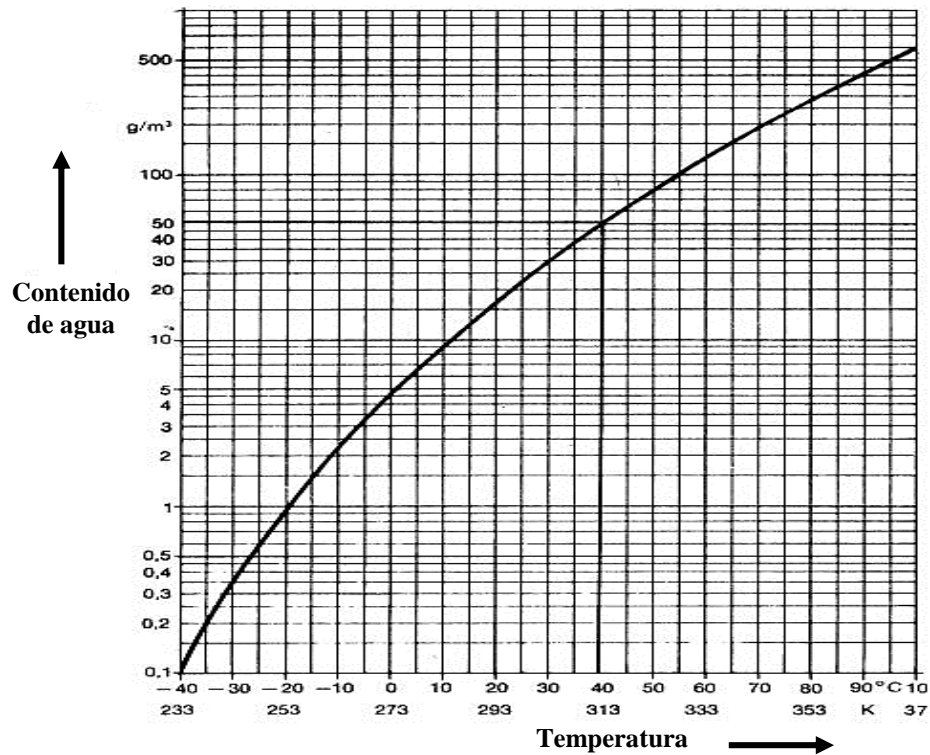


Figura 17. Diagrama para calcular la cantidad de contenido de agua, entrar con temperatura ambiente

Tabla 13

Causas del aire sin tratamiento

Problemas en red	Problemas en producción	Afecta a
Corrosión	Contaminación	Costos
Caída de presión	Herramientas gastadas	Costos
Contaminación	Rechazo	Costo
Congelamiento	Tiempo muerto	Costos
Mantenimiento	Sin producción	Costos

Fuente: elaboración propia

Nota: para evaluar costos, tomar en cuenta esta tabla.

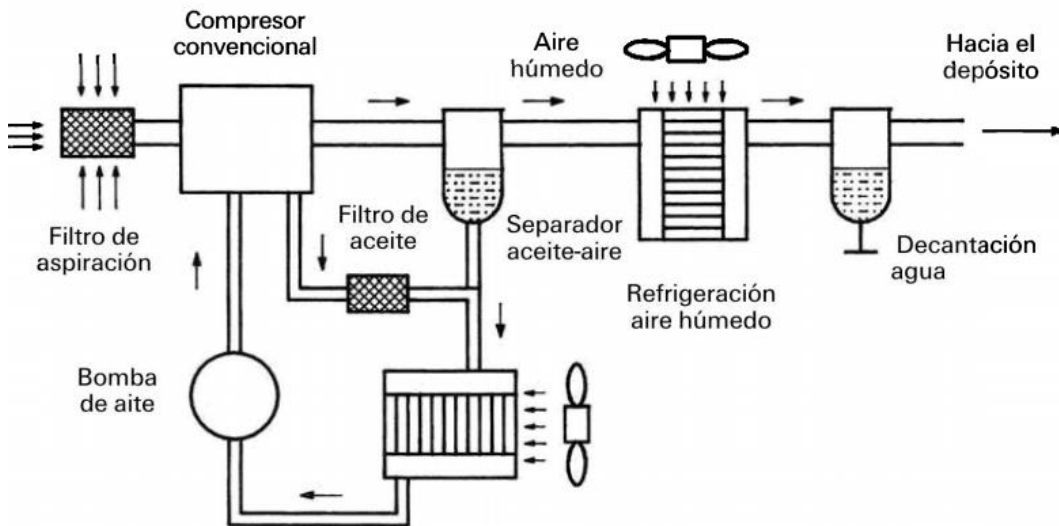


Figura 18. Elementos auxiliares de tratamiento de aire

Fuente: Greus, 2007

. Para hacer un proyecto de automatización con electro neumática, primero de debemos resolver algunos interrogantes y saber con seguridad sus respuestas.

2.2.6. Coste del sistema electro neumáticos con lógica cableada

Todos los elementos que remplazan al sistema neumático tradicional están enumerados en el **Apéndice A-10**. la electro neumática entra a la necesidad de solucionar distancias muy grandes de conducción de fluido neumático en circuitos

de control ya que el aire se debilita y retrasan sus efectos hasta llegar a dar una orden debido a la pérdida de carga que sufre en el trayecto de las tuberías y mangueras, donde pierde la condición de rapidez de respuesta y seguridad de respuesta, por otro lado las conducciones de distancias muy largas en el control con fluidos de aire representan un consumo muy elevado de aire y el gasto que estos generaran son considerables para la economía del sistema de producción neumática.

Estas son las razones por las cuales es impórtate combinar la energía eléctrica en el circuito de mando y la energía neumática en el circuito de fuerza. También comentaremos a los operadores que enfrentan constantes caídas de presión en el sistema de tuberías, y la mejor salida que le dan a este problema es hacer trabajar al compresor y a la red de distribución a su máxima capacidad, con la finalidad de entregar el caudal suficiente a los puntos más alejados. Pero esto ocasiona que el sistema se sature habiendo presiones excesivas en los puntos iniciales del sistema como resultado dañando a los puntos más vulnerables de la red.

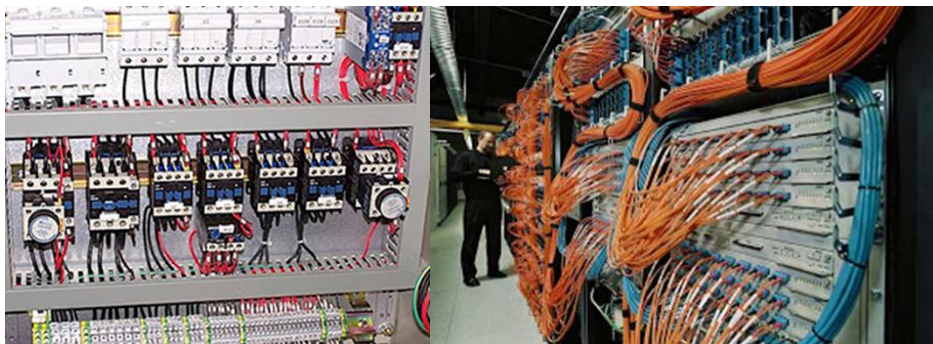


Figura 19. Presentación de lógica cableada

Nota: permite flexibilidad a la rapidez de respuesta en comparación con la neumática tradicional

Los elementos a reemplazar serian definitivamente las válvulas 5/2 por electroválvulas biestables 5/2, (**Tabla 14**), esto se hace por que las válvulas trabajan

con mandos neumáticos o fluidos de aire a diferentes presiones, las cuales no pueden tener buenos rendimientos a grandes distancias porque hay mucha caída de presión en las cañerías y esto haría que las válvulas reaccionen lentamente. Para lo cual cambiaremos por mandos eléctricos que excitaran una bobina con tensiones de mando de 12 v dc, 24 v dc, y también con 110 v ac, 220 v ac respectivamente, si comparamos las caídas de presión en comparaciones con la electricidad, la electricidad ofrece grandes ventajas para controlar mandos a grandes distancias. Como no mencionar la diferencia de funcionamiento de tubería y cables, es muy notorio que las tuberías no prestan garantía de servicio continuo en condiciones extremas de climas, condiciones geográficas y otros, es ahí donde la electricidad nos podría ayudar enormemente a suplir las mismas funciones. Es necesario también incorporar pulsadores eléctricos de marcha y parada, que sean compatibles con las electroválvulas. Relés eléctricos, contactos NC y NO y fuente de alimentación. Entonces teniendo estos elementos electro neumáticos, diremos que los elementos neumáticos a usa serán el compresor, los actuadores, unidad y mantenimiento y válvulas de regulación de caudal.

Tabla 14

Elementos que conforman la lógica cableada

Elemento	Enlace/ Lógico	Tensión
Fuente de alimentación	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Relé	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Relé térmico	Cableado	220v.AC-24 V.DC
solenoides	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Contactador	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Pulsador de parada	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Pulsador de marcha	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Electroválvula	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Válvula solenoide	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Contacto NC	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Contacto NO	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Sensores	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Presostato	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Termostato	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Finales de carrera	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Alambres de conexión	Cableado	220v.AC-24 V.DC
Lámparas de señal	Cableado	220v.AC-24 V.DC

Fuente: elaboración propia.

Nota: todos los elementos que intervienen en un sistema de lógica cableada. Para automatizar un sistema electro neumática.

El sistema de lógica cableada tiene aún ventajas que considerar al momento de diseñar proyectos electromecánicos, las cuales son:

- Implementable en multitudes plataformas tecnológicas eléctricas, neumáticas, oleo hidráulica.
- Permite estructurar circuitos en forma ordenada y segura.
- Facilita la implementación de cableado estructurado de energía y datos.
- Implementación sencilla usando diagramas de contacto.

Así como tiene ventajas también cuenta con desventajas ante la crecida comercialización de autómatas programables. A nivel industrial se ha difundido el uso de compuertas lógicas reemplazando a los relés.

En grandes sistemas se suele utilizar siempre autómatas programables, ya que son más flexibles ante cualquier cambio u operación del sistema

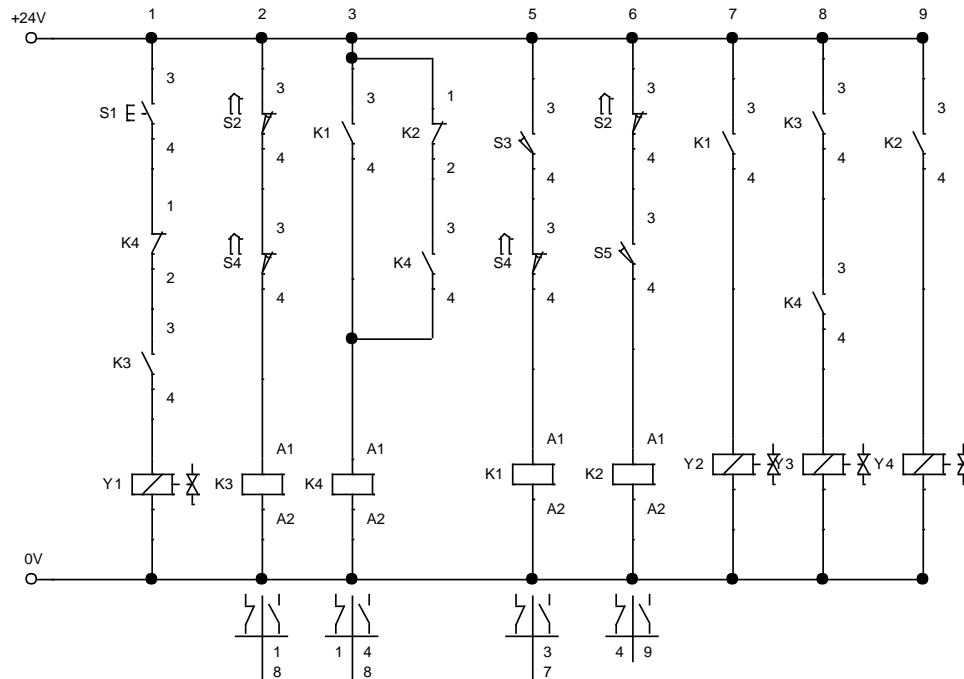


Figura 20. Diagrama de lógica cableada

Nota: elaborado con el software fluidsims 3.

Fuente: Festo, 2018

A diferencia del sistema tradicional, con la aplicación de la electricidad es posible hacer circuitos más flexibles y compatibles.

2.2.6.1. ¿Qué diferencia de ahorro presenta la electroneumática?

Concienciar del coste del aire comprimido, decimos que el aire es gratis y hay en abundancia, pero comprimirlo para generar energía es relativamente costoso, y distribuirlos hasta sus puntos de uso cuesta mucho más, es diferente porque reduce casi en la mitad de elemento de consumidores de fugas como válvulas y mangueras, rempazándolos por cables eléctricos.

2.2.6.2. ¿Cuánto ahorro concientizando al personal?

Identificar las tuberías y cañerías de distribución de aire comprimido inutilizadas, ya que estas siempre serán fuentes de potencial fugas. Para lo cual debemos de perseguir las fugas usando automatizaciones con lógicas cableadas y otros más eficientes y reemplazándolos en lo más posibles con elementos eléctricos, en todo el sistema de mando y control.

2.2.6.3. ¿Cómo puedo monitorizar con lógica cableada?

Automatizar los procesos neumáticos a electro neumáticos, ya que los procesos neumáticos controlados manualmente y con energía de fluidos de aire propician las fugas de aire por el tiempo que demora las aperturas y cierres de los sectores de circuitos de distribución y por la frecuencia que permanecen abiertas o con fugas algunos sectores no detectados.

2.2.6.4. ¿Dónde puedo ahorrar más en generación o en distribución?

Según SMC:

- Coste de mantenimiento representa un 15 % del gasto anual
- Coste de generación representa un 75 % del gasto anual

En generación la forma más eficaz de ahorrar está en poner un compresor en marcha de continuo, es decir que genere aire continuamente mientras que el otro compresor variable ósea trabaje de acuerdo a la necesidad de demanda que habría

en la línea de tuberías, esto con el fin de consumir solamente lo que requiera el sistema.

En utilización si se puede ahorrar muchísimos, dándole importancia en sectorizar las instalaciones, monitorizando el consumo, calidad de aire.

2.2.7. Evaluar costos con automatización de lógica programada

El estándar IEC 61131 para controladores programables consiste de cinco partes, una de las cuales hace referencia a los lenguajes de programación y es referida como la IEC 61131-3.

Lenguajes gráficos como Ladder (LD) y diagrama de bloque de funciones (FBD). Lenguajes textuales están compuestos por: lista de instrucciones (IL) y texto estructurado (ST).

Adicionalmente, el estándar IEC 61131-3 incluye una forma de programación orientada a objetos llamada Sequential Function Chart (SFC). SFC es a menudo categorizado como un lenguaje IEC 61131-3, pero éste es realmente una estructura organizacional que coordina los cuatro lenguajes estándares de programación (LD, FBD, IL y ST). La estructura del SFC tuvo sus raíces en el primer estándar francés de Grafcet (IEC 848).

El plc resuelve problemas que los sistemas tradicionales con fluidos de aire y las de lógica cableada no pueden resolver como por ejemplo: accidentes laborales, salud laboral, utilización del personal en procesos de naturaleza peligrosa o dañina para la salud, pérdida de calidad en algunos productos, niveles de rechazo de productos por parte del cliente, reproceso, reparaciones de piezas, materia prima

de mala calidad, incumplimiento de las normas de calidad, introducción de una línea de producto, cuellos de botella, flexibilidad en la producción, tanto en demanda como en diversidad de productos, costos de almacenamiento de inventario, tiempos de entrega, demora en las órdenes de compra, demasiado papeleo en la empresa, demasiado desperdicio (scrap) o de desecho, contaminación ambiental.

2.2.8. Rapidez de respuesta de sistemas tradicionales

El factor de tiempo, son parámetros de consideración integrante de los procesos, el aire comprimido es uno de los medios de trabajo más rápido, tanto en movimiento rotativos como en lineales. En los primeros, los motores neumáticos alcanzan hasta 500 000 rpm, y en los movimientos lineales se obtienen hasta 10 m/s en el caso de los cilindros de impacto. Con cilindros neumáticos convencionales pueden obtenerse velocidades de hasta 1,5 m/s aproximadamente. En las modernas técnicas de producción, el accionamiento de movimientos lineales mediante aire comprimidos ocupa un lugar preponderante. El aire comprimido es uno de los medios de trabajo más rápidos utilizables en la industria. Velocidad de aire en conductos, hasta 10 m/s. Velocidad del embolo hasta 1,5 m/s (Deppert & Stoll, 1991).

Tabla 15

Comparativo de la neumática y la electricidad

Descripción	Energía Neumática	Energía eléctrica
Seguridad	No requiere	Si requiere protección
Velocidad	Es rápido	Es preciso
Ambiente	Poco contaminante	Contaminante de generación
0 Msnm	Corrosión, óxidos	Corrosión y óxidos
Altitud	Bajo rendimiento	Caída de tensión

Fuente: elaboración propia.

Nota: algunas condiciones a considerar en la electricidad y la neumática.

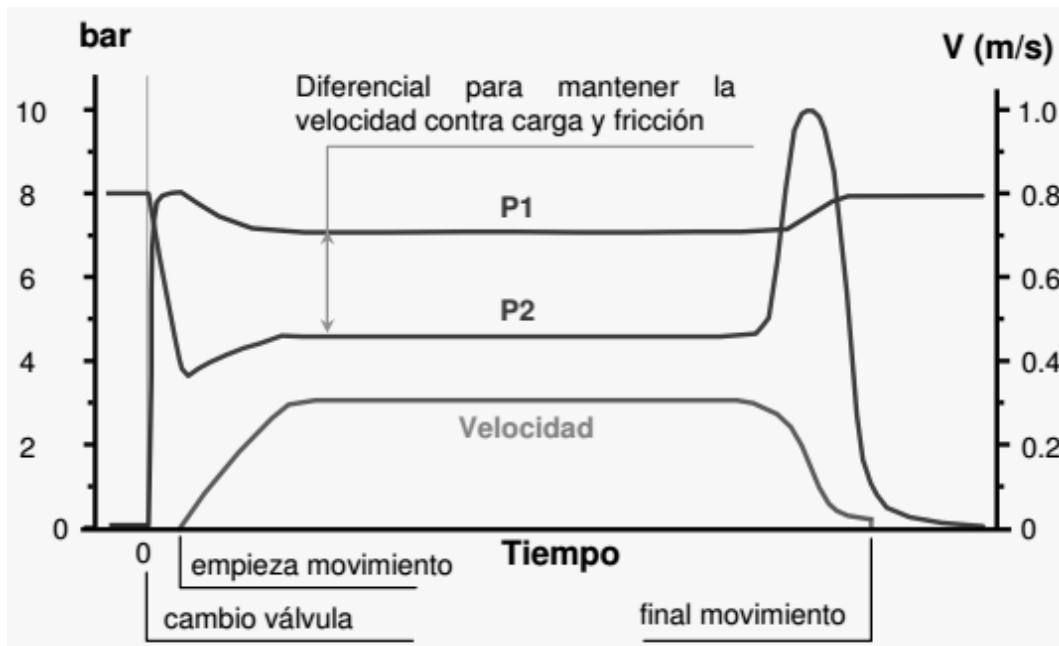


Figura 21. Velocidad/presión en cilindro doble efecto, nota: curva característica durante la carrera de un cilindro con amortiguación y regulador de caudal

Fuente: Renedo, 2006

2.2.8.1. La velocidad natural máxima de cilindro viene dada por los siguientes datos

- La dimensión del cilindro
- La dimensión de los conexiones
- La entrada y escape de las válvulas
- La presión de aire suministrada
- El diámetro y la longitud máxima de tuberías
- La carga que está actuando
- También podemos darle diferentes velocidades de control a los actuadores en un circuito considerando que con una válvula menor reduce la velocidad y con una válvula incrementa su velocidad.
- Por otro lado, se puede controlar el caudal de aire siempre en los escapes de acuerdo a las velocidades que se requiera
- Y finalmente se puede conseguir velocidades de un actuador hasta un 50% más acoplando en el escape una válvula de escape rápido, pero la amortiguación será menos efectiva

2.2.9. Rapidez de respuesta con lógica cableada en electro neumática

Concienciar del coste del aire comprimido, decimos que el aire es gratis y hay en abundancia, pero comprimirlo para generar energía es relativamente costoso, y distribuirlos hasta los puntos de uso cuesta mucho más. Partiendo de ese problema surge la necesidad de automatizar reduciendo caídas de presión, consumos de aire por agujeros, y funcionamiento de compresor, muchas veces generando aire por demás, pudiendo trabajar de acuerdo a la demanda que requiera el sistema.

Algunas características de mejora que ofrece la electricidad sobre la neumática es rapidez de paso de señal, múltiples accionamientos en menor tiempo, control a larga distancia y personal capacitado, La neumática se complementa

sacándole ventaja en hacer máquinas de movimiento lineales, con facilidades de regular velocidades

Identificar las tuberías y cañerías de distribución de aire comprimido inutilizadas, ya que estas siempre serán fuentes de potencial fugas. Para lo cual debemos de perseguir las fugas usando automatizaciones con lógicas cableadas y otros más eficientes por do razones importantes que son perdidos de carga en el sistema y consumo de aire indebido.

Automatizar los procesos neumáticos a electro neumáticos, ya que los procesos neumáticos controlados manualmente y con energía de fluidos de aire propician las fugas de aire por el tiempo que demora las aperturas y cierres de los sectores de circuitos de distribución y por la frecuencia que permanecen abiertas o con fugas algunos sectores no detectados.

En la rapidez de cambio de programación de la instalación pasara por modificar el cableado y los elementos de forma que cumplan las nuevas funciones de mando, protección y fuerza y como no mencionar que para todo cambio hay que añadir más elementos y contactos auxiliares.

2.2.10. Rapidez de respuesta con lógica programada

- a. Selección de hardware del plc en función
 - Número de entradas y salidas
 - Tamaño del programa del usuario
 - Tiempo de respuesta volumen de datos
 - Control centralizado o distribuido
- b. El estándar IEC 61131 para controladores programables consiste de cinco partes, una de las cuales hace referencia a los lenguajes de programación y es referida como la IEC 61131-3.

- c. Lenguajes gráficos como Ladder (LD) y diagrama de bloque de funciones (FBD).
- d. Lenguajes textuales están compuestos por: lista de instrucciones (IL) y texto estructurado (ST).
- e. Adicionalmente, el estándar IEC 61131-3 incluye una forma de programación orientada a objetos llamada Sequential Function Chart (SFC). SFC es a menudo categorizado como un lenguaje IEC 61131-3, pero éste es realmente una estructura organizacional que coordina los cuatro lenguajes estándares de programación (LD, FBD, IL y ST). La estructura del SFC tuvo sus raíces en el primer estándar francés de Grafcet (IEC 848).
- f. El tiempo de respuesta en los sistemas de programación con plc está dado por el tiempo necesario para llevar a cabo las distintas operaciones de control de un proceso eterno. El tiempo de respuesta de un sistema activación de una señal de salida en relación a una señal de entrada está determinada por el tiempo SCAN del CPU de un plc y el tiempo ON/OFF de los módulos de entrada y salida.
- g. El ciclo de SCAN de un autómatas es una secuencia de operaciones que realiza el autómatas de manera repetitiva una vez que entra en RUN. Al tiempo total en que el autómatas tarda en ejecutar todas estas operaciones se le llama Ciclo de SCAN. Las operaciones que realiza el autómatas de forma cíclica son: lectura de estado de entradas, ejecución de programa de usuarios y actualización de estado de salidas.

2.2.10.1. Factores que inciden en el tiempo de respuesta del PLC

- a. Introducción.** Para desarrollar aplicaciones que permitan manejar y controlar procesos en las plantas, es importante que el controlador lógico programable se encuentre en capacidad de responder ante la presencia de situaciones propias involucradas en el proceso.
- b. Factores.** Aunque el tiempo de respuesta depende de muchos factores, los más importantes a considerar son:
- Tiempo de barrido
 - Tiempo de actualización de la tabla imagen de entrada/salida.
 - Tiempo de respuesta del módulo de entrada.
 - Tiempo de respuesta del módulo de salida
- c. Tiempo de barrido (scan time).** El tiempo de barrido proporciona una idea de la velocidad con la que el plc puede:
- Leer las entradas y actualizar la tabla de entrada /salida
 - Ejecutar el programa del usuario
 - Actualizar la tabla de entrada/salida y activar/desactivar, las salidas.
- d. Valor.** Normalmente el tiempo de barrido está representado en unidades de tiempo por cada 1000 instrucciones típicas ejecutadas es decir Ms/k.

El tiempo total que el autómata emplea para realizar un ciclo de operación se llama tiempo de ciclo. El tiempo total de ciclo es la suma de los tiempos empleados en cada tarea: autodiagnóstico (1 a 2 ms), actualización de E/S (1 a 5 ms). El tiempo de ejecución o de escrutación del programa se mide en milisegundos por cada mil instrucciones (ms/k), y típicamente se suele ser de 5 a 15 ms/k.

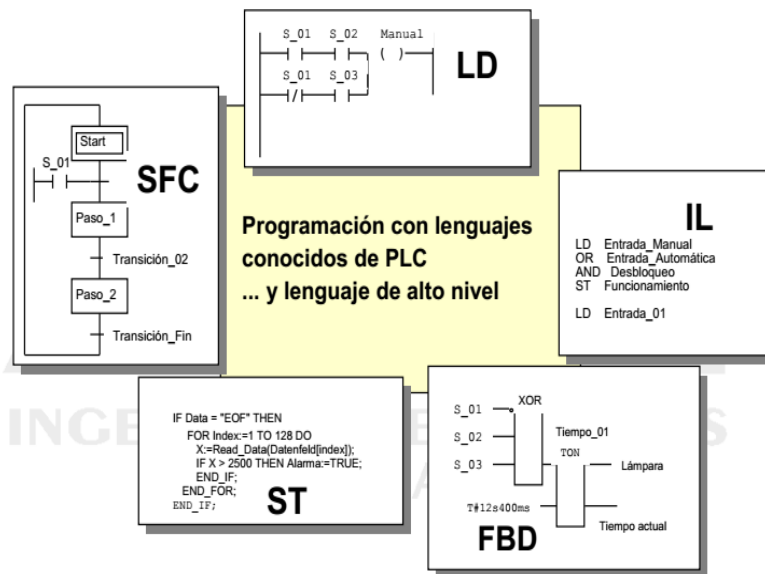


Figura 22. Tipos de lenguajes de interpretación de PLC normalizados según IEC 61131.1

Fuente: IEC 61131.1

- ¿Cuánto ahorro en personal?
- ¿Disminuye el costo energético?
- ¿Cuánto de material se está ahorrando?

Tabla 16

Elemento que conforman la lógica programada

Elemento	Enlace/lógico	Tensión	Ubicación
Relés	Cableado	24 V.DC	Salida
Electroválvulas	Cableado	24 V.DC	Salida
Pulsador	Cableado	24 V.DC	Entrada
Sensor	Cableado	24 V.DC	Entrada
Autómata	Programable	24 V.DC	Programa
Fuente	Cableado	24 V.DC	Alimentación

Fuente: elaboración propia

Nota: elementos de entrada, proceso y salida que reconoce un PLC.

En esta etapa ya la automatización es casi en su totalidad

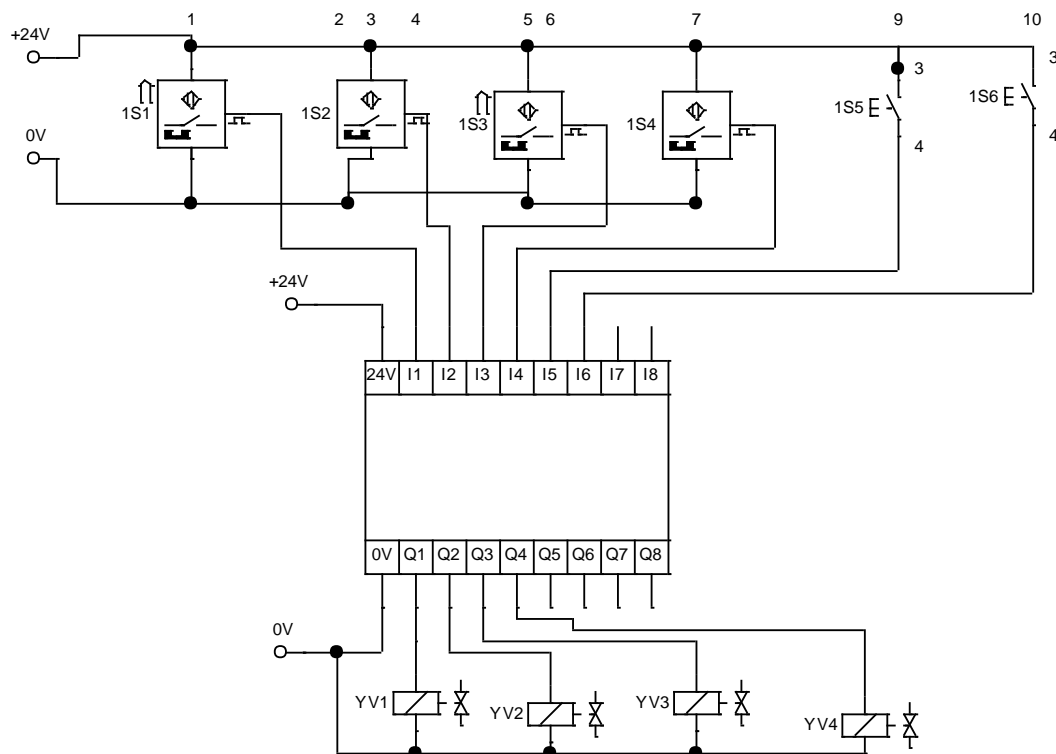


Figura 23. Diagrama de lógica programada de un plc con lenguaje FBD
Fuente: norma IEC, s.f.

2.2.11. Costos de mantenimiento de vida útil del sistema

El mantenimiento es una práctica continua que se lleva a cabo en toda la vida útil del proceso neumático, este costo se incrementa a medida que pasan los años. En todo el proceso contaremos con aplicar tres tipos de mantenimiento para garantizar el buen funcionamiento (ISO 4414)

2.2.11.1. Mantenimiento preventivo

Este tipo cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de prevenir fallas. Se conoce también como mantenimiento periódico y sus actividades están controladas por el tiempo. En este tipo se considera actividades como

limpieza, lubricación, inspección y ajuste, programadas según operador o indicación del fabricante.

2.2.11.2. *Mantenimiento correctivo*

Se lleva a cabo con el fin de corregir en algún equipo de todo el sistema, este tipo de mantenimiento siempre es imprevisto, y en la mayoría de los casos es de emergencia en los que se debería actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y pérdida de bienes y en el peor de los casos pérdidas humanas en este punto es bueno señalar que siempre se debe estar atento y en constante capacitación para saber con anticipación que es lo que se debe de hacer en caso ocurra. Para esto se disponga del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para realizar correctamente y en el menor tiempo posible las reparaciones.

En este caso siempre será recomendable contar con un stock de válvulas y mangueras y demás accesorios para garantizar la reposición inmediata de las averías o acontecimiento no deseados. La otra opción es crear un circuito redundante a la misma, ya que este garantiza la marcha del proceso sin paras por fallas o reparaciones periódicas y/o eventos no deseados de emergencia.

2.2.11.3. *Mantenimiento predictivo*

Son servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas, o equipos principales dentro del sistema. Esto se realiza a través del análisis de síntomas o información proporcionada por el fabricante en la que especifique el tiempo de vida de la pieza o equipo a reemplazar.

2.2.11.4. Costo en mano de obra

Es el valor del trabajo realizado por las personas que trabajan directamente en el sistema neumático. O también llamado capital humano, este ítem es una de las partes a considerar dentro del presupuesto del proyecto de los tipos de automatización con neumática tradicional, lógica cableada y lógica programada. Considerando las condiciones de trabajo, tipo de trabajo. Podremos calcular la cantidad de personal y las categorías de los mismos.

2.3. Definición de términos

a) *Proceso*

Desarrollo de una serie de acciones encaminadas a obtener un determinado resultado o producto.

b) *Automatización*

Es un sistema moderno de uso en la producción de la industria, donde el obre transfiere labores para garantizar seguridad en el proceso y a os que los rodean rapidez de respuesta a todo el cambio y rentabilidad con mayor producción.

c) *Electro neumático*

Es la combinación de la energía neumática y la electricidad. Es un tipo de automatización utilizando en el circuito de fuerza la energía neumática y para sus circuitos de mando y control la electricidad en niveles de tensión bajas. También podemos decir que es el paso intermedio de la neumática básica hacia la automatización de autómatas programables.

d) *Neumática convencional*

Es la neumática tradicional de un sistema automatizado con fluido, se entiende así porque el circuito de fuerza y de mando está compuesto por tuberías y mangueras por donde fluye aire comprimido, y están conectados a válvulas y finalmente a los actuadores.

e) *Lógica cableada*

Su denominación viene dada por el tipo de elementos que intervienen en su implementación. En el caso de la tecnología eléctrica, las uniones físicas se realizan mediante cables eléctricos, relés electromagnéticos, interruptores, pulsadores etc. En lo que respecta a la tecnología electrónica, las puertas lógicas son los elementos fundamentales mediante los cuales se realizan los controladores., en el caso de la tecnología, su implementación viene siendo efectuada por tuberías de acero, cobre, pvc, etc. Junto con elementos tales como válvulas, distribuidoras, presostatos manorreductores etc. (Garcia Moreno, 2001)

f) *Lógica programada*

Se trata de una tecnología desarrollada a partir de la aparición del microprocesador, y de los sistemas programables basados en este, computador, controladores lógicos y autómatas programables. Constantemente, debido a los altos niveles de integración alcanzados en la microelectrónica, Frente a la lógica cableada presenta. Gran flexibilidad, implementación de algoritmos complejos de control de procesos y gestión de comunicación. La tecnología neumática ha sido, y es aun frecuentemente utilizada, en los automatismos industriales, aunque va quedando relegada a los accionamientos de cierta potencia con algoritmos de control

relativamente simples y también para aplicaciones de carácter especial, ya que frente a la lógica programada presenta los siguientes inconvenientes: imposibilidad de realización de funciones complejas de control, gran volumen y peso, escasa flexibilidad frente a modificaciones y reparaciones costosas (García Moreno, 2001).

g) Esquema

Plano de representación de todos los elementos con los conductos y líneas de conexión de un mando. El diseño de un esquema neumático se debe realizar según las normas VDI 3226 y DIN 24300 según W. DEPPERT LIBRPO.

h) Pre-sostatos

Son elementos que abren o cierran al detectar cambios de la presión en el sistema neumático. Funciona cuando el depósito de aire comprimido alcanza la presión máxima y manda una señal de paro al motor o compresor, este sensor también ofrece una gran ventaja de automatizar al compresor con los sistemas neumáticos. Para trabajar según el requerimiento del fluido.

i) Termostato

Son elementos que abren o cierran contactos a partir de una variación de temperatura en el sistema.

j) Válvula distribuidora

Determina la apertura y cierre y las modificaciones en el sentido de flujo de aire se encuentran de distintas configuraciones según el cliente lo requiera, 2/2, 3/2, 4/2, 5/2, etc.

k) Válvula de bloqueo

Estas válvulas cortan el pase del fluido como es el aire comprimido, estos son válvula de anti retorno, válvula selectora, válvula de simultaneidad, válvula de escape rápido, válvula estranguladora y válvula unidireccional.

l) Válvula reguladora de caudal.

Estas válvulas influyen directamente en la cantidad de caudal que circula, estas válvulas pueden ser de presentación tipo estranguladora y bidireccional.

m) Válvula reguladora de presión

Actúan sobre la presión del aire controlándola desde un valor nulo hasta un máximo valor de alimentación, estas válvulas son denominadas como válvula reductora de presión, válvula limitadora de presión y válvula de secuencia.

n) Relé.

Se denomina relé a todo instrumento, con terminales de salida normalmente cerrado NC, y normalmente abierto NO, está conformado por una bobina, de tal manera que cuando se alimenta se energice y genera un campo magnético, que hace que los contactos NC se abren y los contactos NO se cierran.

o) Instalación red abierta

Es una sola línea principal de la cual se desprenden las redes de distribución secundaria o las tomas de aire, este tipo de redes es muy económico, además en este sistema es muy fácil hacer las inclinaciones para escurrir el condensado de agua,

pero su principal desventaja de este tipo de red es en el momento de hacer un mantenimiento, es posible detener casi todo el sistema de aire.

p) Red cerrada

En este tipo de configuraciones toda la red de aire formaran un anillo, el costo de esta configuración es alto en comparación con la redes abierta, pero tiene ventajas notables en el momento de hacer mantenimiento ya que con este tipo se puede aislar ciertos circuito de fluido que no requieren ser intervenidos en el mantenimiento programado, lógicamente sin parar la producción, un desventaja seria la falta de dirección constante del aire, la dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo cambiara de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red (p. ej. Filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

q) Red interconectada

En este tipo de instalación la línea general de aire formara un anillo. De este anillo se van sacando circuitos independientes para poder aislar con facilidad a los circuitos derivados en los mantenimientos, pero también tiene una desventaja es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red (p. ej. Filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto, un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es tecnológica aplicada ya que genera conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo de bienes y servicios, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente, y con el fin de obtener productos nuevos y competitivos en dicho sector. Sus productos pueden ser prototipos y hasta eventualmente artículos científicos publicables.

Para producir nuevos materiales, productos o dispositivos, instalar nuevos procesos, sistemas o servicios o de mejorar de forma sustancial aquellos ya instalados o producidos.

Su propósito es solucionar problemas prácticos y comparar esquemas neumáticos de acuerdo al avance tecnológico, para brindar una nueva utilidad del conocimiento.

3.2. Diseño de investigación

- a) El diseño que optaremos es “no experimental” ya que todos los datos serán extraídos de libros y páginas de internet. Como selección de elementos

neumáticos, de acuerdo a un diagrama de prueba que presentamos, llamado esquema de transporte y trituración que se muestra en el anexo B como planos.

- b)** Para iniciar la investigación se hace uso del esquema de neumática tradicional que está en el anexo B sección planos nro. 03, para lo cual se requiere de cálculos justificativos para hacer una adecuada selección de elementos de esta tecnológica de neumática tradicional, con la finalidad de evaluar costos y rapidez de respuesta.
- c)** Como segundo caso hacemos la simulación teórica de migrar a un sistema electroneumática de lógica cableada, con la ayuda del esquema circuito de fuerza neumática y eléctrica del apéndice B plano nro. 04. Lo cual nos indica que el circuito de fuerza neumática es la misma, solamente cambio el esquema de mando y control usando tecnología eléctrica, así como nos indica el plano nro. 05 del apéndice B titulado circuito de mando y control electroneumático de logia cableada, este cambio tiene la misma finalidad de evaluar costos y rapidez de respuesta.
- d)** Como tercer caso nos apoyamos en la teoría de PLC. Para lo cual el diagrama de fuerza de la tecnología electroneumática será la misma, solamente se implementará el circuito de mando y control cambiando los contactos de los relés por contactos de módulos compactos dentro de un plc, con la misma intención de revisar diferencia de costos y evaluar diferentes velocidades de respuesta.

e) **Selección de accesorios**

Se plantea la selección de los elementos necesarios para un sistema de transporte y trituración de mineral, en una planta de extracción de mineral ubicado aproximadamente a **3 500 msnm**, en tal sentido el sistema de esta planta cumple funciones de apertura y cierre de las compuertas de dos tolvas, cada una con un cilindro neumático y para el transporte con la ayuda de dos motores eléctrico y la parte de trituración un motor. Esta planta también funciona con un circuito combinado de lógica cableada, neumática tradicional y plc.

Las cuales también sirve para hacer evaluaciones de costos y rapidez de respuesta con respecto a la construcción y producción.

- **Evaluación de fuerzas para cilindros**

Peso en tolva = 460 kg

$$F1 = 460 \text{ Kg} \times 9,81 \frac{m}{seg^2}$$

$$F1 = 4526,4 \text{ Kg} \frac{m}{seg^2} \quad \text{también en Newton}$$

$$Fs = \frac{4526,4}{0,7 \times 0,9} \text{ en Newton}$$

$$Fs = 7184,76 \text{ en Newton}$$

Tabla 17

Datos técnicos de entrada (del diagrama a modelar)

Descripción	Tolva	Unidad
Fuerza vertical	Tolva 01 y 02	4526.4 newton
Potencia de motores	M1, M2, M3	4HP 3φ
Presión de trabajo	Por sistema	6-bar
Trabajo continuo	De cilindros	10 ciclos/minuto

Fuente: Elaboración propia

- **Evaluación el diámetro del embolo**

$$D = \sqrt{\frac{Ft \times 4}{\pi \times P(\text{Mpa})}}$$

$$D = \sqrt{\frac{7184.76 (\text{Newton}) \times 4}{\pi \times 0,6 \left(\frac{\text{Newton}}{\text{mm}^2}\right)}}$$

$$D = 123,47 \text{ mm}$$

Tabla 18

Datos de cilindro de catálogo Festo

Descripción	Tabla	Unidad
Diámetro del embolo	Tabla Festo	125 mm
Diámetro del vástago	Tabla Festo	40 mm
Carrera, desplazamiento	Tabla Festo	500 mm

Fuente: Catálogo Festo

- **Consumos de aire a nivel del mar en salida**

$$V = \left(\frac{\pi \times 125\text{mm}^2}{4}\right) 500\text{mm} \times \left(\frac{101,3 \text{ Kpa} + 600 \text{ Kpa}}{101,3 \text{ Kpa}}\right)$$

$$V = 42\,460\,588 \text{ mm}^3: \quad a \quad 6,12\text{litros}$$

- **Consumos de aire a 3 500 msnm en salida**

$$V = \left(\frac{\pi \times 125 \text{ mm}^2}{4} \right) 500 \text{ mm} \times \left(\frac{67,8 \text{ Kpa} + 6 \text{ Kpa}}{67,8 \text{ Kpa}} \right)$$

$$V = 6\,626\,797,00 \text{ mm}^3: \quad a \quad 6,63 \text{ litros}$$

- **Consumos de aire a 3 500 msnm al retorno**

$$V = \left(\frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \right) \text{Carrera (rel. comp.)}$$

$$V = \left(\frac{\pi \times (125 \text{ mm}^2 - 40 \text{ mm}^2)}{4} \right) 500 \text{ mm} \left(\frac{67,8 \text{ Kpa} + 600 \text{ Kpa}}{67,8 \text{ Kpa}} \right)$$

$$V = 5\,948\,212,99 \text{ mm}^3: \quad a \quad 5,95 \text{ litros}$$

- **Consumos de aire a 3 500 msnm en cada ciclo**

$$V_t = (6,63 \text{ litros} + 5,95 \text{ litros})$$

$$V_t = \left(12,58 \frac{\text{Litros}}{\text{ciclo}} \right)$$

- **Velocidad de funcionamiento y energía cinética.**

La velocidad según los fabricantes: $n = 10$ ciclos/minuto

$$V = 0,1 \text{ a } 1,5 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$Q_t = 12,58 \frac{\text{litros}}{\text{ciclo}} \times 10 \frac{\text{ciclos}}{\text{minuto}}$$

$$Q_t = 125,8 \frac{\text{litro}}{\text{minuto}} \quad a \quad 0,00209666667 \frac{m^3}{seg}$$

$$V = \frac{0,002096 \frac{m^3}{seg}}{\frac{\pi(0,125 m^2)}{4}} = 0,170 m/seg$$

- **Evaluación de la fuerza de impacto**

$$EC = \frac{masa (velocidad)^2}{2}$$

$$EC = \frac{460 kg (0,170 \frac{m}{s})^2}{2}$$

$$EC = 6,64 Kg \times \frac{m^2}{s^2} = Nm = Joule OK$$

Diámetro (mm)	125	140	160	180	200
Funcionamiento		Doble efecto, vástago simple			
Fluido		Aire			
Presión de prueba		1.5 MPa		1.05 MPa	
Presión máx. de trabajo		1.0 MPa		0.7 MPa	
Presión mín. de trabajo		0.05 MPa			
Temperatura ambiente y de fluido		Sin detección magnética: -10 a 70°C (sin congelación) Con detección magnética: -10 a 60°C (sin congelación)			
Lubricación		No necesaria (sin lubricación)			
Velocidad del émbolo		50 a 500 mm/s		20 a 400 mm/s	
Energía cinética admisible (J)	7.4	9.8	12.4		
Tolerancia de longitud de carrera		+1.4 mm Nota) 0			

Figura 24. Cuadro de comparación SMC de energía cinética para cilindro doble efecto.
Fuente: catálogo SMC, s.f.

Nota: la tolerancia de la longitud de carrera no incluye la modificación n la amortiguación

- **Evaluación del pandeo en diámetro del vástago**

$$E = 210 \times 10^9 (N/m^2)$$

$$F_{si} = 0.6 \frac{N}{mm^2} \times \pi \frac{(125mm^2)}{4} = 7363 N$$

$$F_{si} = \frac{F_p}{3.5}$$

Despejando esta fórmula anterior y asumiendo un factor de seguridad 2

$$Fp = 7363 \text{ N} * 2 = 14726 \text{ N}$$

Despejando la fórmula de esfuerzo crítico Fp

$$I = \frac{Lp^2 \times Fp}{\pi^2 \times E \text{ acero}}$$

$$I = \frac{1 \text{ m}^2 \times 14726 \text{ N}}{\pi^2 \times \left(210 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)} = 7 \times 10^{-9} \text{ m}^4$$

Despejando la fórmula de I tenemos que comparar el diámetro del catálogo que nosotros tenemos $d = 40 \text{ mm}$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{7 \times 10^{-9} \text{ m}^4 \times 64}{\pi}} = 1.94 \times 10^{-2} \text{ m} = 19.9 \text{ mm}$$

- **Caudal total de consumos en el sistema**

$$As = \frac{\pi(0,125 \text{ m})^2}{4} = 0,0122 \text{ m}^2$$

$$Ar = \frac{\pi(0,125 \text{ m} - 0,04 \text{ m})^2}{4} = 0,0110 \text{ m}^2$$

$$QT = 1,25(3 * 125,8 \frac{l}{min}) O$$

$$QT = 471,75 \left(\frac{l}{min}\right) : 0,0078625 \frac{\text{m}^3}{seg}$$

- **Potencia del compresor en el sistema**

$$POTc. = \text{caudal} \frac{\text{m}^3}{seg} \times \text{Presión} \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2}$$

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \left(\frac{\text{newton}}{\text{m}^2}\right)$$

$$POTc. = 0,0078625 \frac{\text{m}^3}{seg} \times 600\,000 \frac{\text{Newton}}{\text{m}^2}$$

$$POTc. = 4717,5 \frac{N m}{seg.}$$

$POTc = 5 KW$ potencia del compresor para 3 cilindro

Con estos datos encontraremos la potencia eléctrica del compresor para saber el costo de energía eléctrica del compresor

Tabla 19

Datos del Compresor marca Karson Sodimac

Descripción	Característica
Potencia	5 KW. 220 v
Presión máxima alimentación	116 psi Eléctrica
Flujo de entrada	140 l/min
Flujo de salida	140 l/min

Fuente: Elaboración propia

- **Pérdida en tuberías**

Pérdidas en líneas de tuberías y accesorios acudiremos a las figuras 10 entrando con los siguientes datos: longitud 40 m, caída de presión 0,15 bar, caudal 23,6 litros/segundo y presión de trabajo a 6 bares, como resultado nos da 20 mm de diámetro interior

$$Le = (7 \times 0,76) + (2 \times 0,32) + (8 \times 0.40) = 9.16mm$$

$$Lt = 20 + 9,16 \text{ Entonces será } 29,16 \text{ mm}$$

Entonces entramos otra vez a la Figura

Lt = según tabla el diámetro inmediato superior será 35mm

3.3. Población y muestra

Esta tesis no cuenta con población ni muestra a quien se dirija.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados

Para dar resultados sobre la evaluación que hemos hecho del trabajo de investigación llamado “diseño de un sistema automatizado para procesos electro neumáticos de lógica cableada” (Ver *Figura A 22* - Apéndice) como primera solución es analizar cuanto me puede costar instalar un sistema electro neumática automatizado con lógica cableada en comparación con sistemas convencionales de neumática y sistemas de lógica programada. Como segunda solución es evaluar la rapidez de respuesta que puede ofrecer los sistemas electro neumáticos de lógica cableada en comparación con sistemas convencionales y de lógica programada.

4.1.1. Análisis de costos

a) Análisis de costos en circuitos de neumática tradicional

Tabla 20

Costo de elementos de neumática tradicional

Elementos	Cantidad	Costo unit.	Total
Compresor de aire	01	S/ 250,00	S/ 500,00
Unidad mantenimiento	01	S/ 450,00	S/ 450,00
Cilindro doble efecto	02	S/ 300,00	S/ 600,00
Válvulas 5/2	02	S/ 150,00	S/ 300,00
Válvulas 3/2	02	S/ 150,00	S/ 300,00
Regulador de flujo	04	S/ 100,00	S/ 400,00
Final de carrera fluido	02	S/ 100,00	S/ 200,00
Temporizador	03	S/ 150,00	S/ 450,00
Tuberías aluminio	100 M	S/ 750,00	S/ 150,00
Accesorio de tubería	06	S/ 20,00	S/ 120,00
costo total			S/ 3 220,00

Fuente: elaboración propia.

- **Costos en diferentes etapas de mantenimiento**

El coste se calcula con referencia a los puntos más críticos de un sistema neumático como pueden ser el compresor, tratamiento de aire UDM y las fugas de aire en cañerías. Donde P es Preventivo, R es Correctivo y PR Predictivo

Tabla 21

para el mantenimiento anual del compresor de 7.5 HP

Cada.	Cambio de aceite	Cambio de válvulas	Filtro de aire	Cambio válvula antirretorno	Tipo mant.
Horas	3000	12000	3000	3000	R
Días	125	500	125	125	R
al año	3 veces	1 vez	3 veces	3 veces	R
Anual	s/300.00	s/ 100.00	s/150.00	s/450.00	s/1000.00
Costo total generado en el compresor durante al año S/ 1000.00					

Fuente: Schneider air System.

Nota: ejemplo. Cambio de aceite es cada 125 días, 3 veces al año, cada cambio su costo esta alrededor de s/100.00, por tres veces durante el año será: $s/100 \times 3 = s/300.00$

Tabla 22

Presupuesto aproximado en el sistema neumático tradicional, en periodo de un año

Revisión	Fugas de aceite	Baja presión	Reparación de fugas de aire	Limpieza	Tipo de mantenimiento
Veces al año	03 veces	2 veces	1 sola vez	2 veces	P
Costo anual	s/600.00	s/500.00	s/500.00	s/200.00	$\sum t = 1800.00$
Costo generado en línea de tuberías durante el año.					S/.1800.00

Fuente: Elaboración propia.

Nota: para entender, tenemos fugas de aceite, la inspección tendrá un costo de s/200.00 soles por 03 veces al año tendremos s/600.00 soles al año.

Entonces el presupuesto aproximado para el mantenimiento es la sumatoria de la Tabla 21 y Tabla 22

- **Gasto en energía eléctrica**

Según SMC dice de un compresor de 100 kW solo el 10 % es aprovechado como aire comprimido el resto es calor que se nos va, también nos dice que un compresor de 100 caballos al año solamente para producir aire comprimido cuesta 70 mil euros. Entonces partiendo de ese criterio, para nuestro caso primero evaluaremos las horas efectivas operadas

Para calcular las horas disponibles al año (Hd), a 365 días le restamos 50 domingos y también consideramos 12 horas de trabajo diario

$$Hd = 315 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 12 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 3780 \frac{\text{horas}}{\text{año}}$$

Para calcular el nro. de horas de parada por mantenimiento (Hpm), considerando q el mantenimiento se dará una sola vez al año, cada 183 días y tendrá una duración de 5 horas.

$$Hpm = \frac{365 \text{ días}}{183 \text{ días}} \times 5 \text{ horas} = 9.9 \text{ horas}$$

Para calcular nro. de horas por paradas imprevistas (Hpi), consideramos 6 paradas al año, cada parada dura 4 horas

$$H_{pi} = 6 \frac{\text{paradas}}{\text{año}} \times 4 \text{ horas} = 24 \frac{\text{horas paradas}}{\text{año}}$$

Finalmente, calculamos las horas operadas al año(Hop.)

$$H_{op.} = 3780 - (9.9 + 24) \text{ en total } 3746 \text{ horas operadas al año}$$

Y el costo de energía para 5.5 Kw en compresor y teniendo un dato de concesionaria de 0.5718 s/. Kwh, además agregando a 5.5 Kw un 25%.

$$\text{Costo E.} = 1.25(5.5 \text{ Kw}) \times 0.5718 \frac{\text{s/.}}{\text{Kw hora}} \times 3746 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 14725.00 \frac{\text{s/.}}{\text{Año}}$$

- **Presupuesto aproximado de neumática tradicional**

Tabla 23

Presupuesto global generado en un año con neumática tradicional

Descripción			Costo total
Costo equipo	s/3220.00 costo	s/2000.00 Inst.	$\sum t = S/ 5220,00$
Mantenimiento	s/1000.00	S/ 1800.00	$\sum t = S/ 2800,00$
Energía	Kwh	anual	S/ 14725,00
Costo total aproximado en un año			S/ 22745,00

Fuente: elaboración propia.

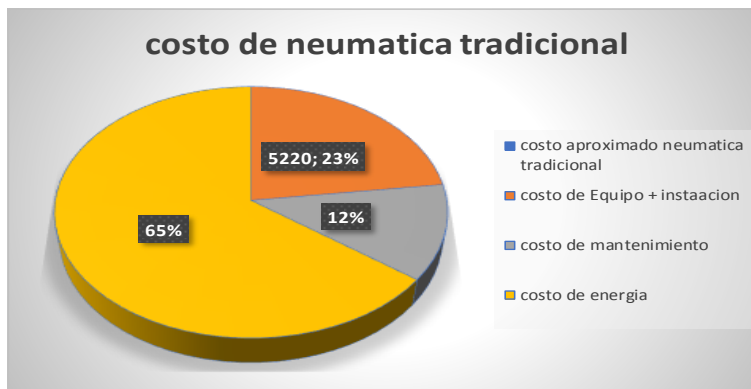


Figura 25. Distribución de costos en neumática tradicional.

b) Análisis de costos en circuito electro neumática

En circuitos electro neumático a diferencia de circuitos neumáticos se cambiará todo el diagrama de mando y control, dejando solamente el actuador y la línea de cañerías. En esta etapa ya se puede sectorizar cada circuito neumático de fuerza.

- **Selección de componentes electro neumáticos**

Tabla 24

Costo de Elementos de lógica cableada seleccionada para el diagrama de prueba

Elementos	cantidad	Costo unit.	Total
Compresor de aire	01	S/ 250,00	S/ 500,00
Unidad mantenimiento	01	S/ 450,00	S/ 450,00
Cilindro doble efecto	02	S/ 300,00	S/ 600,00
Válvulas de control	04	S/ 50,00	S/ 200,00
Electro válvula	02	S/ 120,00	S/ 240,00
Relés de memoria	04	S/ 240,00	S/ 960,00
Temporizador ON	03	S/ 100,00	S/ 300,00
Temporizador OF	01	S/ 100,00	S/ 100,00
Fuente de tensión	01	S/ 50,00	S/ 50,00
Pulsador NC	01	S/ 10,00	S/ 10,00
Pulsador NO	01	S/ 10,00	S/ 10,00
Cables	100 M	S/ 150,00	S/ 150,00
costo total			S/. 3 470,00

Fuente: elaboración propia

- **Mantenimiento electro neumática de lógica cableada**

Se asume el mismo dato de la tabla 21 y tabla 22.

- **Costo de energía eléctrica**

A diferencia del sistema tradicional, en esta tecnología los costos se reducen, porque el consumo de aire en sistemas de mando y control migran a sistemas cableados. Dando como resultado menor consumo de aire y menores fugas de aire. Y la potencia del compresor podría reducir hasta un 50%.

$$\text{Costo E.} = (3 \text{ Kw}) \times 0.5718 \frac{\text{s/.}}{\text{Kw hora}} \times 3746 \frac{\text{horas}}{\text{año}} = 6425.00 \frac{\text{s/.}}{\text{Año}}$$

Tabla 25

Costo anual para diagrama de lógica cableada

Descripción	Costo 01	Costo 02	Costo total
Costo equipo	S/. 3470.00	S/. 1000.00	S/ 4470,00
Mantenimiento	0,5 persona	S/ 40,00	S/ 2800,00
Energía	-	-	S/ 6425,00
Costo total aproximado en un año			S/ 13695,00

Fuente: elaboración propia

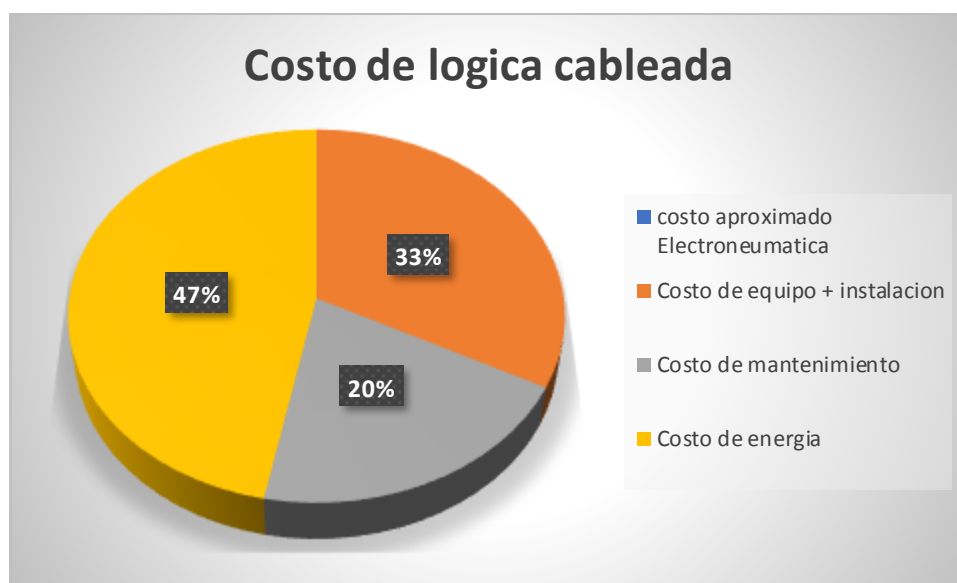


Figura 26. Distribución de costos en lógica cableada electroneumática
Fuente: Elaboración propia

c) Análisis de costos de circuito automatizado con PLC

- Ofrecer productos de mejor calidad
- Optimizar el consumo de energía
- La única diferencia con sistemas de lógica cableada está en que el PLC reemplaza a los relés,

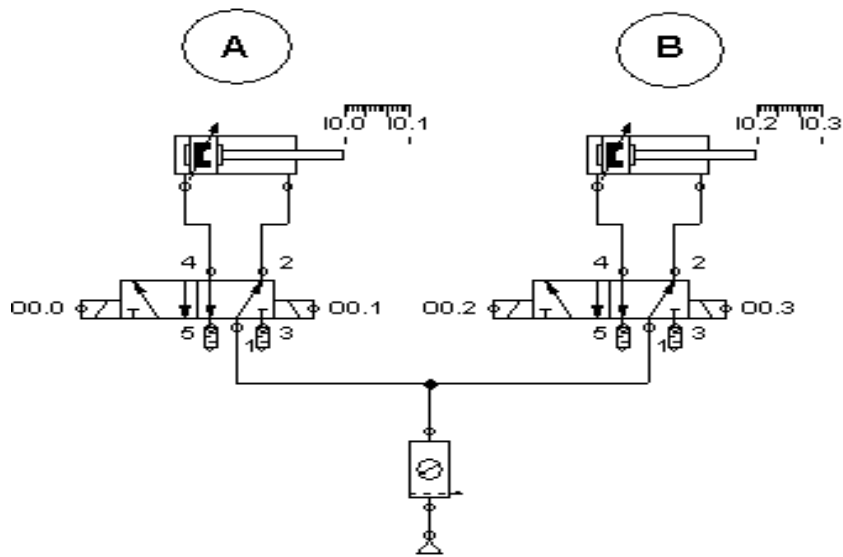


Figura 27. Diagrama electropneumático de fuerza
Fuente: Elaboración propia

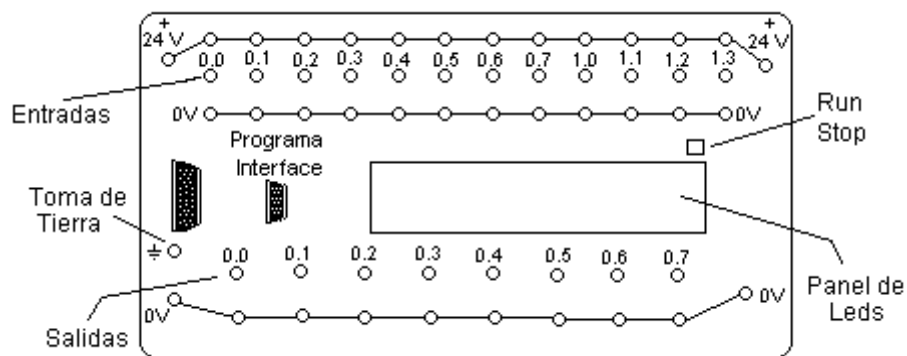


Figura 28. Módulo de entradas y salidas del PLC
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Tabla de entradas y salidas de plc

Entradas/salidas	Comentario
O0.0	Salida del cilindro A
O0.1	Retroceso del cilindro A
O0.2	Salida del cilindro B
O0.3	Retroceso del cilindro B
I0.0	Sensor contraído del cilindro A
I0.1	Sensor extendido del cilindro A
I0.2	Sensor contraído del cilindro B
I0.3	Sensor extendido del cilindro B
I0.4	Pulsador0
I0.5	Pulsador

Fuente: elaboración propia

Tabla 27

Costo de Elementos de lógica programada

Elementos	Cantidad	Costo unit.	Total
Compresor de aire	01	S/ 250,00	S/ 500,00
Unidad mantenimiento	01	S/ 450,00	S/ 450,00
Cilindro doble efecto	02	S/ 300,00	S/ 600,00
Válvulas de control	04	S/ 50,00	S/ 200,00
Electro válvula	02	S/ 120,00	S/ 240,00
Temporizador ON	03	S/ 100,00	S/ 300,00
Temporizador OF	01	S/ 100,00	S/ 100,00
Fuente de tensión	01	S/ 50,00	S/ 50,00
Pulsador NC	01	S/ 10,00	S/ 10,00
Pulsador NO	01	S/ 10,00	S/ 10,00
Cables	100 M	S/ 150,00	S/ 150,00
PLC	01	S/ 5 000,00	S/5 000,00
Costo total			S/ 7 510, 00

Fuente: elaboración propia

Tabla 28

Costo anual para lógica programada

Descripción	Cantidad		Costo total
Costo + instalación	S/. 7510.00	S/ 1000.00	S/ 8510,00
Mantenimiento	-	-	S/ 2800,00
Energía	S/. Kwh	anual	S/ 2100,00
Costo total aproximado en un año			S/. 13410 ,00

Fuente: elaboración propia, **Nota:** en esta tecnología el consumo de energía bajaría a un 25% menos que la tecnología electropneumática, la razón es que los sistemas de mando y control reducen sus niveles de tensión eléctrica en relación a la tensión de alimentación del PLC.



Figura 29. Distribución de costos en lógica programada

4.1.2. Análisis en rapidez de respuesta

La solución que se presentará con las técnicas de automatización será en base a rapidez de fluidos, rapidez de respuesta al proceso productivo, y rapidez de respuesta en paradas por mantenimientos de procesos.

a) *Análisis de rapidez de respuesta con neumática tradicional*

Las formas de aumentar la velocidad de los cilindros son aumentando el diámetro de la línea de tuberías y válvulas distribuidoras y agregando una válvula de escape rápido en la línea de retroceso. El aire comprimido puede alcanzar una velocidad de 10 m/s.

Tabla 29

Rapidez de respuesta de válvulas accionados por fluido aire

Válvulas neumáticas roscadas		1/8	1/4
Tiempo de respuesta a 6 bar	Piloto/resorte	14 ms	25 ms
Tiempo de respuesta a 6 bar	Piloto/piloto dif.	14 ms	31 ms
Tiempo de respuesta a 6 bar	Piloto/piloto	8 ms	11 ms
Presión mínima de pilotaje a la entrada	Piloto/resorte	3 bar	3 bar
Presión mínima de pilotaje a la entrada	Piloto/piloto dif.	4 bar	4 bar
Presión mínima de pilotaje a la entrada	Piloto/piloto	1,5 bar	1,5 ba

Fuente: Deppert & Stoll, 1991

b) *Análisis de rapidez respuesta con lógica cableada*

También le saca ventaja de respuesta con respecto a grandes distancias de mando y control ya que el fluido neumático presenta caídas de presión en comparación a la electricidad que es mínimo la caída de tensión.

Tabla 30

Rapidez de respuesta de electroválvulas, accionamiento con bobinas

Electroválvulas roscadas con tuberías de		1/8	1/4
Tiempo de respuesta	Solenoides/resorte	23 ms	39 ms
Tiempo de respuesta	Solenoides/piloto diferencial	23 ms	42 ms
Tiempo de respuesta	Solenoides/solenoides	12 ms	17 ms
Potencia del solenoide	1,2w (1,2VA)

Fuente: Deppert & Stoll, 1991

La lógica cableada es una tecnología vigente aun en la industria, su ventaja con respecto a la neumática tradicional está en la flexibilidad de rearmar circuitos de mando para cumplir otras funciones con el mismo circuito de fuerza, pero es limitado.

c) *Análisis de respuesta con lógica programada*

Tiempo de Barrido o Scan Time: es el tiempo que demanda al PLC completar un ciclo. A cada ciclo de tareas se lo denomina Barrido o Scan. Una típica secuencia se detalla a continuación:

Autodiagnóstico: el autodiagnóstico se realiza cuando el PLC es conectado a tensión y es una verificación de todos sus circuitos. Si existiera algún problema el PLC emitiría alguna señal luminosa indicando el tipo de error que ha detectado.

La comparación de lógica cableada con respecto a lógica programada en cuanto a velocidad es notable en dos aspectos. La velocidad en los PLC's está en los periféricos de entrada y salida en forma de señal eléctrico u óptico, y el otro está en la unidad central de procesos donde se ejecutan todas las operaciones lógicas, además, pueden procesar varios programas en un mismo tiempo.

Incrementar la demanda del producto, porque el plc sirve como plan de crecimiento sin ocupar más espacio ni tiempo en hacer cambio y aumentar más actuadores.

Tiempo de Barrido o Scan Time: es el tiempo que demanda al PLC completar un ciclo. A cada ciclo de tareas se lo denomina Barrido o Scan. Una típica secuencia se detalla a continuación:

Autodiagnóstico: el autodiagnóstico se realiza cuando el PLC es conectado a tensión y es una verificación de todos sus circuitos. Si existiera algún problema el PLC emitiría alguna señal luminosa indicando el tipo de error que ha detectado.

Tabla 31

Tiempo de respuesta PLC

Tiempo de respuesta del plc	Descripción	Tiempo
Tiempo de accionamiento del plc	1 000 instrucciones	5 – 10 ms/K
Cambios de procesos en paradas	inmediato	segundos
Reubicación de planta	inmediato	prolongado

Fuente: elaboración propia

4.2. Contrastación de hipótesis

a) Contrastación en cuanto a costos

En cuanto a costos comparativos entre sistema electro neumático de lógica cableada con respecto a sistemas de automatización tradicional mediante tubería afirmamos. Según la siguiente tabla, donde el 100% el máximo sobre lo cual los valores por debajo se referenciarán.

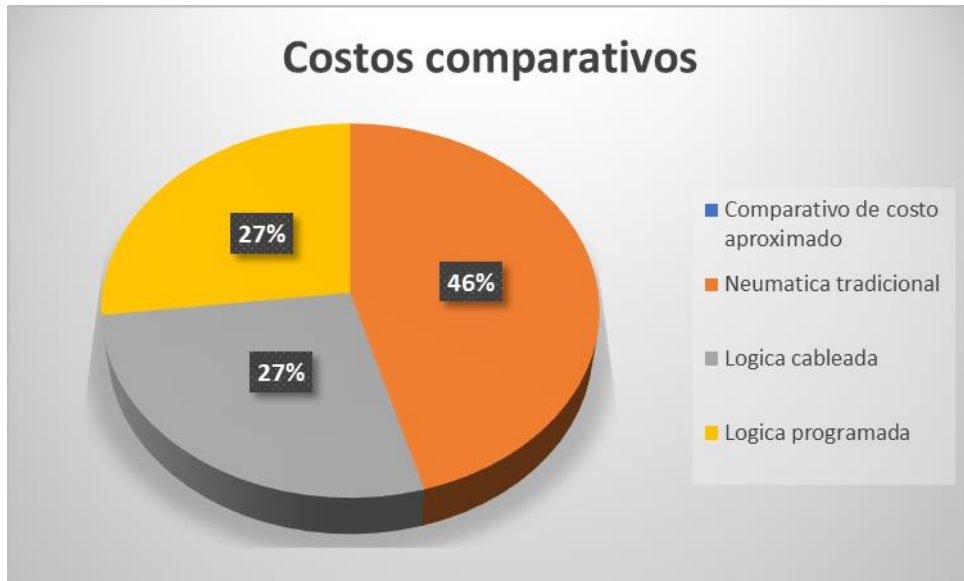


Figura 30. Distribución de costos en comparativa de las 03 tecnologías.
Fuente: Elaboración propia

- ***Lógica tradicional***

Ocupa un % alto, porque aún hay elementos que consumen aire comprimidos y fugas en las mismas, el tratamiento de aire es muy costoso, la operación y mantenimiento es constante y de mucho personal y piezas de recambio anual.

- ***Lógica cableada***

Ocupa el menor % porque todo el sistema de control y mando es sustituido por cables y electroválvulas y se reduce considerablemente el consumo y fugas de aire.

- ***Lógica programada***

El costo en esta tecnología es relativamente caro, eso se debe a la instalación del plc y costo del mismo, ya que a medida q pasan el tiempo los costos.

b) Contratación en cuanto a rapidez de respuesta

Tabla 32

Velocidad de respuesta de neumática tradicional

Elementos	Descripción y tiempo de respuesta
Cilindro neumático	Salida 0,170 m/s retroceso 0,150 m/s
Tubería	1/2 In: 12,5 mm tipo: U-86-BLK- 0250 Parker
Válvula de dist.	Válvula 5/2 Festo salida 16 ms, retorno 20 ms
Tubería	1/4 In topo: U-86-0250* Parker
Val. de mando	3/2 Piloto/piloto 11 milisegundos
Personal	04 personas en operación constante
Averías	Dificultad de búsqueda de averías
Complejidad	No adecuado para implementar Cktos complejos
Producción	Es bajo porque hay pérdidas de aire en línea

Fuente: elaboración propia

Tabla 33

Velocidad de respuesta de lógica cableada

Elementos	Descripción y tiempo de respuesta
Cilindro neumático	Salida 0,170 m/s retroceso 0,150 m/s
Tubería	1/2 In: 12,5 mm tipo: U-86- BLK- 0250 Parker
Válvula de dist.	Válvula 5/2 Festo salida 20 ms, retorno 30 ms
Tubería	Cable tipo Nh-o 16AWG
Val. de mando	Piloto/piloto 30 milisegundos
Personal	02 personas en operación constante
Averías	Dificultad de búsqueda de averías
Complejidad	Al ser mayor complejo incrementa más relés
Producción	La producción para cuando hay averías

Fuente: elaboración propia

Tabla 34*Velocidad de respuesta PLC*

Elementos	Descripción y tiempo de respuesta
Cilindro neumático	Salida 0,170 m/s retroceso 0,150 m/s
Tubería	1/2 In: 12,5 mm tipo: U-86-BLK-0250 Parker
Válvula de dist.	Válvula 5/2 Festo salida 16 ms, retorno 20 ms
Cable	Cable tipo Nh-o 16AWG
Val. de mando	Piloto/piloto 11 milisegundos
Personal	01 personas en operación constante
Averías	Se detecta inmediato y se soluciona
Complejidad	Tiene circuitos redundantes para hacer otros complejos circuitos mucho más complejos
Producción	Muy elevada producción

Fuente: elaboración propia

4.3. Discusión de resultados

A partir de los resultados encontrados aceptamos la hipótesis general

Considerando que el costo de instalar un sistema tradicional de neumática es mucho mayor que un sistema electro neumática teniendo en cuenta tiempos perdido en cambios o mantenimientos en paradas del proceso y pérdidas de energía (aire) en ductos de señal comparando con pérdidas de caída de tensión en cables eléctricas. Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (Guevara Ascan , y otros, 2009) Ahorro de energía. La electricidad resulta más económica que el aire, pues debido al Bajo rendimiento de los compresores solamente se transforma en energía neumática Una parte no muy grande de la energía eléctrica. Ello es acorde con lo que en esta tesis se halla. Pero en lo que no concuerda el estudio de los autores antes mencionados.

Es que la electricidad es una buena alternativa de señal, pero tiene un alto riesgo de cortocircuitos que generan incendios u otros, dependerá mucho de los elementos de protección que sean muy bien seleccionados.

Parcialmente también aceptamos la hipótesis específica diciendo que la inversión hecha en un sistema electro neumática de lógica cableada justifica mejorando con características propias de la electricidad en comparación con el fluido de aire para mandos de señal en sistemas neumáticas. Estos datos también son resaltados por el autor (Greus, 2007) en su libro, diciendo diseñar un sistema electro neumática es más beneficioso que un sistema tradicional por que resalta ventajas notables como reducir tuberías del circuito de mando con aire, como resultado menor consumo de aire y ahorro notable de generación de aire.

Con los análisis realizados en la etapa de resultados negamos parcialmente por que tanto el aire como la electricidad tienen sus velocidades de respuesta ya establecidas, más bien cuál de las dos energías sería más fácil de controlar sus velocidades de acuerdo a la necesidad del proyecto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Primera. Se concluye que los sistemas automatizados de electro neumático con lógica cableada presentan mejores características en cuanto a costos y rapidez de respuesta respecto de sistemas neumáticos tradicionales, por cuanto a respuesta a una parada de planta, cambio de sistemas y tiempos de producción.

Segunda. Se concluye que los costos de sistemas automatizados con lógica cableada se justifican por la mejora en dar uso de la electricidad en lugar de aire comprimido para los circuitos de mando y control, ya que los cables eléctricos tienen una caída de tensión poco considerable en circuito de mando, sin embargo, las tuberías de aire si tienen una pérdida considerable de aire en las líneas de aire comprimido generando pérdidas de energía. Finalmente generando mayores costes de producción.

Tercera. Se concluye que la rapidez de respuesta de los sistemas automatizados con lógica cableada es mejor que los sistemas tradicionales, si se afirma

qué los elementos de electricidad tienen elementos de control y mando muy compactos y muy flexibles, la señal eléctrica enviada llega a los actuadores con las mismas magnitudes, en cambio el fluido que se envía por los ductos considerando pérdidas en fugas hace que reduzca la velocidad de respuesta hacia un actuador.

5.2. Recomendaciones

Primera. para temas de ahorro de aire comprimido se puede usar cilindros de simple efecto ya que estos consumen aire en una sola cámara, pero, solo si el diámetro del embolo es menor a 50 mm

Segunda. por temas de sostenibilidad de proyectos neumáticos siempre es recomendable evaluar que las carreras no deben ser muy grandes, porque la velocidad a cierto límite empieza a disminuir y también existe desgaste de impacto en las amortiguaciones

Tercera. para un proceso electro neumático es de vital importancia, cuanto me costara instalar un proceso, cuanto me costara en mantenimiento en relación al mantenimiento, cuanto gasto en aire comprimido y finalmente cuanto de aire se está aprovechando de manera eficiente, depende de estos cuatro interrogantes el beneficio económico del proyecto.

Cuarta. Es recomendable tomarle importancia en las dos etapas del sistema, las cuales son: generación y Utilización, para saber dónde podemos ahorrar más, (Ver *Figura A 23 – Apéndice*).

Quinta. Las respuestas inmediatas de procesos de sistemas neumáticas tradicionales están por los 1.5 m/s o 120 ciclos/seg, estas velocidades de respuesta son recomendables para sistemas donde las longitudes de línea de tuberías sean cortas, pero para longitudes mayores es recomendable la electroneumática de lógica cableada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Airum Logistic S. L. Compresores. (2016). *Ventajas, desventajas de compresores de Piston y Tornillo*. Recuperado de http://www.airumlogistic.com/cloud/ventajas_tornillo_sobre_piston.pdf
- Automatización Micromecánica S.A.I.C. (s.f.). *Curso 021 Introducción a la neumática*. Recuperado de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual021IntroduccionalaNeumatica.pdf>
- Benavides, L. & Espinoza, J. (2011). *Diseño e implementación de un módulo didáctico para el control y monitoreo de sistemas electro neumáticos por medio de PLC* (Tesis para optar el título de Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Centralair S. A. (s.f.). *Aire Comprimido y automatización*. Recuperado de <https://www.construnario.com/catalogo/centralair-sa/productos>.
- Deppert, W., & Stoll, K. (1991). *Aplicaciones de la neumática*. Valencia, España: Marcombo S. A.
- Forero, A., Blando, R. & Timana, J. (2013). *Bando de Pruebas de Neumática*. (Proyecto de Investigación). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Soacha, Colombia.
- García, E. (2001). *Automatización de procesos industriales*. Valencia, España: Alfa Omega.

- Greus, A. (2007). *Neumática e Hidráulica*. Cataluña, España: Marcombo S.A.
- Guevara, R., Sampen, J., Mejía, L., Hashimoto, P., La Madrid, L., & Sánchez, C. (2009). *Sistemas Neumáticos Industriales*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/13768506/Sistemas-Neumaticos-Industriales-doc>
- LAF Equipo de docentes. (2013). Laboratorio de automatización y fluidez. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/145565991/70692930-LAF-Neumatica>
- Lav-Volt (Quevec) Ltd. (2000). *Aplicaciones del Plc*. Charlesbourg Quevec: G2N 2K7.
- Majumdar, S. (1996). *Sistemas Neumáticos Principios y Mantenimiento*. Calcuta, India: McGraw - Hill.
- Nicolas, A. (2009). *Neumática Práctica*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Renedo, C. J. (2006). *Neumática e Hidráulica*. Recuperado de <http://personales.unican.es/renedoc/index.htm>
- Ribas, J. (s.f.). *Automatización Lógica Cableada o Lógica Programada*. Recuperado de <https://dissenyproducte.blogspot.pe/2015/01/automatismos-logica-cableada-o-logica.html>
- Roldan, J. (1989). *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Rufes, P. (2005). Longitudes equivalentes, accesorios. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/56208007/Longitudes-Equivalente-Accesorios>

Sodimac. (2017). *Catálogo de compresores*. Recuperado de <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/1919539/Compresor-aire-1.5-HP/4>