

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UNA RED DE AIRE  
COMPRIMIDO PARA LOS LABORATORIOS DE MECÁNICA  
AERONÁUTICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
AERONÁUTICO UBICADO EN EL BLOQUE 42.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**TNTE. MARCOS XAVIER BONILLA GONZALEZ.**

**TNTE. JUAN CARLOS COSTA AYMAR.**

**DIRECTOR: ING. FERNANDO MONTENEGRO.**

**CODIRECTOR: ING. ERNESTO SORIA.**

**Sangolquí, 15 - 08 - 2005.**

## **CERTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

**El proyecto “DISEÑO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS LABORATORIOS DE MECÁNICA AERONÁUTICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO UBICADO EN EL BLOQUE 42” fue realizado en su totalidad por los Señores Tnte. Téc. Avc. Marcos Xavier Bonilla González y Tnte. Téc. Avc Juan Carlos Costa Aymar, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingenieros Mecánicos.**

---

**Ing. Fernando Montenegro  
DIRECTOR**

---

**Ing. Ernesto Soria.  
CODIRECTOR.**

**Sangolquí, 2005-08-15**

## **LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO**

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA LOS LABORATORIOS DE MECÁNICA AERONÁUTICA DEL  
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO UBICADO EN EL  
BLOQUE 42.**

**ELABORADO POR:**

---

---

**Tnte. Marcos Xavier Bonilla G.**

**Tnte. Juan Carlos Costa A.**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

---

**MAYOR, ING, EDGAR PAZMIÑO B.  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

**Sangolquí, 2005-08-15**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios a nuestra familia y a todos los profesionales que colaboraron directamente para que llegue a feliz culminación este proyecto.

Así mismo un especial agradecimiento al Ing. Guillermo Trujillo profesor del ITSA, alumnos y obreros del mismo, que con su apoyo incondicional pusieron su granito de arena para la ejecución del presente proyecto.

## DEDICATORIA

*A mis dos mujeres, mi esposa Jacquelyn, y mi hija Arleth, quienes estuvieron brindándome su apoyo incondicional, su amor y su paciencia a lo largo de mi carrera como estudiante.*

*A mis padres Marcos Bonilla, Beatriz González y a mi querida mamita Cheli, quienes me enseñaron el valor del sacrificio y el temor a DIOS, sembrando en mi, las ganas de superación.*

*A mi familia que sin su apoyo incondicional no hubiera sido posible alcanzar esta nueva meta.*

**Marcos Xavier Bonilla G.**

*Todo mi amor a mi Esposa Angelita, mis hijas Lisbeth y Carlita y para ese pequeñín que aún no viene al mundo.*

*A mi querida madre la Sra. Vilma Aymar y a mi abuelo ya fallecido Don Enrique Aymar, cuyo anhelo fue siempre verme como un profesional.*

*A toda mi familia y amigos que me apoyan en todos los proyectos de mi vida.*

**Juan Carlos Costa Aymar.**

## INDICE

1.	CAPÍTULO 1 GENERALIDADES .....	1
1.1.	Antecedentes .....	1
1.2.	Definición del Problema .....	2
1.3.	Objetivos .....	3
1.3.1.	Objetivo General .....	3
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	4
1.4.	Alcance de Proyecto .....	4
1.5.	Justificación del Proyecto .....	5
2.	CAPÍTULO 2 MARCO TEORICO .....	7
2.1.	Estudio de Normas de Sistema de Distribución de Aire Comprimido .....	7
2.2.	Fundamentos de Neumática .....	8
2.2.1.	Definición de Aire Comprimido .....	8
2.2.2.	Usos del Aire Comprimido .....	9
2.2.3.	Propiedades de los Gases .....	10
2.2.4.	Gases Perfectos .....	11
2.2.5.	Ley de Boyle Mariotte .....	12
2.2.6.	Ley de Gay Lussac .....	13
2.2.7.	Ley de Charles .....	13
2.2.8.	Ecuación de Estado para los Gases Perfectos .....	14
2.2.9.	Composición del Aire .....	15
2.2.10.	Conceptos Relacionados con el Aire Comprimido .....	16
2.2.10.1.	Humedad Absoluta .....	16
2.2.10.2.	Humedad de Saturación .....	16
2.2.10.3.	Humedad Relativa .....	17
2.2.10.4.	Viscosidad .....	17
2.2.10.5.	Densidad y Volumen Específico .....	18
2.2.10.6.	Presión .....	19

2.2.10.7.	Temperatura .....	20
2.2.10.8.	Peso Específico del Aire .....	20
2.2.10.9.	Caudal .....	21
2.2.10.10.	Flujo Másico .....	22
2.2.10.11.	Ecuación de Continuidad .....	22
2.2.10.12.	Flujo de Fluidos y la Ecuación de Bernoulli .....	23
2.2.10.13.	Rapidez del Flujo de Fluido .....	24
2.2.10.14.	Velocidades de Flujo para Líneas de Aire Comprimido ...	26
2.2.10.15.	Tipo de Flujo en un Conducto y Número de Reynolds .....	27
2.3.	Redes de Aire Comprimido .....	28
2.3.1.	Descripción General .....	28
2.3.1.1.	Dimensionamiento de Tubería .....	28
2.3.1.2.	Espesor de la Tubería .....	33
2.3.1.3.	Componentes del Sistema de Aire Comprimido .....	33
2.3.1.4.	Generación de Aire Comprimido .....	34
2.3.1.5.	Tipos de Compresores .....	34
2.3.1.6.	Selección del Compresor .....	39
2.3.1.7.	Consumo Específico .....	44
2.3.1.8.	Coeficiente de Utilización .....	44
2.3.1.9.	Coeficientes de Simultaneidad .....	45
2.3.2.	Características Técnicas de Aire Comprimido .....	45
2.3.2.1.	Caída de Aire Requerida .....	45
2.3.2.2.	Condiciones Estándar de Temperatura , Presión y Humedad Relativa .....	46
2.3.2.3.	Sitio de Ubicación del Sistema de Aire Comprimido .....	47
2.3.2.4.	Sistemas de Control .....	48
2.3.2.4.1.	Válvula de Seguridad .....	48
2.3.2.4.2.	Arranque Parada .....	48
2.3.2.4.3.	Carga Vacío-Parada .....	49
2.3.2.4.4.	Modulación por Estrangulación a la entrada del compresor	49
2.3.2.4.5.	Variación de las Revoluciones del Motor .....	49
2.3.2.5.	Tratamiento del Aire Comprimido .....	50
2.3.2.5.1.	Secadores .....	51
2.3.2.5.2.	Filtros .....	52

2.3.2.5.3.	Drenaje .....	54
2.3.2.6.	Almacenamiento del Aire .....	55
2.3.2.7.	Cálculo de la Capacidad del Tanque de Almacenamiento..	55
2.3.3.	Tipos de Redes de Aire Comprimido .....	56
2.3.3.1.	Tubería Principal .....	57
2.3.3.2.	Tubería Secundaria .....	57
2.3.3.3.	Tubería de Servicio .....	57
2.3.4.	Distribución del Bloque 42 del ITSA .....	59
3.	<b>CAPÍTULO 3 REDISTRIBUCION LAYOUT DE LOS</b>	
	<b>LABORATORIOS .....</b>	<b>60</b>
3.1.	Diagrama de Flujo de los Laboratorios .....	60
3.1.1.	Diagnóstico Situacional .....	61
3.1.1.1.	Tubería y accesorios de línea .....	74
3.1.1.1.1.	Análisis de factibilidad para reutilizar parte de tubería , Accesorios de línea y unidades FRL .....	75
3.1.1.1.2.	Sistema eléctrico .....	75
3.1.2.	Análisis Foda .....	76
3.1.2.1.	Fortalezas.....	76
3.1.2.2.	Oportunidades.....	77
3.1.2.3.	Debilidades.....	77
3.1.2.4.	Amenazas.....	78
3.1.2.5.	Conclusiones del análisis Foda.....	78
3.1.3.	Definición del Problema.....	79
3.1.3.1.	Factores Ambientales.....	81
3.1.3.2.	Organización y Políticas del Laboratorio.....	81
3.1.3.3.	Edificio del Bloque 42.....	81
3.1.3.4.	Maquinaria, Equipos y Herramientas.....	82
3.1.3.5.	Recurso Humano.....	82
3.2.	Diagrama de Relaciones.....	84
3.2.1.	Restricciones de Diseño.....	84
3.2.1.1.	Tomas de aire requeridas para los laboratorios.....	84
3.2.2.	Criterios de Diseño.....	86
3.2.2.1.	Criterios para el tendido de la red de Aire Comprimido.....	86
3.2.2.2.	Criterios para Ejecutar la distribución Layout.....	87

3.2.2.2.1.	Objetivos de la distribución Layout.....	87
3.2.2.2.2.	Problemas al realizar una distribución Layout.....	89
3.2.2.2.3.	Sistemas de distribución en planta.....	89
3.2.2.2.4.	Planeación del espacio requerido.....	90
3.2.2.2.5.	Condiciones de Trabajo y Seguridad.....	91
3.2.2.2.6.	Mantenimiento de Equipos y Red de Aire Comprimido.....	92
3.2.2.2.7.	Distribución de Líneas de Servicio y Auxiliares.....	92
3.2.3.	Alternativas de Solución.....	93
3.3.	Matriz de Decisión.....	94
3.3.1.	Análisis de las Alternativas de Solución.....	94
3.3.1.1.	Análisis de Factibilidad de las alternativas enmarcadas Dentro de un sistema híbrido según sea el caso y Realidad funcional de cada Laboratorio por separado.....	95
3.3.1.1.1.	Opción 1.....	95
3.3.1.1.2.	Opción 2.....	96
3.3.1.1.3.	Opción 3.....	97
3.3.1.1.4.	Opción 4.....	99
3.3.2.	Selección de la Mejor Alternativa.....	101
3.3.2.1.	Parámetros de Selección, Ponderaciones y Elaboración De la Matriz de Decisión.....	101
3.3.2.1.1.	Parámetros de Selección del mejor Diseño de la Tubería	101
3.3.2.1.2.	Parámetros de Selección del mejor diseño Layout.....	102
3.3.2.1.3.	Matriz de Decisión.....	102
3.3.3.	Descripción de la Alternativa Seleccionada.....	103
3.4.	Implantación de la Propuesta.....	104
3.4.1.	Programación de Actividades.....	104
4.	<b>CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA.....</b>	<b>105</b>
4.1.	Cálculo de la Necesidad del Aire.....	105
4.1.1.	Necesidad del Aire Específica de las Herramientas.....	106
4.1.1.1.	Factor de Simultaneidad.....	106
4.1.1.2.	Grado de Utilización.....	107
4.1.1.3.	Consideraciones de Presión y Caudal para Sandblasting	108
4.1.1.4.	Consideraciones Ambientales.....	109
4.1.2.	Cálculo de la Necesidad de Aire requerido cuando todas	

	Las Herramientas trabajan Simultáneamente.....	110
4.1.2.1.	Ejemplo de Cálculo.....	111
4.1.3.	Cálculo de la Necesidad del Caudal del Aire por Horarios	115
4.1.3.1.	Horarios de las Prácticas Académicas en los Laboratorios del Bloque 42.....	115
4.1.3.2.	Requerimientos de Caudal de Herramientas neumáticas Distribuidas por Laboratorios.....	120
4.1.3.3.	Determinación del Factor de Simultaneidad para los Requerimientos y características de los Laboratorios.....	124
4.2.	Selección del Compresor y Acumulador.....	136
4.2.1.	Selección del Compresor.....	136
4.2.2.	Lugar de Emplazamiento.....	139
4.2.3.	Acumulador de Aire Comprimido.....	139
4.3.	Dimensionamiento de la Red de Tubería.....	141
4.3.1.	Dimensionamiento de la Línea Principal.....	146
4.3.2.	Dimensionamiento de la Línea de Distribución.....	150
4.3.3.	Dimensionamiento de la Línea de Servicio.....	152
4.3.4.	Restricciones Funcionales.....	155
4.4.	Accesorios de Línea.....	158
4.5.	Planos del Sistema.....	158
5.	<b>CAPÍTULO 5 INSTALACIÓN.....</b>	<b>159</b>
5.1.	Planos del Sistema de Aire Comprimido.....	159
5.2.	Diagrama de Montaje.....	159
5.3.	Pruebas de Funcionamiento.....	159
5.3.1.	Presión de Prueba.....	159
5.3.2.	Presión Recibida por las Herramientas.....	160
5.3.3.	Presión Correcta en la Red.....	162
5.3.4.	Prueba de Estabilidad de la Red.....	163
5.3.5.	Verificación de las Dimensiones de las Fugas.....	163
5.3.5.1.	Medida Permisible de Fugas.....	164
5.4.	Determinación de la Eficiencia del Sistema.....	166
5.4.1.	Potencia Específica.....	166
5.4.2.	Eficiencia de Compresión.....	166
5.4.3.	Rendimiento Volumétrico.....	169

6.	CAPÍTULO 6 ELABORACION DE MANUALES E INSTRUCTIVOS.....	171
6.1.	Manual De Operación.....	171
6.2.	Manual de Mantenimiento.....	171
6.3.	Manual de Seguridad.....	171
6.4.	Manual de Verificaciones.....	171
6.5.	Hojas de Registro.....	172
7.	CAPÍTULO 7 ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO.....	173
7.1.	Estudio Financiero.....	173
7.1.1.	Ingeniería y Administración.....	173
7.1.1.1.	Personal.....	173
7.1.1.2.	Misceláneos.....	173
7.1.2.	Costos Directos.....	174
7.1.2.1.	Horarios Profesionales.....	174
7.1.2.2.	Remuneraciones a no Profesionales.....	174
7.1.2.3.	Remuneraciones a Estudiantes.....	174
7.1.2.4.	Adquisición de Materiales y Equipos.....	175
7.1.2.5.	Otros Costos Directos.....	175
7.1.3.	Total Costos de Implementación.....	175
7.2.	Estudio Económico.....	177
7.2.1.	Estudio del Costo Beneficio.....	177
7.2.1.1.	Costo de Operación.....	177
7.2.1.2.	Determinación del Beneficio del Proyecto.....	179
7.2.2.	Determinación del Ahorro.....	181
8.	CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	184
8.1.	Conclusiones.....	184
8.2.	Recomendaciones.....	185
	Bibliografía.....	186

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis consiste en el “Diseño, Implementación y Pruebas de funcionamiento de una red de aire comprimido para los Laboratorios del bloque 42 del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ubicado en la ciudad de Latacunga”,

Según lo previsto en el presente proyecto previo a la instalación de la red de aire comprimido se realizó la redistribución de cada una de las máquinas y herramientas existentes en los laboratorios con el fin de que el tendido de la red de aire comprimido este acorde con la distribución del mismo y facilite las actividades y labores del mismo. Así mismo se delimitó zonas de seguridad y de tránsito en el sitio y se realizó la construcción de una caseta que albergue al compresor según la distribución propuesta.

Posterior a esto se realizó el diseño y dimensionamiento del sistema, de lo cual surgieron los requerimientos para la adquisición tanto del equipo compresor, como de tuberías y accesorios de línea, que estaban contemplados su adquisición dentro del presupuesto asignado por el ITSA.

Luego se realizó la implementación y pruebas de funcionamiento del sistema quedando con esto ejecutada la parte tangible del presente proyecto, paralelamente a esto se realizó los manuales de operación, mantenimiento, seguridad, verificaciones y hojas de registro del sistema de aire comprimido.

La justificación para la implementación de una red de aire comprimido responde al afán del ITSA por modernizar sus laboratorios y de esta manera estar a la par con las exigencias tecnológicas que el medio requiere, con el fin de tecnificar el trabajo realizado por los alumnos en cada una de las prácticas, además servirá para la utilización de herramientas neumáticas que hasta el momento se encontraban si uso alguno con la ayuda de esta red se tecnificará el trabajo en los laboratorios mejorando la eficiencia y la calidad en el desarrollo de las prácticas contempladas según el plan de materias del ITSA.

El desarrollo de las prácticas usando herramientas neumáticas optimizara de una mejor manera el tiempo de cada hora de aprendizaje, consiguiendo llevar a cabo la ejecución de las prácticas en un tiempo considerablemente menor al que anteriormente se tenía con el uso de herramientas convencionales, derivando todo esto en una mayor calidad de enseñanza.

El beneficiario del presente proyecto es la Fuerza Aérea Ecuatoriana a través del ITSA, y de una forma directa los alumnos civiles y militares del ITSA. Con la realización del presente proyecto se colaboró con el desarrollo y crecimiento profesional de los alumnos civiles y militares del ITSA así como el engrandecimiento institucional de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

## TABLAS

- Tabla 2.1. Valores de Presión Estándar y Constante R del Aire.
- Tabla 2.2. Unidades para la Rapidez de Flujo.
- Tabla 2.3. Cálculo de Aire de Herramientas Neumáticas.
- Tabla 2.4. Coeficientes de Utilización.
- Tabla 2.5. Coeficientes de Simultaneidad.
- Tabla 2.6. Clasificación de Calidad de Aire según Norma ISO 8573-1: 1991(E).
- Tabla 2.7. Análisis a realizar para determinar las especificaciones del Sistema de Tratamiento.
- Tabla 3.1. Inventario del Laboratorio de Mecánica Básica, Motores Jet y Pistón.
- Tabla 3.2. Requerimientos Energéticos de Espacio y Estado Operacional de Laboratorio de Hidr. Básica y Sistemas del avión.
- Tabla 3.3. Requerimiento de Señalización para los Laboratorios de mecánica Básica, Motores Jet y Pistón.
- Tabla 3.4. Requerimiento de Señalización para los Laboratorios de Hidr. Básica y Sistemas del avión.
- Tabla 3.5. Número de tomas requeridas por cada laboratorio según lo previsto para la realización de las prácticas.
- Tabla 3.6. Tubería y Accesorios de Línea existentes en los Laboratorios.
- Tabla 3.7. Número de Tomas Requeridas en el Bloque 42.
- Tabla 3.8. Horario de Prácticas para los laboratorios del Bloque 42.
- Tabla 3.9. Matriz de Decisión.
- Tabla 4.1. Consumo Específico de Aire por cada Herramienta, basado en datos del Fabricante.
- Tabla 4.2. Grado de Utilización para Herramientas de Aire Comprimido.
- Tabla 4.3. Memoria Técnica del Equipo Sand Blasting.
- Tabla 4.4. Condiciones Estándar dadas por las Normas ISO 1217-
- Tabla 4.5. Grado de Utilización y Factor de Simultaneidad usado para determinar caudal.

- Tabla 4.6. Necesidad de aire en CFM para los Laboratorios del ITSA.
- Tabla 4.7. Cálculo Final del caudal de acuerdo a las correcciones citadas.
- Tabla 4.8. Horario para el laboratorio de Mecánica Básica.
- Tabla 4.9. Horario para el Laboratorio de Motores Jet.
- Tabla 4.10. Horario para el Laboratorio de Motores de Pistón.
- Tabla 4.11. Horario para el Laboratorio de Hidráulica Básica.
- Tabla 4.12. Horario para el Laboratorio de Sistemas del Avión.
- Tabla 4.13. Lista de Herramientas del Laboratorio de Mecánica Básica.
- Tabla 4.14. Lista de Herramientas del Laboratorio de Motores Jet.
- Tabla 4.15. Lista de Herramientas del Laboratorio de Hidráulica Básica.
- Tabla 4.16. Lista de Herramientas del Laboratorio de Mecánica Básica.
- Tabla 4.17. Lista de Herramientas del Laboratorio de Motores a Pistón.
- Tabla 4.18. Lista de Herramientas para el Mantenimiento de la infraestructura.
- Tabla 4.19. Factor de Simultaneidad y grado de uso de las Herramientas de Mantenimiento.
- Tabla 4.20. Necesidad de Aire en CFM de las Herramientas para Mantenimiento.
- Tabla 4.21. Factores de Simultaneidad adaptados a la realidad laboral de los Laboratorios.
- Tabla 4.22. Consumo de caudal por horarios día lunes.
- Tabla 4.23. Consumo de caudal por horarios día martes.
- Tabla 4.24. Consumo de caudal por horarios día miércoles.
- Tabla 4.25. Consumo de caudal por horarios día jueves.
- Tabla 4.26. Consumo de caudal por horarios día viernes.
- Tabla 4.27. Consumo máximo de caudal.
- Tabla 4.28. Porcentaje y caudal corregido del mayor consumo de los laboratorios del Bloque 42.
- Tabla 4.29. Especificaciones y Performance del Compresor Campbell Hausfeld CI15I000P.
- Tabla 4.30. Accesorios y Longitud equivalente con varios diámetros.
- Tabla 4.31. Pérdidas de acuerdo al diámetro de la tubería.
- Tabla 4.32. Accesorios y Longitud equivalente con varios diámetros.
- Tabla 4.33. Pérdidas de acuerdo al diámetro de la tubería.
- Tabla 4.34. Accesorios y longitud equivalente con varios diámetros.

- Tabla 4.35. Pérdidas de acuerdo al diámetro de la tubería.
- Tabla 4.36. Tabla de ramificaciones.
- Tabla 4.37. Accesorios de Línea requeridos para la implementación del sistema.
- Tabla 5.1. Factor K de corrección para las pérdidas de la válvula.
- Tabla 7.1. Total de Costos de Operación.
- Tabla 7.2. Desglose, costo beneficio a lo largo de la vida útil del sistema.
- Tabla 7.3. Costos del Proyecto en la empresa privada.

## FÓRMULAS

Fórmula 2.1	Ley de Boyle Mariotte.
Fórmula 2.2.	Ley de Gay Lussac.
Fórmula 2.3.	Ley de Charles.
Fórmula 2.4.	Ecuación de Estado para los gases Perfectos.
Fórmula 2.5.	Cálculo de la Constante R de un Gas.
Fórmula 2.6.	Humedad Absoluta.
Fórmula 2.7.	Cálculo de la Humedad Relativa.
Fórmula 2.8.	Cálculo de la viscosidad cinemática.
Fórmula 2.9.	Cálculo de la densidad.
Fórmula 2.10.	Ley de los gases ideales.
Fórmula 2.11.	Cálculo del caudal.
Fórmula 2.12.	Cálculo de salida a partir de condiciones de entrada y salida.
Fórmula 2.13.	Cálculo del Flujo Másico.
Fórmula 2.14.	Ecuación de continuidad.
Fórmula 2.15.	Rapidez de Flujo de Volumen.
Fórmula 2.16.	Cálculo de Flujo de Volumen en condiciones reales.
Fórmula 2.17.	Cálculo del número de Reynolds.
Fórmula 2.18.	Cálculo del diámetro de la tubería.
Fórmula 2.19.	Cálculo del espesor de la tubería.
Fórmula 2.20.	Cálculo del volumen considerando la Humedad Relativa.
Fórmula 2.21.	Cálculo del Volumen del Tanque.
Fórmula 4.1.	Cálculo del caudal requerido por la Herramienta.
Fórmula 4.2.	Cálculo del Caudal en condiciones estándar.
Fórmula 4.3.	Cálculo del caudal considerando HR.
Fórmula 5.1.	Presión de Prueba.
Fórmula 5.2.	Cálculo del Porcentaje de Fugas.
Fórmula 5.3.	Cálculo de las pérdidas en el proceso de compresión.
Fórmula 5.4.	Rendimiento Volumétrico.
Fórmula 7.1.	Cálculo de la Potencia de Entrada.
Fórmula 7.2.	Costo de Energía.

Fórmula 7.3. Cálculo Comparativo para determinar el ahorro conseguido.

## FIGURAS

- Figura 2.1. Presión y Velocidad representativas en una sección de Flujo.
- Figura 2.2. Presión Absoluta Manométrica y de Vacío.
- Figura 2.3. Parte de un Sistema de distribución de Fluido.
- Figura 2.4. Nomograma para caída de Presión.
- Figura 2.5. Componentes del Sistema de Aire Comprimido.
- Figura 2.6. Clasificación de Compresores.
- Figura 2.7. Compresores de Émbolo.
- Figura 2.8. Compresor de dos etapas con refrigeración intermedia.
- Figura 2.9. Compresor de Membrana.
- Figura 2.10. Compresor Rotativo Multicelular.
- Figura 2.11. Compresor de Tornillo Helicoidal.
- Figura 2.12. Compresor de Lóbulos.
- Figura 2.13. Compresor Axial.
- Figura 2.14. Compresor Radial.
- Figura 2.15. Métodos de Secado de Aire Comprimido.
- Figura 2.16. Separación Mecánica de Líquidos.
- Figura 2.17. Filtración de Sólidos por Superficie de Filtro.
- Figura 2.18. Red de Aire Comprimido Abierta.
- Figura 2.19. Red de Aire Comprimido Cerrada.
- Figura 2.20. Cuello de Cisne.
- Figura 3.1. División de áreas destinadas para diferentes laboratorios dentro del Bloque 42.
- Figura 3.2. Disposición inicial de Equipos dentro del Bloque 42.
- Figura 3.3. Detección de la Problemática en el Bloque 42 mediante Diagrama de Ishikawa.
- Figura 3.4. Solución a implantarse en el Laboratorio del Simulador de Controles de Vuelo para las tomas adjuntas al laboratorio de Mecánica.
- Figura 4.1. Factor de simultaneidad dependiente del número de Herramientas.

- Figura 4.2. Flujograma de caudal día lunes.
- Figura 4.3. Flujograma de caudal día martes.
- Figura 4.4. Flujograma de caudal día miércoles.
- Figura 4.5. Flujograma de caudal día jueves.
- Figura 4.6. Flujograma de caudal día viernes.
- Figura 4.7. Acumulador de Aire.
- Figura 4.8. Cálculo de la Capacidad del Acumulador.
- Figura 5.1. Abertura y Cierre del Regulador.
- Figura 5.2. Simulador de Herramientas.
- Figura 5.3. Detección de Fugas mediante Spray y Ultrasonido.
- Figura 5.4. Diagrama teórico y real de trabajo en un compresor de una etapa.
- Figura 5.5. Diagrama de trabajo de un compresor de dos etapas.

## ANEXOS

Anexo A1.	Dimensiones del Bloque 42 del ITSA:
Anexo A2.	Propuesta 1.
Anexo A3.	Propuesta 2.
Anexo A4.	Propuesta 3.
Anexo A5.	Diseño Propuesto en el Tercer Capitulo.
Anexo A6.	Cuarto que alberga al compresor.
Anexo A7.	Alimentación de Energía Eléctrica.
Anexo A8.	Delimitación de Zonas de Tránsito y Seguridad.
Anexo A9.	Distribución de Tubería Bloque 42.
Anexo A10.	Perspectiva de Línea Crítica.
Anexo A11.	Línea de Servicio.
Anexo A12.	Perspectiva de la red de Aire Comprimido.
Anexo A13.	Vista de Planta de la red de aire comprimido.
Anexo A14.	Representación de accesorios y Tubería de la red de aire comprimido ITSA.
Anexo A15.	Diagrama de Proceso de la red de Aire Comprimido.
Anexo B1.	Señalización de Tránsito y Seguridad.
Anexo B2.	Lista de Adquisición de Materiales.
Anexo B3.	Nomograma Línea Principal.
Anexo B4.	Nomograma Línea de Distribución.
Anexo B5.	Nomograma Línea de Servicio.
Anexo B6.	Tabla de Caídas de Presión de Longitudes equivalentes promedio.
Anexo B7.	Lista de Partes y Repuestos del Compresor.
Anexo B8.	Prueba de Presión de la red.
Anexo B9.	Prueba de Presión recibida por las Herramientas.
Anexo B10.	Prueba de Fugas.
Anexo B11.	Prueba de estabilidad en la red.
Anexo C1.	Cálculo de Cimentación.
Anexo C2.	Normas de Seguridad con Herramientas.
Anexo C3.	Manual de Operación.
Anexo C4.	Manual de Mantenimiento.

Anexo C5.	Manual de Seguridad.
Anexo C6.	Manual de Verificaciones.
Anexo C7.	Hojas de Registro.
Anexo C8.	Manuales del compresor.

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

#### **ANTECEDENTES**

El ITSA nace el 4 de junio de 1954 como Escuela de especialidades posteriormente se convierte en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea con el propósito de capacitar y profesionalizar al personal de aerotécnicos en las diferentes especialidades de aviación. El 8 de noviembre de 1999, mediante acuerdo No 3237 del Ministerio de Educación Pública Cultura y Deportes, la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA), se transforma en Instituto Tecnológico Aeronáutico (ITSA), constituyéndose de esta manera en un centro académico de formación superior regida por las leyes y reglamentos correspondientes.

Dentro del ITSA específicamente en el bloque 42 se encuentran los Laboratorios de Mecánica Básica, Motores Jet, Motores recíprocos e Hidráulica básica en cuyos sitios se realizan prácticas de montaje y desmontaje de aeromotores, labores de manufactura y prácticas en el simulador de vuelo en el área de hidráulica básica.

Dentro de estos laboratorios se encuentra actualmente una red de aire comprimido que está inhabilitada y se encuentra sin uso por falta del mantenimiento respectivo y porque el compresor que se usaba para alimentar el sistema en ese entonces hoy por hoy esta en estado de obsolescencia, además cabe indicar que su diseño no es el adecuado, pues para este efecto no se ha considerado el tratamiento del aire comprimido como es el eliminación

de condensados y el de sólidos en suspensión. Además su distribución y dimensionamiento no satisfacen los requerimientos de estos laboratorios, ya que esta red en sus inicios fue proyectada para otros fines acordes con las necesidades de aquel entonces.

Este Instituto en su afán por modernizar sus laboratorios y de esta manera estar a la par con las exigencias tecnológicas que el medio requiere, tiene contemplado en su presupuesto implementar en los laboratorios antes mencionados una red de aire comprimido, así como realizar la redistribución de cada una de las máquinas y herramientas existentes, delimitando a su vez zonas de seguridad y de tránsito todo esto con el fin de tecnificar el trabajo realizado por los alumnos en cada una de las prácticas.

## **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico "ITSA" cuenta en sus instalaciones del bloque No. 42 con una red de distribución de aire comprimido y la correspondiente unidad de compresión y acumulador. El sistema neumático no se encuentra operativo actualmente, debido a factores derivados de la falta de un adecuado plan de mantenimiento, es así que el compresor se encuentra in operativo, las tuberías, purgas, unidades FRL y demás accesorios no han sido inspeccionadas ni se ha realizado mantenimiento respectivo; así mismo cabe señalar que la red que se diseñó en ese entonces tenía otros propósitos muy distintos a los que se tiene hoy en día.

En base a esto el ITSA mediante un proyecto de Tesis a nivel tecnológico determinó que tanto la red, accesorios de líneas así como el compresor están en estado de obsolescencia y además su distribución y dimensionamiento no están acorde con los requerimientos dichos laboratorios.

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico en su afán por modernizar sus laboratorios y de esta manera estar a la par con las exigencias tecnológicas que el medio requiere, tiene contemplado en su presupuesto implementar en

los laboratorios de Mecánica Básica, Motores Jet, Motores recíprocos, hidráulica básica y simulador de vuelo una red de aire comprimido, la misma que servirá para la utilización de herramientas neumáticas que hasta el momento se encuentran en desuso por falta de este sistema, así mismo con la ayuda de esta red se tecnificará el trabajo en los laboratorios mejorando la eficiencia y la calidad en el desarrollo de las diferentes prácticas. En este mismo sentido si se trabaja con herramientas neumáticas se puede llegar a optimizar de una mejor manera el tiempo de cada hora de aprendizaje, ya que al momento se pierde mucho de este tiempo en procedimientos intrascendentes o repetitivos como son el armar y desarmar un motor, de esta manera se administrará de mejor manera el tiempo hora clase, derivando todo esto en una mayor calidad de enseñanza que es el objetivo preponderante del ITSA como ente educativo.

También se tiene previsto la redistribución de cada una de las máquinas y herramientas existentes en los laboratorios mediante una distribución (Layout). Pues al momento la maquinaria no se encuentra bien ubicada desaprovechando el espacio físico existente.

Previo al diseño de la red se realizará una redistribución (layout) de los equipos y maquinaria existente en los laboratorios delimitando zonas de seguridad y de tránsito, ya que estas no existen al momento y por su falta se han ocasionado accidentes anteriormente. Es conocimiento de todos que la falta de seguridad en los sitios en donde se manipulan herramientas de trabajo trae siempre consigo accidentes que pueden causar lesiones temporales o permanentes en sus usuarios.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema de distribución de aire comprimido para los laboratorios de mecánica aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico ubicado en el bloque 42.

### **Objetivos Específicos**

- Adquirir información sobre las normas nacionales e internacionales que rigen el diseño, implementación y pruebas de los sistemas y redes de distribución de aire comprimido.
- Establecer los requerimientos técnicos de una red de distribución de aire comprimido en función de la infraestructura del bloque 42 del ITSA.
- Analizar y seleccionar la alternativa más idónea en base a un estudio técnico y económico.
- Diseñar e implementar la alternativa seleccionada.
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema.
- Verificar la eficiencia del sistema implementado.
- Desarrollar estándares de calidad para los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema de distribución.
- Elaborar manuales de Mantenimiento, Operación, Verificación y Seguridad del Laboratorio.
- Realizar un estudio económico financiero.

### **ALCANCE DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene por alcance realizar el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento de una red de aire comprimido que satisfaga los requerimientos de los laboratorios del bloque 42 de mecánica aeronáutica e hidráulica básica y simulador de vuelo. Para lograr este propósito se tiene contemplado la realización de:

- Definición y análisis del problema.

- Justificación técnica económica.
- Estudio de normas relacionadas con los sistemas de aire comprimido.
- Redistribución layout de los laboratorios.
- Diseño de la red de aire comprimido.
- Instalación del sistema.
- Pruebas de funcionamiento y determinación de la eficiencia del sistema.
- Elaboración de manuales e instructivos.
- Presentación de conclusiones del proyecto.

Los estudiantes del ITSA, una vez rehabilitado el sistema neumático tendrán un valor agregado en la realización de sus prácticas, mediante la utilización de las herramientas neumáticas en operaciones de taladrado, remachado, pulverizado, lavado y secado de piezas.

A la vez el ITSA tiene proyectado realizar a futuro la construcción de hangares a continuación del bloque 42 con el propósito de acoger las Avionetas Cessna 150 de la escuela de pilotaje, para ello se prevé una ampliación de la red de aire comprimido hacia dichas hangares para fines de limpieza y mantenimiento mediante herramientas de accionamiento neumático.

## **JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Con la realización del presente proyecto se pretende, tecnificar y hacer más eficiente el desarrollo de las prácticas académicas en los laboratorios de Mecánica Aeronáutica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico "ITSA", y de esta manera colaborar con el desarrollo y crecimiento profesional de los alumnos civiles y militares del Instituto así como el engrandecimiento institucional de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Es así que el costo de diseño e implementación de esta red por parte de la empresa privada se encuentra en 30 dólares la hora en el área de diseño, sumando a esto del valor total de los materiales un 30% para la mano de obra,

un 10% de la dirección técnica así como un 20% de utilidad que la empresa obtiene por su servicio. Valores que el ITSA se ahorrará al ser ejecutado este proyecto por parte de los egresados de la ESPE.

También se debe tomar en cuenta que con la realización de este proyecto las prácticas realizadas en estos laboratorios, aumentan hasta en un 60% en lo que respecta al ahorro de tiempo y mayor aprovechamiento de las clases por parte de los alumnos en horas de instrucción. Por ejemplo si antes un alumno con herramientas normales se demoraba 60 minutos para desarmar un motor jet, después de ser instalado el nuevo sistema el alumno lo hará en 24 minutos, aprovechando de mejor manera su instrucción sin detenerse en tareas rutinarias.

En cuanto a la organización de los laboratorios, delimitación de los mismos con zonas de seguridad y elaboración de manuales, se pretende evitar accidentes que afecten la integridad física de los estudiantes así como el prestigio de la institución, ya que anteriormente ha habido casos de accidentes por falta de prevención.

## CAPÍTULO 2

# MARCO TEÓRICO

### 2.1 ESTUDIO DE NORMAS DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO

#### ASME B31.8

Rige los sistemas de tuberías de distribución y transmisión de Gas. Cubre las tuberías destinadas a la estación de gas comprimido, gas médico y estaciones de regulación, gas principal y líneas de servicio de salida para los consumidores establecidos.

- Para recipientes de presión se utiliza la norma ASME sección VII DIV I.
- Para calidad de aire se usa la norma ISO – 8573 – 1.
- Adicionalmente los equipos como compresores, secadores y demás, son fabricados con recipientes de presión que cumplen el código ASME.
- Los circuitos eléctricos se rigen de acuerdo al código NEC.
- Los rendimientos de compresores se efectúan de acuerdo a la CAGI.
- Accesorios de tubería de acuerdo al ANSI.
- El sitio debe estar correctamente iluminado y cumpliendo los estándares de seguridad y las normas de identificación y demarcación vigentes.

El aire libre entregado (Free Air Delivery FAD) es el volumen de aire que el compresor fuerza en la red de aire principal. El método correcto de medida de este volumen esta determinado por la norma ISO 1217, sección 1, anexo B<sup>1</sup> del mismo documento.

El compresor toma una determinada masa de aire la cual ocupa un volumen inicial, con presión atmosférica y temperatura ambiente del sitio de ubicación, este equipo fuerza el ingreso de esta masa de aire a la tubería y al sistema, de esta manera se tiene esa misma masa de aire ocupando un volumen menor, a una presión mayor que la atmosférica y con una temperatura mayor que la ambiente.

La norma ISO 1217: 1996 Anexo B<sup>2</sup> define los FAD de la unidad compresora. Lo mismo aplica para las recomendaciones Cagi-Pneurop PN2CPTC1. La norma ISO 1217: 1996 Anexo C<sup>3</sup> lo hace para el compresor completo.

En la tabla 2.6 se describe la calidad de aire requerida de acuerdo con la norma DIN ISO 8573-1, donde se muestra el contenido de polvo y aceite y la cantidad de agua permitidos en algunos procesos industriales típicos

## **2.2 FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA**

### **2.2.1. Definición de Aire Comprimido**

Aire comprimido es el aire atmosférico, el cual ha sido impulsado a una serie de tuberías por medio de un compresor hasta equipos o procesos que aprovechan la presión del aire para desarrollar sus funciones. En resumen, el aire comprimido es una fuente de energía que es aprovechado por los usuarios para hacer funcionar sistemas automáticos, herramientas neumáticas,

---

<sup>1</sup> Este Anexo corresponde al documento que alberga la norma.

<sup>2</sup> Este Anexo corresponde al documento que alberga la norma.

<sup>3</sup> Este Anexo corresponde al documento que alberga la norma.

transportadores de materiales, transformación y conservación de materiales orgánicos, inorgánicos, entre otros.<sup>4</sup>

### **2.2.2. Usos Del Aire Comprimido**

Son innumerables las aplicaciones que puede dársele al aire comprimido entre las principales se tiene:

#### **Baja presión**

Desde presión atmosférica hasta 2 veces este valor.

- Transporte neumático para material granulado o polvos.
- Aireación o agitación de tanques con agua residual, alimentos, sustancias químicas, etc.
- Extracción de vapores tóxicos o explosivos en recipientes cerrados.
- Oxigenación de procesos de combustión.
- Optimización de procesos de combustión.
- Aspersión de líquidos.

#### **Media presión**

Desde 90 psi hasta 205 psi.

- Fábricas: Accionamiento de cilindros neumáticos, válvulas, procesos automatizados, taladros y herramienta neumática. Sistemas de monitoreo y control de procesos, limpieza, sandblasting, soplado e inyección de plásticos, soplado de mangas en colectores de polvos, limpieza interna de recipientes, aplicación de pintura, remache producción de oxígeno, nitrógeno y otros gases, etc.

---

<sup>4</sup> KAESER, Manual de Aire Comprimido, Editor Kaeser Compresores de Colombia Ltda., 2003, Pág. 1-1

- Hospitales: Ventiladores en las unidades de cuidados intensivos y producción de oxígeno.
- Laboratorios: Agitación de líquidos, aspersión de líquidos, pruebas, generación de vacío, limpieza de piezas, etc.

## **Alta presión**

Desde 205 psi hasta 600 psi.

- Soplado de botellas en PET\* u otros materiales.

### **2.2.3. Propiedades de los Gases**

Gas es una fase de la materia que se caracteriza por un movimiento caótico de los átomos y las moléculas en diferentes direcciones y chocándose entre sí con una velocidad media que define la temperatura del gas.

La compresión es un proceso que consiste en el aumento de la presión de un gas. La presión de un gas está definida por:

- El número de choques entre los átomos y las moléculas del gas por unidad de tiempo y de volumen.
- La intensidad de estos choques o que es lo mismo la energía cinética promedio de los átomos o las moléculas del gas.

La compresión de un gas se puede obtener disminuyendo la distancia entre los átomos o moléculas y por el aumento de la velocidad del movimiento de estos átomos o moléculas.

Para fines de análisis se puede considerar el flujo de un gas en un conducto dividido en líneas de corriente.

---

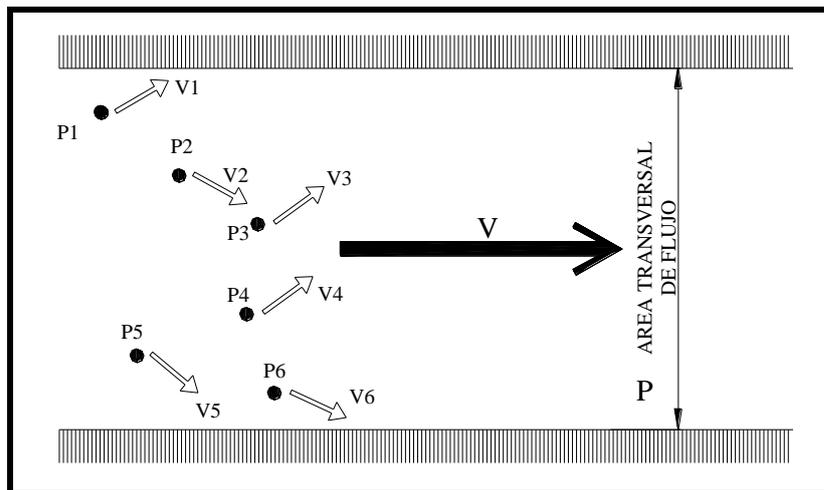
\* PET : Material usado en botellas de bebidas carbónicas (polietilentereftalato).

Las líneas de corriente son la trayectoria por la cual circulan las partículas del gas. Cada partícula dentro de la línea de corriente de un gas en movimiento tiene una velocidad determinada tangente a la línea de corriente y una presión determinada.

Para cierto tipo de análisis es necesario determinar los valores de presión y velocidad de cada partícula de gas, es decir considerar que estos parámetros varían en el tiempo y en el espacio.

Sin embargo en otro tipo de análisis, mas simplificado es suficiente asumir presiones y velocidades representativas de toda una sección transversal.

**Figura. 2.1** Presión  $P$  y velocidad  $V$  representativas en una sección de flujo.



Este último tipo de análisis simplificado es el que generalmente se utiliza en el análisis de los compresores y sus redes (ver Figura 2.1) considerando como velocidad representativa de toda una sección- transversal de flujo una velocidad media  $v$ , que se asume constante a lo largo de la sección  $A$ .

Igualmente se considera una presión  $P$ , representativa y constante para toda la sección  $A$ .

#### 2.2.4. Gases Perfectos

Un gas perfecto es aquel en el que no actúan fuerzas de cohesión entre porciones de gas y cuyas moléculas se analizan como puntos materiales que no poseen volumen.

En un estado muy aproximado al estado en el que se encuentra un gas perfecto se encuentran muchos gases, cuando las condiciones de presión y temperatura no exceden de ciertos valores críticos lo cual es común en el caso de los compresores. Por lo tanto cuando se analizan los compresores se pueden considerar los gases como perfectos este es el caso por ejemplo del aire. Los gases perfectos cumplen con las siguientes leyes cuando el gas pasa de un estado 1(P1, V1, T1) a un estado 2. (P2, V2, T2).

En realidad no hay ningún gas perfecto, sin embargo el aire, el oxígeno, el nitrógeno, helio y otros gases se comportan, con bastante aproximación, como si fuesen gases perfectos. Todo gas se acerca a este estado ideal conforme su temperatura crece y su presión disminuye, esto es que a medida que se recalienta o se aleja de aquel estado en el cual puede condensarse convirtiéndose en líquido.

Adicional a estos conceptos un gas es perfecto cuando sigue exactamente las leyes de Mariotte de Gay – Lussac y de Charles.

### **2.2.5. Ley de Boyle- Mariotte**

A temperatura constante, el volumen ocupado por una masa gaseosa invariable esta en razón inversa de su presión, es decir, que en tales circunstancias se verifica que presión por volumen es constante.

**Fórmula 2.1:** Ley de Boyle-Mariotte.

$$\mathbf{P1.V1 = P2.V2}$$

Si la temperatura  $T = \text{Cte.}$

$V = \text{Volumen.}$

$P = \text{Presión.}$

Las líneas que unen los estados – puntos que se hallan a la misma temperatura se denominan isothermas o isotérmicas del gas, siendo su curva representativa la de una hipérbola equilátera sobre el plano PV.

### **2.2.6. Ley Gay- Lussac**

A presión constante, el volumen ocupado por una masa dada de gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$\frac{V}{T} = \text{Cte.}$$

También.

**Fórmula 2.2:** Ley de Gay – Lussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Con  $P = \text{Cte.}$

$P_1, P_2$  (absolutas)

Dichas transformaciones se denominan isobáricas o isóbaras del gas, siendo su línea representativa, sobre el plano PV, una paralela a V.

Esto se comprende fácilmente pues tanto más se dilata un gas cuando mas aumenta su temperatura.

### **2.2.7. Ley de Charles**

A volumen constante, la presión absoluta de una masa de gas dada, es directamente proporcional a las temperaturas absolutas, esto es:

$$\frac{P}{T} = Cte.$$

**Fórmula 2.3:** Ley de Charles.

$$\frac{P1}{T1} = \frac{P2}{T2}$$

Con  $V = Cte.$

$P1, T1, P2, T2$  (absolutas)

Las curvas que unen los estados-puntos que tienen el mismo volumen específico se denominan isócoras, isópteras o isopléricas. En un gas perfecto, las isócoras son líneas rectas verticales sobre el plano PV.

### 2.2.8. Ecuación de Estado para los Gases Perfectos

La temperatura, el volumen y la presión se relacionan de la siguiente manera:

$$\frac{P * V}{T} = R$$

Expresión que constituye la ecuación de estado de los gases perfectos o ecuación de Clapeyron, simbolizando R la constante universal de los gases perfectos o ideales.

En los casos que intervienen dos estados es más cómodo para los cálculos la forma homogénea de la ecuación, es decir.

**Fórmula 2.4:** Ecuación de estado para los gases perfectos.

$$\frac{P1.V1}{T1} = \frac{P2.V2}{T2}$$

La constante de gas R es diferente para cada gas y se determina de la siguiente fórmula:

**Fórmula 2.5:** Cálculo de la constante R de un gas.

$$R = \frac{R_u}{M} \left[ \frac{KJ}{(kg \cdot K)} \cdot \frac{KPa \cdot m^3}{(Kg \cdot K)} \right]$$

Donde  $R_u$  es la constante de gas universal y  $M$  es la masa molar (llamada también peso molecular) del gas. La constante  $R_u$  es la misma para todas las sustancias y su valor es:

RU =	10.73 psia . pie <sup>3</sup> /(lbmol.R)
	1545 pie lbf /(lbmol.R)
	1.986 Btu/(lbmol.R)
	0.08314 bar.m <sup>3</sup> /(Kmol.K)
	8.314 KPa.m <sup>3</sup> /(Kmol.K)
	8.314 K/(Kmol.K)

### 2.2.9. Composición Del Aire.

El aire es un gas incoloro inodoro e insípido que se encuentra en la atmósfera terrestre. Su composición química aproximada es:

- 78% Nitrógeno.
- 21% Oxígeno.
- 1% de otros componentes.

Dependiendo de las condiciones ambientales existentes el aire esta mezclado con una cantidad determinada de vapor de agua.

Además se debe considerar que el aire en el ambiente o en su paso por el compresor y la red, contiene impurezas como por ejemplo partículas de suciedad, polvo, residuos de aceite lubricante, óxidos, etc.<sup>1</sup>

## 2.2.10. Conceptos Relacionados Con Aire Comprimido.

### 2.2.10.1. Humedad absoluta

El vocablo humedad expresa la condición del aire con respecto a la cantidad de vapor de agua que contiene, luego humedad absoluta (densidad del vapor) se refiere a la cantidad de vapor de agua contenido en una determinada cantidad de aire seco. De acuerdo con la definición, se describe la humedad absoluta como la cantidad de vapor de agua expresada en Kg. Contendida en un kg de aire seco.

$$h_{ab} = \frac{\text{kg. vapor. de. agua}}{\text{kg. aire. seco}} = \frac{18. \text{ moles. de. vapor. de. agua}}{28,8. \text{ moles. de. aire. seco}} = 0,625$$

De modo que se tiene

$$\frac{\text{presión. parcial. del. vapor. de. agua}}{\text{presión. parcial. del. aire. seco}} = 0,625 \frac{Pa}{Pb}$$

Puesto que  $Pb = P - Pa$ , resulta:

$$h_{ab} = 0,625 \frac{Pa}{(P - Pa)}$$

**Fórmula 2.6:** Humedad absoluta.

Hab = Humedad absoluta en kg. de vapor de agua por Kg de aire seco.

Pa = Presión parcial del vapor de agua.

P = Presión total del sistema, en las mismas unidades que P.

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág.1

Pb = Presión parcial del aire seco.

### 2.2.10.2. Humedad de saturación

La humedad de saturación es la máxima cantidad de vapor de agua que puede haber en una concreta cantidad de aire. Ello significa que un volumen determinado de aire seco puede contener, a una presión y temperaturas dadas, cualquier cantidad de vapor de agua siempre que no supere un valor máximo, el valor de saturación. Como consecuencia el peso del vapor de agua contenido en el aire a una temperatura y presión referidas, podrá variar, por tanto desde cero para el aire seco, hasta el máximo admisible.

### 2.2.10.3. Humedad Relativa

La humedad absoluta se define como la masa de agua contenida por unidad de volumen de aire. El grado de saturación es el valor máximo de masa de agua que puede contener la unidad de volumen de aire a una presión y temperaturas dadas.

La humedad relativa se define de la siguiente forma:

**Fórmula 2.7:** Cálculo de la humedad relativa.

$$\text{Humedad Relativa} = \frac{\text{Humedad Absoluta}}{\text{Grado de Saturación}} * 100\%$$

### 2.2.10.4. Viscosidad ( $\mu, \rho$ )

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que establece la facilidad o dificultad que presenta un fluido, líquido o gas, para fluir o escurrirse. A mayor viscosidad, la resistencia al flujo es mayor. Así, por ejemplo un aceite tiene mayor viscosidad que el agua, un gas es menos viscoso que un líquido.

Para cuantificar la viscosidad, se utilizan los coeficientes de viscosidad absoluta o dinámica ( $\mu$ ) y de viscosidad cinemática ( $\nu$ ).

**Fórmula 2.8:** Cálculo de la viscosidad cinemática.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$\rho$  = densidad

La unidad más frecuente de viscosidad absoluta es:

$$\text{POISE} = \frac{\text{Kg.}}{\text{m. seg}}$$

Se utilizan generalmente submúltiplos del poise como por ejemplo el centipoise.

La unidad más frecuente de viscosidad cinemática es:

$$\text{STOKE} = \frac{\text{m}^2}{\text{seg.}}$$

Se utilizan generalmente submúltiplos del stoke como por ejemplo el centistoke (cS).

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que varía considerablemente ante la variación de temperatura, en los líquidos al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad, en cambio en los gases, al aumentar la temperatura aumenta la viscosidad.

Ante variaciones de presión no exageradas no se producen variaciones mayores de viscosidad en los líquidos y gases.

### 2.2.10.5. Densidad ( $\rho$ ) y Volumen Específico (Ve)

La densidad se define la masa por unidad de volumen.

**Fórmula 2.9** : Cálculo de la densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

En el caso de los líquidos la densidad no varía mayormente, cuando los cambios de presión y temperatura no son exagerados en cambio la densidad de los gases varía sensiblemente con los cambios de presión y temperatura.

En una red de gas comprimido al pasar el gas de un estado (1) con presión y temperatura absolutas (P1 y T1), a un estado (2) con presión y temperatura (P2 y T2) se puede utilizar la siguiente ecuación:

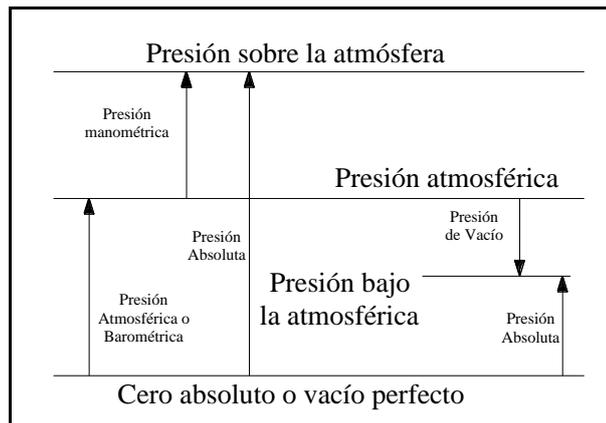
$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \cdot \left( \frac{T_1}{T_2} \right)$$

El volumen específico se define como el inverso de la densidad.

### 2.2.10.6. Presión

Es la fuerza por unidad de área a la que esta sometida una partícula de un fluido. Se debe diferenciar la presión absoluta, manométrica y de vacío (Fig. 2.2.)

**Figura. 2.2** Presión absoluta, manométrica y de vacío.



Unidades frecuentes de presión son: atm, bar, psi, kgr/cm<sup>2</sup>, Pa (Mpa, Kpa), mm de Hg.

### 2.2.10.7. Temperatura (T)

Es la propiedad que define la capacidad de una sustancia de transmitir calor. Existen escalas de temperatura relativas (°C, °F) y absolutas (°R, °K).<sup>1</sup>

### 2.2.10.8. Peso específico del aire

El peso específico del aire varía como una función de los cambios de presión y temperatura, en especial de la presión. El peso específico para cualquiera de las condiciones de presión y temperatura pueden calcularse de la ley de los gases ideales de la termodinámica la cual establece:

**Fórmula 2.10:** Ley de los gases ideales.

$$\frac{P}{\gamma T} = \text{cte.} = R$$

Donde:

$$p = \text{Presión absoluta del gas.}$$

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág.2

$\gamma$  = Peso específico del gas.

$T$  = Temperatura absoluta del gas, esto es, la temperatura arriba del cero absoluto.

$R$  = Constante del gas para el gas en cuestión.

**Tabla 2.1:** Valores de presión estándar y constante R del aire.

UNIDADES	SISTEMA BRITÁNICO	SI
Presión	14.7 (lb/pulg <sup>2</sup> )	101.3 (kPa)
Coefficiente R	53.3 (pies.lb/lb °R)	29.2 (N.m/N.K)

Cuando se elige expresar los valores de la constante del gas R en términos del peso, se facilita el cálculo del peso específico. Se debe notar que la utilización de las relaciones que se obtienen basadas en el peso, deberá limitarse a aplicaciones cerca de la superficie de la Tierra, donde los valores de la aceleración debido a la gravedad, g es casi constante.<sup>1</sup>

### 2.2.10.9. Caudal (Q)

Es el volumen por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto. En redes de gas comprimido se pueden relacionar el caudal (Q) con la velocidad (v) a través del área transversal de flujo (A).

**Fórmula 2.11:** Cálculo del caudal.

$$Q = A \cdot V$$

Unidades frecuentes de Caudal: L/seg, l/min, m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/min, m<sup>3</sup>/seg, CFH, CFM, GPM. Al caudal (Q) también se lo conoce como caudal volumétrico y es importante considerar que en el paso del gas por el compresor y la red, al

---

<sup>1</sup> Mott Robert L., Mecánica de Fluidos aplicada, 4ta edición, México, Prentice-Hall, 1996, Pág., 498.

cambiar las condiciones de presión y temperatura, varía el volumen y por lo tanto el caudal de gas.

En una red de gas comprimido al pasar el gas de un estado (1) con presión y temperaturas absolutas  $P_1$  y  $T_1$ , a un estado (2) con presión y temperatura absolutas  $P_2$  y  $T_2$ , se puede utilizar la siguiente ecuación:

**Fórmula 2.12:** Cálculo del caudal de salida a partir de condiciones de entrada y salida

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

Se llama caudal de gas libre, el caudal del gas en condiciones ambientales. Por ejemplo si se tiene en el ambiente  $15^\circ \text{C}$  y 1 atm. El caudal del aire libre será el existente en estas condiciones de presión y temperatura.

#### 2.2.10.10. Flujo másico (M)

Se llama también caudal másico o régimen másico y es la masa por unidad de tiempo que atraviesa la sección de un conducto. El caudal másico se relaciona con el caudal con la ecuación:

**Fórmula 2.13:** Cálculo del flujo másico.

$$M = Q \cdot \rho$$

El caudal ( $Q$ ) y la densidad ( $\rho$ ) para la presión y la temperatura  $T$  existe en la sección de flujo examinada. Las unidades frecuentes de flujo másico son: kg/s, Kg/h, lb/s, lb/h y Ton/h.<sup>1</sup>

#### 2.2.10.11. Ecuación de Continuidad

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág.10

El método para calcular la velocidad de flujo de un fluido en un sistema de conductos cerrado, depende del principio de continuidad. Considerando el tubo de la figura 2.3. Un fluido fluye de la sección 1 a la sección 2 con una rapidez constante. Esto es la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección en un cierto tiempo dado es constante. En este caso se tiene un flujo constante. Ahora bien, si no se agrega fluido, se almacena o se retira entre la sección 1 y la sección 2, entonces la masa de fluido que pasa por la sección 2 en un tiempo dado, debe ser la misma que la que fluye por la sección 1, en el mismo tiempo. Lo anterior se puede expresar en términos de rapidez de flujo de masa como:

**Fórmula 2.14:** Ecuación de continuidad.

$$M_1 = M_2$$

Puesto que  $M = \rho \cdot A \cdot v$ , se tiene que:

$$\rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2$$

Esta ecuación se usa para cualquier fluido, y se utiliza para relacionar la densidad del fluido, el área de flujo y la velocidad de flujo en dos secciones de un sistema en el que existe un flujo estable. Es válida para todos los fluidos ya sean gases o líquidos.<sup>1</sup>

En las redes de gas comprimido se cumple que, en diferentes secciones de la red el flujo másico se mantiene constante.

$$M = \text{CONSTANTE}$$

#### **2.2.10.12. Flujo de fluidos y la ecuación de Bernoulli**

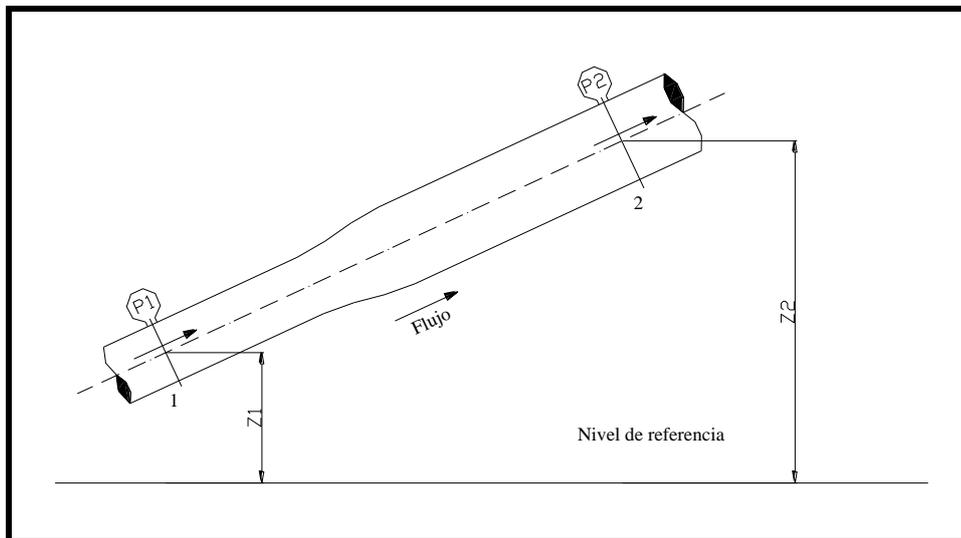
---

<sup>1</sup> Mott Robert L., Mecánica de Fluidos aplicada, 4ta edición, México, Prentice-Hall, 1996, Pág., 148.

Las suposiciones que se consideran para flujo en conductos son:

- El fluido llena totalmente el área de flujo disponible, a menos que se diga lo contrario.
- Cuando se trate el flujo en conductos y en tubos implica la predicción de las condiciones en una sección de un sistema, cuando se conocen las condiciones de alguna otra sección.

**Figura 2.3 :** Parte de un sistema de distribución de fluido.



**Fuente:** Mott Robert L., Mecánica de Fluidos aplicada, 4ta edición, México, Prentice-Hall, 1996, Pág., 146.

- Elevación es el término utilizado para definir la distancia vertical desde algún nivel de referencia a un punto de interés y se lo representa con la letra  $z$ .

### 2.2.10.13. Rapidez de flujo del fluido

La cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo, se puede expresar mediante los tres términos que se muestra a continuación:

- Q** La *rapidez de flujo de volumen* es el volumen del flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo.
- W** La *rapidez de flujo de peso* es el peso de fluido que fluye por una sección por unidad de tiempo.
- M** La *rapidez de flujo de masa o flujo másico* que es la masa de fluido que fluye por una sección por unidad de tiempo.

El más importante de estos tres términos es la rapidez de flujo de volumen Q, que se calcula con la ecuación:

**Fórmula 2.15:** Rapidez de flujo de volumen.

$$Q = A \cdot v$$

Donde A es el área de la sección y v es la velocidad promedio del flujo. Las unidades de Q se pueden derivar de la manera siguiente, utilizando unidades

SI como por ejemplo:

$$Q = A \cdot v = \text{m}^2 * \text{m/s} = \text{m}^3/\text{s}$$

A continuación se resumen los tres tipos de rapidez de flujo de fluido y en ella se dan las unidades estándar tanto en el Sistema Internacional como en el Británico de Unidades.<sup>1</sup>

**Tabla 2.2:** Unidades para la rapidez de flujo.

Símbolo	Nombre	Definición	Unidades SI	Sistema Británico

<sup>1</sup> Mott Robert L., Mecánica de Fluidos aplicada, 4ta edición, México, Prentice-Hall, 1996, Pág., 145.

Q	Rapidez de flujo de volumen	$Q = A \cdot v$	m <sup>3</sup> /s	Pie <sup>3</sup> /s
W	Rapidez de flujo de peso	$W = \gamma \cdot Q$ $W = \gamma \cdot A \cdot v$	N/s	Lb/s
M	Rapidez de flujo de masa	$M = \rho \cdot Q$ $M = \rho \cdot A \cdot v$	Kg/s	Slug/s

#### 2.2.10.14. Velocidades de flujo para líneas de aire comprimido

Los valores dados a equipo que se utiliza para comprimir aire y para compresores que entregan aire se proporcionan en términos de aire libre, llamados en algunas ocasiones entrega de aire libre (FAD)\* . Esto proporciona la cantidad de aire entregada por unidad de tiempo suponiendo que el aire se encuentra a presión atmosférica estándar (14.7 (lb/pulg<sup>2</sup> absolutas o 101.3 kPa absolutos) y la temperatura estándar de 60 °F o 15 °C. (temperaturas absolutas de 520°R o 285 K). Para determinar la velocidad de flujo en otras condiciones, se puede utilizar la siguiente ecuación:

**Fórmula 2.16:** Cálculo del flujo de volumen en condiciones reales.

$$Q_a = Q_s \cdot \frac{P_{atm.}}{P_{atm.} + P_a} \cdot \frac{T_a}{T_s}$$

Donde:

Q<sub>a</sub> = Velocidad de flujo de volumen en condiciones reales.

Q<sub>s</sub> = Velocidad de flujo de volumen en condiciones estándar.

P<sub>atm. - s</sub> = Presión atmosférica absoluta estándar.

P<sub>atm. a</sub> = Presión atmosférica absoluta real.

P<sub>a</sub> = Presión real de medición.

---

\* FAD: Aire libre entregado al ambiente (Free air delivery)

Ta = Temperatura absoluta real.

Ts = Temperatura absoluta estándar = 520°R o 285 K

Utilizando estos valores y los de la atmósfera estándar se escribe la ecuación anterior como sigue:

En Sistema Británico de Unidades

$$Q_a = Q_s \cdot \frac{14.7 \text{ lb/pulg}^2}{P_{atm} + P_a} \cdot \frac{(t + 460)^\circ \text{R}}{520^\circ \text{R}}$$

En unidades SI

$$Q_a = Q_s \cdot \frac{101.3 \text{ kPa}}{P_{atm} + P_a} \cdot \frac{(t + 273) \text{K}}{285 \text{ K}}$$

1

#### 2.2.10.15. Tipo de flujo en un conducto y Número de Reynolds (Re)

El flujo que tiene un gas dentro de un conducto puede ser laminar o turbulento.

El flujo laminar se caracteriza por ser esencialmente ordenado, las líneas de corriente y capas de fluido se desplazan paralelas entre sí.

El flujo turbulento, es esencialmente caótico y desordenado en que las líneas de corriente y capas de fluido se desplazan cruzándose entre sí en diferentes direcciones.

Se puede cuantificar numéricamente el tipo de flujo presente en un conducto mediante un coeficiente adimensional llamado “Número de Reynolds (Re)”

**Fórmula 2.17:** Cálculo del número de Reynolds.

---

<sup>1</sup> Mott Robert L., Mecánica de Fluidos aplicada, 4ta edición, México, Prentice-Hall, 1996, Pág., 501.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu}$$

d: diámetro de un conducto.

Experimentalmente se ha mencionado que:

Flujo laminar:  $Re \leq 2000$

Flujo turbulento  $Re > 2000$

## **2.3 REDES DE AIRE COMPRIMIDO**

### **2.3.1. Descripción general**

#### **2.3.1.1. Dimensionamiento de Tubería**

El diámetro adecuado de las tuberías será aquel que posibilite las condiciones más aceptables de trabajo en el sistema de aire comprimido dentro de los parámetros de funcionamiento normal como son:

- Flujo subsónico.
- Niveles correctos de velocidad de flujo.
- Niveles admisibles de pérdidas de presión.

Mientras mayor es el diámetro de la tubería, mejoran las condiciones de trabajo del aire comprimido pero paralelamente a esto el costo y el peso de la tubería aumentan creando condiciones adversas.

Por esta razón el dimensionamiento de la tubería requiere de un análisis tanto técnico como de factibilidad económica por parte del diseñador.

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág., 9.

Para el cálculo del diámetro de la tubería (D) se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

**Fórmula 2.18a** : Cálculo del diámetro de la tubería.

$$D \geq \left( \frac{0,007 * Q^{1,85} * L}{P_{perdidas} * P^x * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

P<sub>perdidas</sub>: Pérdidas de presión en bar.

P<sup>x</sup>: Presión de salida del compresor en bar.

ΔP: Diferencia de presión admisible en bar.

Generalmente se considera dimensionar el Diámetro de la tubería de tal manera que las pérdidas de presión en la red sean menores al 10%, en tal virtud la ecuación de cálculo sería la siguiente:

**Fórmula 2.18b** : Cálculo del diámetro de la tubería.

$$D \geq \left( \frac{0,007 * Q^{1,85} * L}{(P^x)^2 * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

P<sup>x</sup>: Presión de salida del compresor en bar.

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág., 67.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Para cuando el diámetro resultante sea mayor a 1 pulgada luego de aplicar la fórmula anterior, conviene recalculer el diámetro usando la siguiente ecuación:

**Fórmula 2.18 c** : Cálculo del diámetro de la tubería.

$$D \geq \left( \frac{0,007 * Q^{1,85} * L}{(P^x)^2 * \Delta P} \right)^{1/3,5}$$

Donde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

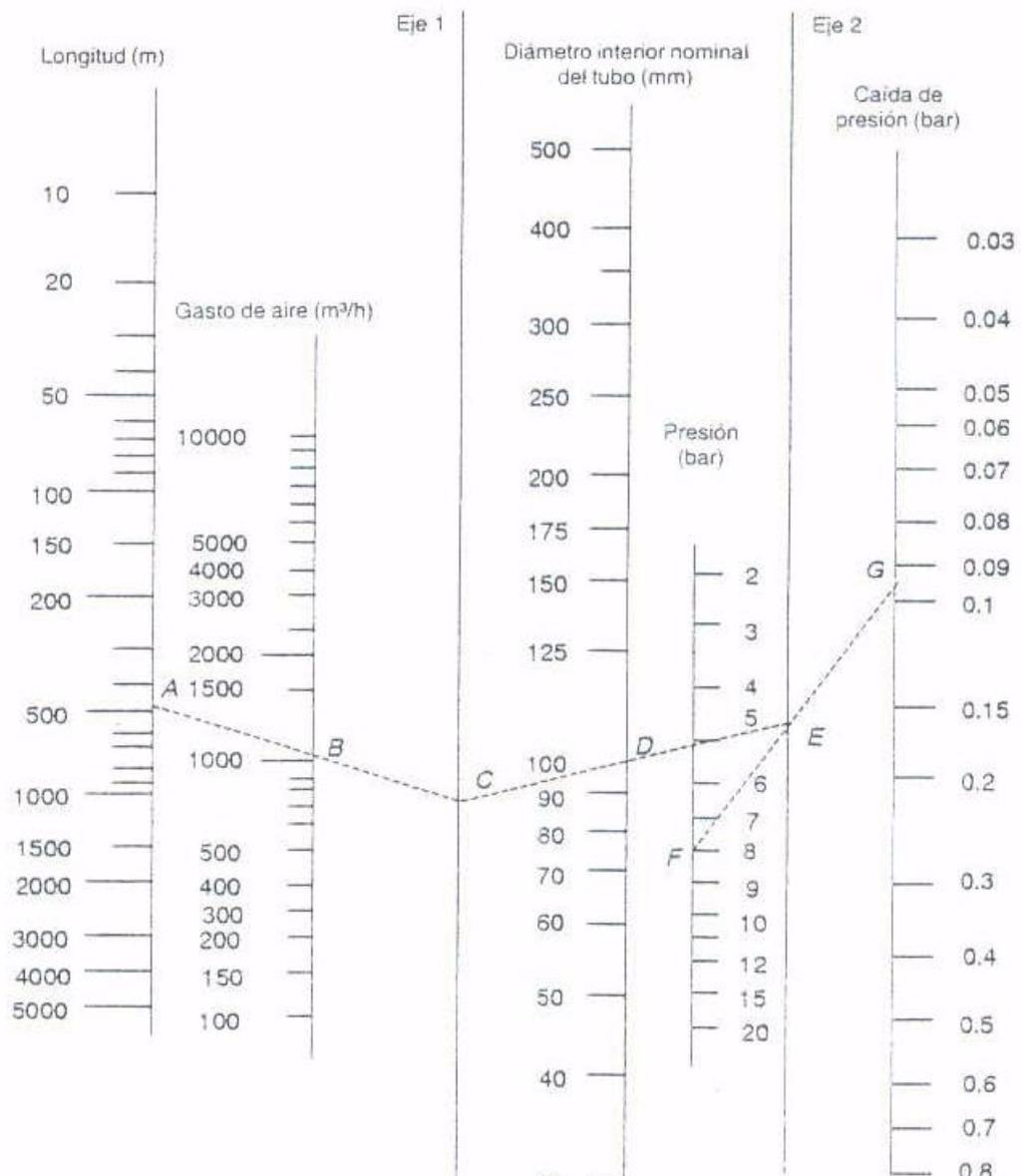
P<sup>x</sup>: Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Para el dimensionamiento de la tubería se dispone adicionalmente de un Nomograma mediante el cual se calcula el diámetro adecuado de la tubería dentro de los parámetros admisibles de pérdidas, y adaptando dicho diámetro a medidas comercialmente disponibles en el mercado.

Cabe indicar que actualmente para un sistema bien dimensionado en trazado y diámetros de tubería debe garantizar una pérdida máxima de presión del 10% para el punto mas alejado en el sitio de la utilización del aire comprimido, respecto a la presión generada por el compresor.

**Figura 2.4 : Nomograma para caída de presión.**



**Fuente:** S. R. Majunmdar. Sistemas neumáticos. Editorial Mc.GrawHill 1997. Pág 17.

Se debe considerar muchos factores para especificar un tamaño de tubería adecuado para transportar aire comprimido. Algunos de estos factores y los parámetros involucrados se enuncian a continuación:

- Caída de presión. Debido a que las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo, es conveniente utilizar tamaños de tubería tan grandes como sea factible, para asegurar una presión adecuada en todos los puntos de uso de un sistema.
- Requerimiento de potencia en el compresor. La potencia requerida para alimentar el compresor se incrementa a medida que la caída de presión aumenta. Por lo tanto, es adecuado utilizar tuberías cortas o de diámetro mayor para minimizar la caída de presión.
- Costo de la tubería. Los costos de las tuberías largas son mayores que los de las tuberías cortas, lo cual hace adecuado el uso de las tuberías cortas.
- Costo de un compresor. En general, un compresor diseñado para operar a una presión mayor costará más, lo que hace mas adecuado el uso de tuberías de mayor diámetro que minimizan la caída de presión.
- Costos de instalación. Las tuberías pequeñas son más fáciles de manejar, aunque este no es en general un factor importante.

- Espacio requerido. Las tuberías pequeñas requieren de un menor espacio y proporcionan menor interferencia con otro equipo u operaciones..
- Expansión futura. Para permitir la adición de más equipo que utilice aire en el futuro, se prefieren tuberías mayores.
- Ruido. Cuando el aire fluye a una gran velocidad a través de tuberías, válvulas y accesorios, este genera un alto nivel de ruido. Es mejor utilizar tuberías de gran diámetro para que las velocidades sean menores.

### 2.3.1.2. Espesor de la tubería

El espesor de la tubería para aplicaciones de aire comprimido está en función de la presión de salida del compresor, del diámetro de la tubería y del material de la misma, para el cálculo se usa la siguiente ecuación:

**Fórmula 2.19** : Cálculo del espesor de la tubería.

$$e \geq \left( \frac{P^x * D}{80 * \sigma} \right)^1$$

Donde:

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

e: Espesor en milímetros.

$\sigma$  : Límite de fluencia del material de la tubería en kgf/cm<sup>2</sup>

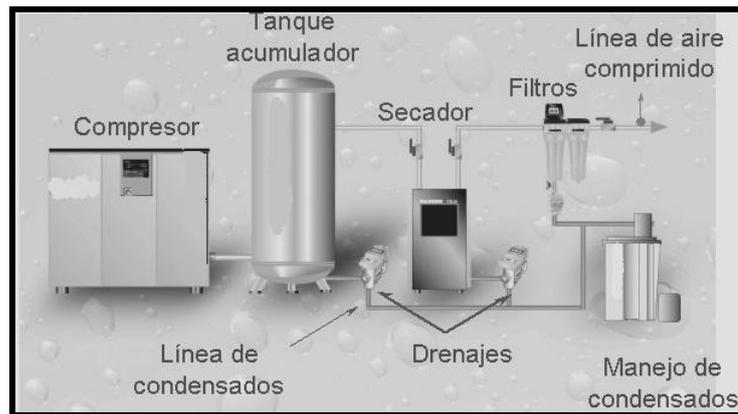
### 2.3.1.3. Componentes del sistema de aire comprimido

De acuerdo con los requerimientos de cantidad y calidad de aire comprimido, se deben instalar: compresores, filtros, tanques, secadores y sistema de manejo de condensados. Un esquema típico puede ser el indicado en la figura 2.5.

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág.69.

**Figura 2.5:** Componentes del sistema de aire comprimido.



**Fuente:** KAESER, Manual de Aire Comprimido, Editor Kaeser Compresores de Colombia Ltda., 2003.

#### **2.3.1.4. Generación de aire comprimido**

Los compresores son máquinas que reciben energía mecánica de un motor impulsor y transfieren parte de esta energía a un gas aumentando su presión. El gas comprimido es entregado a un recipiente de almacenamiento de donde posteriormente es conducido a los dispositivos que lo necesitan.

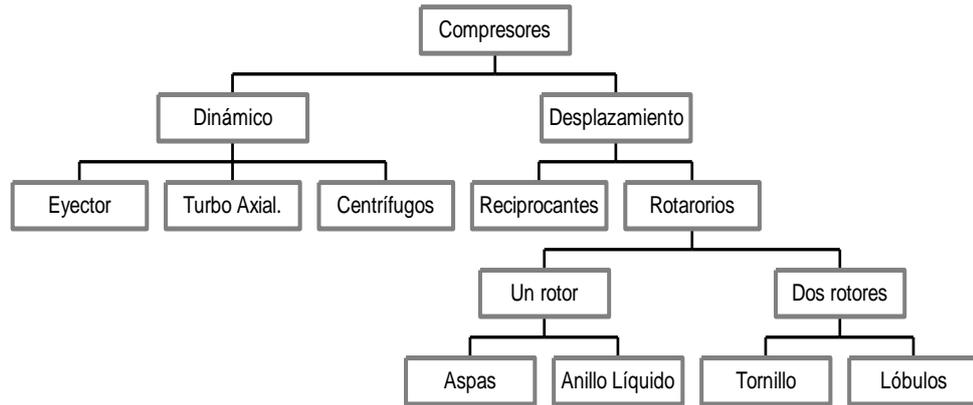
De la energía recibida por un compresor desde el motor impulsor, una parte se entrega al gas y otra parte se disipa en pérdidas y por radiación de calor.

#### **2.3.1.5. Tipos de compresores**

Se distinguen dos tipos básicos de compresores; El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).

El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

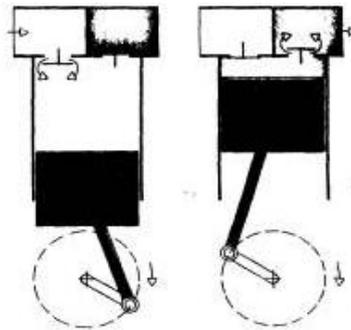
**Figura 2.6:** Clasificación de compresores.



## Compresores de émbolo

Compresor de émbolo oscilante. Este es el tipo de compresor más difundido actualmente. Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión.

**Figura 2.7:** Compresores de Embolo



Para obtener el aire a presiones elevadas, es necesario disponer varias etapas compresoras. El aire aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. El volumen de la segunda cámara de compresión es, en conformidad con la relación, más pequeño. Durante el trabajo de compresión se forma una cantidad de calor, que tiene que ser evacuada por el sistema refrigeración.

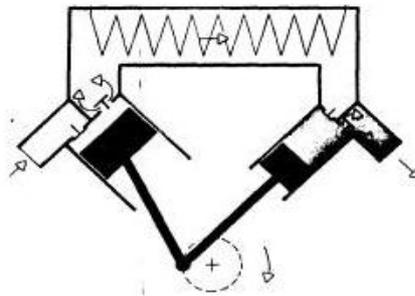
Los compresores de émbolo oscilante pueden refrigerarse por aire o por agua, y según las prescripciones de trabajo las etapas que se precisan son:

hasta 400 kPa (4 bar), 1 etapa  
hasta 1.500 kPa (15 bar), 2 etapas  
más de 1.500 kPa (15 bar), 3 etapas o más

No resulta siempre económico, pero también pueden utilizarse compresores

de 1 etapa, hasta 1.200 kPa (12 bar)  
de 2 etapas, hasta 3.000 kPa (30 bar)  
de 3 etapas, hasta 22.000 kPa (220 bar)

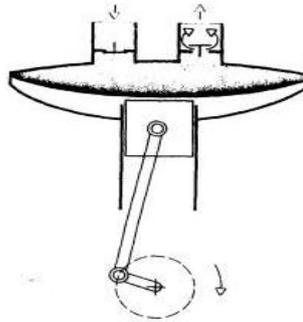
**Figura 2.8:** Compresor de dos etapas con refrigeración intermedia



### Compresor de membrana

Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto, en todo caso, el aire comprimido estará exento de aceite. Estos, compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias farmacéuticas y químicas.

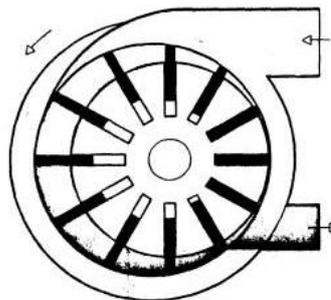
**Figura 2.9:** Compresor de Membrana



### Compresor rotativo multicelular

Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas. El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente.

**Figura 2.10:** Compresor Rotativo Multicelular

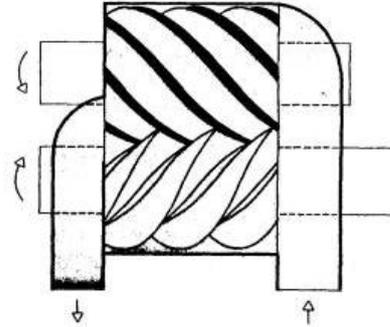


### Compresor de tornillo helicoidal, de dos ejes

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado el aire aspirado axialmente. En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado.

En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos.

**Figura 2.11:** Compresor de Tornillo Helicoidal

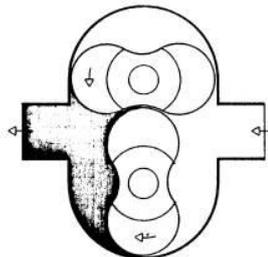


### Compresores de Lóbulos

Estos compresores son máquinas de desplazamiento sin válvula de aspiración o descarga. Estos no producen compresión interna, la compresión tiene lugar en un tanque posterior debido a las sucesivas entregas de aire.

Esto reduce su uso a sopladores y máquinas de bajas relaciones de compresión.

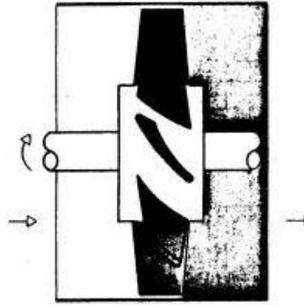
**Figura 2.12:** Compresor de lóbulos.



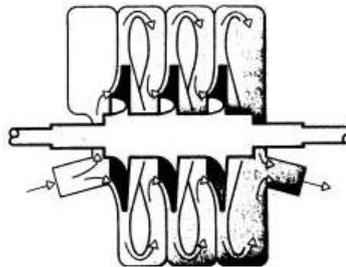
### Turbocompresores

Trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial. El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión.

**Figura 2.13:** Compresor Axial



**Figura 2.14:** Compresor Radial



### **2.3.1.6. Selección Del Compresor**

Para seleccionar el compresor se deben considerar los siguientes criterios:

#### **a) Condiciones ambientales en donde va a trabajar el compresor**

Característica intrínseca de la troposfera\* es que a medida que la aumenta la altitud, la presión, la densidad del aire y la temperatura ambiental decrecen.

Estos cambios en las condiciones ambientales afectan la potencia disponible de los motores eléctricos y de combustión, y del mismo modo como la densidad disminuye con la altitud así mismo disminuye la capacidad de entregar caudal útil de aire por parte del compresor.

---

\* Troposfera: Primera capa de la atmósfera terrestre que se extiende hasta unos 16 Km. en las regiones tropicales (con una temperatura de  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) hasta unos 9,7 Km. en latitudes templadas (con una temperatura de unos  $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Mediante la siguiente fórmula se puede corregir el valor del caudal considerado en condiciones estándar (SCFM), con respecto a condiciones de temperatura y presión del lugar de trabajo.

De acuerdo a la ecuación 2.4 de los gases perfectos se tiene que

$$\frac{P_o * V_o}{T_o} = \frac{P_1 * V_1}{T_1}$$

Donde:

Po: Presión en condiciones estándar.

Vo: Volumen inicial calculado en condiciones estándar.

To: Temperatura en condiciones estándar.

P1: Presión manométrica local.

T1: Temperatura atmosférica local.

V1: Volumen a calcularse en condiciones ambientales.

Adicional a esto también hay que considerar el valor de la Humedad Relativa de la siguiente forma:

**Fórmula 2.20** : Cálculo del volumen considerando la HR.

$$V_2 = V_1 * \left( \frac{P_1}{P_1 - P_x} \right)$$

Donde:

Pv: Presión del vapor a la T1.

Px = Pv \* HR (Presión parcial del vapor)

V2: Volumen requerido de aire considerando la temperatura, presión y HR (ACFM).

## **b) Presión requerida en la red**

Es importante considerar la presión de trabajo de los usuarios del aire comprimido teniendo en cuenta lo siguiente:

- Diferentes presiones en la red, en algunas empresas se presenta el caso que no todos los usuarios pueden trabajar con la misma presión, algunos requieren presiones más altas. No siempre es aconsejable que con el mismo compresor se alimenten líneas a diferentes presiones, ya que esto obliga a que el compresor trabaje por encima de la presión más alta y por cada psi que se tenga que incrementar la presión en el compresor, el consumo de energía se incrementa un 0.5%.
- Las pérdidas de presión se generan por: Diámetros de tubería inadecuados, fricción interna de tuberías, longitudes de tubería, accesorios, cambios bruscos de diámetros de tubería, fugas, entre otros.

### **c) Caudal de aire requerido en el sistema**

Es importante verificar el inventario de equipos que requieren aire comprimido. Luego de conocer el caudal requerido se debe considerar un margen de seguridad para fugas y nuevos usuarios, esta suma se considera como la demanda pico y sus unidades son scfm\* (o equivalente en otros sistemas).

Antes de proyectar el abastecimiento de aire comprimido, dimensionar y comprar compresores de aire, es necesario determinar la cantidad de aire requerida. Cada herramienta o sistema neumático requiere una cantidad determinada de aire. Dichas cantidades son generalmente dadas por el fabricante de la herramienta o sistema, y son señaladas en sus catálogos. La tabla contiene los requisitos de aire comprimido para diversas herramientas neumáticas.

---

\* SCFM: Standard Cubic Feet per Minute –(pié cúbico por minuto estándar)

**Tabla 2.3:** Cálculo de aire de herramientas neumáticas.<sup>1</sup>

<b>Herramienta</b>	<b>Consumo en CFM</b>	<b>Presión PSI</b>	<b>En uso según experiencia</b>
Martillo neumático pesado para romper hormigón armado	45	(80 - 100)	30%
Martillo neumático (5 - 6 kg.)	16	(80 - 100)	30%
Martillo neumático (3 - 5 kg.)	13	(80 - 100)	30%
Martillo neumático (1 - 3 kg.)	9	(80 - 100)	30%
Perforadora No 1 a 1/4"	6	(80 - 100)	30%
Perforadora No 2 a 3/8"	15	(80 - 100)	30%
Perforadora No 3 a 1/2"	25	(80 - 100)	30%
Destornillador No 1 a 1/8"	5	(80 - 100)	20%
Destornillador No 2 a 1/4"	15	(80 - 100)	20%
Destornillador No 3 a 3/8"	25	(80 - 100)	20%
Llave hasta 3/8 "	15	(80 - 125)	25%

**Tabla 2.3:** Cálculo de aire de herramientas neumáticas (Continuación).

<b>Herramienta</b>	<b>Consumo en CFM</b>	<b>Presión PSI</b>	<b>En uso según experiencia</b>
Llave hasta 3/4 "	25	(80 - 125)	25%
Llave hasta 1 "	35	(80 - 125)	25%
Amoladora hasta 6000 rpm	6	(80 - 100)	40%
Amoladora hasta 3"	14	(80 - 100)	40%
Amoladora hasta 6"	40	(80 - 100)	40%
Elevador hasta 100 kg.	20	(80 - 100)	20%
Elevador hasta 500 kg.	28	(80 - 100)	20%
Elevador hasta 2000 kg.	40	(80 - 100)	20%
Perforadora automática hasta 1/4"	12	(80 - 100)	Según necesidad
Inflador de neumáticos	3	(100 - 150)	Según necesidad
Pulverizador de pintura pequeño	(2 - 4)	(30 - 60)	Según

<sup>1</sup> Curso PN-2100, Neumática Básica, DEGEN SYSTEMS, Pág.,. 5-2.

			necesidad
Pulverizador de pintura mediano	(4 – 8)	(30 - 60)	Según necesidad
Pulverizador de pintura grande	(8 - 15)	(30 - 60)	Según necesidad
Pulverizador de líquido o de aire para limpieza	4	(60 - 100)	Según necesidad
Arenadora neumática	24	(60 - 100)	Según necesidad
Aspirador.	6,5	(120 - 150)	Según necesidad
Equipo de elevación neumático.	1	(120 - 150)	Según necesidad
Herramienta para abrir neumáticos	1	(120 - 150)	Según necesidad
Engrasador.	3	(120 - 150)	Según nec.
<b>Tabla 2.3:</b> Cálculo de aire de herramientas neumáticas (Continuación.)			
<b>Herramienta</b>	<b>Consumo en CFM</b>	<b>Presión PSI</b>	<b>En uso según experiencia</b>
Elevador neumático de hasta 2 toneladas	6	(145 - 175)	Según necesidad
Prensa para renovar neumáticos.	8	(175 - 200)	Según necesidad
Nota: Los porcentajes en el sector derecho de la tabla representan el tiempo de consumo. Por ejemplo, en 8 horas de trabajo el martillo de aire liviano consume: $16 \cdot 30 / 100 = 4.8$ CFM. Tomado del Curso PN-2100 NEUMÁTICA BÁSICA Pag. 5-2			

**d) Perfil de la demanda**

Cada proceso productivo tiene una demanda con características propias, el perfil de la demanda es importante para poder seleccionar la cantidad de compresores y sus características.

Adicional a esto algunos de los factores que influyen en la selección tanto del tipo del compresor como del tipo de instalación son:

- ✓ El uso a que va a destinarse y aquellos otros requerimientos relativos a presión, aire exento de aceite, etc.
- ✓ Como y cuantos son los puntos de utilización o puntos de consumo.
- ✓ Máxima y mínima demanda de aire, variaciones estacionales, desarrollo futuro previsto, etc.
- ✓ Condiciones ambientales, los factores que hay que considerar aquí son: temperaturas extremas, grado de contaminación del aire, altitud, etc.
- ✓ Clase de edificación en la que va a instalarse el compresor; los factores a considerar son: limitaciones del espacio, carga que puede soportar el suelo, limitaciones de la vibración, etc.
- ✓ Disponibilidad y costo del agua de refrigeración, necesidad de tratamiento de agua, recirculación, etc.
- ✓ Cantidad de calor puede recuperarse.
- ✓ Límites de disponibilidad de potencia existente
- ✓ Limitaciones de ruido.
- ✓ Continuidad e intermitencia en la necesidad de aire.
- ✓ Conocer si el costo de una parada es aceptable.
- ✓ Experiencia de los usuarios y del personal de mantenimiento en el manejo de estos sistemas.
- ✓ Para los casos en los que el estudio previo ya ha sido realizado, los parámetros que se requieren para la selección de una unidad compresora son los siguientes.
- ✓ La capacidad del compresor (SCFM o Nm<sup>3</sup>/h).
- ✓ La presión de servicio requerida (bar o psig).

### 2.3.1.7. Consumo específico

Se llama consumo específico de una herramienta al consumo de aire requerido por la misma para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante.

### 2.3.1.8. Coeficientes de utilización

En la determinación de la capacidad del compresor necesaria para alimentar una herramienta, máquina o un grupo de accionamientos neumáticos, intervienen aparte del consumo específico del aparato, el tiempo que el componente neumático esté parado por la índole de su trabajo. Este margen de operación intermitente o factor de servicio se denomina coeficiente de utilización.

A manera de orientación se puede considerar observar la tabla que contiene valores para coeficientes de utilización:

**Tabla 2.4 :** Coeficientes de utilización

Atornilladores	25%
Amoladoras	40%
Remachadoras	50%
Taladros	25%
Lijadoras	50%
Roscadoras	30%
Pistoleta de limpieza	10%

### 2.3.1.9. Coeficiente de simultaneidad

Cuando hay en funcionamiento diversas herramientas o, en general, todos los equipos que integran una industria el promedio de los coeficientes de utilización de cada una de ellas deriva en una cifra denominada coeficiente de simultaneidad. Como ejemplos de estos factores obsérvese la tabla 2.5.

**Tabla 2.5:** Coeficientes de simultaneidad

Fundiciones	55 a 60%
Talleres mecánicos	40 a 45%
Talleres de servicio	35 a 40%
Astilleros	50 a 60%
Construcciones metálicas	5 a 50%
Construcciones varias	20 a 25%

## **2.3.2. Características técnicas de los Sistemas de Aire Comprimido**

### **2.3.2.1. Calidad de aire requerida**

Existen tres contaminantes potenciales que afectan es sistema de aire comprimido: la humedad, las partículas y el aceite. Se debe instalar un sistema de tratamiento que retire estos elementos en la medida en que el proceso lo requiera, es decir, la calidad del aire deberá ser tan pura como el proceso lo demande. En caso de realizar una selección inadecuada del sistema de tratamiento del aire comprimido se puede tener algunos inconvenientes:

- Contaminación del proceso y del equipo neumático, rechazos de productos terminados, oxidación en las tuberías, mayor posibilidad de fugas, desgaste excesivo de elementos neumáticos, etc.

A continuación se describe la calidad de aire requerida de acuerdo con la norma DIN ISO 8573-1, en esta tabla se muestra el contenido de polvo y aceite y la cantidad de agua permitidos en algunos procesos industriales típicos.

**Tabla 2.6 :** Clasificación de Calidad de Aire según norma ISO 8573-1:1991(E)

<b>Clase ISO</b>	<b>Aerosoles de aceite (micrones)</b>	<b>Partículas (micrones)</b>	<b>Punto de rocío a presión (oF)</b>
1	0.01	0.1	-100
2	0.1	1	-40
3	1	5	-4
4	5	15	+37
5	25	40	+45
6	-	-	+50
7	-	-	-

### **2.3.2.2. Condiciones Estándar de Temperatura Presión y Humedad Relativa**

Son condiciones ambientales consideradas como estándares, de las cuales se parte para diferentes cálculos.

- 14.7 PSIA (Nivel del Mar)
- 20° C.\*
- 0% Humedad Relativa

Establecidas en las normas ISO 1217.<sup>1</sup>

### **2.3.2.3. Sitio de ubicación del sistema de aire comprimido**

---

\* Se considera un valor de 20°C bajo las normas ISO 1217 y un valor de 15°C bajo las normas CAGI.  
<sup>1</sup> Aire Comprimido y su aplicación en la Industria, Dep. Comunicaciones Atlas Copco Venezuela, SA.  
Pág. 30.

Se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a. Temperatura ambiente del sitio entre 3 y 40°C.
- b. El piso debe tener desnivelación de máximo nueve milímetros por metro con una inclinación máxima de 0.5°.
- c. Suficiente espacio para transporte e instalación de los equipos.
- d. Suficiente espacio para mantenimiento y reparación (apertura de puertas de inspección, y acceso para reemplazar el motor u otros elementos).
- e. El cuarto debe estar provisto de un ventilador que provea la cantidad de aire requerida por el sistema.
- f. Que el aire caliente despedido por algún equipo (por ejemplo intercambiador de aire) no llegue a otros equipos o incremente la temperatura ambiente del cuarto en forma excesiva, si fuera necesario se debe instalar ductos de evacuación de aire caliente.
- g. Así como existe una línea de aire comprimido debe instalar una línea de condensados que facilite el tratamiento y evacuación de los mismos.
- h. El sitio debe estar correctamente iluminado y cumpliendo los estándares de seguridad y las normas de identificación y demarcación vigentes.

#### **2.3.2.4. Sistemas de Control**

La presión manométrica indicada en la red es el indicador que muestra si la demanda de aire ha sido suplida por el generador de aire comprimido, de manera que el funcionamiento de este obedece al valor de la presión de la red.

Existen varias formas de mantener la presión de red bajo niveles óptimos en compresores de desplazamiento:

##### **2.3.2.4.1. Válvula de seguridad**

En este método una válvula de seguridad permite la salida del aire generada por el compresor cuando la presión de red ha llegado al valor de disparo de la válvula de acuerdo con el diseño del resorte de esta. Este método demanda más energía ya que el compresor trabaja de manera constante entregando aire al ambiente cuando la red esta en el nivel óptimo de presión.

#### **2.3.2.4.2. Arranque parada**

El motor eléctrico detiene su funcionamiento cuando la presión de red ha llegado al nivel esperado, este funciona nuevamente cuando la presión llega al nivel mínimo configurado. Este tipo de control se recomienda para compresores de máximo 7.5 HP.

Este tipo de control presenta algunos inconvenientes:

- Los ciclos deben ser largos, por lo que el intervalo de presiones debe ser apreciable.
- Cada vez que el compresor arranca puede generar caídas de tensión eléctrica, en caso que se esté a punto de cubrir su capacidad.
- Existe mayor desgaste en los elementos mecánicos y eléctricos cuando se generan los arranques

#### **2.3.2.4.3. Carga vacío- parada**

Este método de control permite mínimas pérdidas en el consumo de energía cuando la presión de red ha llegado al nivel esperado. Cuando la presión esta por debajo de lo esperado, el compresor funciona a plena carga consumiendo el 100% de la potencia real del motor, cuando la presión de red ha llegado al nivel máximo esperado el compresor cierra el acceso de aire aunque el motor sigue girando, esta es la posición vacío. En caso que el equipo funcione demasiado tiempo en vacío existe un sistema automático que detendrá el funcionamiento del compresor garantizando que solo se utilizará cuando se requiera nuevamente, permitiendo un arranque automático.

#### **2.3.2.4.4. Modulación por estrangulación a la entrada del compresor**

En este método la admisión de aire del compresor es regulada por un sistema automático de acuerdo con la presión de red. En este sistema de control como en todos los descritos la utilización de un tanque acumulador se hace necesaria.

#### **2.3.2.4.5. Variación de las revoluciones del motor**

Este sistema varía las revoluciones del motor, y por lo tanto de la unidad compresora de acuerdo con la demanda, con el fin de mantener la presión de red en un valor constante. La variación en las revoluciones del motor se logra mediante la variación de la frecuencia de trabajo, la cual está sujeta a la presión de red.

Este es el método más económico desde el punto de vista energético para producir aire cuando no se utiliza toda la capacidad del compresor y existen variaciones apreciables en la demanda sin embargo debido al alto costo de la inversión inicial, se recomienda realizar un análisis de la demanda de aire con el fin de determinar la justificación económica de la compra de compresores con este sistema de control.<sup>1</sup>

#### **2.3.2.5. Tratamiento de Aire Comprimido**

En el aire atmosférico existen tres tipos de contaminantes que afectan los sistemas de aire comprimido.

- Humedad.
- Polvo y partículas.

---

<sup>1</sup> KAESER, Manual de Aire Comprimido, Editor Kaeser Compresores de Colombia Ltda., 2003, Pág. 3-22.

- Aerosoles y aceites.

Estos elementos están presentes, de la misma manera, en el aire comprimido, de allí la necesidad de instalar un sistema de tratamiento.

**Tabla 2.7 :** Análisis a realizar para determinar las especificaciones del sistema de tratamiento.

	Variable	Efecto sobre las especificaciones del sistema de tratamiento.
<b>Condiciones ambientales</b>	Temperatura ambiente mínima	Determinar el tipo de secador para eliminación de agua.
	Temperatura ambiente máxima.	Determinar el tipo de secador para eliminación de agua.
	Tipo de contaminantes externos.	Determinar el tipo de filtros.
	Sustancias tóxicas o corrosivas	Determinar el tipo de filtros y especificaciones especiales en los equipos.
<b>Tipo de Compresor.</b>	Presión de trabajo.	Factor de corrección para el cálculo de secadores y filtros. Determinar el tipo de secador y filtros.
	Temperatura del aire comprimido.	Factor de corrección para el cálculo de secadores.
	Cantidad de aceite a la salida del compresor.	Determinar la instalación de filtros de aceite..
	Caudal.	Calcular el tamaño de todo el sistema de tratamiento.
<b>Requerimiento de los</b>	Punto de rocío	Determinar el tipo de secador para eliminación de agua.
	Ausencia de agua líquida.	Determinar instalación de filtro separador de condensados.

	Tolerancia a las partículas.	Determinar instalación de filtro de partículas.
	Máxima concentración de aceite.	Determinar instalación de filtro de aceite.
	Tolerancia de vapores y olores de hidrocarburos	Determinar instalación de filtro de vapores y olores.
	Tolerancia a bacterias y microorganismos	Determinar la instalación del sistema adecuado de filtros y secador.

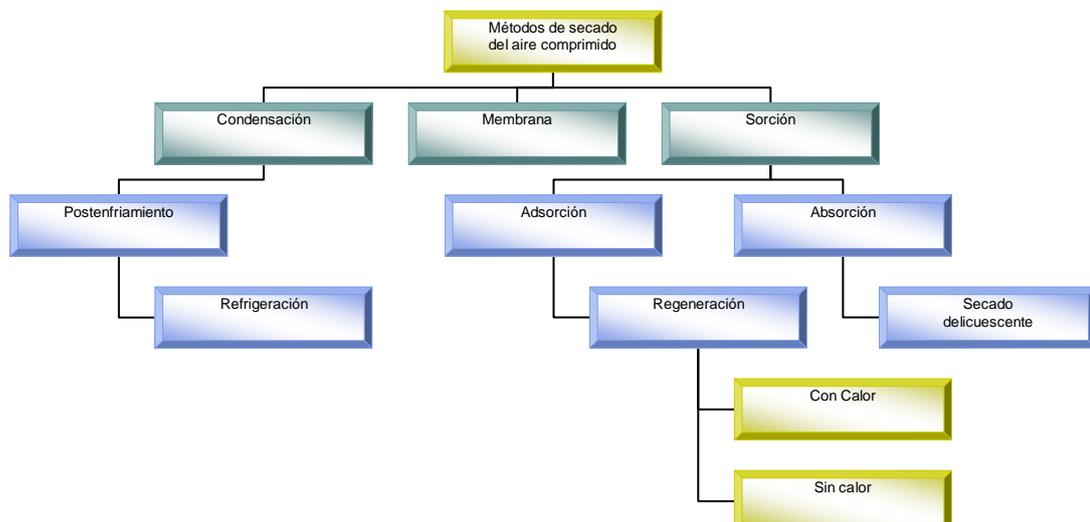
**Tabla 2.7 :** Análisis a realizar para determinar las especificaciones del sistema de tratamiento.(Continuación)

### 2.3.2.5.1 Secadores

El agua que se encuentra en el aire comprimido debe ser removida del sistema antes de la distribución para evitar daños y problemas en el proceso productivo. Secar el aire comprimido es una etapa importante del proceso de tratamiento.

### Clasificación de los secadores

**Figura 2.15:** Métodos de secado de aire comprimido.



**Fuente:** KAESER, Manual de Aire Comprimido, Editor Kaeser Compresores de Colombia Ltda., 2003, Pág. 4-3

### **2.3.2.5.2 Filtros**

Como ya se observó anteriormente, en el aire atmosférico existen tres contaminantes: agua, polvo y aceite; estos son tomados por el compresor y de la misma manera entregados a la red de aire.

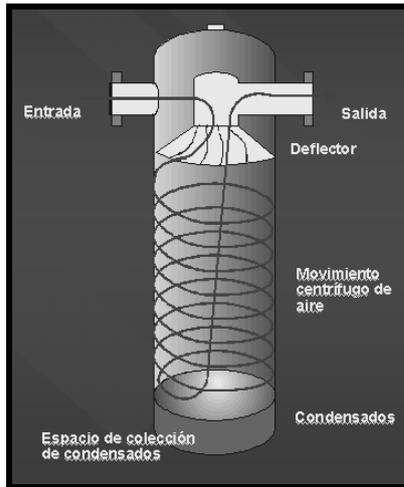
#### **Tipos de filtros**

La clasificación que se dará mas adelante se tomara con base en el tipo de contaminante que retira y la metodología usada.

#### **1) Remoción de líquidos**

a. **Separación mecánica:** Utiliza la fuerza centrífuga para formar gotas de líquido que salen de la corriente de aire. En este proceso se tiene una retención de partículas por debajo de 10 micrones.

**Figura 2.16:** Separación mecánica de líquidos.

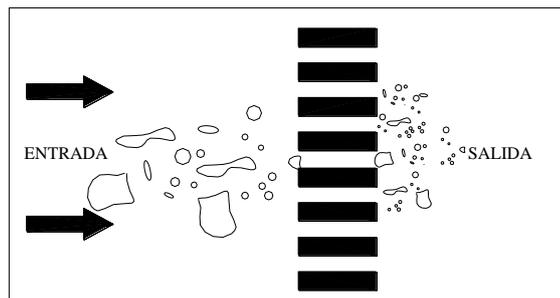


b. **Filtro absorbente:** El filtro se empapa en el líquido, puede utilizar materiales como algodón, lana, fieltro, entre otros.

## 2) Remoción de sólidos

a. **Superficie de filtro:** Utiliza una pantalla, tamiz o colador para atrapar partículas. En la medida en que el acceso se satura por las partículas atrapadas, el flujo de aire se restringe y la caída de presión se incrementa.

**Figura 2.17.** Filtración de sólidos por superficie de filtro.



b. **Filtrado por fibras:** Está formado con una enramada compuesta por fibras. Las partículas son capturadas a través del cuerpo filtrante en la medida en que lo atraviesan. Con el 90% de los espacios vacíos, existe una mínima resistencias al flujo de aire, de manera que la contaminación atrapada genera el mínimo de resistencia incrementando la capacidad.

3) **Remoción de gases:** El vapor de aceite es absorbido por la superficie de carbón activo.

### **2.3.2.5.3. Drenajes**

El condensado o agua líquida es uno de los productos indeseables e inevitables en la generación de aire comprimido y debe ser evacuado antes que llegue a la red de distribución. Este líquido produce una serie de problemas: corrosión en la tubería, problemas de funcionamiento de la herramienta neumática, deficiencia de calidad en los productos, mayor número de tareas de mantenimiento para los elementos neumáticos, entre otros.

El condensado se genera antes de los secadores por disminución en la temperatura del aire comprimido en postenfriadores, secadores, tanques y tramos de tubería en donde la temperatura sea menor.

### **2.3.2.6. Almacenamiento de aire**

El almacenamiento de aire es una necesidad para todo tipo de compresor, y cumple varias funciones dentro del sistema de aire comprimido:

- Evita las pulsaciones de flujo producida por compresores reciprocantes.
- Proporciona capacidad de almacenamiento de reserva para demandas máximas esporádicas.
- Ayuda a enfriar el aire, y de este modo, a condensar parte de la humedad.

### 2.3.2.7. Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento debe ser lo suficientemente grande como para contener todo el aire entregado por el compresor en un minuto. A continuación se indica una manera de calcularlo:

**Fórmula 2.21** : Cálculo del volumen del tanque.

$$V_t = \frac{Q_c * 0.25 * 60 * P_{at}^1}{40 * (P_f - P_i)}$$

$V_t$  = Volumen del tanque en pie<sup>3</sup>.

$Q_c$  = FAD del compresor en cfm.

$P_{at}$  = Presión atmosférica.

$P_f$  = Presión manométrica final.

$P_i$  = Presión manométrica inicial.

No hay peligro de que el tanque sea más grande de lo requerido. En algunas oportunidades, en donde existen necesidades momentáneas grandes, se requiere que el tanque de almacenamiento sea mayor que la capacidad del compresor, con el fin que el tanque sea capaz de alimentar toda la demanda de aire momentánea. En general, la capacidad del tanque debe ser 1/10 de entrega de aire por minuto.

---

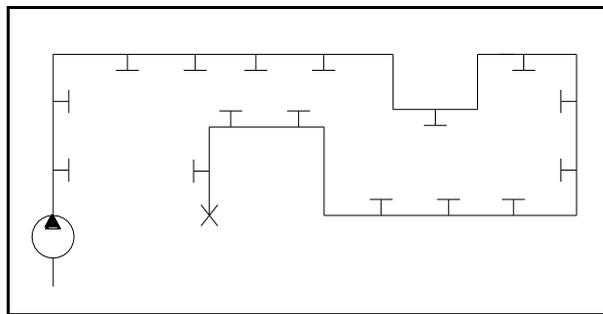
<sup>1</sup> KAESER, Manual de Aire Comprimido, Editor Kaeser Compresores de Colombia Ltda., 2003, Pág. 5-1

### 2.3.3. Tipos de redes de aire comprimido.

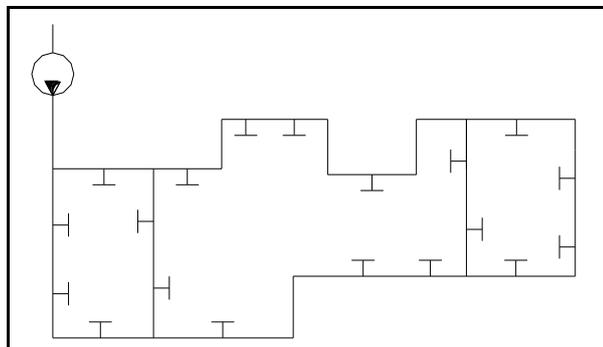
El trazado de las redes de distribución debe ser compatible con la ubicación de los puntos de consumo dentro de la configuración del edificio. Puede realizarse según dos disposiciones:

1. Red abierta.
2. Red cerrada.

**Figura 2.18:** Red de aire comprimido abierta.



**Figura 2.19:** Red de aire comprimido cerrada.



En una red de distribución de aire comprimido se encuentra tres tipos de tubería:

#### 2.3.3.1. Tubería principal

Es aquella que proviene del depósito y conduce la totalidad del caudal de aire comprimido. Velocidad máxima admisible: 8 m/seg

### **2.3.3.2. Tuberías secundarias**

Son aquellas que se derivan de la tubería principal y se distribuyen sobre las áreas de trabajo. Velocidad máxima: 10 a 15 m/seg.

### **2.3.3.3. Tuberías de servicio**

Se desprenden de las secundarias y son las que alimentan a los equipos neumáticos. Velocidad máxima: 15 a 20 m/seg.<sup>1</sup>

En las redes de aire comprimido se debe considerar lo siguiente:

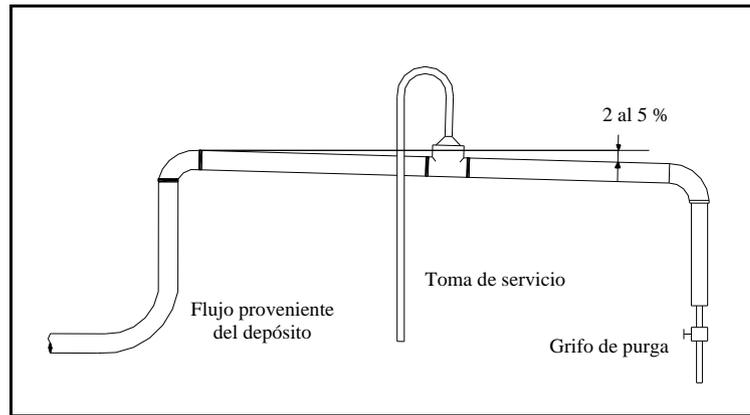
- En el montaje contemplar que puedan desarrollarse variaciones de longitud producidas por dilatación térmica, sin tensiones ni deformaciones.
- Evitar que las tuberías se entremezclen con conducciones eléctricas.
- Dimensionar ampliamente las tuberías de modo que sean capaces de absorber futuros aumentos de demanda sin una excesiva pérdida de carga. El costo adicional de una tubería algo sobredimensionada puede resultar insignificante frente al gasto originado si la red ha de renovarse antes de amortizarla completamente.
- Las tuberías deben tener una inclinación del 2 al 5% en el sentido del flujo del aire comprimido y colocar en su extremo más bajo un ramal de bajada con purga. Esto evita la acumulación de condensado en las cañerías (Fig.2.20)
- Las tuberías verticales de las redes de aire comprimido igualmente deben disponer de una derivación con recolectores y purgas de condensado.

---

<sup>1</sup> Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág., 72.

- Los acometidos o derivaciones desde la línea principal hacia los servicios deberán tener forma de bastón e igualmente en su parte baja disponer de recolectores y purgas de condensado.
- Colocar llaves de paso en los ramales principales y secundarios a fin de facilitar la reparación y mantenimiento sin poner fuera de servicio toda la instalación.
- El compresor con la red de aire comprimido se conectan siempre a través de una manguera flexible.
- Atender a las necesidades de tratamiento del aire, viendo si es necesario un secado total o solo parcial.
- La instalación debe ser accesible al chequeo y mantenimiento tratando en lo posible que el montaje de la red sea aéreo, esto facilita tareas de inspección y mantenimiento. Evitar tuberías subterráneas, pues la imposibilidad de evacuar los condensados hace que la corrosión actúe sobre los caños.
- En una instalación de aire comprimido se debe evitar las fugas partiendo del criterio que la producción de aire comprimido es algo costoso, las fugas son totalmente antieconómicas.
- En el trazado de la red, elegir los recorridos más cortos, propendiendo tramos rectos; así como evitar cambios bruscos de dirección, reducciones de sección, piezas en T, etc., que sean innecesarios, a modo de producir la menor pérdida de carga.
- Proveer la utilización de filtros, reguladores y lubricadores (FRL) en las tomas de servicio.

**Figura 2.20:** Cuello de cisne.



#### 2.3.4. Distribución del bloque 42 del ITSA.

Ver el anexo A2.

## **CAPÍTULO 3**

### **REDISTRIBUCIÓN LAYOUT DE LOS LABORATORIOS.**

En el siguiente capítulo y previo al diseño de la red de aire comprimido se ha considerado conveniente realizar la distribución layout de los laboratorios del bloque 42, con el fin de optimizar de una mejor manera el espacio físico existente en el sitio, además se realizará la delimitación de zonas de tránsito, y de trabajo, así como la colocación de señalización en equipos y maquinaria en los que se demanda tomar ciertos cuidados en su manipulación y que por lo tanto requieren vestimenta y protección personal para el usuario.

Cabe anotar que en el siguiente análisis que derivará en una alternativa de distribución layout aún no se indicará el material ni diámetro de la tubería y accesorios así como la presión del sistema, la calidad de aire requerida ni el cálculo de consumos ya que dichas labores se las complementará en el capítulo siguiente que está enfocado exclusivamente al diseño y dimensionamiento de la red, por lo que dicha distribución podría variar en lo posterior luego de los cálculos y aplicación de recomendaciones técnicas.

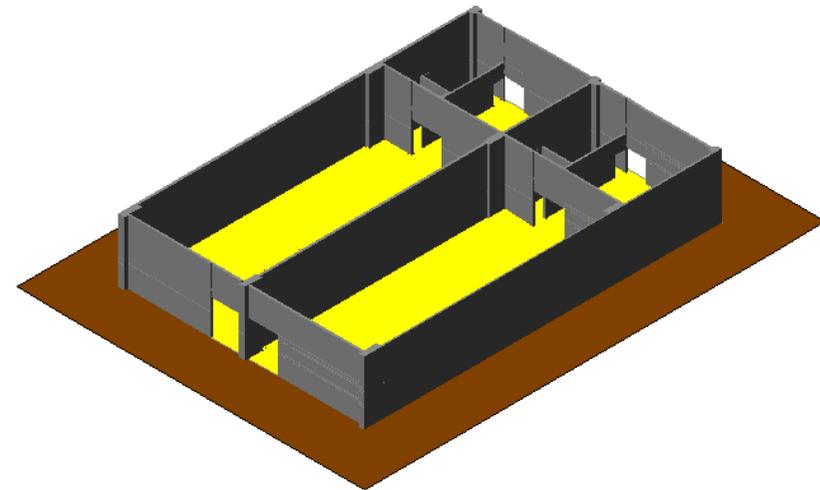
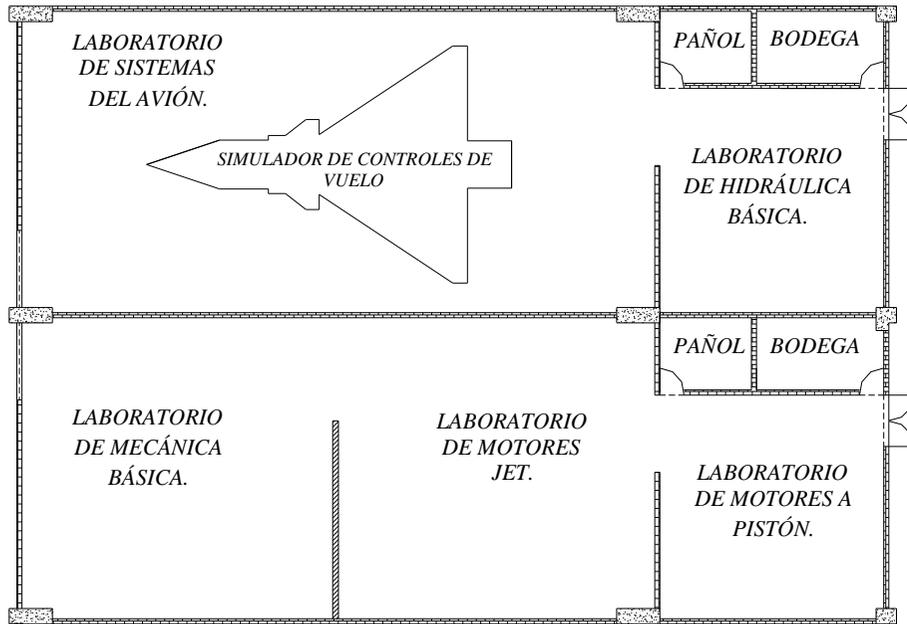
#### **3.1. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS LABORATORIOS**

Para iniciar el desarrollo de este punto se requiere conocer la situación actual del laboratorio en lo que se refiere a la operatividad de las maquinarias, equipos y herramientas existentes, así como el estado de las tomas energéticas y la distribución layout actual y relacionar estos factores con el objetivo que se ha planteado el ITSA que es el de tecnificar las prácticas y mejorar la calidad de enseñanza. Luego de esto se determinará los problemas ha resolverse y se llegará a establecer conclusiones para realizar mejoras en el lugar.

##### **3.1.1. Diagnóstico situacional**

En este punto se detalla la situación en la que se encuentran los laboratorios ubicados en el bloque 42, para ello se ha realizado una profunda inspección visual y técnica, de esta labor se ha logrado extraer datos y criterios que se los ha organizado en figuras y tablas y que se los muestra a continuación.

- Figura 3.1: División de áreas destinadas para diferentes laboratorios dentro del bloque 42.
- Figura 3.2: Disposición inicial de los equipos dentro del bloque 42.
- Tabla 3.1: Inventario total de los enceres, equipos y/o maquinaria existente en los laboratorios de mecánica básica, motores jet y pistón.
- Tabla 3.2: Inventario total de los enceres, equipos y/o maquinaria existente en los laboratorios de hidráulica básica y sistemas del avión.
- Tabla 3.3: Operatividad en el que se encuentran cada uno de los enceres, equipos y herramientas, así como requerimientos energéticos y espacio físico ocupado para los laboratorios de mecánica básica, motores jet y motores a pistón.
- Tabla 3.4: Operatividad en el que se encuentran cada uno de los enceres, equipos y herramientas, así como requerimientos energéticos y espacio físico ocupado para los laboratorios de hidráulica básica y sistemas de controles de vuelo.
- Tabla 3.5: Necesidad de colocar señalización para protección del usuario al momento de usar la maquinaria o equipo así como aquellas maquinarias que necesitan un manejo de personal calificado para el laboratorio de Mecánica Básica, motores jet y pistón.
- Tabla 3.6: Necesidad de colocar señalización para protección del usuario al momento de usar la maquinaria o equipo así como aquellas maquinarias que necesitan un manejo de personal calificado para el laboratorio de Hidráulica Básica y Sistemas del avión.



**Figura 3.1:** División de áreas destinadas para diferentes laboratorios dentro del bloque 42.

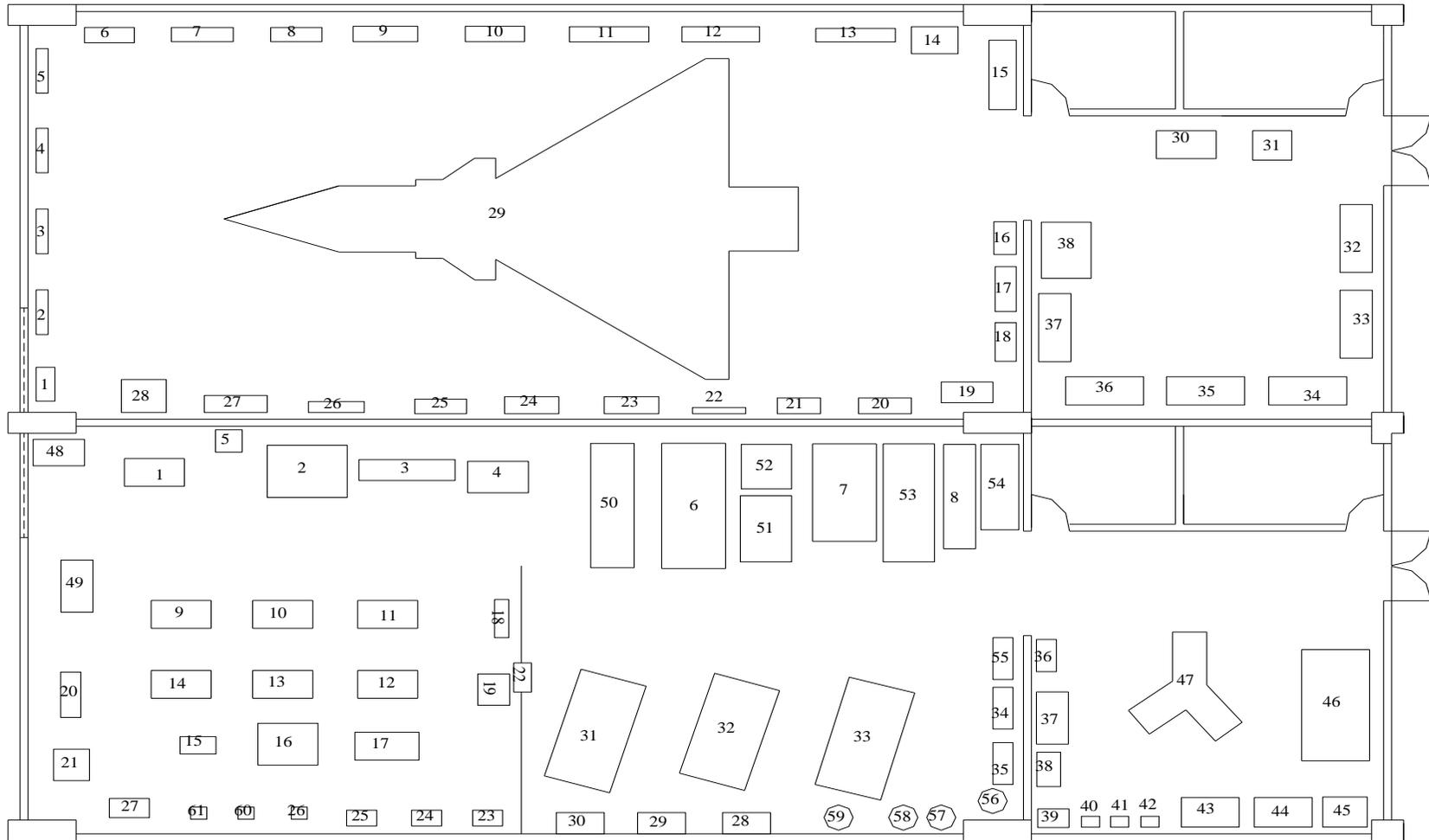


Figura 3.2: Disposición inicial de equipos dentro del bloque 42.

**INVENTARIO DEL LABORATORIO DE MECÁNICA BÁSICA, MOTORES JET  
Y MOTORES A PISTÓN.**

<b>Num.</b>	<b>TIPO</b>	<b>CODIGO</b>	<b>Num.</b>	<b>TIPO</b>	<b>CODIGO</b>
1	MESA	MB-17E	32	MOTOR J-65	LMM-05B
2	POWER GUILLOTINE MACHINE	LMB-03	33	MOTOR J-65	LMM-05A
3	BAROLADORA	LMB-41	34	T. HERRAMIENTAS ESPECIALES	LMM-18
4	HORNO ELECTRICO	LMB-31	35	COMPRESOR ESTATOR	LMB-03
5	LIMPIADORA DE FILTROS	LMB-32	36	MOTOR DINAMOMETRO	LMP-04
6	MOTOR	J-65	37	MESA (DOS MORDAZAS)	LMP-52
7		J-33	38	MÁQUINA LAVAPARTES	LMP-06
8	MESA MOTOR	PT-6	39	MÁQUINA SANDBLASTING	
9	MESA	_	40	BANDEJA	LMP-09
10	MESA	_	41	BANDEJA	LMP-9
11	MESA	_	42	BANDEJA	LMP-9
12	MESA	_	43	MÁQUINA LAVAPARTES	LMP-06
13	MESA	_	44	TINA	LMM-03
14	MESA	_	45	BANCO DE PRUEBAS	NDI
15	CIZALLA DE ÀNGULO	_	46	MOTOR J-65	LMM-06
16	CIZALLA DE PEDAL	_	47	MESA DE TRABAJO	LMP-07
17	DOBLADORA DE CAJA	LMB-131	48	ARMARIO METALICO	----
18	BAROLADORA	LMB-09	49	MESA	----
19	PRENSA HIDRÀULICA	LMB-10	50	BASE MOVIL	----
20	TORNO PARALELO	LMB-23	51	PROBADOR DE HÈLICES	----
21	SIERRA CIRCULAR	LMB-08	52	COCHE PARA TRANSPORTAR HÈLICES	----
22	BIOMBO DE SEPARACION	_	53	BASE MOVIL CON TOBERA DE ESCAPE	----
23	TALADRO DE BANCO	LMB-12 <sup>a</sup>	54	BASE MOVIL	----
24	TALADRO DE BANCO	LMB-12B	55	DESENTALLADORA MANUAL	----
25	TALADRO DE BANCO	LMB-12C	56	TUBO CHORRO AVIÓN METEORO	----
26	ESMERIL	LMB-11B	57	TUBO CHORRO AVIÓN METEORO	----
27	PLEGADORA DE MATERIAL	LMB-16	58	TUBO CHORRO AVIÓN T33	----
28	ARMARIO	LMB-20B	59	TUBO CHORRO AVIÓN T34	----
29	ARMARIO	LMB-20 <sup>a</sup>	60	ESMERIL	LMB-11A
30	ARMARIO	LMB-20C	61	ESMERIL	LMB-11C
31	MOTOR J-65	LMM-05C			

**Tabla 3.1:** Inventario del lab. De Mecánica Básica, Motores Jet y Pistón.

**REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS, ESPACIO FÍSICO OCUPADO, Y ESTADO DE OPERATIVIDAD DE LAS MÁQUINAS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA BÁSICA Y SISTEMAS DEL AVIÓN.**

**Tabla 3.2:** Req. Energéticos, de espacio y estado operacional del lab. De Hid. Básica, y Sistemas del avión.

<b>Núm.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Requerimientos de energía eléctrica, aire comprimido u otro.</b>	<b>Espacio físico ocupado</b>	<b>Estado de operatividad</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1</b>	MAIN LANDING GEAR SYSTEM	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	1.00 x 0.47	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>2</b>	MAIN LANDING GEAR SYSTEM	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.30 x 1.28	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>3</b>	MAIN LANDING GEAR SYSTEM	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.30 x 1.28	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>4</b>	SISTEMA HIDRÁULICO T-33	Bomba hidráulica 110 Voltios.	0,30 x 1.28	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>5</b>	SISTEMA HIDRÁULICO T-33	Bomba hidráulica 110 Voltios.	0,30 x 1.28	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>6</b>	FUEL TRAINER T-33	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.44 x 1.24	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>7</b>	SISTEMA HIDRÁULICO	Bomba hidráulica 110 Voltios.	0.40 x 1.55	Operativo	-
<b>8</b>	PROBADOR DE TRENES	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.40 x 1.20	Operativo.	-
<b>9</b>	SIST. HYD (STRIKE MASTER)	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.44 x 1.61	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>10</b>	SIST. COMBUSTIBLE (STRIKE MASTER)	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.44 x 1.48	Inoperativo	Reemplazado por Software
<b>11</b>	BANCO HYD.	Bomba hidráulica 110 Voltios.	0.44 x 1.99	Operativo	----
<b>12</b>	ESQUEMA, MOSTRADOR Y MESA	----	0.44 x 1.94	----	----
<b>13</b>	BANCO DE PRUEBA	----	0.39 x 1.99	Operativo	----
<b>14</b>	MOSTRADOR	----	0.78 x 1.16	----	----
<b>15</b>	MOSTRADOR	----	0.68 x 2.05	----	----
<b>16</b>	SISTEMA FLAPS	----	0.56 x 0.94	Operativo	----

**Tabla 3.2:** Req. Energéticos, de espacio y estado operacional del lab. De Hid. Básica, y Sistemas del avión. (Continuación.)

<b>Núm.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Requerimientos de energía eléctrica, aire comprimido u otro.</b>	<b>Espacio físico ocupado</b>	<b>Estado de operatividad</b>	<b>Observaciones</b>
17	SERVO CONTROLES DE VUELO	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.52 x 1.12	Operativo.	----
18	ARMARIO	----	0.59 x 1.29	Operativo.	----
19	TUNEL DE VIENTO	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.45 x 1.33	Operativo.	----
20	ANAQUEL	----	0.45 x 1.10	----	----
21	PIZARRA	----	0.10 x 1.30	----	----
22	GRADA DE MADERA	----	0.49 x 1.36	----	----
23	GRADA DE MADERA	----	0.49 x 1.36	----	----
24	CONSOLA DE CONTROL SDV	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.42 x 1.3	Operativo	----
25	MAQUETA	----	0.30 x 1.40	Operativo	----
26	SIMULADOR DE SIST. DE TRENES DE ATERRIZAJE	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	0.49 x 1.57	Operativo.	----
27	HÉLICE DE TWIN	----	0.94 x 1.12	Operativo	----
28	SIMULADOR CONTROLES DE VUELO	Seis tomas de aire comprimido	Ver Fig.	Operativo.	Tomas para limpieza.
29	MESA	Toma de aire comprimido	1.50 x 0.80	----	----
30	MAQUETA	----	1.50 x 0.80	Operativo	----
31	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.
32	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.
33	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.
34	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.
35	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.

**Tabla 3.2:** Req. Energéticos, de espacio y estado operacional del lab. De Hid. Básica, y Sistemas del avión. (Continuación.)

Núm.	Equipo, máquina o equipo. Marca.	Requerimientos de energía eléctrica, aire comprimido u otro.	Espacio físico ocupado	Estado de operatividad	Observaciones
36	BANCO HYD.	Toma para limpieza	0.84 x 0.98	Operativo	Una sola toma para todos los bancos hidr.
37	BANCO DE COMPROBACIÓN	1 Fase, 110 Voltios, 60 Hz.	1.24 x 1.62	Operativo	----

### SEÑALIZACIÓN Y NIVEL DE ADIESTRAMIENTO DEL PERSONAL PARA LOS LABORATORIOS DE MECÁNICA BÁSICA, MOTORES JET Y PISTÓN.

Escala valorativa del nivel de adiestramiento para uso de las máquinas y/o equipos:

1. Ninguno.
2. Medio.
3. Especializado.

**Tabla 3.3:** Req. De señalización para los laboratorios de mecánica básica, motores jet y recíprocos.

Núm.	Equipo, máquina o equipo. Marca.	Necesidad de adiestramiento para manejo	Necesidad de vestimenta adecuada para manejo	Necesidad de señalización.	Observaciones
1	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
2	POWER GUILLOTINE MACHINE	Medio	Overol más guantes.	----	----
3	BAROLADORA	Medio	Overol	----	----
4	HORNO ELECTRICO	Especializado	Overol y guantes.	Señalizar.	Peligro por quemaduras
5	LIMPIADORA DE FILTROS	Medio	Overol	----	----
6	MOTOR J-65	Especializado	Overol	----	----
7	MOTOR J-33	Especializado	Overol	----	----

**Tabla 3.3:** Req. De señalización para los laboratorios de mecánica básica, motores jet y recíprocos (Continuación)

<b>Núm.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Necesidad de adiestramiento para manejo</b>	<b>Necesidad de vestimenta adecuada para manejo</b>	<b>Necesidad de señalización.</b>	<b>Observaciones</b>
<b>9</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>10</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>11</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>12</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>13</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>14</b>	MESA CON 4 MORDAZAS	Ninguno	Overol	----	----
<b>15</b>	CIZALLA DE ÁNGULO	Medio	Overol	----	----
<b>16</b>	CIZALLA DE PEDAL	Medio	Overol	----	----
<b>17</b>	DOBLADORA DE CAJA	Medio	Overol	----	----
<b>18</b>	BAROLADORA	Medio	Overol	----	----
<b>19</b>	PRENSA HIDRÁULICA	Medio	Overol	----	----
<b>20</b>	TORNO PARALELO	Especializado	Overol	----	----
<b>21</b>	SIERRA CIRCULAR	Especializado	Overol	----	----
<b>22</b>	BIOMBO DE SEPARACIÓN	----	Overol	----	----
<b>23</b>	TALADRO DE BANCO	Medio	Overol	----	----
<b>24</b>	TALADRO DE BANCO	Medio	Overol	----	----
<b>25</b>	TALADRO DE BANCO	Medio	Overol	----	----
<b>26</b>	ESMERIL	Medio	Overol y gafas protectoras.	Señalizar	Peligro por limallas
<b>27</b>	PLEGADORA DE MATERIAL	Medio	Overol	----	----
<b>28</b>	ARMARIO	----	----	----	----
<b>29</b>	ARMARIO	----	----	----	----

**Tabla 3.3:** Req. De señalización para los laboratorios de mecánica básica, motores jet y recíprocos (Continuación)

<b>Núm.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Necesidad de adiestramiento para manejo</b>	<b>Necesidad de vestimenta adecuada para manejo</b>	<b>Necesidad de señalización.</b>	<b>Observaciones</b>
<b>30</b>	ARMARIO	----	----	----	----
<b>31</b>	MOTOR J-65	Especializado	Overol	----	----
<b>32</b>	MOTOR J-65	Especializado	Overol	----	----
<b>33</b>	MOTOR J-65	Especializado	Overol	----	----
<b>34</b>	T. HERRAMIENTAS ESPECIALES	-	-	----	----
<b>35</b>	COMPRESOR ESTATOR	Medio	Overol	----	----
<b>36</b>	MOTOR DINAMOMETRO	Medio	Overol	----	----
<b>37</b>	MESA (DOS MORDAZAS)	Ninguno	Overol	----	----
<b>38</b>	MÁQUINA LAVAPARTES	Medio	Overol	----	----
<b>39</b>	MÁQUINA SANDBLASTING	Especializado	Overol más guantes.	----	----
<b>40</b>	BANDEJA	----	Overol	----	----
<b>41</b>	BANDEJA	----	Overol	----	----
<b>42</b>	BANDEJA	----	Overol	----	----
<b>43</b>	MÁQUINA LAVAPARTES	Medio	Overol	----	----
<b>44</b>	TINA	----	Overol	----	----
<b>45</b>	BANCO DE PRUEBAS	Especializado	Overol	----	----
<b>46</b>	MOTOR J-65	Especializado	Overol	----	----
<b>47</b>	MESA DE TRABAJO	----	----	----	----
<b>48</b>	ARMARIO METÁLICO	----	----	----	----
<b>49</b>	MESA	----	----	----	----
<b>50</b>	BASE MOVIL	Medio	Overol	----	----
<b>51</b>	PROBADOR DE HÉLICES	Especializado	Overol mas guantes.	----	----

**Tabla 3.3:** Req. De señalización para los laboratorios de mecánica básica, motores jet y recíprocos (Continuación)

<b>Núm.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Necesidad de adiestramiento para manejo</b>	<b>Necesidad de vestimenta adecuada para manejo</b>	<b>Necesidad de señalización.</b>	<b>Observaciones</b>
<b>52</b>	COCHE PARA TRANSPORTAR HÉLICES	Medio	Overol	----	----
<b>53</b>	BASE MOVIL CON TOBERA	Ninguno	Overol	----	----
<b>54</b>	BASE MOVIL	Ninguno	Overol	----	----
<b>55</b>	DESENTALLADORA MANUAL	Medio	Overol	----	----
<b>56</b>	TUBO CHORRO AVIÓN METEORO	----	----	----	----
<b>57</b>	TUBO CHORRO AVIÓN METEORO	----	----	----	----
<b>58</b>	TUBO CHORRO AVIÓN T33	----	----	----	----
<b>59</b>	TUBO CHORRO AVIÓN T34	----	----	----	----
<b>60</b>	ESMERIL	Medio	Overol y gafas protectoras	Señalizar	Peligro por limallas
<b>61</b>	ESMERIL	Medio	Overol y gafas protectoras.	Señalizar	Peligro por limallas

### **SEÑALIZACIÓN Y NIVEL DE ADIESTRAMIENTO DEL PERSONAL PARA LOS LABORATORIOS DE HIDRÁULICA BÁSICA Y SISTEMAS DEL AVIÓN.**

**Tabla 3.4:** Req. De señalización para los laboratorios de hidráulica básica y sistemas del avión.

<b>No.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Necesidad de adiestramiento para manejo</b>	<b>Necesidad de vestimenta adecuada para manejo</b>	<b>Necesidad de señalización.</b>	<b>Observaciones</b>
<b>1</b>	MAIN LANDING GEAR SYSTEM	Especializado	Overol.	----	----
<b>2</b>	MAIN LANDING GEAR SYSTEM	Especializado	Overol.	----	----

**Tabla 3.4:** Req. De señalización para los laboratorios de hidráulica básica y sistemas del avión (Continuación)

No.	Equipo, máquina o equipo. Marca.	Necesidad de adiestramiento para manejo	Necesidad de vestimenta adecuada para manejo	Necesidad de señalización.	Observaciones
4	SISTEMA HIDRÁULICO T-33	Especializado	Overol.	----	----
5	SISTEMA HIDRÁULICO T-33	Especializado	Overol.	----	----
6	FUEL TRAINER T-33	Especializado	Overol.	----	----
7	SISTEMA HIDRÁULICO	Especializado	Overol.	----	----
8	PROBADOR DE TRENES	Especializado	Overol.	----	----
9	SIST. HYD (STRIKE MASTER)	Especializado	Overol.	----	----
10	SIST. COMBUSTIBLE (STRIKE MASTER)	Especializado	Overol.	----	----
11	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
12	ESQUEMA, MOSTRADOR Y MESA	-	Overol.	----	----
13	BANCO DE PRUEBA	Especializado	Overol.	----	----
14	MOSTRADOR	-	Overol.	----	----
15	MOSTRADOR	-	Overol.	----	----
16	SISTEMA FLAPS	Medio	Overol.	----	----
17	MAQUETA	-	Overol.	----	----
18	SERVO CONTROLES DE VUELO	Medio	Overol.	----	----
19	ARMARIO	-	Overol.	----	----
20	TUNEL DE VIENTO	Especializado	Overol.	----	----
21	ANAQUEL	-	Overol.	----	----
22	PIZARRA	-	Overol.	----	----
23	GRADA DE MADERA	-	Overol.	----	----
24	GRADA DE MADERA	-	Overol.	----	----
25	CONSOLA DE CONTROL SDV	Especializado	Overol.	----	----

**Tabla 3.4:** Req. De señalización para los laboratorios de hidráulica básica y sistemas del avión (Continuación)

<b>No.</b>	<b>Equipo, máquina o equipo. Marca.</b>	<b>Necesidad de adiestramiento para manejo</b>	<b>Necesidad de vestimenta adecuada para manejo</b>	<b>Necesidad de señalización.</b>	<b>Observaciones</b>
<b>26</b>	MAQUETA	-	Overol.	----	----
<b>27</b>	SIMULADOR DE SIST. DE TRENES DE ATERRIZAJE	Especializado	Overol.	----	----
<b>28</b>	HÉLICE DE TWIN	-	Overol.	----	----
<b>29</b>	SIMULADOR CONTROLES DE VUELO	Especializado	Overol.	----	----
<b>30</b>	MESA	-	Overol.	----	----
<b>31</b>	MAQUETA	-	Overol.	----	----
<b>32</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
<b>33</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
<b>34</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
<b>35</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
<b>36</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----
<b>37</b>	BANCO HYD.	Especializado	Overol.	----	----

**DETALLE DEL NÚMERO DE TOMAS DE AIRE COMPRIMIDO  
REQUERIDAS POR CADA UNO DE LOS LABORATORIOS**

Cabe indicar que el número de tomas de aire comprimido dadas a continuación se originaron por sugerencia de los señores ingenieros encargados de llevar a cabo las prácticas académicas en los laboratorios del bloque 42, las tomas a continuación expuestas son un parámetro de partida cuya implementación o no, está a consideración y criterio de los que llevan a cabo este proyecto.

**Tabla 3.5:** Número de tomas requeridas por cada laboratorio según lo previsto para la realización de las prácticas.

<b>LABORATORIOS</b>	<b>NUM. TOMAS REQ.</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>LABORATORIO DE MECÁNICA Básica</b>	8	-
<b>LABORATORIO DE MOTORES JET</b>	6	-
<b>LABORATORIO DE MOTORES A PISTÓN</b>	3	Dos tomas en el laboratorio y una en el pañol.
<b>LABORATORIO DE HIDRÁULICA Básica</b>	3	Dos tomas en el laboratorio y una en el pañol.
<b>LABORATORIO DE SISTEMAS DEL AVIÓN</b>	6	-
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	-

Siguiendo con el análisis del estado de los elementos del laboratorio a continuación se mencionará el estado de la tubería existente y al sistema eléctrico:

### 3.1.1.1. Tubería y Accesorios de Línea

La tubería y accesorios existentes en el bloque corresponden a un sistema de aire comprimido que hace algún tiempo se instaló en el lugar con fines muy distintos a los que se tiene hoy en día, como ya se dijo anteriormente este sistema se encuentra en condiciones no estándar de operación desde hace largo tiempo por avería del compresor, además el dimensionamiento, distribución de las tomas y principalmente la obsolescencia de las partes no satisfacen las necesidades y requerimientos que se tiene previstos cubrir.

El tipo y cantidad de tubería, así como los accesorios de línea que existe en el lugar, se detalla a continuación:

**Tabla 3.6:** Tubería y accesorios de línea existentes en los laboratorios.

ITEM	CANTIDAD O LONGITUD
Tubería acero galvanizado 2 "	65 m.
Tubería acero galvanizado 1"	116 m.
Tubería acero galvanizado ½"	60 m.
Tubería acero galvanizado 1 ¼"	24 m.
Unidades FRL U. K. PATENTS (Presión max: 10 bares.)	8 unidades
Acoples rápidos ½"	25
Codos ½"	104
Codos 1"	12
Codos 2"	3
Tapones 1"	4 unidades.
Tapones 1 ¼"	2 unidades.
Tes 1 ¼"	3 unidades
Tes 1"	2 unidades
Tes ½ "	8 unidades
Reductores ¼" a ½"	14 unidades.
Reductores 1 ¼" a 1"	2 unidades
Reductores de 2" a 1 ¼"	1 unidad
Válvulas ½"	26 unidades
Sujetadores de tubo ½"	33 unidades
Sujetadores de tubo 1"	14 unidades

#### **3.1.1.1.1. Análisis de factibilidad para reutilizar parte de tubería, accesorios de línea y unidades FRL**

Este estudio de factibilidad se ha considerado por el hecho de las limitaciones económicas que se tiene para la realización del presente proyecto, en este sentido al rehabilitar o al determinar que parte de la tubería está en condiciones aceptables de operación se podría bajar el costo de implementación con el ahorro de la compra de tubería.

Es así que luego de realizar una detenida inspección técnica de una red de tubería existente en un antiguo proyecto se pudo determinar lo siguiente:

- Utilizar la tubería de ½" pulgada para líneas de servicio ya que esta se encuentra en condiciones aceptables para su reutilización.
- Utilizar las válvulas de ½" ya que están en condiciones operativas.
- Las unidades FRL también fueron revisadas y hubo que cambiar empaques y reemplazar uno de los manómetros de los reguladores, luego de esto fueron probadas con la ayuda de un compresor y se determinó que todas son recuperables por lo que se tendría una disponibilidad de 8 unidades.

#### **3.1.1.1.2. Sistema Eléctrico**

La acometida que tiene que usarse para alimentar al equipo compresor tiene que ser trifásica con voltaje de 220 voltios, para lo cual se ha de considerar usar el cable y tendido eléctrico adecuado.

Actualmente se encuentran distribuidos cables de alimentación eléctrica en el sector del bloque 42, a lo largo del perímetro interno de los laboratorios de mecánica básica y motores jet, con alimentación de 220 V y 110 V.

Este hecho alerta de un posible accidente<sup>7</sup> al usar aire comprimido cerca de estas líneas de alimentación eléctrica por lo que necesariamente se tiene que redistribuir dichas líneas de tal modo que no se crucen con las líneas de la red de aire comprimido ha implementarse en el lugar.

Como último punto ha indicarse a lo largo del bloque 42 existen tomas de alimentación eléctrica a la pared que tienen una señalización del voltaje que no corresponde a lo que arrojan en la realidad, razón por la cual algunas máquinas o equipos ubicados cerca de estas tomas no pueden ser usados ya que requieren el voltaje adecuado.

### **3.1.2. Análisis Foda**

Luego de revisar la situación actual de todo lo concerniente a los laboratorios del bloque 42 se va a realizar un análisis FODA del bloque 42. El siguiente análisis se lo hace en proyección para el objetivo que se ha trazado el ITSA y que es el de tecnificar sus prácticas en el laboratorio y mejorar la calidad de enseñanza en el Instituto con la implementación de una red de aire comprimido para el bloque 42.

#### **3.1.2.1. Fortalezas**

De los puntos que se pueden catalogar como fortalezas se puede mencionar lo siguiente:

- Una gran cantidad de máquinas, equipos y herramientas útiles para la instrucción académica.
- Existencia de motores jet, útiles para la realización de prácticas de armado, desarmado y para conocimiento del funcionamiento de los mismos.
- Existencia de una infraestructura adecuada para el tendido de una red de aire comprimido.

---

<sup>7</sup> El polvo acumulado en la parte superior de los tubos es explosivo y si entra en contacto con descargas eléctricas podría inflamarse

- El bloque cuenta con un Simulador de controles de vuelo óptimo para la instrucción académica de los alumnos que realicen prácticas.
- Existencia de herramientas neumáticas en buen estado, óptimas para usar el aire comprimido en tareas útiles dentro de las prácticas académicas.

#### **3.1.2.2. Oportunidades**

- El ITSA ha destinado una cantidad de 5.500 dólares para la implementación de un sistema de aire comprimido que satisfaga las necesidades de las prácticas programadas para el bloque 42.
- Adicional a esto el ITSA por ser además de un centro de instrucción académica superior, un ente militar, existe el suficiente contingente de personal apto para trabajar en la implementación de la red de tubería y colocación del compresor, así como realizar otras labores afines para la consecución del proyecto propuesto.
- Se tiene tubería disponible, y luego de hacer un estudio de factibilidad de reutilización se ha llegado a determinar que se puede volver a usar la tubería de ½" pulgada, accesorios del mismo diámetro y las unidades FRL.
- Se puede realizar una reordenación de los equipos y maquinaria existente en el bloque 42 de tal manera que se logre una organización acorde con los requerimientos de dichos laboratorios y se tenga el espaciamiento adecuado para la realización de las prácticas programadas.

#### **3.1.2.3. Debilidades**

- El presupuesto asignado para el desarrollo del proyecto es muy bajo en relación a los precios que se manejan en el mercado local en cuanto a precios de compresores, secadores, postenfriadores, tubería y accesorios de línea como son filtros, válvulas, trampas de condensado, unidades FRL etc.

- La distribución inicial de los equipos y herramientas del laboratorio de mecánica básica no se adapta a las necesidades del número de tomas requeridas, ni tampoco dicha distribución es amigable con el usuario es decir, no están bien delimitados las zonas de trabajo ni las de tránsito.
- Dentro del bloque no existe un sitio destinado a la colocación de las pertenencias de los usuarios mientras utilicen dicho laboratorio, por lo que dichas pertenencias se colocan al azar en el lugar cuando se realizan las prácticas.
- Hasta el momento no se ha implantado una política laboral, y de seguridad del laboratorio en el sentido de que se tiene que usar la vestimenta e indumentaria adecuada para el uso del mismo, por seguridad e integridad física del usuario.

#### **3.1.2.4. Amenazas**

- Un factor a considerar como amenaza es las condiciones ambientales de la ciudad de Latacunga, la cual está alrededor de los 2800 m. de altura por lo que al adquirir un equipo compresor este tendría que dimensionarlo para abastecer los requerimientos de caudal de aire en esas condiciones.
- Así mismo las bajas temperaturas del lugar son factores claves para producir un fenómeno de condensado en las tuberías, el cual es un factor enemigo de todo sistema de aire comprimido porque es causante de corrosión interna y por ende productor de pérdidas de presión en el sistema.
- Tener que implementar parte de lo que se tenía planeado en un inicio por falta de presupuesto.

#### **3.1.2.5. Conclusiones del Análisis Foda**

Como conclusiones de todo este análisis FODA se expone lo siguiente:

En el bloque 42 se tiene una importante cantidad de maquinaria, equipo y herramienta en buen estado, y además existe una construcción civil robusta y

adecuada para lo previsto, en tal virtud se puede tener el ambiente propicio para el desarrollo de prácticas didácticas en el área de aviación.

Teniendo en cuenta que el ITSA requiere tecnificar sus prácticas académicas dentro del bloque 42 se tiene proyectado la implementación de una red de aire comprimido que alimente las herramientas neumáticas existentes en el mismo, para esto se tiene presupuestado un monto de dinero que resulta algo limitante comparado con los costos de adquisición de elementos necesarios para dicha implementación por lo que se corre el riesgo de tener que implementar parte de lo que inicialmente se tenía previsto.

Por tales limitaciones económicas se ha visto la necesidad de rehabilitar la tubería existente en el lugar que podría aliviar parte de los gastos de implementación.

Así mismo es necesario realizar una adaptación de la red a los requerimientos que hoy por hoy se tiene para dichos laboratorios, para ello es preponderante desarrollar una distribución layout del lugar, ya sea adaptada a la distribución actual o sobre la base de una nueva distribución de maquinaria y equipos dentro del recinto, tomando en cuenta la delimitación de zonas de seguridad, de trabajo, de tránsito y la implementación de un sitio destinado a la colocación de las prendas de los estudiantes al momento de usar el laboratorio.

Adicional a esto para la etapa del diseño se tiene que considerar los factores ambientales de la ciudad de Latacunga como un factor adverso que aumentará el costo del proyecto elevando el valor del compresor ya que se tendrá que dimensionar el caudal del mismo para la altitud, humedad relativa y presión atmosférica del lugar.

### **3.1.3. Definición del problema**

El problema principal que se tiene es realizar una distribución layout del bloque 42 que este acorde con el tendido de la red neumática instalarse, y que

además sea coherente con los requerimientos de los alumnos en lo que se refiere a sitios adecuados de trabajo y de tránsito.

En este sentido los problemas que se presentan en los laboratorios tal y como está la distribución actual de los equipos y maquinaria son los siguientes:

- Equipo y maquinaria ubicada al azar en el laboratorio de Mecánica Básica.
- Existencia de maquinaria que al momento se encuentra inutilizada por falta de la adecuada alimentación de energía eléctrica ( tomas eléctricas en mal estado).
- Existencia de equipos que según criterio del Ingeniero encargado de planificación de las clases resultan innecesarios (están demás) para el desenvolvimiento de las prácticas a desarrollarse en los mismos, y que al momento restan espacio útil en el interior del bloque.
- Acumulación de materiales en proceso como tubos, planchas de tool, varillas, etc., en el laboratorio de mecánica básica que limitan el movimiento por ciertos sectores del bloque.
- Problemas de ubicación de maquinarias construidas como proyectos de grado por parte de los alumnos en todos los laboratorios.
- Existencia de paneles instructivos en el laboratorio de Sistemas del avión y simulador de vuelo que se encuentran en estado de obsolescencia ya que actualmente han sido reemplazados por programas simuladores de software, y que disminuyen espacio físico en el lugar.
- Inadecuada señalización de las tomas de abastecimiento eléctrico por cuanto existen tomas en la que no corresponde el voltaje indicado en el mismo.
- Mala señalización de zonas de trabajo y de tránsito en todos los laboratorios.
- Inadecuada colocación de motores jet en el laboratorio de motores jet, ya que estos se encuentran colocados oblicuamente y por lo tanto restan espacio útil en el lugar.

- No se tiene un espacio destinado exclusivamente a las labores de soldadura.
- No se tiene un lugar destinado para la colocación de las pertenencias del personal que use el laboratorio al momento de realizar sus prácticas.

Todos estos problemas se los ha clasificado en un análisis causa efecto en el cual el objetivo planteado a alcanzar es el de la implementación de la red de aire comprimido, para lo cual se tiene factores adversos que se los ha clasificado en la siguiente forma:

#### **3.1.3.1. Factores ambientales**

- ✓ Altitud.
- ✓ Humedad relativa.
- ✓ Presión atmosférica.
- ✓ Temperatura.

#### **3.1.3.2. Organización y políticas del laboratorio**

- ✓ Falta de control de ingreso de personal autorizado a usar el laboratorio.
- ✓ Presupuesto limitado para llevar a cabo el proyecto.
- ✓ Falta de normas de seguridad al usar el laboratorio.
- ✓ Falta de un adecuado plan de mantenimiento para los equipos, maquinaria y herramientas en el laboratorio.

#### **3.1.3.3. Edificio (Bloque 42)**

- ✓ Espacio limitado con relación al número de equipos que existen para el laboratorio de mecánica básica.
- ✓ Existencia de material que se utiliza para trabajos de manufactura.
- ✓ Inadecuada delimitación de sitios de trabajo, tránsito y zonas de seguridad.
- ✓ Falta de un sitio adecuado para la colocación de las pertenencias de los alumnos mientras usan el laboratorio.

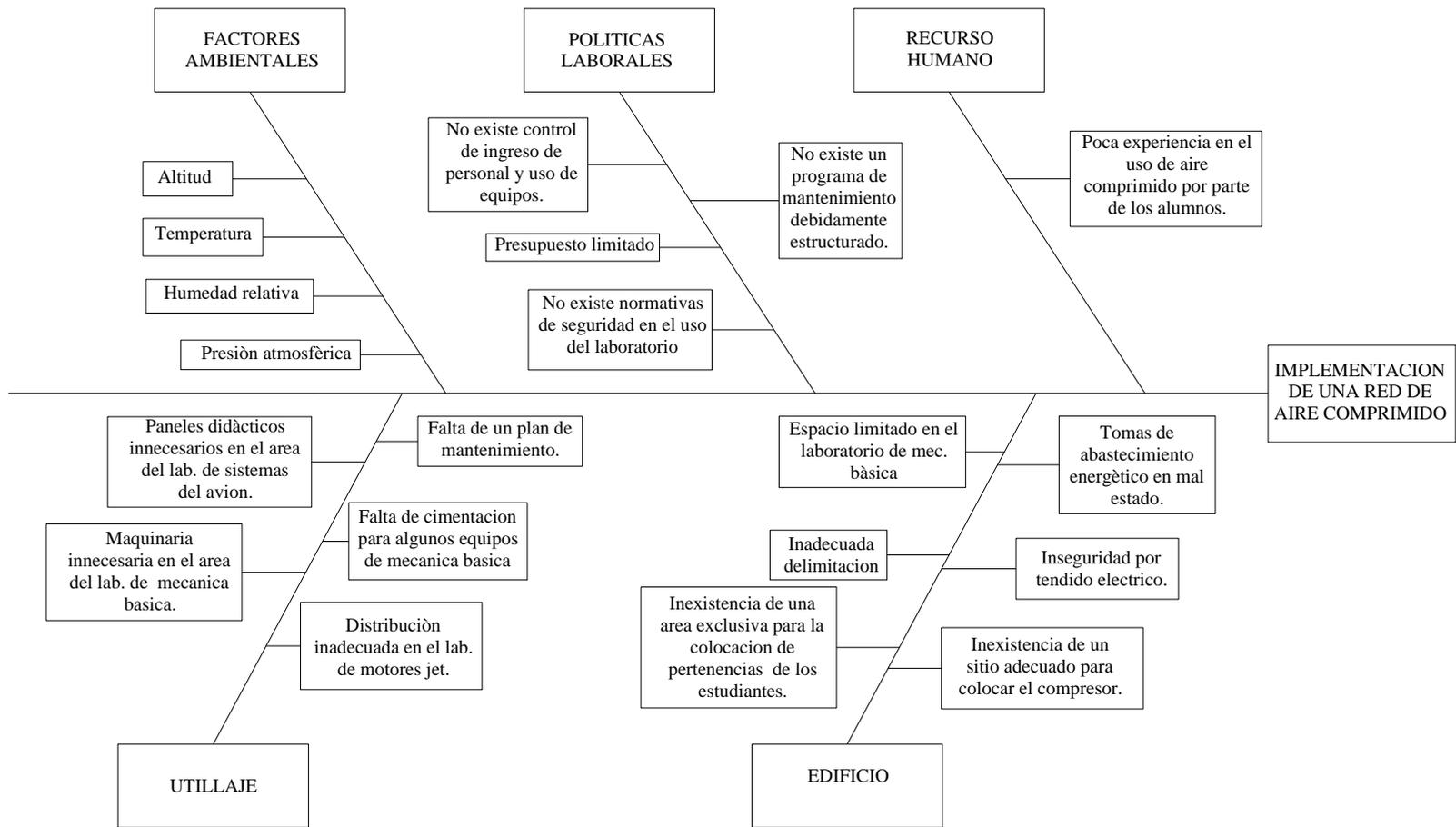
- ✓ Tomas energéticas en mal estado.

#### **3.1.3.4. Maquinaria, equipos y herramientas**

- ✓ Equipos no útiles en el laboratorio de Sistemas del avión.
- ✓ Maquinaria innecesaria en el laboratorio de Mecánica Básica.
- ✓ Mala delimitación de sitios de trabajo, tránsito y zonas de seguridad.
- ✓ No existe un plan de mantenimiento.
- ✓ Inexistencia de una adecuada cimentación para algunos equipos.

#### **3.1.3.5. Recurso Humano**

- ✓ Poca experiencia en el manejo de aire comprimido por parte de los alumnos y encargados del laboratorio.
- ✓ No existe una cultura de seguridad para la utilización de los laboratorios, de su maquinaria y utillaje.



**Figura: 3.3:** Detección de problemática en el bloque 42 mediante diagrama de Ishikawa.

## 3.2 DIAGRAMA DE RELACIONES

Luego de ver la problemática de los laboratorios del bloque 42 en este punto se llegará a concluir en la emisión de alternativas de solución para la instalación de la red de aire comprimido dentro de las normativas que exige la bibliografía alusiva a la distribución layout y enmarcadas a parámetros y restricciones del diseño que se pretende lograr.

### 3.2.1. Restricciones del diseño

A continuación se indica algunos parámetros dentro de los cuales se debe enmarcar la distribución layout ha realizarse, estos parámetros así llamados son el número de tomas de aire comprimido requeridas por los laboratorios y el horario de prácticas ha realizarse en los laboratorios que será de mucha utilidad en cuanto al cálculo del personal presente en los laboratorios.

#### 3.2.1.1. Tomas de aire comprimido requeridas para los laboratorios

Los siguientes requerimientos de las tomas fueron emitidos por los señores ingenieros encargados de las prácticas que se van ha llevar a cabo en el bloque 42.

**Tabla 3.7:** Número de tomas requeridas en el bloque 42.

LABORATORIOS	NUM. DE TOMAS REQ.	OBSERVACIONES
LAB. DE MECÁNICA BÁSICA	8	Una toma por mesa de trabajo.
LAB. DE MOTORES JET	6	Una toma para cada motor
LAB. DE MOTORES A PISTÓN	3	Dos tomas en el laboratorio y una en el pañol.
LAB. DE HIDRÁULICA BÁSICA	3	Dos tomas en el laboratorio y una en el pañol.
LAB. DE SISTEMAS DEL AVIÓN	6	Tres tomas a cada lado del simulador
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	

MAÑANA						
Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
1	7:00	Motores 1 (Jet)	Mecánica Básica ( Lab. Mec.)		Prácticas (S. Av.)	Prácticas (Hidr.)
	7:50					
2	7:50	Motores 1 (Jet)	Mecánica Básica (Lab. Mec.)		Prácticas (S. Av.)	Prácticas (Hidr.)
	8:40					
3	8:40	Motores 1 (Jet)	Mecánica Básica (Lab. Mec.)		Prácticas (S. Av.)	Limpieza del Simulador (S. Av.)
	9:30					
4	9:30	Motores 1 (Jet)				Limpieza del Simulador (S. Av.)
	10:20					
10:20	<b>RECREO</b>					
10:50						
5	10:50	Limpieza (Hidr.)	Motores 2 (Jet)	Controles de vuelo (S. Av.)	Mantenimiento Infraestructura (Mec. B)	Limpieza del Simulador (S. Av.) y mant. de la infr.
	11:40					
6	11:40	Reparación Estructural ( Lab. Mec.) y Limpieza (Hidr.) y Motores a Pistón (M. P.)	Motores 2 (Jet)	Controles de vuelo (S. Av.)		Motores a Pistón (M.P.)
	12:30					
7	12:30	Reparación Estructural ( Lab. Mec.) y Limpieza (Hidr.) y Motores a Pistón (M. P.)	Motores 2 (Jet)	Controles de vuelo (S. Av.)	Mantenimiento (Hidr.)	Motores a Pistón (M.P.)
	13:20					
8	13:20	Reparación Estructural (Lab. Mec.) y Motores a Pistón (M. P.)	<b>Motores 2 (Jet)</b>	Mantenimiento Infraestructura (Mec. B)	Mantenimiento (Hidr.)	Motores a Pistón (M.P.)
	14:10					
<b>TARDE</b>						
1	15:00	Mantenimiento Infraestructura (Mec. B)	Turbo máquinas (B 41)	Proyectos de grado (Mec.) y Prácticas (Jet) y Práctica (M.P.)	Limpieza y Manto. (Mec.) y Prácticas (Jet)	
	16:00					
2	16:00		Turbo máquinas (B 41)	Proyectos de grado (Mec.) y Prácticas (Jet) y Práctica (M.P.)	Limpieza y Manto. (Mec.) y Prácticas (Jet)	
	17:00					
3	17:00		Turbo máquinas (B 41)	Proyectos de grado (Mec.) y Prácticas (Jet) y Práctica (M.P.)	Limpieza y Manto. (Mec.) y Prácticas (Jet)	
	18:00					
4	18:00		Mantenimiento Infraestructura (Mec. B)	Practicas (JET)	Practicas (JET)	
	19:00					

Tabla 3.8: Horario de prácticas para los laboratorios del bloque 42 del ITSA

Del horario anteriormente expuesto se puede notar lo siguiente:

1. Los días lunes de 11:40 a 13:20 se dispondrá de los laboratorios de mecánica básica, hidráulica básica y motores a pistón.
2. Los días miércoles de 15:00 a 18:00 se dispondrá de los laboratorios de mecánica básica, motores jet y motores a pistón.
3. Los días jueves de 15:00 a 18:00 se dispondrá de los laboratorios de mecánica básica, y motores jet.

En este sentido para días y horas anotadas se tendrá un mayor flujo de personal transitando por los laboratorios del bloque 42, teniendo como premisa que existe un promedio de 15 alumnos por clase, los días pico serán aquellos en que tres laboratorios estén funcionando a la vez.

El resto de días estarán siendo utilizados dos laboratorios a la vez, y la mayoría del tiempo solo funcionará un laboratorio a la vez.

Cabe anotar que en el horario anteriormente expuesto (Ver tabla 3.9), y adicional a las prácticas académicas se ha contemplado ocupar una hora diaria destinada al mantenimiento de la infraestructura, y será realizada por una sola persona encargada, el día viernes esta actividad será realizada en el horario de 10:50 a 11:40 de la mañana.

### **3.2.2. Criterios de diseño**

#### **3.2.2.1. Criterios para el tendido de la red de aire comprimido**

A continuación se van a exponer los criterios de diseño en los que debe estar enmarcada la alternativa de solución propuesta

La decisión de la forma de realizar el diseño de la red va depender de factores tanto económicos, como funcionales, es decir los laboratorios deben presentar las facilidades adecuadas de trabajo siendo la distribución escogida la más segura y satisfactoria para los empleados, de tal forma que el lugar sea el sitio

idóneo para realizar las prácticas académicas programadas, pero así mismo la alternativa seleccionada debe ser económicamente manejable dentro de lo asignado para la realización de este proyecto.

Como criterios de diseño para el tendido de la red de aire comprimido se han considerado los siguientes puntos:

1. Costo.
2. Facilidad para efectuar mantenimiento.
3. Seguridad.
4. Estabilidad
5. Ruido.
6. Fácil operatividad.
7. Adecuada señalización.
8. Flexibilidad de uso.

### **3.2.2.2 Criterios para ejecutar la distribución layout**

Por ordenamiento layout o distribución en planta se entiende: “ La ordenación física de los elementos industriales. Esta ordenación, ya practicada o en proyecto, incluye, tanto los espacios necesarios para el movimiento de materiales, almacenamiento, trabajadores indirectos y todas las otras actividades o servicios, así como el equipo de trabajo y el personal de taller “<sup>8</sup>

#### **3.2.2.2.1. Objetivos de la distribución layout**

##### **A. Unidad**

Alcanzar la integración de todos los elementos o factores implicados en la unidad productiva, para que se funcione como una unidad de objetivos.

---

<sup>8</sup> Richard Muther. “ Distribución en planta” pag. 13

Es decir todos los elementos del laboratorio deben apuntar a lograr la realización satisfactoria de todas las prácticas y actividades programadas dentro del mismo.

### **B. Circulación mínima**

Procurar que los recorridos efectuados por los materiales y hombres, sean óptimos lo cual requiere economía de movimientos, de equipos, y de espacio.

En cuanto al manejo de distancias es un punto irrelevante dentro de los laboratorios, ya que las distancias que se manejan dentro de cada laboratorio son relativamente cortas y no hay por medio ningún proceso productivo, este mismo ítem visto desde el punto de vista de disminución de congestión es un punto muy aplicable.

### **C. Seguridad**

Garantizando la seguridad, satisfacción y comodidad del personal que use el laboratorio, se conseguirá lograr una baja probabilidad de ocurrencia de accidentes y una mejora en el ambiente de trabajo.

### **D. Flexibilidad**

La distribución en planta necesitará, con mayor o menor frecuencia adaptarse a los cambios en las circunstancias bajo las que se realizan las operaciones, las que hace aconsejable la adopción de distribuciones flexibles, es decir los laboratorios en cualquier momento deben estar en la capacidad de adaptarse a cumplir nuevas tareas de servicio lejos de la realidad de las prácticas académicas cotidianas, como por ejemplo en las horas de proyectos el laboratorio de mecánica básica se transforma en una fábrica a pequeña escala de equipos y maquinaria de uso múltiple.

### 3.2.2.2.2. Problemas al realizar una distribución layout

Los problemas que se pueden tener al realizar una distribución layout son cuatro, estos son:

- A. **Proyecto de una planta totalmente nueva.** Aquí se trata de ordenar todos los medios de producción e instalación para que trabajen como conjunto integrado.
  
- B. **Expansión o traslado de una planta ya existente.** En este caso los edificios ya están allí, limitando la acción del ingeniero de distribución.
  
- C. **Reordenación de una planta ya existente.** La forma y particularidad del edificio limitan la acción del ingeniero, que es lo que sucede en el presente caso de los laboratorios del bloque 42.
  
- D. **Ajustes en distribuciones ya existentes.** Se presenta principalmente, cuando varían las condiciones de operación.

Fundamentalmente existen seis sistemas de distribución en planta, estos se dan a conocer a continuación:

### 3.2.2.2.3. Sistemas de distribución en planta:

- A. **Movimiento de material.** En este sistema el material se mueva de un lugar de trabajo a otro, y de una operación a la siguiente.

- B. **Movimiento del Hombre.** Los operarios se mueven de un lugar de trabajo al siguiente, llevando a cabo las operaciones necesarias sobre cada pieza de material. Que es el caso de los laboratorios de mecánica básica, laboratorio de motores a pistón y laboratorio de hidráulica básica.
  
- C. **Movimiento de Maquinaria.** El trabajador mueva diversas herramientas o máquinas dentro de un área de trabajo para actuar sobre una pieza grande. Que es el caso del laboratorio de motores jet, y sistemas del avión sitio en el cual los alumnos trabajan sobre los motores jet y sobre el simulador de controles de vuelo respectivamente.
  
- D. **Movimiento de Material y Hombres.** Los materiales y la maquinaria van hacia los hombres que llevan a cabo la operación.
  
- E. **Movimientos de Hombres y Maquinaria.** Los trabajadores se mueven con las herramientas y equipo generalmente alrededor de una gran pieza fija.
  
- F. **Movimiento de Materiales, Hombres y Maquinaria.** Generalmente es demasiado caro e innecesario moverlos a los tres.

#### **3.2.2.2.4. Planeación del espacio requerido:**

Para la planeación de espacios se deben considerar dos factores, siendo el primero la circulación para los que se establece un 20% y el segundo factor que es la flexibilidad. Considerándose para este un 50%.

El trabajo de distribución en planta es la ordenación de ciertas cantidades específicas de espacio, en relación unas con otras, para conseguir una combinación óptima. La forma de las máquinas (larga y estrecha, corta y compacta, circular o rectangular) afecta la ordenación de las mismas y su relación con otra maquinaria. Además es preciso conocer las dimensiones de cada máquina, la longitud, la anchura y la altura.

#### **3.2.2.2.5. Condiciones de trabajo y seguridad**

En cualquier distribución debe considerarse la seguridad de los trabajadores y empleados. Las condiciones específicas de seguridad que se deben tener en cuenta son:

- a. Suelo libre de obstrucciones y que no resbale.
- b. No situar operarios demasiado cerca de partes móviles de la maquinaria que no esté debidamente resguardada.
- c. Que ningún trabajador esté situado debajo o encima de alguna zona peligrosa.
- d. Que los operarios deban usar elementos especiales de seguridad.
- e. Accesos adecuados y salidas de emergencia bien señalizadas.
- f. Elementos de primeros auxilios y extintores de fuego cercanos.
- g. Que no existan en las áreas de trabajo ni en los pasillos, elementos de material o equipo puntiagudos o cortantes, en movimiento o peligrosos.

En cuanto a las condiciones de trabajo, la distribución debe ser confortable para todos los operarios. En estas condiciones de bienestar influyen la luz, ventilación, calor, ruido, vibración.

Dentro de este punto es necesario analizar lo referente a la protección contra el fuego, En este aspecto se deben estudiar los riesgos de incendio que representan el medio en el que se va a trabajar, la resistencia al fuego que posee el edificio, la asignación del equipo contra incendios y se deben prever

amplios medios de escape para el personal con pasillos claros y sin obstrucciones.

#### **3.2.2.2.6. Mantenimiento de equipos y red de aire comprimido**

El mantenimiento requiere un espacio adicional, es decir, necesita de espacio de acceso a las máquinas y todo el equipo existente en el bloque 42, así como también la red de aire comprimido a implementarse. Toda distribución operante debe tener en cuenta los hombres y elementos destinados a lubricar, reparar y ocasionalmente reemplazar equipos, maquinarias e instalaciones.

#### **3.2.2.2.7. Distribución de Líneas de Servicios Auxiliares**

La maquinaria y los procesos precisan de determinados servicios, los cuales deben cumplir con ciertos requerimientos con el propósito de adaptarse lo mejor posible a la distribución.

Cuando un proceso requiera diversas líneas de servicio o servicios especialmente costosos, resulta casi esencial agrupar toda la maquinaria correspondiente a tal proceso. Para la distribución de las líneas de servicio se partirá básicamente de cinco aspectos :se deberá tenderlas para que funcione su distribución, se deberá instalarlas para la economía de la operación, las líneas tienen que ser fácilmente accesibles al equipo, desde cualquier posición, tendrán que estar apartadas del camino de otros elementos, tales como grúas o transportadores, pasillos de mucho tránsito o del suelo mismo de producción y se procurará instalarlas donde no representen un peligro para el personal, equipo o material. En cuanto a la distribución eléctrica, se preferirán tener transformadores cercanos a los puntos de utilización.

Las líneas de servicio generalmente deben estar situadas en disposición elevada o bajo el suelo. La distribución elevada es fácil de instalar, es accesible y fácil de empalmar, reparar, reemplazar, pintar o realizar en ella cualquier otra operación de mantenimiento. Por otro lado, la distribución bajo el

suelo no ocupa el espacio que se puede necesitar para el material de manejo en posición elevada y permite una visión clara de la planta. La accesibilidad a éstas y a la distribución de servicios permite la flexibilidad. Pueden ser proyectados por adelantado con frecuentes tomas que ofrezcan la posibilidad de conexión y desconexión rápida o bien que sean tan fáciles de cambiar de sitio que puedan ser redistribuidos en forma tan ágil como lo es la maquinaria.

### **3.2.3. Alternativas de solución**

A continuación se desglosan las alternativas más convenientes para la solución de la problemática del laboratorio.

Para mencionar propuestas generales de solución se procede a enmarcar la situación en tres escenarios distintos:

1. Adaptar la distribución de los equipos después de realizar el diseño del tendido de la red de aire comprimido más económica y adecuada para el edificio.
2. Redistribuir los equipos existentes en el laboratorio y sobre la base de esto realizar el tendido de la red de aire comprimido.
3. Realizar el diseño y tendido de la red de aire comprimido y distribución en planta de una forma híbrida con los métodos anteriormente expuestos, según sea el caso y realidad funcional de cada laboratorio por separado.

Del escojamiento de cualquiera de estos tres escenarios de trabajo se pueden desglosar algunas alternativas que logren satisfacer los requerimientos de diseño que se pretende lograr, y al final tener una propuesta clara, concreta y realizable.

### **3.3 MATRIZ DE DECISIÓN**

En esta parte se validarán las alternativas propuestas sobre la base del análisis de los criterios de diseños anteriormente expuestos y distribución en planta, luego al final se tendrá que llegar a concluir en la toma de una decisión para redistribuir el laboratorio de la manera más conveniente.

La alternativa de diseño de la red de tendido de aire comprimido tendrá que estar acorde con la ubicación de los equipos y utillaje de los laboratorios todo esto fundamentado en los parámetros requeridos de diseño y de las recomendaciones para la distribución en planta.

#### **3.3.1 Análisis de las alternativas de solución**

Luego de analizar las alternativas generales anteriormente propuestas será menester encuadrarse en la tercera opción, por la necesidad que conlleva adaptarse a la realidad física de los laboratorios del bloque 42. Es decir que no se puede aplicar un método general de distribución layout para los cinco laboratorios por el hecho de que cada laboratorio tiene una realidad física y propósitos muy distintos entre sí; en este sentido se tiene que propender a la flexibilidad que supone realizar el diseño y tendido de la red de aire comprimido y distribución en planta de los laboratorios del bloque 42 del ITSA de una forma híbrida según sea el caso y realidad funcional de cada laboratorio por separado, es decir:

- Para los laboratorios de mecánica básica, laboratorio de motores a pistón y laboratorio de hidráulica básica se aplicará el método de “movimiento del hombre” en el que los operarios se mueven de un lugar de trabajo al siguiente, llevando a cabo las operaciones necesarias sobre cada pieza de material
- Para los laboratorios de motores jet, y sistemas del avión se implementará el sistema “movimiento de máquina” en el cual el operario mueve diversas herramientas o máquinas dentro de un área de trabajo para actuar sobre una pieza grande que en este caso es el simulador de

controles de vuelo para el laboratorio del mismo nombre y los motores jet para el laboratorio correspondiente.

### **3.3.1.1. Análisis de factibilidad de alternativas enmarcadas dentro de un sistema híbrido según sea el caso y realidad funcional de cada laboratorio por separado**

Dentro de este escenario se desglosará algunas alternativas que a continuación se enlistan y se analizan:

#### **3.3.1.1.1. Opción 1**

La distribución correspondiente a la opción 1 se muestra en el Anexo A2, esta distribución de la tubería satisface los requerimientos de los laboratorios en cuanto a tomas de aire comprimido se refiere. Se ha considerado en este diseño alimentar cuatro anillos (uno para cada laboratorio), los cuales tienen una tubería principal por separado para cada lado del bloque.

- Realizar movimientos importantes de equipos y maquinaria en el área del laboratorio de mecánica básica, de tal modo que las mesas queden cerca de las tomas de aire comprimido, y todos los equipos y maquinaria tengan una distribución adecuada y amigable con el usuario.
- Requerir dos mesas para el área de soldadura que se las ha dispuesto en forma de “L” (mesa 49 y 1) para un mejor ahorro del espacio, con esto se pretende solucionar en parte la ubicación de un sitio adecuado para labores de soldadura.
- Reparar las tomas de alimentación eléctrica que satisfaga los requerimientos de la nueva distribución lográndose de esta manera habilitar las máquinas o equipos que se encontraban fuera de uso por no tener la correcta alimentación eléctrica.
- Mover un armario al sector de la división de los laboratorios de mecánica básica con motores jet, con el propósito de mejorar el área de soldadura.

- Coordinar con el profesor para dejar las prendas personales en las respectivas aulas de clase para solucionar el problema de ubicación de prendas por parte de los estudiantes en el laboratorio.
- Trasladar a una bodega cercana los paneles instructivos del laboratorio de simulador y controles de vuelo con el fin de ganar espacio.
- Mover los motores jet y colocarlos perpendiculares a las paredes aprovechando mejor el espacio disponible.
- Realizar una adecuada señalización de zonas de tránsito y de seguridad.
- Implementar una política de seguridad para los laboratorios y normativas para uso de los equipos.
- Con la finalidad de ganar espacio útil se eliminó de la distribución un esmeril que será guardado en el pañol.

### **3.3.1.1.2. Opción 2**

La distribución correspondiente a la opción 2 se muestra en el Anexo A3, así mismo como en el punto anterior la distribución de la tubería satisface los requerimientos de los laboratorios en cuanto a tomas de aire comprimido se refiere. Pero a diferencia de la distribución anterior se ha considerado realizar un sistema abierto para los laboratorios de motores a pistón e hidráulica básica, por cuestiones de costo y además porque en esos laboratorios no se demanda un alto grado de consumo.

- Para esta distribución se debe realizar movimientos importantes de equipos y maquinaria en el área del laboratorio de mecánica básica, de tal modo que las mesas queden cerca de las tomas de aire comprimido, y todos los equipos y maquinaria tengan una distribución adecuada y amigable con el usuario.
- Ubicar dos mesas para el área de soldadura que se las ha dispuesto en forma de "L" (mesa 49 y 1) para un mejor ahorro del espacio, con esto se pretende solucionar en parte la ubicación de un sitio adecuado para labores de soldadura.

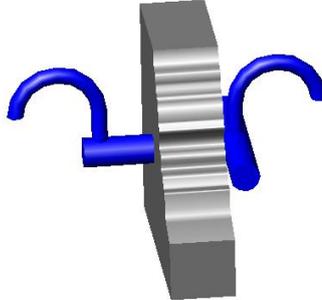
- Reparar las tomas de alimentación eléctrica que satisfagan los requerimientos de la nueva distribución lográndose de esta manera habilitar las máquinas o equipos que se encontraban fuera de uso por no tener la correcta alimentación eléctrica.
- Mover un armario al sector de la división de los laboratorios de mecánica básica con motores jet para optimizar el espacio físico existente.
- Construir cancelas y ubicarlos en el sector divisorio de los laboratorios de mecánica básica y motores jet, solucionando de esta manera el espacio requerido para guardar pertenencias de los estudiantes.
- Eliminar los armarios de herramientas que están empotrados (que se encontraban empotrados en la pared, dichas herramientas tendrán que guardarse en el pañol.
- Eliminar dos tubos de chorro, de tal manera que solo quede uno de cada tipo para observación.
- Trasladar a una bodega cercana los paneles instructivos del laboratorio de simulador y controles de vuelo con el fin de ganar espacio.
- Dejar un solo esmeril para uso del laboratorio de mecánica básica.
- Mover los motores jet y colocarlos perpendiculares a las paredes aprovechando de esta manera mejor el espacio disponible.
- Realizar una adecuada señalización de zonas de tránsito y de seguridad.
- Implementar una política de seguridad para los laboratorios y normativas para uso de los equipos.

### **3.3.1.1.3. Opción 3**

La distribución correspondiente a la opción 3 se muestra en el Anexo A4, en esta distribución se ha considerado optimizar la tubería para ello se deberá realizar agujeros a través de la pared para solventar las tomas de aire en el área del laboratorio de simulador de controles de vuelo (Ver figura 3.4), adicional a esto se ha considerado tender la tubería de tal modo que se evite cambios bruscos de direcciones evitando así bajas de presión en la red. Para las tomas 9 y 10 se deberá montar tubos que avancen hasta la pared y desde allí instalar los cuellos de cisne y tomas de servicio.

El sistema abierto para los laboratorios de motores a pistón e hidráulica básica, se lo sigue manteniendo por razones anotadas anteriormente.

**Figura 3.4:** Solución a implementarse en el laboratorio del simulador de controles de vuelo para las tomas adjuntas al lab. De mecánica básica según propuesta número 3.



- Para esta distribución se deben realizar movimientos importantes de equipos y maquinaria en el área del laboratorio de mecánica básica, de tal modo que las mesas queden cerca de las tomas de aire comprimido, y todos los equipos y maquinaria tengan una distribución adecuada y amigable con el usuario.
- Utilizar dos mesas para el área de soldadura que se las ha dispuesto en forma de “L” (mesa 49 y 1) para un mejor ahorro del espacio, con esto se pretende solucionar en parte la ubicación de un sitio adecuado para labores de soldadura.
- Reparar las tomas de alimentación eléctrica que satisfaga los requerimientos de la nueva distribución lográndose de esta manera habilitar las máquinas o equipos que se encontraban fuera de uso por no tener la correcta alimentación eléctrica.
- Mover un armario al sector de la división de los laboratorios de mecánica básica con motores jet, para optimizar el espacio existente.
- Construir cancelas y ubicarlos en el sector divisorio de los laboratorios de mecánica básica y motores jet, y solucionar de esta manera el espacio requerido para guardar pertenencias de los estudiantes.
- Eliminar de la distribución los tres armarios de herramientas que se encuentran empotrados en la pared, dichas herramientas tendrán que guardarse en el pañol.

- Trasladar a una bodega cercana los paneles instructivos del laboratorio de simulador y controles de vuelo con el fin de ganar espacio.
- Usar un solo esmeril ya que es suficiente para uso del laboratorio de mecánica básica.
- Mover los motores jet y colocarlos perpendiculares a las paredes aprovechando de esta manera mejor el espacio disponible.
- Realizar una adecuada señalización de zonas de tránsito y de seguridad.
- Implementar una política de seguridad para los laboratorios y normativas para uso de los equipos.
- Eliminar el tablero de herramientas especiales para ganar espacio.
- Eliminar la baroladora manual, ya que esta herramienta sale sobrando dentro del laboratorio de mecánica básica.
- Dejar un solo un tubo de chorro para observación de los alumnos.

#### **3.3.1.1.4. Opción 4**

La distribución correspondiente a la opción 4 se muestra en el Anexo A5, para esta distribución se ha considerado modificar en gran medida la distribución de la red, preponderando la economía de la red, es así que se ha considerado implementar algunos ramales aéreos y se ha evitado ante todo realizar cambios bruscos de direcciones en el tendido de la red. El flujo de aire comprimido hacia el laboratorio del simulador y controles de vuelo se lo hará a través de la pared mediante una "T", así mismo por la disposición aérea de la red para las tomas 9 y 10 se deberá montar tubos que avancen hasta la pared y desde allí instalar los cuellos de cisne y tomas de servicio

El sistema abierto se sigue manteniendo para los laboratorios de motores a pistón e hidráulica básica.

- Para esta distribución se debe realizar movimientos importantes de equipos y maquinaria en el área del laboratorio de mecánica básica, de tal modo que las mesas queden cerca de las tomas de aire comprimido, y

todos los equipos y maquinaria tengan una distribución adecuada y amigable con el usuario.

- Utilizar dos mesas para el área de soldadura que se las ha dispuesto en forma de “L” (mesa 49 y 1) para un mejor ahorro del espacio, con esto se pretende solucionar en parte la ubicación de un sitio adecuado para labores de soldadura.
- Reparar las tomas de alimentación eléctrica que satisfagan los requerimientos de la nueva distribución lográndose de esta manera habilitar las máquinas o equipos que se encontraban fuera de uso por no tener la correcta alimentación eléctrica.
- Mover un armario al sector de la división de los laboratorios de mecánica básica con motores jet.
- Construir cancelas y ubicarlos en el sector divisorio de los laboratorios de mecánica básica y motores jet, solucionando de esta manera el espacio requerido para guardar pertenencias de los estudiantes.
- Eliminar los armarios de herramientas que se encuentran empotrados en la pared, dichas herramientas tendrán que guardarse en el pañol.
- Trasladar a una bodega cercana los paneles instructivos del laboratorio de simulador y controles de vuelo con el fin de ganar espacio.
- Usar un solo esmeril es suficiente en el laboratorio de mecánica básica.
- Mover los motores jet y colocarlos perpendiculares a las paredes aprovechando de esta manera mejor el espacio disponible.
- Realizar una adecuada señalización de zonas de tránsito y de seguridad.
- Implementar una política de seguridad para los laboratorios y normativas para uso de los equipos.
- Dejar un solo un tubo de chorro para observación de los alumnos.

### **3.3.2. Selección de la mejor alternativa**

De manera general cualquiera que sea la alternativa se considera el cumplimiento de los parámetros de diseño, y la satisfacción en la medida de lo posible los requerimientos que se exige al realizar una distribución layout.<sup>9</sup>

### **3.3.2.1. Parámetros de selección, ponderaciones y elaboración de la matriz de decisión**

En primera instancia se tendrá que hacer una evaluación de la medida en que la distribución planteada ha solucionado los problemas que se tenían en un inicio para los laboratorios, habiendo cumplido este requerimiento se procederá a analizar cada opción planteada anteriormente con respecto al cumplimiento de los parámetros de diseño que se exige para el tendido de la red de aire comprimido, y también con relación a los objetivos que se persigue al realizar una distribución layout, para ello se propone dar una escala valorativa del 1 al 10 en la medida de que la propuesta en análisis cumpla con dichos parámetros.

#### **3.3.2.1.1. Parámetros de selección del mejor diseño para el tendido de la tubería**

Para el tendido de la tubería se tendrá que ponderar los parámetros de diseño para cada una de las opciones anteriormente propuestas. Dichos parámetros de diseño son los siguientes:

1. Costo.
2. Mantenimiento.
3. Seguridad.
4. Estabilidad
5. Ruido.
6. Operatividad.
7. Señalización.
8. Flexibilidad.

---

<sup>9</sup> Se habla de cumplir en la medida de lo posible por cuanto existe limitaciones de presupuesto asignado para el proyecto, y por las limitaciones de lograr ubicar los equipos ya existentes en un nuevo sitio.

### 3.3.2.1.2. Parámetros de selección del mejor diseño layout

La problemática de la distribución de los equipos se realizará sobre una distribución ya existente, por ende la forma y particularidad del edificio van a limitar de cierta forma las decisiones que se tomen.

En este análisis se ponderará para cada opción planteada con relación a los objetivos que se persigue alcanzar en una distribución en planta, o layout.

Estos objetivos son:

- ✓ **Unidad**
- ✓ **Circulación mínima**
- ✓ **Seguridad**
- ✓ **Flexibilidad**

### 3.3.2.1.3. Matriz de decisión

Tabla 3.9 Matriz de decisión.

		PONDERACION			
		Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4
Problemática de los laboratorios del bloque 42	<b>Soluciones</b>	9	9	9	9
	<b>Costo</b>	5	6	7	8
Parámetros de diseño para el tendido de la red de aire comprimido.	<b>Mantenimiento.</b>	6	6	10	10
	<b>Seguridad</b>	10	10	10	10
	<b>Estabilidad</b>	8	10	10	10
	<b>Ruido</b>	8	8	8	8
	<b>Operatividad</b>	10	10	10	10
	<b>Señalización</b>	10	10	10	10
	<b>Flexibilidad</b>	8	8	8	7
	<b>Unidad</b>	10	10	10	10
Objetivos de la distribución layout	<b>Circulación mínima</b>	7	8	9	10
	<b>Seguridad</b>	10	10	10	10
	<b>Flexibilidad</b>	8	8	8	7
	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>104</b>	<b>110</b>	<b>110</b>

A todas las ponderaciones de seguridad se les ha dado un valor de 10 por que se da por descontado que el diseño ha realizarse en el capítulo cuatro cumple con las normativas de seguridad para con el usuario.

Como resultado de la matriz de decisión se puede apreciar que tanto la opción 3 como la opción 4 tienen la misma valoración, pero a consecuencia de que el costo es un factor preponderante se deberá escoger la alternativa número 4.

### **3.3.3. Descripción de la alternativa seleccionada**

Sobre la base de los valores arrojados por la matriz de decisión se puede decir que se deberá implantar la propuesta número cuatro en la cual se valora por encima de otras cosas el ahorro de tubería haciendo un tendido simple y evitando cambios bruscos de dirección en lo que se refiere a la tubería. El diseño en cuestión valora más el costo de implementación que factores como son la flexibilidad que se merma en el laboratorio de motores jet.

Cabe indicar que el diseño óptimo es un sistema de anillos cerrados, esto con el objetivo de mantener la presión estable, el diseño propuesto a causa de restricciones económicas tiene algunas falencias, pero se ha tratado de cumplir todos los parámetros de diseño y objetivos de la distribución en planta, como se puede ver en el plano de distribución layout (Ver Anexo A5).

Como parte final se concluye que este diseño del tendido de la tubería puede aún ser modificado en el capítulo cuatro donde se analicen datos técnicos y recomendaciones dadas para esta clase de sistemas. En lo que respecta a la distribución de los equipos y maquinaria que tiene que ir acorde con la distribución de la red de aire comprimido.

### **3.4. Implantación de la propuesta.**

Una vez que se ha definido la distribución layout más apropiada para los laboratorios se procede a describir los pasos necesarios para la realización de esta distribución, de esta forma se facilitará las labores a los operarios que realicen estos trabajos.

#### **3.4.1. Programación de actividades**

1. Adquisición de materiales de acuerdo a lista (Anexo B2).
2. Reubicar equipos, maquinaria y demás enceres según distribución mostrada en el Anexo A5.
3. Disponer se repare las tomas de alimentación eléctrica que satisfaga los requerimientos de la nueva distribución (según Anexo A7.)
4. Disponer se retiren los armarios empotrados en los que se encuentran herramientas, dichas herramientas tendrán que guardarse en el pañol de aquí en adelante.
5. Trasladar a una bodega cercana los paneles instructivos del laboratorio de simulador y controles de vuelo, dos esmeriles, la baroladora manual del laboratorio de mecánica básica, y del laboratorio de motores jet el tablero de herramientas especiales y tres tubos de chorro.
6. Realizar una adecuada señalización de zonas de tránsito y de seguridad según Anexo B1 y plano del Anexo A8.
7. Implementar una política de seguridad para los laboratorios y normativas para uso de los equipos (Ver Anexo C2).

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DEL SISTEMA

#### 4.1. CÁLCULO DE LA NECESIDAD DE AIRE

Se consideran tres escenarios para calcular el flujo de aire que se necesitara en el sistema, en primera instancia se analizará considerando que todas las herramientas neumáticas disponibles trabajan al mismo tiempo, en segundo lugar se realizará un cálculo mas aproximado a la realidad tomando en cuenta los requerimientos de los diferentes laboratorios en cuanto a necesidad de utilización de herramientas por prácticas académicas, y por último se generará el mismo cálculo pero modificando los factores de simultaneidad y grado de utilización de acuerdo a la realidad que se maneja en los laboratorios, así como también algunas consideraciones de ahorro en cuanto al uso restringido de algunos equipos.

##### 4.1.1. Necesidad de aire específica de las herramientas

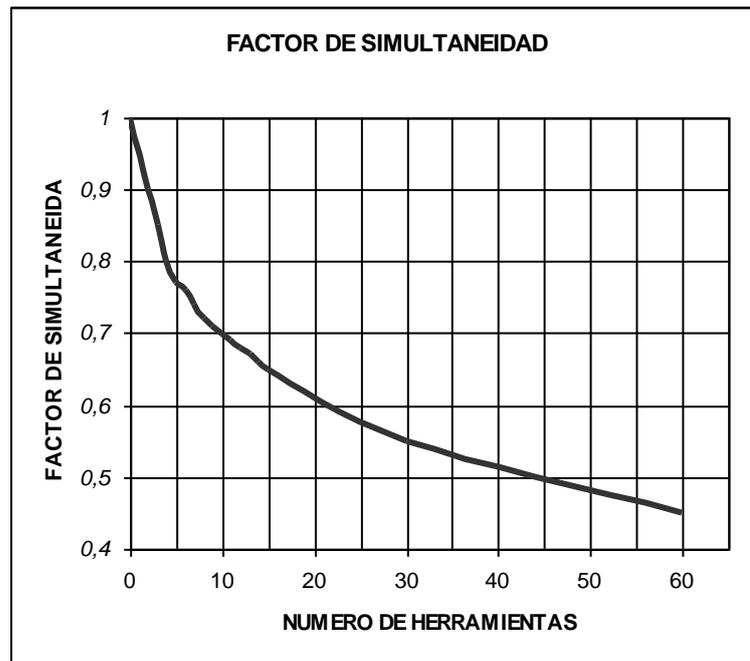
**Tabla 4.1** Consumo específico de aire de cada herramienta, basado en datos del fabricante.

HERRAMIENTA	CANTIDAD	CAUDAL (l/seg.)	PRESIÓN REQUERIDA
TALADRO (ATLAS COPCO)	15	5	6 a 7 bar
TALADRO (DESONTTER)	9	5	6 a 7 bar
MARTILLO (DESONTTER)	4	6	6 a 7 bar
ATORNILLADOR (ATLAS COPCO)	10	6	6 a 7 bar
REMACHADORA (GESIPA PMI)	3	8	6 a 7 bar
SANDBLASTING (ITSA)	1	13	6 a 7 bar
PULVERIZADOR (PEER)	3	6	3 a 5 bar

#### 4.1.1.1. Factor de simultaneidad

El valor del factor de simultaneidad es dependiente del número de herramientas, su valor se deduce de la gráfica que se muestra a continuación:

**Figura 4.1** Factor de simultaneidad dependiente del número de herramientas.



Fuente: Aire comprimido y su aplicación en la industria (Atlas Copco Venezuela Pag 161)

#### 4.1.1.2. Grado de utilización

Los valores de grados de uso para diferentes herramientas esta tabulado en tablas que se han extraído de acuerdo a la experiencia para diferentes clases de labores dentro de la industria, dicha tabla se muestra a continuación.

**Tabla 4.2** Grado de utilización para herramientas de aire comprimido.<sup>10</sup>

Tipo de herramienta		Consumo de aire (l/s)	Grado de utilización				
			1	2	3	4	5
Llaves de impacto	≤ 1/2"	8	0.2	0.1	0.2	0.2	0.05
	> 1/2"	13	0.3	0.2	0.1		0.15
Apretadoras	≤ M8	9	0.3 5	0.1	0.05	0.05 - 0.2	
	≥ M10	19	0.4	0.1	0.01	0.05	
Taladro	≤ 12 mm	5	0.1 5	0.1	0.25	0.3	0.2
	> 12 mm	10	0.2	0.1	0.1	0.1	0.25
Rectificadora		8	0.0 5	0.1		0.1	
Esmeriladora	< 6"	10	0.0 1	0.2	0.2	0.15	0.2
	> 6"	54	0.0 1	0.3 5	0.4	0.15	0.3
Rascadora		6			0.1	0.1	
Polipastos	≤ 11	35	0.1	0.0 1	0.05	0.1	
	> 11	45	0.1 5	0.0 5	0.05	0.05	0.05
Martillo Bulonador	Leve	6		0.1 5	0.1		0.1
	Pesado	12		0.0 1	0.2		0.3
Atornillador		6	0.5	0.1		0.3	
Pistola de limpieza		6	0.0 1	0.0 5	0.1	0.05	
Pistola de pintura	Automático	5	0.6	0.2 5	0.15	0.3	0.2
	Manual	5	0.8			0.9	

1.- Industria automotriz. 2.- Taller mecánico 3.- Industria Mecánica Pesada.  
4.- Industria de fabricación de bienes durables, electrodomésticos. 5.- Instalaciones Completas.

**Fuente:** Aire comprimido y su aplicación en la industria (Atlas Copco Venezuela Pag 161)

#### 4.1.1.3. Consideraciones de presión y caudal para el Sandblasting

El Sandblasting que se encuentra actualmente en el laboratorio de Motores a pistón fue el resultado de la construcción como proyecto de grado de un alumno del ITSA. Los valores que se dan a continuación fueron recopilados de la memoria técnica del equipo:

<sup>10</sup> Tomado de Aire comprimido y su aplicación para la industria (Atlas Copco Venezuela pag 161 )

**Tabla 4.3** Memoria técnica del equipo sandblasting

Tamaño del Orificio (Pulg.)							
3/16 "	Presión en la Pistola (PSI)	50	60	70	80	90	100
	Aire requerido (CFM)	26	30	33	38	41	45
	Abrasivo requerido (lb/hora)	50	171	196	216	238	264
	Potencia requerida (HP.)	6	7	7,5	8,5	9,5	10

Fuente: Memoria técnica del equipo sandblasting construido en el ITSA como proyecto de tesis.

#### 4.1.1.4. Consideraciones ambientales

Como ya se dijo anteriormente los cambios en las condiciones ambientales afectan la potencia disponible de los motores eléctricos y de combustión, y así mismo conforme aumenta la altitud disminuye la capacidad de entrega de caudal útil de aire por parte de la unidad compresora.

La ciudad de Latacunga en la que va estar emplazado el sistema de aire comprimido se tiene las siguientes características topográficas y ambientales:

- **Altitud de la ciudad de Latacunga:** 2. 792, 31 m. o, 5. 126 pies.
- **Humedad relativa:** 75% a 96%.
- **Presión atmosférica:** 728 a 732 HPa. o 10,56 psi a 10,61 psi.
- **Temperatura máxima:** 19,3 °C.
- **Temperatura mínima:** 8,6 °C.
- **Promedio** 14 °C.

Tabla 4.4: Condiciones estándar dadas por las Normas ISO 1217.

Condiciones estándar en base a las normas ISO 1217
$P_o = 14,7$ psi (presión atmosférica a nivel del mar)
$V_o =$ Volumen requerido o SCFM
$T_o = 20$ °C

Fuente: Aire comprimido y su aplicación en la industria (Atlas Copco Venezuela Pag 30)

En el momento en que se adquiere un compresor, el valor dado por el fabricante acerca del caudal entregado por este corresponde a condiciones ambientales estándar a nivel del mar. Mediante el procedimiento formulado en el II capítulo para la selección del compresor se puede recalcularse el valor del caudal en función de la presión, temperatura y humedad relativa del sitio de trabajo.

Cabe indicar que necesariamente el caudal requerido tendrá que ser mayor a lo previsto puesto que las condiciones ambientales y ubicación geográfica de la ciudad de Latacunga no son favorables, en este sentido el costo del proyecto también se ve afectado.

#### **4.1.2. Cálculo de la necesidad de aire requerida cuando todas las herramientas trabajan simultáneamente**

Para escoger el conjunto de valores de grados de utilización de la herramienta con el que se va a realizar el siguiente cálculo se asumió las labores de los laboratorios como si se estuviese trabajando en un taller mecánico. A continuación se muestra los valores de grado de utilización y factor de simultaneidad que se utilizaron para determinar el caudal de aire requerido:

**Tabla 4.5** Grado de utilización y factor de simultaneidad utilizado para determinar caudal.

HERRAMIENTAS	Número de herramientas	GRADO DE UTILIZACION	FACTOR DE SIMULTANEIDAD
Taladro Atlas Copco.	15	0.1	0.65
Taladro Desonter.	9	0.1	0.71
Martillo Desonter.	4	0.15	0.8
Atornillador Atlas Copco.	10	0.1	0,7
Remachadora Gesipa PMI.	3	0.1	0.85
Sand blasting ITSA.	1	0.01	1
Pulverizador Peer.	3	0.25	0.85

Fuente: Guía de instalación de Aire Comprimido Edición No 5 1986, Atlas Copco pag. 13

#### 4.1.2.1. Ejemplo de Cálculo

Como ejemplo de cálculo se va a tomar el caso de los taladros Atlas Copco (Ver Tabla 4.5) para lo cual se va a utilizar la siguiente fórmula:

Fórmula 4.1: Cálculo del caudal requerido por la herramienta.

$$\text{Caudal} = H * Ce * Gu * Fs$$

Gu : Grado de uso de la herramienta.

Fs : Factor de simultaneidad.

Ce: Consumo específico.

H : Número de herramientas.

$$\text{Caudal} = H * C_e * G_u * F_s$$

$$\text{Caudal} = 15 * 5 \left[ \frac{\text{l}}{\text{s}} \right] * 0.1 * 0.65$$

$$\text{Caudal} = 4.88 \left[ \frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

**Tabla 4.6** Necesidad de aire en CFM de los laboratorios del ITSA.

HERRAMIENTAS	CONSU AIRE L/s	NUM. HERRA	GRADO USO.	FACTOR SIMULT.	CAUDAL DE AIRE L/s	CAUDAL DE AIRE CFM
<b>Taladro Atlas Copco.</b>	5	15	0,1	0,65	4,88	10,33
<b>Taladro Desonter.</b>	5	9	0,1	0,71	3,20	6,77
<b>Martillo Desonter.</b>	6	4	0,15	0,8	2,88	6,10
<b>Atornillador Atlas Copco.</b>	6	10	0,1	0,7	4,20	8,90
<b>Remachador a Gesipa PMI.</b>	8	3	0,1	0,85	2,04	4,32
<b>Sand blasting ITSA.</b>	13	1	0,01	1	0,13	0,28
<b>Pulverizador Peer.</b>	6	3	0,25	0,85	3,83	8,10
<b>TOTAL</b>					<b>21,15</b>	<b>44,80</b>

Las indicaciones sobre el consumo de aire de las herramientas, se refieren generalmente a cuando estas son nuevas. Por lo que el desgaste de la misma aumenta en un 5 % la necesidad de aire calculado. Además una red de aire comprimido debe ser absolutamente sellada, no obstante en la práctica se debe tomar en cuenta un 10% sobre la norma, para compensar eventuales fugas.

Como regla general se tiene que dimensionar el sistema con un 30 % de posibilidad de expansión, mas aun en este caso en el que se tiene previsto la construcción de hangaretas en la parte lateral del bloque para lo cual se ve plenamente justificada esta ampliación.<sup>11</sup>

Como ya se dijo anteriormente las condiciones ambientales también afectan enormemente el dimensionamiento del sistema, a continuación se detalla el procedimiento para recalculer el caudal previsto en condiciones estándar.

**Fórmula 4.2:** Cálculo del caudal en condiciones estándar.

$$V1 = \frac{Po * Vo * T1}{To * P1}$$

$$V1 = \frac{14.7 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \right] * 44.8 [\text{SCFM}] * 516.87 [^{\circ}\text{C}]}{527.76 [^{\circ}\text{R}] * 10.6 \left( \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} \right)}$$

$$V1 = 60.84 [\text{ACFM}]$$

Donde

Po: Presión en condiciones estándar.

Vo: Volumen inicial calculado en condiciones estándar.

To: Temperatura en condiciones estándar.

P1: Presión manométrica local.

T1: Temperatura atmosférica local.

V1: Volumen a calcularse en condiciones ambientales.

Adicional a esto también hay que considerar el valor de la Humedad Relativa de la siguiente manera:

**Fórmula 4.3:** Cálculo del caudal considerando HR.

$$V2 = V1 * \left( \frac{P1}{P1 - Px} \right)$$

<sup>11</sup> Guía de instalación de Aire Comprimido Edición No 5 1986, Atlas Copco pag. 5.

Pv: Presión del vapor a la 14°C (T1):

Px = Pv \* HR (Presión parcial del vapor):

V2: Volumen requerido de aire considerando la temperatura, presión y HR (ACFM).

$$V2 = 60.8[CFM] * \left( \frac{10.6[Psi.]}{10.6[Psi.] - (Pv * HR)} \right)$$

$$V2 = 60.8[CFM] * \left( \frac{10.6[Psi.]}{10.6[Psi.] - (0.5069[Psi.] * 80)} \right)$$

$$V2 = 63.21[CFM]$$

Ahora se calcula la diferencia porcentual entre el valor del caudal calculado inicialmente y el valor corregido por los factores de la altitud y humedad relativa.

$$Dif\% = \frac{63.2 - 44.8}{63.2}$$

$$Dif\% = 29.11 \approx 30\%$$

Desde aquí en adelante se tomará un valor referencial de 30% de aumento para correcciones por factores ambientales para la ciudad de Latacunga.<sup>12</sup>

Finalmente el valor total corregido del caudal queda de la siguiente manera:

**Tabla 4.7:** Cálculo final del caudal de acuerdo a las correcciones citadas.

	Correcciones	Caudal (CFM)
<b>Desgaste de las herramientas</b>	<b>5%</b>	2,24
<b>Fugas</b>	<b>10%</b>	4,48
<b>Expansión</b>	<b>30%</b>	13,44
<b>Corrección por altura</b>	<b>30%</b>	13,44
	<b>TOTAL</b>	<b>78,40</b>

<sup>12</sup> De aquí en adelante considerar un aumento del 30% por concepto de factores ambientales y altitud.

El consumo calculado de 78.4 Cfm. Es un valor elevado y el costo de suplir este requerimiento sugiere la compra de un compresor de aproximadamente 30 Hp. de pistón, o un compresor de 20 Hp. de tornillo.

#### **4.1.3. Cálculo de la necesidad del caudal de aire por horarios**

Teniendo como preámbulo el alto valor del caudal arrojado del anterior cálculo, en el siguiente desarrollo se pretende obtener un valor más apegado a los requerimientos del laboratorio que gravitan en las prácticas realizadas en el mismo. A continuación se presentan los horarios previstos de las diferentes prácticas docentes en los diferentes laboratorios, así como las herramientas que se van utilizar en el desarrollo de los mismos.

##### **4.1.3.1. Horarios de prácticas académicas en los Labs. del Bloque 42**

Las prácticas se llevarán a cabo desde las 07:00 horas hasta las 19:00, existirá un receso o recreo desde las 10:20 a 10:50 de la mañana, y luego en la tarde una pausa similar desde las 14:10 hasta las 15:00. Adicional a esto cabe indicar que todos los días lunes se llevará a efecto el momento cívico desde las 07:00 hasta las 08:40, hora en la cual se normalizarán las actividades según lo previsto en el horario de clases.

El tiempo previsto para cada práctica será distribuido equitativamente entre la parte práctica y la parte teórica, es decir la clase empieza con una charla de preparación que ocupará la mitad del tiempo previsto y el resto del tiempo se lo ocupará en la práctica propiamente dicha.

A continuación se presentan por cada laboratorios el detalle de las prácticas a desarrollarse en los mismos:

**Tabla 4.8:** Horario para el laboratorio de Mecánica Básica

LABORATORIO DE MECÁNICA BÁSICA						
MAÑANA						
	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	7:00	Acto Cívico	Mecánica			
	7:50		Básica			
2	7:50		Mecánica			
	8:40		Básica			
3	8:40		Mecánica			
	9:30		Básica			
6	11:40	Reparación				
	12:30	Estructural				
7	12:30	Reparación				
	13:20	Estructural				
8	13:20	Reparación				
	14:10	Estructural				
	14:10	TARDE				
	15:00					
1	15:00			Proyectos	Limpieza.	
	16:00			de grado	y Manto.	
2	16:00			Proyectos	Limpieza.	
	17:00			de grado	y Manto.	
3	17:00			Proyectos	Limpieza.	
	18:00			de grado	y Manto.	

**Tabla 4.9 :** Horario para el laboratorio de Motores Jet

LABORATORIO DE MOTORES JET						
MAÑANA						
	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	7:00	<i>Motores 1</i>				
	7:50					
2	7:50	<i>Motores 1</i>				
	8:40					
3	8:40	<i>Motores 1</i>				
	9:30					
4	9:39	<i>Motores 1</i>				
	10:20					
	10:20	RECREO				
	10:50					
5	10:50		<i>Motores 2</i>			
	11:40					
6	11:40		<i>Motores 2</i>			
	12:30					
7	12:30		<i>Motores 2</i>			
	13:20					
8	13:20		<i>Motores 2</i>			
	14:10					
	14:10	TARDE				
	15:00					
1	15:00			<i>Prácticas</i>	<i>Prácticas</i>	
	16:00					
2	16:00			<i>Prácticas</i>	<i>Prácticas</i>	
	17:00					
3	17:00			<i>Prácticas</i>	<i>Prácticas</i>	
	18:00					
4	18:00			<i>Prácticas</i>	<i>Prácticas</i>	
	19:00					

**Tabla 4.10:** Horario para el laboratorio de Motores a Pistón.

LABORATORIO DE MOTORES A PISTÓN						
MAÑANA						
	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
6	11:40	<i>Motores a Pistón</i>				<i>Motores a Pistón</i>
	12:30					
7	12:30	<i>Motores a Pistón</i>				<i>Motores a Pistón</i>
	13:20					
8	13:20	<i>Motores a Pistón</i>				<i>Motores a Pistón</i>
	14:10					
	14:10	TARDE				
	15:00					
1	15:00			<i>Prácticas</i>		
	16:00					
2	16:00			<i>Prácticas</i>		
	17:00					
3	17:00			<i>Prácticas</i>		
	18:00					

**Tabla 4.11:** Horario para el laboratorio de Hidráulica Básica

LABORATORIO DE HIDRÁULICA BÁSICA						
MAÑANA						
	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
1	7:00	<i>Acto Cívico</i>				<i>Prácticas</i>
	7:50					
2	7:50					<i>Prácticas</i>
	8:40					
	10:20	RECREO				
	10:50					
5	10:50	<i>Limpieza</i>				
	11:40					
6	11:40	<i>Limpieza</i>				
	12:30					
7	12:30	<i>Limpieza</i>			<i>Mantenimiento</i>	
	13:20					
8	13:20				<i>Mantenimiento</i>	
	14:10					

**Tabla 4.12:** Horario para el laboratorio de Sistemas del Avión.

LABORATORIO DE SISTEMAS DEL AVIÓN										
MAÑANA										
	Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes				
1	7:00	<i>Acto Cívico</i>			<i>Prácticas</i>					
	7:50									
2	7:50								<i>Prácticas</i>	
	8:40									
3	8:40				<i>Prácticas</i>	<i>Limpieza del Simulador</i>				
	9:30									
4	9:39					<i>Limpieza del Simulador</i>				
	10:20									
	10:20	RECREO								
	10:50									
5	10:50			<i>Controles de Vuelo</i>		<i>Limpieza del Simulador</i>				
	11:40									
6	11:40			<i>Controles de Vuelo</i>						
	12:30									
7	12:30			<i>Controles de Vuelo</i>						
	13:20									

#### 4.1.3.2. Requerimientos de caudal de herramientas neumáticas distribuidas por laboratorios

Cada laboratorio requiere determinadas herramientas neumáticas que se enlistan a continuación:

**Tabla 4.13:** Lista de herramientas del laboratorio de Mecánica Básica.

<b>Laboratorio de Mecánica Básica.</b>		
<b>No</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
1	Taladro Dessontter	5
2	Taladro Atlas Copco	15
3	Martillo Dessontter	4
4	Atornillador Atlas Copco	10
5	Taladro Dessontter	1
6	Remachadora Gesipa PMI	3
7	Sandblasting ITSA	1
No de Tomas	8	

**Tabla 4.14:** Lista de herramientas del laboratorio de Motores

<b>Laboratorio de Motores Jet.</b>		
<b>No</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
1	Taladro Dessontter	5
2	Taladro Atlas Copco	6
3	Martillo Dessontter	4
4	Atornillador Atlas Copco	6
5	Taladro Dessontter	1
6	Remachadora Gesipa PMI	3
7	Sandblasting ITSA	1
8	Taladro Dessontter	3
9	Pulverizador Peer	3

Para el laboratorio de Hidráulica Básica se necesitan 3 tomas de aire comprimido, dos para el sitio de trabajo y una toma para labores de limpieza en el pañol.

**Tabla 4.15:** Lista de herramientas del laboratorio de Hidráulica Básica

<b>Laboratorio de Hidráulica Básica.</b>		
<b>No</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
1	Taladro Dessontter	2
2	Taladro Atlas Copco	2
4	Atornillador Atlas Copco	4
No de Tomas	3	

**Tabla 4.16:** Lista de herramientas del laboratorio de Mecánica Básica

<b>Laboratorio de Sistemas del Avión.</b>		
<b>No</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
1	Taladro Dessontter	5
2	Taladro Atlas Copco	6
3	Martillo Dessontter	4
4	Atornillador Atlas Copco	6
No de Tomas	6	

Para el laboratorio de Hidráulica Básica se necesitan 3 tomas de aire comprimido, dos para el sitio de trabajo y una toma para labores de limpieza en el pañol.

**Tabla 4.17:** Lista de herramientas del laboratorio de Motores a pistón.

<b>Laboratorio de Motores a Pistón.</b>		
<b>No</b>	<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
1	Atornillador Atlas Copco	2
2	Pulverizador Peer	2
No de Tomas	3	

Cabe mencionar que dichos requerimientos no podrán ser cubiertos todo el tiempo, primero por el número de tomas disponibles por laboratorio por decir un caso para el laboratorio de motores jet se requieren 15 taladros y solo están previstas implementar 6 tomas es decir que en el mejor de los casos solo van ser usados seis taladros a la vez y segundo por que va existir horarios en los cuales se trabaje en hasta tres laboratorios a la vez por lo que la situación se vuelve aún más crítica inclusive también por el número de herramientas disponibles en el pañol.

Adicional a los requerimientos de las prácticas diarias académicas previstas a realizarse en los laboratorios del bloque 42, se dispuso como norma que a diario se dedique una hora destinada a mantenimiento de la infraestructura para lo cual se va requerir el uso de las siguientes herramientas.

**Tabla 4.18:** Lista de herramientas para el mantenimiento de la infraestructura

HERRAMIENTAS	CANTIDAD
DE HERRAMIENTAS	
Taladro Dessontter	1
Martillo Dessontter	1
Atornillador Atlas Copco	1
Remachadora Gesipa PMI	1
Pulverizador Peer	1

Los factores de simultaneidad y grados de uso para las dichas herramientas se muestran a continuación:

**Tabla 4.19** Factor de simultaneidad y grado de uso de las herramientas de mantenimiento

HERRAMIENTAS	FACTOR DE	GRADO
	SIMULTANEIDAD	DE USO
Taladro Dessontter	0.05	1
Martillo Dessontter	0,05	1
Atornillador Atlas Copco	0,05	1
Remachadora Gesipa PMI	0,016	1
Pulverizador Peer	0,1	1

El consumo promedio que se prevee usar para el mantenimiento de la infraestructura es el siguiente:

**Tabla 4.20** Necesidad de aire en CFM de las herramientas de mantenimiento

HERRAMIENTAS	NECESIDAD DE AIRE L/s	NECESIDAD DE AIRE CFM
Taladro Dessontter	0,25	0,53
Martillo Dessontter	0,3	0,64
Atornillador Atlas Copco	0,3	0,64
Remachadora Gesipa PMI	0,128	0,27
Pulverizador Peer	0,60	1,27
<b>Total</b>	<b>1,58</b>	<b>3,34</b>

#### 4.1.3.3. Determinación del Factor de Simultaneidad para los requerimientos y características de los Laboratorios

Los factores de grado de utilización indicados en las tablas anteriormente vistas no se adaptan a la realidad de cada uno de los laboratorios en este sentido se ha propuesto deducir el grado de utilización para cada herramienta según sea su uso para cada horario y para cada laboratorio, por otra parte el factor de simultaneidad que

depende exclusivamente del número de herramientas no se lo ha alterado.

A continuación se muestran los valores de grado de utilización ajustados a la realidad de trabajo de los laboratorios del bloque 42 del ITSA:

<b>LUNES</b>					
<b>Horario</b>	<b>Lab.</b>	<b>Herr.</b>	<b>Cant.</b>	<b>G.U.</b>	<b>Justificación</b>
<b><u>07:00 – 10:20</u></b>	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min. Se usará 1 min. Rara vez se tendrá que perforar un motor jet.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min. Se usará 1 min. Rara vez se usará un martillo en el lab. de motores jet
		Atornillador	6	<b>0,16</b>	En 60 min. Se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min. Se usará 1 min. Rara vez se usará en el lab. de motores jet
		Pulverizador	3	<b>0,16</b>	Labores de limpieza.
<b><u>10:50 – 11:40</u></b>	<b>Lab. de Hidr. Disponibles 3 tomas.</b>	Pulverizador	3	<b>0,16</b>	En 60min se usará el pulverizador 10 min. Para labores de limpieza.
<b><u>11:40 – 13:20</u></b>	<b>Lab. de Mec. Básica Disponibles 8 tomas</b>	Taladros	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Martillos	4	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min. Se prevé un mayor uso de martillos tradicionales.
		Atornillador	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Remachadora	3	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
	<b>Lab. de Hidr. Disponibles 3 tomas</b>	Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min. Para labores de limpieza.
	<b>Lab. de Mot. Pistón Disponibles 3 tomas</b>	Atornillador	2	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
<b><u>13:20 – 12:10</u></b>	<b>Lab. de Mec. Básica Disponibles 8 tomas</b>	Taladros	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Martillos	4	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	8	<b>0,01</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Remachadora	3	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.

Horario	Lab.	Herr.	Cant.	G.U.	Justificación
<b><u>13:20 – 12:10</u></b>	<b>Lab. de Mot. Pistón Disponibles 3 tomas</b>	Atornillador	2	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 3 min.
	<b>Mantto. Infraestruc.</b>	Taladros	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Martillo	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min. Para labores de limpieza.		
<b>MARTES</b>					
<b><u>07:00 – 09:30</u></b>	<b>Lab. de Mec. Básica Disponibles 8 tomas</b>	Taladros	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Martillos	4	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Remachadora	3	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
<b><u>10:50 – 12:10</u></b>	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Atornillador	6	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	3	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
<b><u>18:00 – 19:00</u></b>	<b>Mantto. Infraestruc.</b>	Taladros	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Martillo	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min. Para labores de limpieza.

**MIÉRCOLES**

<b>Horario</b>	<b>Lab.</b>	<b>Herr.</b>	<b>Cant.</b>	<b>G.U.</b>	<b>Justificación</b>
<b><u>10:50 – 13:20</u></b>	<b>Lab de Controles de Vuelo</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min. Rara vez tendrá que perforarse en el simulador.
		Martillos	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min. Rara vez se usará el martillo en el simulador
		Atornillador	6	<b>0,25</b>	En 60 min se usará 15 min. Usado para ajustar y desajustar partes.
<b><u>13:20 – 14:10</u></b>	<b>Mantto. Infraestruc.</b>	Taladros	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Martillo	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min. Para labores de limpieza.
<b><u>15:00 – 18:00</u></b>	<b>Lab. de Mec. Básica Disponibles 8 tomas</b>	Taladros	8	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Martillos	3	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	4	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	3	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Atornillador	5	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
	<b>Lab. de Mot. Pistón Disponibles 3 tomas</b>	Pulverizador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Atornillador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Pulverizador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
<b><u>15:00 – 18:00</u></b>	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Atornillador	6	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.

<b>JUEVES</b>					
<b>Horario</b>	<b>Lab.</b>	<b>Herr.</b>	<b>Cant.</b>	<b>G.U.</b>	<b>Justificación</b>
<b><u>07:00 – 09:30</u></b>	<b>Sistemas del Avión. 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Atornillador	6	<b>0,25</b>	En 60 min se usará 15 min.
<b><u>10:50 – 11:40</u></b>	<b>Mantto. Infraestruc.</b>	Taladros	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Martillo	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
<b><u>12:30 – 14:10</u></b>	<b>Mant. hidr. Disp.3 tomas</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Atornillador	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
<b><u>15:00 – 18:00</u></b>	<b>Lab. de Mec. Básica Disponibles 8 tomas</b>	Taladros	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Martillos	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Remachadora	1	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Pulverizador	1	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Atornillador	5	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Pulverizador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
<b><u>18:00 – 19:00</u></b>	<b>Lab. de Mot. Jet. Disponibles 6 tomas.</b>	Taladros	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Martillo	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.
		Atornillador	6	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
		Remachadora	1	<b>0,016</b>	En 60 min se usará 1 min.

		Pulverizador	1	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
<b>VIERNES</b>					
<b>Horario</b>	<b>Lab.</b>	<b>Herr.</b>	<b>Cant.</b>	<b>G.U.</b>	<b>Justificación</b>
<b><u>07:00 – 08:40</u></b>	<b>Hidr. Bas. Disp. 3 tomas</b>	Taladros	2	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
		Atornillador	3	<b>0,05</b>	En 60 min se usará 3 min.
<b><u>08:40 – 11:40</u></b>	<b>Limpieza del Simulador. 6 tomas.</b>	Atornillador	3	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Pulverizador	3	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.
<b><u>08:40 – 11:40</u></b>	<b>Lab. Mot. Pistón. 3 tomas.</b>	Atornillador	2	<b>0,1</b>	En 60 min se usará 6 min.
		Pulverizador	2	<b>0,16</b>	En 60 min se usará 10 min.

TABLA 4.21 Factor de Simultaneidad Adaptados a la Realidad de Los Laboratorios.

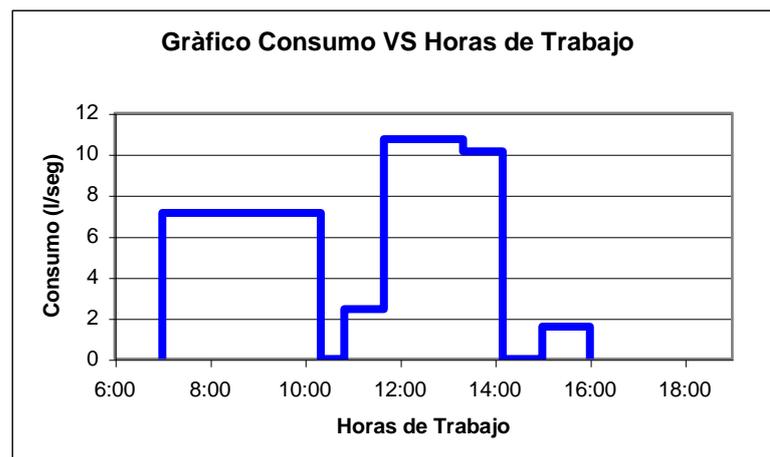
## Cálculo del caudal por días

### Día Lunes

**Tabla 4.22:** Consumo de caudal por horarios día lunes

CONSUMOS POR HORARIOS			
HORARIOS		l/ seg	CFM
7:00	10:20	7,13	15,10
10:20	10:50	0,00	0,00
10:50	11:40	2,45	5,19
11:40	13:20	10,74	22,75
13:20	14:10	10,14	21,47
14:10	15:00	0,00	0,00
15:00	16:00	1,58	3,34

**Fig. 4.2:** Flujograma de caudal día lunes

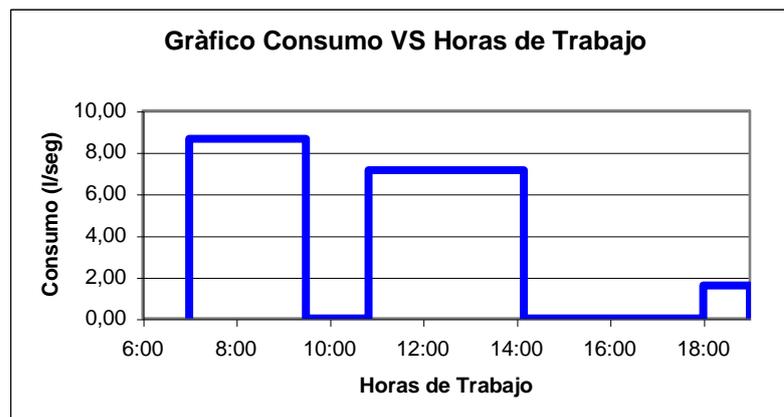


## Día Martes:

**Tabla 4.23:** Consumo de caudal por horarios día martes.

CONSUMOS POR HORARIOS			
HORARIOS		l/ seg	CFM
7:00	9:30	8,64	18,30
9:30	10:50	0,00	0,00
10:50	14:10	7,13	15,10
14:10	15:00	0,00	0,00
15:00	18:00	0,00	0,00
18:00	19:00	1,58	3,34

**Fig 4.3:** Flujograma de caudal día martes.

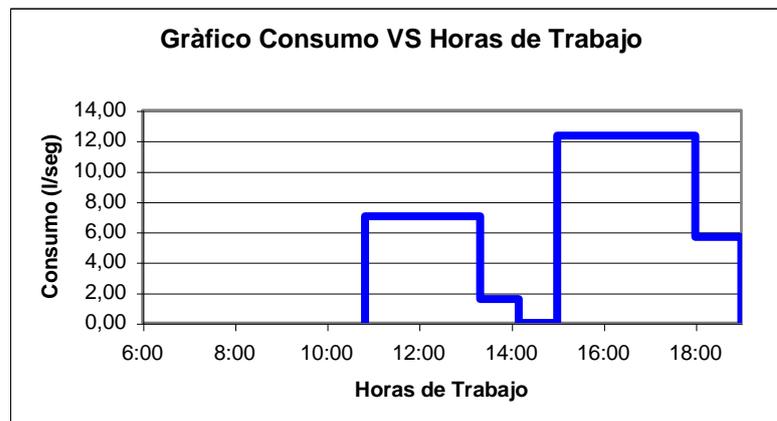


## Día Miércoles:

**Tabla 4.24:** Consumo de caudal por horarios día miércoles.

CONSUMOS POR HORARIOS			
HORARIOS		l/ seg	CFM
10:50	13:20	7,02	14,86
13:20	14:10	1,58	3,34
14:10	15:00	0,00	0,00
15:00	18:00	12,34	26,14
18:00	19:00	5,64	11,95

**Fig 4.4:** Flujograma de caudal día miércoles.

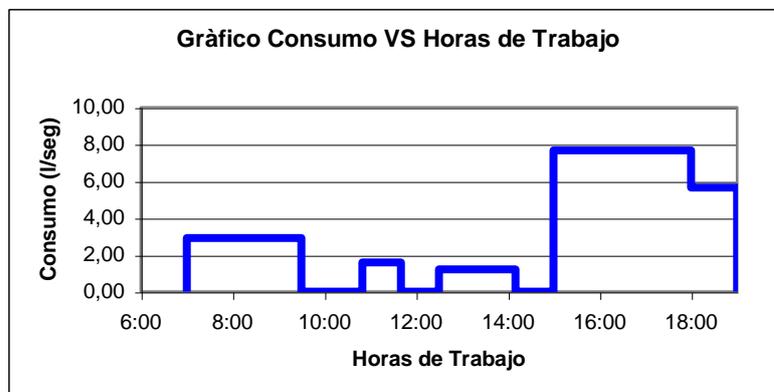


## Día Jueves:

**Tabla 4.25:** Consumo de caudal por horarios día jueves.

HORARIOS		l/seg	CFM
7:00	9:30	2,91	6,17
9:30	10:50	0,00	0,00
10:50	11:40	1,58	3,34
11:40	12:30	0,00	0,00
12:30	14:10	1,22	2,58
14:10	15:00	0,00	0,00
15:00	18:00	7,67	16,24
18:00	19:00	5,64	11,95

**Fig 4.5:** Flujo grama de caudal día jueves

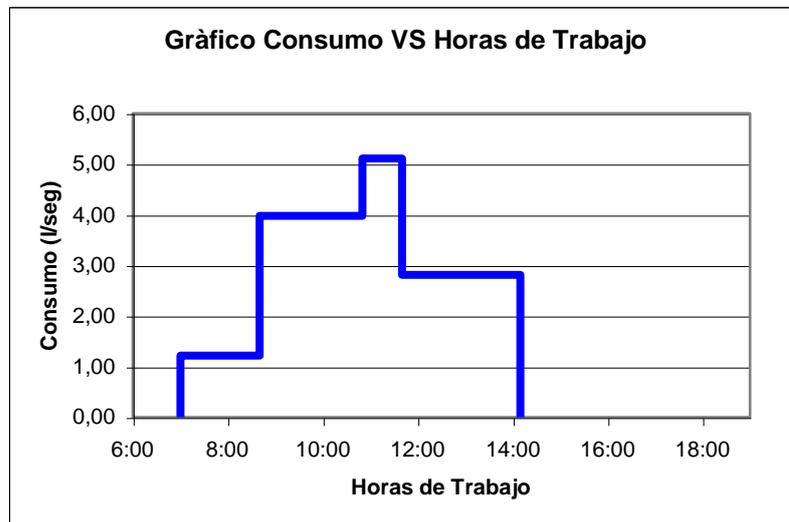


**Día Viernes:**

**Tabla 4.26:** Consumo de caudal por horarios día viernes.

CONSUMOS POR HORARIOS			
HORARIOS		l/ seg	CFM
7:00	8:40	1,22	2,57
8:40	10:20	3,98	8,43
10:20	10:50	0,00	0,00
10:50	11:40	5,11	10,82
11:40	14:10	2,81	5,95

**Fig 4.6:** Flujograma de caudal día viernes.



A continuación se muestran los consumos pico de cada día.

**Tabla 4.27:** Consumos máximos de caudal

	(l/seg)	CFM
<b>LUNES</b>	10,74	22,75
<b>MARTES</b>	8,64	18,30
<b>MIÉRCOLES</b>	<b>12,34</b>	<b>26,14</b>
<b>JUEVES</b>	7,67	16,24
<b>VIERNES</b>	5,11	10,82

El mayor consumo se registra el día miércoles con un valor de 12.34 l/seg, que traducido a CFM arroja un valor de 26,14 pies cúbicos por minuto, en base a este valor se procederá realizar las correcciones respectivas para el caudal.

**Tabla 4.28:** Porcentaje y caudal corregido del mayor consumo de los laboratorios ITSA

	<b>Caudal (CFM)</b>
<b>Mayor consumo registrado</b>	<b>26,14</b>
<b>Desgaste de las herramientas (5% del mayor consumo)</b>	<b>1,31</b>
<b>Fugas (10% del mayor consumo )</b>	<b>2,62</b>
<b>Expansión (30% del mayor consumo)</b>	<b>7,84</b>
<b>Corrección por factores ambientales (30% del mayor consumo)</b>	<b>7,84</b>
<b>TOTAL</b>	<b>45,75</b>

El valor calculado del caudal responde a 45,75 ACFM.

## **4.2. SELECCIÓN DEL COMPRESOR Y ACUMULADOR**

Para la selección del compresor y acumulador se deberá tener el dato de la presión que requieren las herramientas de trabajo, como también del caudal que el sistema requiere para alimentar de una forma eficiente a todos los equipos pertinentes.

La presión a la que trabajan todas las herramientas corresponde a un valor de 6 bares, al tener este valor junto con el dato de caudal de 45.75 ACFM se escoge el compresor más adecuado dentro del mercado local.

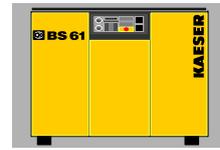
Cabe señalar que en la práctica no se va a encontrar un compresor exactamente de 45.75 ACFM y 7 bares, se lo debe aproximar al más cercano que se pueda ajustar a los requerimientos mencionados.

### **4.2.1. Selección del Compresor**

A continuación se expone una comparación entre los compresores de pistón y los de tornillo.



- Menor eficiencia
- Menor vida útil
- Menor Calidad de Aire
- Alto desgaste de partes
- Operación a altas temperaturas
- Aplicaciones pequeñas
- Elevados costos de mantenimiento
- Alto consumo de energía
- Menor costo inicial



- Mayor eficiencia
- Mayor vida útil
- Mejor Calidad de Aire
- Desgaste mínimo de partes
- Operación a temperaturas moderadas
- Todo tipo de aplicaciones
- Mantenimiento Mínimo
- Bajo consumo de energía
- Mayor costo inicial

Luego de haber realizado esta comparación, en donde los compresores trabajan las 24 horas en una industria, la mejor opción es un compresor de tornillo. Pero tomando en cuenta que el compresor se lo va a utilizar en un laboratorio de un centro de estudios de lunes a viernes y con uso no mayor a las 8 horas diarias, y en forma no continua, se escoge el compresor de pistón por las siguientes razones:

- Sus aplicaciones son reducidas.
- El compresor pasará inactivo cuando menos el 65% del tiempo, ya que su uso es pedagógico.
- El presupuesto asignado para este proyecto, es insuficiente para adquirir un compresor de tornillo.
- Las autoridades que financian el proyecto a pesar de las recomendaciones para la compra de un compresor de tornillo, han

mostrado su negativa debido a la falta de recursos económicos y de asignación para este proyecto.

Después de haber realizado un estudio de mercado, y comparado precios, facilidades de adquisición de repuestos, garantías, y por encima de todo, el presupuesto económico disponible. Para cubrir la necesidad de aire de 45.75 scfm, y la presión de 7 bares (101.5 psi.) en las herramientas se escogió:

El compresor de aire CABBELL HAUSFELD de 15 HP, motor trifásico 220/460V. Presión Max 175psi, tanque horizontal con capacidad de 120Gls. Cabezal de 4 cilindros y 2 etapas, entrega de aire 54.40 scfm a 90psi y 51 scfm a 175 psi.

**Tabla 4.29** : Especificaciones y performance del compresor CABBELL HAUSFELD C115K000P

Especificaciones				
Diametro interno y Carrera del Cilindro	Desplazamiento por Carrera		Número de Cilindros	
4 3/4 Pulg. X 3 Pulg. (2 LP) 2 1/2 Pulg. X 3 Pulg. (2 HP)	0,0616 cu - ft,		4	

Capacidad de Aceite	Tipo de Aceite	Peso (lbs.)	Presión máxima (PSI)
4 Qt.	ISO 100 (SAE 30)	270	175 PSI.

Performance				
Presión de Descarga.	Potencia del Motor. HP		Desplazamiento CFM	
4 3/4 Pulg. X 3 Pulg. (2 LP) 2 1/2 Pulg. X 3 Pulg. (2 HP)	15		62.8	

**Tabla 4.29 :** Especificaciones y performance del compresor CAMBELL HAUSFELD C115K000P  
(Continuación)

Entrega CFM	RPM
51,0	1020

#### **4.2.2. Lugar de emplazamiento**

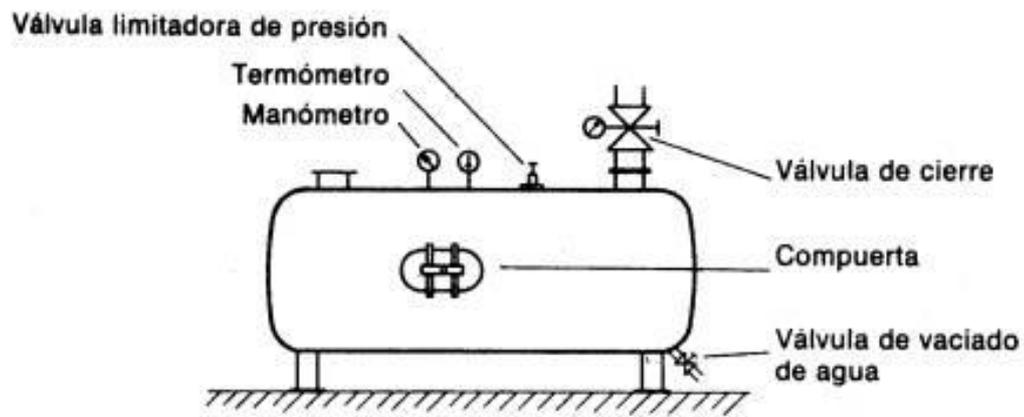
La estación de compresión debe situarse en un local cerrado e insonorizado. El recinto debe estar bien ventilado y el aire aspirado debe ser lo más fresco, limpio de polvo y seco posible, así mismo por razones funcionales de diseño, y por razones de economía debe situarse lo más cerca posible al sistema propiamente dicho de aire comprimido.

En vista de que ningún lugar aledaño a los laboratorios se acopla a estas características, fue necesaria la construcción de un sitio ubicado en la parte posterior de los laboratorios destinado exclusivamente a albergar al equipo compresor.

#### **4.2.3. Acumulador de aire comprimido**

El acumulador o depósito sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido. Gracias a la gran superficie del acumulador, el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua.

Figura 4.7: Acumulador de aire



El tamaño de un acumulador de aire comprimido depende:

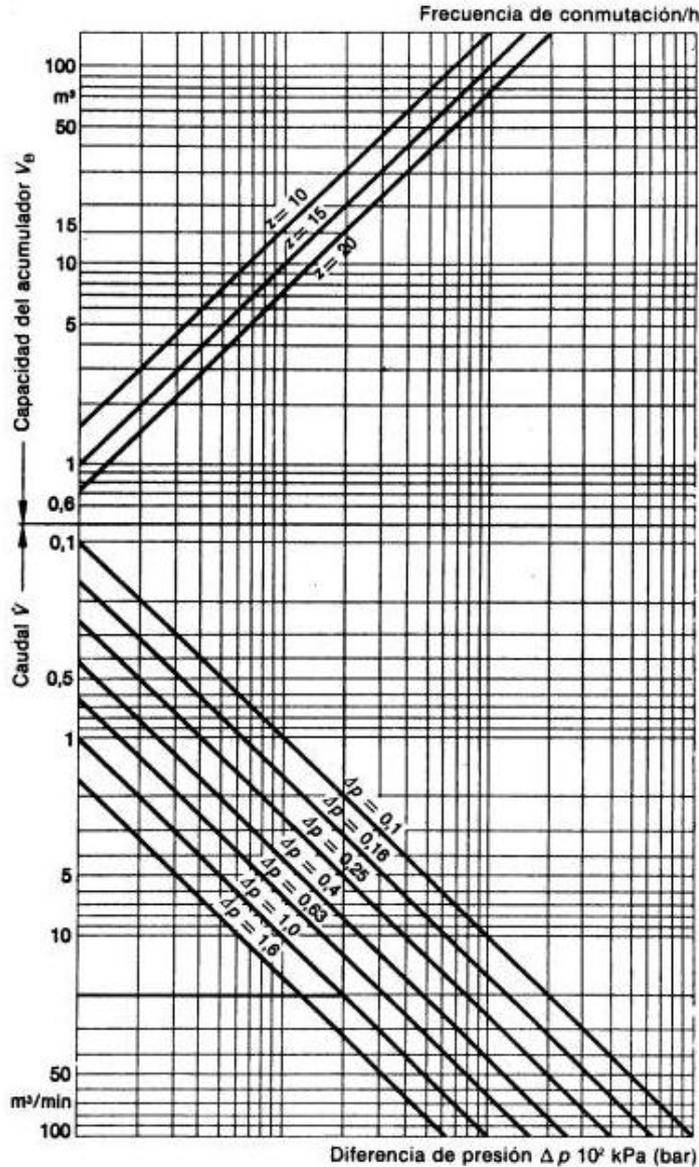
- Del caudal de suministro del compresor.
- Del consumo de aire.
- De la red de tuberías.
- Del tipo de regulación.
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red.
- Determinación del acumulador cuando el compresor funciona Intermitentemente.

El tamaño de un acumulador se determina según el diagrama de la figura 4.8

Ejemplo de cálculo:

Caudal:	$\dot{V} = 1.3m^3 / \text{min}$
Frecuencia de conmutación.	$Z = 20$
Diferencia de presión.	$\Delta p = 100 \text{ Kpa (1 bar)}$
Capacidad del acumulador.	$V_B = ?$
<b>Resultado:</b>	
Capacidad del acumulador.	$V_B = 1.1 \text{ m}^3$

Figura 4.8: Cálculo de la capacidad del acumulador.



Fuente:www.monografias.com

### 4.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE TUBERÍAS

Cada máquina y mecanismo necesita una determinada cantidad de aire, siendo abastecido por un compresor, a través de una red de tuberías.

En la planificación de instalaciones nuevas debe preverse una futura ampliación de la demanda de aire, por cuyo motivo deberán dimensionarse generosamente las tuberías

El diámetro de las tuberías no debería elegirse conforme a otros tubos existentes ni de acuerdo con cualquier regla empírica, sino en conformidad con:

- El caudal.
- La longitud de las tuberías.
- La pérdida de presión (admisible).
- La presión de servicio.
- La cantidad de estrangulamientos en la red.

En el mercado Ecuatoriano existe una gran variedad de tubería para instalaciones de redes de aire comprimido, para escoger la mejor opción de tubería de la gran variedad que el mercado brinda, es menester señalar el uso que se le va a dar al aire.

Las tuberías más comunes a utilizar son las de acero y hierro galvanizado como por ejemplo la ISO 65 Light 2, la ASTM 120, ASTM-A53-GrB, entre otras de este tipo. En los hospitales, en las industrias de alimentos, industrias químicas y farmacéuticas, se recomienda tubería de acero inoxidable, de cobre, aleaciones de aluminio como la transair que resiste una presión máxima de 232 psi o las especiales de polímero.

La tubería de PVC no es recomendable para instalaciones neumáticas, debido a su baja resistencia a las presiones y a las reacciones que este material puede tener con los químicos que van mezclados junto con el aire comprimido.

La mayoría de herramientas y equipos neumáticos están diseñados para trabajar con mayor rendimiento a una presión de 6 bares o 90 Psi. Es debido a esto que en un compresor con una presión de salida de 7 bares se recomienda no tener una caída de presión mayor a 1 bar.

Lográndose con esto una presión efectiva en la herramienta de 6 bar, cabe mencionar que estas caídas de presión en un sistema se consideran como máximas debiendo ser menores en lo posible.

Otra recomendación antes de empezar el cálculo, es que las tuberías del sistema deben ir al techo o en la parte alta sobre la pared, nunca al piso y mucho menos ocultas, ya que estas deben de tener facilidad para drenar los condensados, así como facilidad para dar un correcto mantenimiento a las mismas.

Antes de poder determinar las dimensiones de las de las tuberías es necesario definir el trazado de las líneas principales, de distribución y de servicio, con todos sus accesorios tomando en cuenta una inclinación del 2% en las líneas.

Para el dimensionamiento de la tubería, existen diferentes métodos, tomados de textos especializados en sistemas de aire comprimido. Los mismos que se emplean para los cálculos.

### **Método I\***

Para determinar el diámetro de la línea principal, se toma el punto más alejado del compresor y se determina la longitud de tubería equivalente. La longitud equivalente de los accesorios se determina a partir de la tabla del Anexo B6 sin embargo para ello es necesario conocer el diámetro interno de la tubería.

Para salvar este inconveniente se debe asumir un valor del diámetro interno y continuar con los cálculos, al final se verifica que tan buena fue la suposición hecha, y se hacen las correcciones pertinentes.

Con los datos de presión de salida del compresor, caudal de aire libre, longitud equivalente de la tubería y el diámetro asumido de la tubería. Del diagrama del Anexo B3 se obtiene la caída de presión en la red, si esta es mucho menor de

---

\* Tomado del Manual de Aire comprimido, guía de instalación de Atlas Copco Pag 168.

0.07bar se escogerá para el siguiente cálculo una tubería de menor diámetro. Y si la caída es mayor se escogerá una tubería de mayor diámetro.

Sin embargo, se debe considerar que al modificar el diámetro interno de la tubería, se modificara también las longitudes equivalentes de los accesorios.

### **Método II<sup>3</sup>**

El diámetro adecuado de la tubería será aquel que posibilite las condiciones de trabajo más aceptables del aire comprimido en lo que tiene que ver con: que el flujo sea subsónico, que su velocidad del flujo se mantenga en niveles correctos, y que los niveles de pérdidas de presión se mantenga igualmente en niveles admisibles.

Mientras mayor sea el diámetro de la tubería, se mejora logarítmicamente las condiciones de trabajo del aire comprimido pero el costo y el peso de las tuberías igualmente aumenta considerablemente.

Por estas razones el dimensionamiento de las tuberías debe merecer la atención y análisis necesario para llegar a dimensiones óptimas.

Para el cálculo del diámetro de la tubería ( D ) se recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0.007 * Q^{1.85} * L}{P_{PERDIDAS} * P^* * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

---

<sup>3</sup> 1 Aguinaga Álvaro, Compresores y Redes de Aire Comprimido, Escuela Politécnica Nacional, Pág.67

$P_{\text{Pérdidas}}$ : Pérdidas de presión en bar.

$P^*$ : Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Generalmente se acepta que el diámetro de la tubería  $D$  sea tal que las pérdidas de presión en la red sean menores al 10%, con lo cual la ecuación de cálculo del diámetro es:

$$D \geq \left( \frac{0.07 * Q^{1.85} * L}{(P^*)^2 * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde

$D$ : Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

$Q$ : Caudal en  $\text{m}^3/\text{min}$ .

$L$ : Longitud de la tubería en m.

$P^*$ : Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Para cuando el diámetro resultante de aplicar la fórmula anterior sea  $D \leq 1''$ , se debe recalcular el diámetro utilizando la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0.07 * Q^{1.85} * L}{(P^*)^2 * \Delta P} \right)^{1/3.5}$$

Donde

$D$ : Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

$Q$ : Caudal en  $\text{m}^3/\text{min}$ .

$L$ : Longitud de la tubería en m.

$P^*$ : Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

#### **4.3.1. Dimensionamiento de la línea principal**

No solamente importa el dimensionado correcto de las tuberías, sino también el tendido de las mismas.

Las tuberías requieren un mantenimiento y vigilancia regulares, por cuyo motivo no deben instalarse dentro de obras ni en emplazamientos demasiado estrechos. En estos casos, la detección de posibles fugas se hace difícil, pequeñas faltas de estanqueidad ocasionan considerables pérdidas de presión.

La línea principal (Anexo A12) va desde el compresor hasta el comienzo de la línea de distribución que empieza en el bloque 42.

Para los cálculos se emplearán los 2 métodos citados anteriormente, así como los diferentes criterios de diseño y sugerencias encontradas en la bibliografía estudiada.

##### **Método I**

**Paso1.-** Se determina la línea crítica. La cual va desde el compresor hasta el anillo de la línea de distribución, y recorre una longitud de 5 m. (Ver Anexo A12).

ACCESORIOS	NÚMERO	DIAMETROS DE TUBERIA EN PULGADAS		
		1"Ø	1½"Ø	2"Ø
Reducción	1	0,5	0,7	1
Codo 90	1	1,5	2,4	3
Trampa de Condensado	1	4	6	7
T	1	1,5	2,4	3
Válvula de Esfera	1	0,3	0,5	0,6
Curva de 90	2	0,6	1	1,2
<b>TOTAL LONGITUD EQUIVALENTE :</b>		<b>8,4</b>	<b>13</b>	<b>15,8</b>

**Tabla 4.30:** Accesorios y longitud equivalente con varios diámetros.

**Paso2.-** Se procede a determinar la longitud equivalente. La longitud equivalente de los accesorios se determina a partir de la tabla 4.26

**Paso3.-** Con los datos de la línea crítica, junto con la longitud equivalente, más el caudal y la presión a la salida del compresor, se procede a calcular las pérdidas del sistema, asumiendo el diámetro de la tubería en el diagrama del Anexo B3.

Caudal = 46 cfms = 21.7 lt/s

Longitud de la tubería = 8.4 m + 5 m = 13.4 m

Presión = 7 bar

Diámetro = 1"Ø

**Tabla 4.31:** Pérdidas de acuerdo al diámetro de la tubería.

Diámetro de la tubería.	1"Ø	1½"Ø	2"Ø
Pérdidas tomadas del diagrama del Anexo B3.	0.017	0.0051	0.0012

**Paso4.-** Se procede a analizar si el diámetro escogido arroja valores de pérdidas de presión permisibles, de no ser así, se escoge otro diámetro y se repite el paso número 3.

En este cálculo los tres diámetros de tubería están por debajo de los parámetros de caídas de presión, pero se debe recordar que este tramo es el de la tubería principal y es el que se conecta tanto con la línea de distribución principal, como con la expansión de la red que se prevé a futuro.

Se puede escoger sin ningún problema la tubería de 1½"Ø como tubería principal, pero para el presente diseño el diámetro de tubería a seleccionar es de 2"Ø, a pesar de que las pérdidas que esta da son insignificantes. Se escoge esta tubería para este tramo debido a que no se necesita más que un tubo de 6 metros, por lo que no se excede en los costos, y tomando en cuenta que esta tubería es la que va alimentar al sistema cerrado del bloque 42, así como a un sistema abierto planteado que ira atrás de este bloque y dará energía neumática a unas hangaretas que se prevé construir a futuro.

## Método II

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0.07 * Q^{1.85} * L}{(P^*)^2 * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

$P^*$  : Presión de salida del compresor en bar.

$\Delta P$ : Diferencia de presión admisible en bar.

Se reemplaza valores:

D: ?

Q: 1.3 m<sup>3</sup>/min.

L: 18 m = (longitud equivalente + línea crítica).

$P^*$  : 7 bar.

$\Delta P$ : 0.0056 bar.

$$D \geq \left( \frac{0.07 * 1.3^{1.85} * 18}{0.0056 * 7^2} \right)^{1/5}$$

$$D \geq 1.49 \cong 1.5 \text{ pulgadas}$$

Se reemplaza valores:

D: ?

Q: 1.3 m<sup>3</sup>/min.

L: 21 m = (longitud equivalente + línea crítica).

$P^*$  : 7 bar.

$\Delta P$ : 0.00155 bar.

$$D \geq \left( \frac{0.07 * 1.3^{1.85} * 21}{0.00155 * 7^2} \right)^{1/5}$$

$$D \geq 1.99 \cong 2 \text{ pulgadas}$$

Como se aprecia, para obtener el mismo diámetro calculado por el método anterior, se aumento el valor de las pérdidas de presión, pero en una forma

ínfima. Por lo que se puede decir que los dos métodos arrojan los mismos resultados.

#### 4.3.2. Dimensionamiento de la línea de distribución

La línea de distribución (Anexo A12) abarca todo el bloque 42. Al igual que con la línea principal se usará de la misma manera los 2 métodos citados anteriormente. El caudal que se usará para el cálculo será el mismo de la línea principal, pues sería un error el dividir el caudal en dos al ingresar este a la línea de distribución.

##### Método I

**Paso1.-** Se determina la línea crítica. Esta línea tiene una dimensión de 56.33 metros y recorre la distancia más larga que abarca el mayor número de tomas y de accesorios en el sistema. Ver (Anexo A10).

**Paso2.-** Se procede a determinar la longitud equivalente. La longitud equivalente de los accesorios se determina a partir de la tabla 4.28.

**Tabla 4.32:** Accesorios y longitud equivalente con varios diámetros.

ACCESORIOS	NUMER O	DIAMETROS DE TUBERIA EN PULGADAS		
		1"Ø	1½"Ø	2"Ø
Reducción	1	0,5	0,7	1
Codo 90	3	4,5	7,2	9
Trampa de Condensado	1	4	6	7
T	6	9	14,4	18
Válvula de Esfera	2	0,6	1	1,2
Líneas de distribución	9	22,5	36	45
<b>Total Longitud Equivalente :</b>		<b>41,1</b>	<b>65,3</b>	<b>81,2</b>

**Paso3.-** Con los datos de la línea crítica, junto con la longitud equivalente, más el caudal y la presión a la salida del compresor, se procede a calcular las pérdidas del presente sistema, asumiendo el diámetro de la tubería en el diagrama del Anexo B4.

Caudal = 46 cfms = 21,7 lt/s

Longitud de la tubería = 65,3 m + 56,33 m = 106,4 m

Presión = 7 bar

Diámetro = 1½" Ø

**Tabla 4.33:** Pérdidas de acuerdo al diámetro de la tubería

<b>Diámetro de la tubería.</b>	<b>1"Ø</b>	<b>1½"Ø</b>	<b>2"Ø</b>
Perdidas tomadas del diagrama del diagrama del Anexo B4	0.1	0.017	0.004

**Paso4.-** Se procede analizar si el diámetro arroja pérdidas de presión permisibles, de no ser así, se escoge otro diámetro y se repite el paso número 3.

En este cálculo las pérdidas de la tubería de 1"Ø son de 0.1 > 0.07 que es el máximo valor permitido en la suma de las pérdidas de la línea principal más la línea de distribución. Por lo que se escoge la tubería de 1½"Ø, cuya pérdida es 0.017 < 0.07, que es lo permitido.

La tubería de 2"Ø da unas pérdidas menores, pero su costo es mayor, tanto de la tubería, accesorios, así como la mano de obra a emplearse, por lo que se mantiene con la tubería de 1½"Ø.

## **Método II**

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0.07 * Q^{1.85} * L}{(P^*)^2 * \Delta P} \right)^{1/5}$$

Donde

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

P\* : Presión de salida del compresor en bar.

ΔP: Diferencia de presión admisible en bar.

Reemplazando valores:

D: ?

Q: 1.3 m<sup>3</sup>/min.

L: 121 m = (longitud equivalente + línea crítica).

P\* : 7 bar.

ΔP: 0.037 bar.

$$D \geq \left( \frac{0.07 * 1.3^{1.85} * 121}{0.037 * 7^2} \right)^{1/5}$$

$$D = 1.5 \text{ pulgadas}$$

La suma de la línea principal más la línea de distribución da una caída de presión de 0.038, menor a 0.07, por lo que se afirma que los diámetros son adecuados.

#### 4.3.3 Dimensionamiento de la línea de servicio

Las tuberías de servicio, o bajantes, son las que alimentan a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación.

Llevar los acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire, así como los grupos filtro-regulador-engrasador

Se requiere dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas, procurando no colocar más de dos o tres acoplamientos rápidos en cada una de ellas. Y evitar poner tuberías de servicio inferiores a 1/2" Ø, ya que si el aire está sucio puede cegarlas.

La velocidad máxima del aire es de 15 m/segundo. Las tuberías demasiado pequeñas causan altas velocidades de circulación de aire, haciendo difícil la separación por métodos mecánicos de las partículas contaminantes en suspensión.

### Método I

**Paso1.-** Se determina la longitud de la bajante, en este caso es de 2.5 m. ver (Ver Anexo A12)

**Paso2.-** Se procede a determinar la longitud equivalente. La longitud equivalente de los accesorios se determina a partir de la tabla 4.30.

**Tabla 4.34:** Accesorios y longitud equivalente con varios diámetros.

		PARA 1/2"
ACCESORIO	NÚMERO	Ø
Reducción	1	1.3
T	2	1.6
<b>Total Longitud Equivalente :</b>		<b>2.9</b>

**Paso3.-** Con los datos de la línea crítica, junto con la longitud equivalente, más el caudal y la presión a la salida del compresor, se procede a calcular las pérdidas del sistema, asumiendo el diámetro de la tubería en el diagrama del Anexo B5.

Caudal = 17 cfms = 8 lt/s

Longitud de la tubería = 2.5 m + 2.9 m = 5.4 m

Presión = 7 bar

Diámetro = **1/2" Ø**

**Tabla 4.35:** Perdidas de acuerdo al diámetro de la tubería

<b>Diámetro de la tubería.</b>	<b>1/2"Ø</b>
Perdidas tomadas del diagrama del Anexo B5 en bares.	0.03

**Paso4.-** Se procede analizar si el diámetro escogido da pérdidas de presión permitidas, de no ser así, se escoge otro diámetro y se repite el paso3.

Las pérdidas que produce este diámetro de tubería, no excede lo permitido en el diseño de esta línea. Por lo que el sistema esta dentro de los parámetros de diseño.

## **Método II**

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$D \geq \left( \frac{0.07 * Q^{1.85} * L}{(P^*)^2 * \Delta P} \right)^{1/3.5}$$

Donde

D: Diámetro mínimo de la tubería en pulgadas.

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/min.

L: Longitud de la tubería en m.

P\*: Presión de salida del compresor en bar.

ΔP: Diferencia de presión admisible en bar.

Reemplazando valores:

D: ?

Q: 0.479 m<sup>3</sup>/min.

L: 5.4 m = (longitud equivalente + línea crítica).

P\*: 7 bar.

ΔP: 0.023 bar.

$$D \geq \left( \frac{0.07 * 0.479^{1.85} * 5.4}{0.023 * 7^2} \right)^{1/3.5}$$

$$D = 0.49 \cong 0.5 \text{ pulgadas}$$

#### 4.3.4 Restricciones funcionales

Considerando en la siguiente tabla en la que se argumenta la restricción del número de líneas de servicio en base al diámetro de la tubería de distribución.

Tabla 4.36: Tabla de Ramificaciones.

Línea Principal Diámetro Interno.		Número de Ramificaciones Diámetro Interior								
		mm.								
Pulg.	mm.	3	6	10	13	19	25	38	51	76
½	13	20	4	2	1					
¾	19	40	10	4	2	1				
1	25		18	6	4	2	1			
1 ½	38			16	8	4	2	1		
2	51				16	8	4	2	1	
3	76					16	8	4	2	1

Fuente: Manual de Aire Comprimido Edición Especial No 5 de 1986 Pag. 10

Aplicando esta tabla al presente diseño se observa que se encuentra por encima del lo estipulado como admisible, ya que al tener una línea de distribución de 1 ½ pulgadas y líneas de servicio de media pulgada (13 mm) habría que tener necesariamente ocho tomas de líneas de servicio; y la realidad es la siguiente:

- Laboratorio de Mecánica Básica, Motores Jet y Recíprocos.
- ✓ 13 líneas de servicio de ½ pulgada para una red de distribución de 1 ½ pulgada, osea 5 tomas por encima del promedio.
- Simulador de controles de vuelo y laboratorio de hidráulica básica.
- ✓ 7 líneas de servicio de ½ pulgada para una red de distribución de 1 ½ pulgada, en este caso el número de tomas esta bajo lo aceptable.

Favorablemente a esto se tiene que tener en cuenta que todas las tomas no van ha funcionar a la vez, y que cierto número de estas forman parte de los pañoles que presentan un promedio de uso muy por debajo de las tomas que se encuentran en los laboratorios.

Es necesario revisar y analizar el horario de clases para llegar a conclusiones claras acerca de esta situación y las soluciones frente a esta problemática:

El día lunes desde las 11:40 hasta las 14:10 las actividades a desarrollarse son las siguientes:

- Reparación estructural: Uso 1 toma.
- Limpieza de hidráulica: Uso 2 tomas.
- Prácticas motores a pistón: Uso 3 tomas.

En total hay 5 tomas a usarse en este horario, número que está por debajo de lo permisible, por lo tanto no existe ningún problema.

El día martes no existe ningún problema ya que el horario favorece la restricción de uso de las tomas de servicio.

El día miércoles el horario crítico es desde las 15:00 hasta las 18:00 en las que se realiza:

- Proyectos de grado (uso del laboratorio de mecánica básica): Uso 6 toma.

- Práctica de motores Jet: Uso 4 tomas.
- Prácticas motores a pistón: Uso 3 tomas, en la que una toma pertenece al pañol.

Despreciando la toma del pañol hay 12 tomas de uso que están por arriba del número previsto para un correcto funcionamiento.

En este punto conviene hacer una restricción de uso de las tomas de aire comprimido:

- Restringir para Mecánica Básica el uso de 4 tomas a la vez.
- Para Motores Jet limitar el uso de dos tomas a la vez.
- Para Motores a pistón prever 2 tomas.

Con esto se prevé un total de ocho tomas funcionando a la vez, número con el cual el diseño esta dentro de los parámetros funcionales permisibles.

El día jueves no existe ningún problema ya que el horario favorece la restricción del uso de la toma de servicio.

El día viernes no existe ningún problema ya que el horario favorece la restricción para al uso de las tomas de servicio, pese a que en el horario de 10:40 a 11:50 se ha incluido el mantenimiento de la infraestructura

Cabe anotar que se ha considerado el caso en que todas las tomas van funcionar todas a la vez, cosa que rara ocasión se cumpla en la realidad, tomando en consideración los coeficientes de simultaneidad y grados de utilización que se manejan en el laboratorio, en todo caso para consideraciones de tener un diseño altamente seguro y libre de caídas de presión vale la pena considerar y aplicar la restricción emitida para el día miércoles.

## 4.4 ACCESORIOS DE LÍNEA

En base al diseño a continuación se detalla la lista de accesorios requeridos para la instalación de la red de aire comprimido:

**Tabla 4.42:** Accesorios de Línea requeridos para la implementación del Sistema.

Nº	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Bushing de 1 1/2 " A 1/2" Galv, clase 150	10
2	Bushing de 2" A 1 1/2 " Galv, clase 150	5
3	Codo de 1 1/2 " Galvanizado clase 150	4
4	Codo de 2" Galvanizado clase 150	2
5	Neplo Galvanizado de 1 1/2 " x 4"	22
6	Neplo Galvanizado de 1/2 " x 4"	4
7	Te de 1 1/2 " Galvanizada clase 150	15
8	Te de 1/2 " Galvanizada clase 150	20
9	Unión de 2 " Galvanizada clase 150	4
10	Universal de 1 1/2 " Galvanizada clase 150	6
11	Universal de 2" Galvanizada clase 150	1
12	Válvula de compuerta de de 1 1/2 "	3
13	Unidades de mantenimiento FRL	10
14	Acople rápido	20
15	Líneas de servicio cuello de cisne	10
16	Válvula de compuerta de de 1/2 "	10

**Tabla 4.37:** Accesorios de Línea requeridos para la implementación del Sistema.

(Continuación)

## 4.5 PLANOS DEL SISTEMA

Ver Anexos

A9 Distribución de la red de aire comprimido.

A10 Detalle de línea crítica.

A11 Detalle de líneas de servicio.

## CAPÍTULO 5

# INSTALACIÓN

### 5.1 PLANOS DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Los planos del Sistema de Aire Comprimido implementado en los Laboratorios del Bloque 42 del ITSA en Latacunga se muestran en el Anexo A12, Anexo A13 y Anexo A 14.

### 5.2 DIAGRAMA DE MONTAJE

Para visualizar y entender de una forma clara como se llevó a cabo la implementación del sistema de aire comprimido, se utiliza un diagrama con símbolos normalizados y que se muestran en el Anexo A15.

### 5.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Previamente antes de poner en marcha el sistema de aire comprimido se debe contemplar la realización de las llamadas “pruebas de funcionamiento del sistema” que van arrojar datos reales de las cualidades operacionales de la red. A continuación se describen cada una de dichas pruebas y los resultados arrojados en la realización de las mismas se muestra en los Anexos: B8, B9, B10.

#### 5.3.1 Presión de prueba

La presión de prueba debe ser por lo menos 1,3 veces la presión de trabajo.

$$P_{PRUEBA} = 1.3 * P_{TRABAJO}$$

Fórmula 5.1 Presión de prueba.

Es así que la red de aire comprimido para el proyecto en cuestión debe ser probada con una presión al menos  $1,3 \times 7 = 9,1$  bar.\*

### **5.3.2 Presión recibida por las herramientas**

Para constatar que las herramientas reciben la presión correcta se puede realizar lo siguiente:

1. Colocar un manómetro entre la herramienta y la boquilla de unión
2. Efectuar la medición cuando la herramienta esté en pleno funcionamiento.

La presión debe ser de 6 bar. cuando el consumo de aire de la herramienta este en su máximo (lo que puede suceder en vacío o bajo carga total, dependiendo del tipo de herramienta)

En lugar de la herramienta, existe en el mercado lo que se conoce como simuladores de herramientas que son regulables para diferentes consumos de aire.

Los defectos visibles en la red de distribución de aire son fácilmente detectables por inspección visual y por lo general resultan fáciles de remediar.

- Regulador / Manómetro: Controlar su funcionamiento, abriendo y cerrando el regulador. Cuando esté cerrado, el manómetro deberá indicar 0 bar, de lo contrario hay fugas de aire (Ver figura 5.1).

---

\* Guía de Instalación de Aire Comprimido de Atlas Copco. Pag. 8

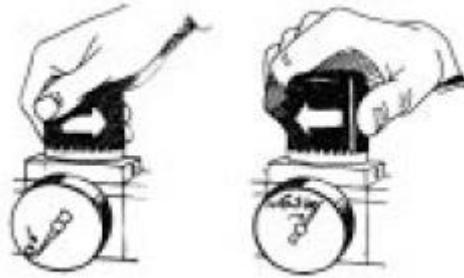


Figura 5.1: Abertura y cierre del regulador.

La realización de estas pruebas será documentada en el formato que se describe en el Anexo B9 y su resultado será avalizado por el Jefe del Área de Mecánica del ITSA.

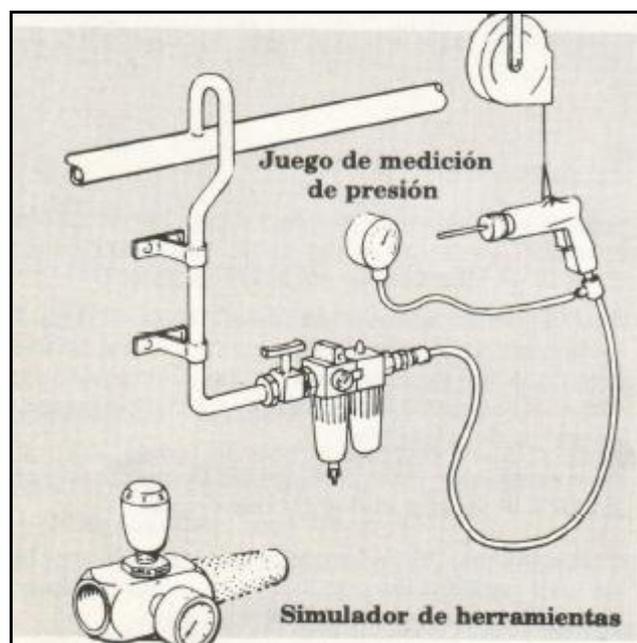


Figura 5.2: Simulador de Herramientas.

Fuente Guía de instalación de Aire Comprimido, Atlas Copco, Edición Especial, Pag. 7

Si luego de realizar los pasos anteriores la presión es muy elevada se recomienda cumplir cualquiera de los siguientes puntos.

- Instalar un regulador de presión.
- Disminuir la presión del compresor.

Pero si la presión es muy baja se puede deber a cualquiera de las siguientes causas que tendrán que ser sometidas a una investigación rigurosa.

- A. Verificar que la central de compresión tiene la capacidad suficiente.
- B. Comprobar que en la central de compresión la presión de descarga esté bien regulada.
- C. Verificar que la red de aire comprimido esté bien dimensionada en todas sus partes.
- D. Descartar que existan fugas mayores.
- E. Comprobar que los accesorios estén sin defectos, verificar que las uniones rápidas son las correctas para el sistema.
- F. Asegurar que el mantenimiento de los accesorios sea el adecuado.
- G. Descartar que los filtros están obstruidos.

Si la presión es demasiado baja, genera tiempos de acabado muy largos y resultados de producción inferiores.

Se debe evitar también una presión demasiado elevada ya que aumenta el consumo de aire y eleva los costos de producción de aire comprimido.

### **5.3.3 Presión correcta en la red**

Como ya se mencionó anteriormente a la presión que arroja el compresor (que en este caso es 7 bares), se tendrá que restar aproximadamente 1 bar. que es el valor contemplado dentro de las pérdidas admisibles que pueden darse en la red desde el compresor hasta llegar a la herramienta, este valor de 1 bar. de pérdidas de presión se desglosa de la forma indicada en el capítulo IV apartado 4.2.

Es así que cuando una herramienta este en funcionamiento con la ayuda de un manómetro se debe verificar lo siguiente:

1. La presión antes de la unidad de preparación de aire, debe ser por lo menos de 6,6 bar.

2. La presión a la salida de la sala de compresión debe ser por lo menos de 6,7 bar.
3. Adicional si los filtros de la instalación están limpios, la presión debe ser de 0.3 bar. más elevada.

La realización de esta prueba será documentada en el formato que se describe en el Anexo B8 y su resultado será avalizado por el Jefe del Área de Mecánica del ITSA.

#### **5.3.4 Prueba de estabilidad de la red**

Para esto es necesario realizar lo siguiente:

- Poner la red en sobrepresión (1.3 x Presión de trabajo)
- Cerrar la válvula del compresor.
- Tomar la medida de un manómetro en la red.

Si la presión cae, la red no es estable.

La validación de esta prueba será documentada en el formato que se describe en el Anexo B10 y su resultado será avalizado por el Jefe del Área de Mecánica del ITSA.

#### **5.3.5 Verificación de dimensiones de fugas**

Para esta verificación se ejecutara los siguientes pasos:

- Poner el compresor en funcionamiento automático, manteniendo la red en sobrepresión (1.3 x Presión de trabajo).
- Verificar que durante el ensayo no se use el aire comprimido.
- Medir los tiempos de carga y descarga del compresor.

Si el compresor trabaja el 10% del tiempo, la fuga es de 10% de la capacidad del compresor.

Este método permite determinar rápidamente el porcentual de la fugas en relación al caudal generado.

Proceder del siguiente modo:

1. Verificar que todos los equipos neumáticos abastecidos por la red se encuentren fuera de servicio.
2. Ubicarse cerca del compresor y esperar que este se ponga en marcha (caso de regulación por marcha y parada) o entre en carga (caso de regulación por carga o vacío)
3. Medir el tiempo (TM) en segundos que el compresor permanece en esa condición.
4. Cronometrar luego (cuando se detenga o entre en vacío) el Tiempo (TP) en segundos que se transcurre hasta un nuevo arranque.
5. Determinar el porcentual de fugas (PF) aplicando la siguiente fórmula:

$$PF = \frac{TM}{TM + TP} \times 100$$

Fórmula 5.2: Cálculo del porcentaje de fugas.

Esta comprobación de diseño será documentada en el formato que se describe en el Anexo B10 y su resultado será avalizado por el Jefe del Área de Mecánica del ITSA.

### **5.3.5.1 Medida permisible de fugas**

Irremediablemente el 100% de las redes de aire comprimido presentan fugas luego de un mayor o menor tiempo de funcionamiento.

Se ha normalizado en un 5% de la capacidad de compresión el valor para compensar estas pérdidas. En caso de haber fugas por más de dicho porcentaje se debe revisar minuciosamente la red.

Para la detección de las fugas en redes de aire comprimido se recomienda hacer lo siguiente:

- En pequeñas redes son fácilmente detectables al oírlos o sentirlas al tacto.
- En redes complejas y de gran envergadura se puede pulverizar o pincelar la red con líquido para la detección de fugas.
- Así mismo en redes grandes pueden ser de gran ayuda aparatos ultrasónicos para la detección de fugas.

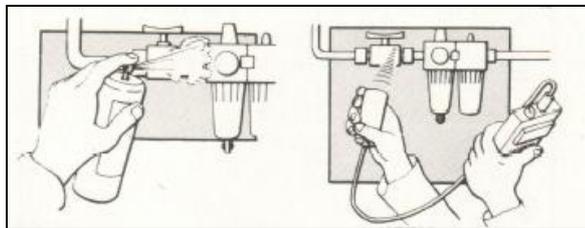


Figura 5.3: Detección de fugas mediante spray y ultrasonido.

Para determinar las causas de las fugas se puede realizar una investigación minuciosa basada en los puntos que a continuación se describen.

- A. Verificar si es el adecuado el mantenimiento dado a la red.
- B. Verificar la calidad de los accesorios, las mangueras, las válvulas o las uniones rápidas.
- C. Comprobar si existen líneas subterráneas que no pueden ser inspeccionadas.
- D. Verificar que no existan fugas en las juntas de tuberías.

## 5.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA

### 5.4.1 Potencia específica.

El dato que tiene verdadero significado es la potencia específica de un compresor, que es el parámetro más importante, y permite averiguar el rendimiento del compresor.

Para el presente caso el compresor escogido fue un CAMPBELL Modelo CI15K000P (Ver tabla 4.25)

Datos

- Q: 51 Cfm.
- Potencia: 15 HP.

La Potencia específica vendrá determinada por:

$$\frac{\text{Potencia Absorbida en HP}}{\text{Caudal Aspirado por el compresor}}$$

$$\frac{15 \text{ HP}}{51 \text{ CFM}} = 0.29 \text{ HP por CFM aspirado}$$

### 5.4.2. Eficiencia de compresión:

La eficiencia de compresión es un método para tomar en cuenta en forma aproximada, todas las pérdidas de energía que ocurren entre la presión de succión y descarga. Se supone que todas las áreas de las válvulas y conductos del gas ofrecen la misma resistencia y esta no es consecuencia de la velocidad del compresor ni de las características del gas. Los valores de las áreas sombreadas en la Fig. 5.4 representan las pérdidas en las y pueden calcularse con la siguiente ecuación:

Fórmula 5.3: Cálculo de las pérdidas en el proceso de compresión.

$$\Delta(\text{lb} / \text{pulg}^2) = 1,26 * 10^{-6} * \alpha * f * U^2 * \text{dens.rel}P / Z$$

Donde:

$f$  = Resistencia de la válvula en cargas de velocidad (en general 4)

$\alpha$  = Razón del área del émbolo al área mínima de la válvula (debe ser alrededor de 10)

$U$  = La velocidad promedio del émbolo es 13.3 pie/s

$P$  = Presión.

$Z$  = Factor de compresibilidad, fracción decimal.

Reemplazando valores:

$$\Delta(\text{lb} / \text{pulg}^2) = 1,26 * 10^{-6} * 10 * 4 * 13,3^2 * \text{dens.rel}P / Z$$

$$\Delta(\text{lb} / \text{pulg}^2) = 0,09 * P * \text{dens.rel}1 / Z$$

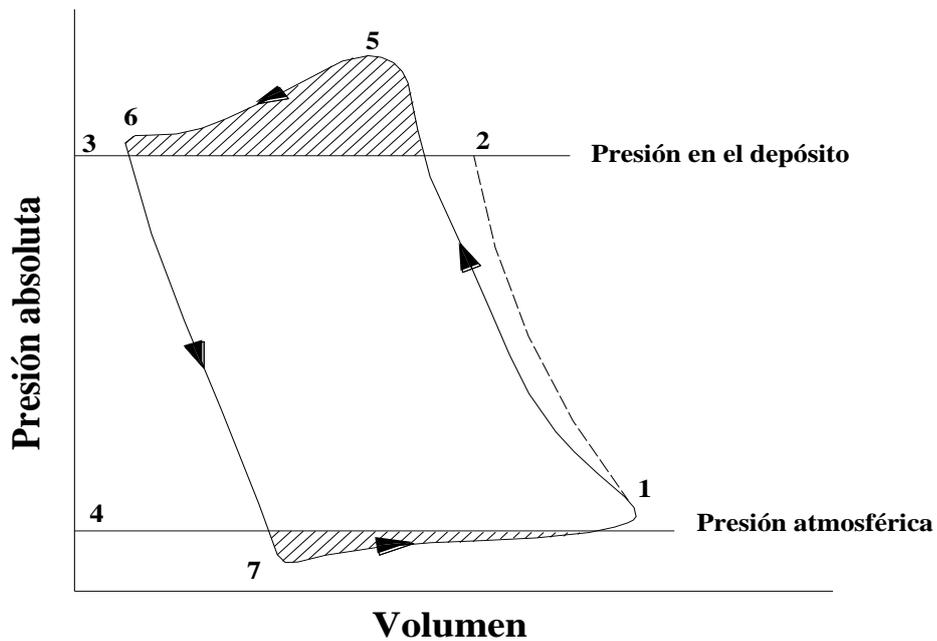
$$\Delta(\text{lb} / \text{pulg}^2) = 0,09 * 175(\text{psi})$$

$$\Delta(\text{lb} / \text{pulg}^2) = 15,75 \text{psi.}$$

Tabla 5.1 Factores K de corrección para las pérdidas de la válvula.

Razón de émbolo válvula $\alpha$	Velocidad del émbolo, pie/min y pie/s.							Densidad Relativa
	600	700	800	900	1.000	1.100	1.200	
	10,0	11,7	13,3	15,5	16,7	18,3	0	
12	1,34	1,50	1,70	1,97	1,37	2,93	3,72	2,0
12	1,16	1,22	1,30	1,39	1,51	1,66	1,83	1,0
12	1,09	1,13	1,17	1,22	1,27	1,35	1,43	0,6
10	1,23	1,32	1,44	1,59	1,78	2,09	2,34	2,0
10	1,11	1,15	1,19	1,26	1,33	1,41	1,51	1,0
10	1,06	1,09	1,12	1,15	1,18	1,23	1,28	0,6
8	1,14	1,19	1,26	1,35	1,44	1,57	1,71	2,0
8	1,07	1,10	1,12	1,16	1,20	1,25	1,30	1,0
8	1,04	1,06	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	6,6
6	1,06	1,11	1,14	1,17	1,22	1,27	1,33	2,0
6	1,04	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,20	1,0
6	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	0,6

Fig. 5.4 Diagramas teórico y real de trabajo en un compresor de una etapa.



La figura 5.3 representa un estudio comparativo entre los diagramas de trabajo real y el diagrama teórico.

El diagrama teórico está constituido por los puntos 1-2-3-4 y los puntos 1-5-6-7 delimitan el diagrama real. El volumen perjudicial (espacio muerto) queda representado en el diagrama por el punto 6 que no coincide con el volumen cero.

El punto 6 y 7 son indicativos de la expansión del aire contenido en el volumen perjudicial, desde que se cierra la lumbrera de la válvula de descarga hasta que se abre la lumbrera de la válvula de aspiración.

Las áreas rayadas expresan las diferencias de trabajo efectuado en cada etapa del ciclo, entre el diagrama teórico o y el diagrama real.

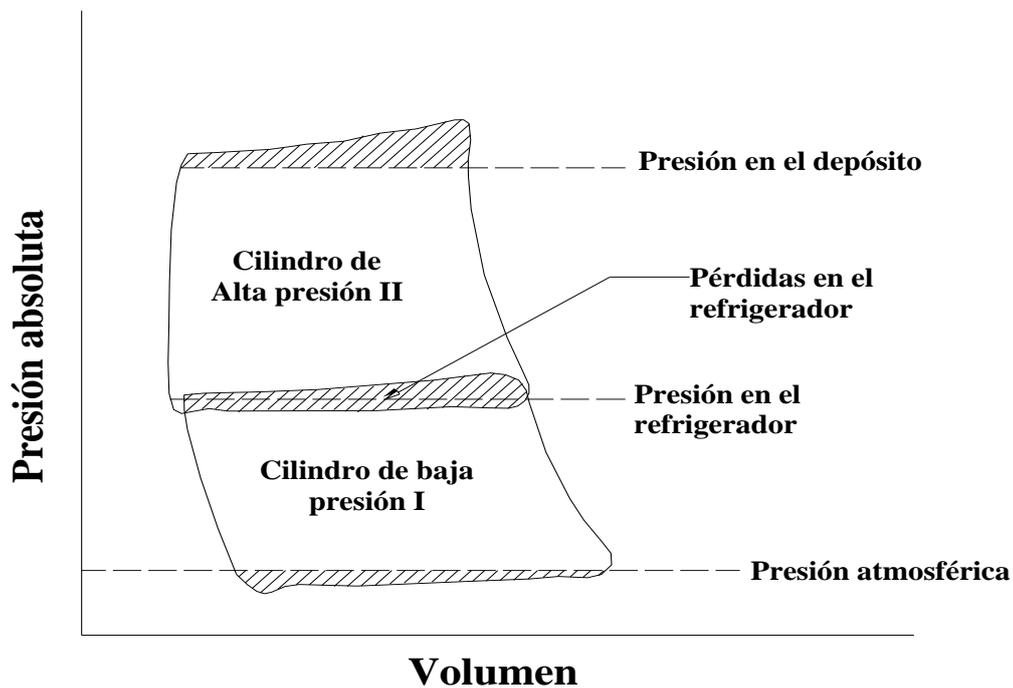


Fig 5.5 Diagrama de un compresor de dos etapas.

### 5.4.3 Rendimiento volumétrico:

El cálculo del rendimiento volumétrico puede establecerse mediante la fórmula:

Fórmula 5.4: Cálculo del rendimiento volumétrico..

$$R_v = \left[ 1 - E \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{\gamma}} - \frac{Z_1}{Z_2} - 1 \right) \right] * K$$

Donde:

$E$  = Espacio muerto relativo, normalmente esta considerado dentro de un 3% a un 10% del desplazamiento del pistón dentro del cilindro dependiendo del modelo del compresor.

$P_2/P_1$  = Relación de compresión.

$Z_1/Z_2$  = Cociente de los factores de compresibilidad de la aspiración y el escape, para el aire  $Z$  es igual a la unidad.

$K$  = Coeficiente que tiene presente la pérdida de carga en las válvulas y el grado de estanquidad en válvulas y segmentos, por lo común considerado 1.1 o 10%.

$\gamma$  = Relación de calores específicos.

1 = Condiciones de succión.

2 = Condiciones de descarga.

Reemplazando valores a condiciones a nivel del mar.

$$Rv = \left[ 1 - 0,1 \left( \left( \frac{175}{14,7} \right)^{\frac{1}{1,4}} - 1 \right) \right] * 1.1$$
$$Rv = 0,646$$
$$Rv = 64,6\%$$

Reemplazando valores a condiciones a nivel de Latacunga.

$$Rv = \left[ 1 - 0,3 \left( \left( \frac{120}{10,58} \right)^{\frac{1}{1,4}} - 1 \right) \right] * 1.1$$
$$Rv = 0,570$$
$$Rv = 60\%$$

## CAPÍTULO 6

# **ELABORACIÓN DE MANUALES E INSTRUCTIVOS**

## **6.1 MANUAL DE OPERACIÓN**

En este manual se detallan los procedimientos de operación del Sistema de Aire comprimido de los laboratorios del bloque 42 del ITSA, para lo cual se ha tomado la información de los manuales de operación del fabricante. (Ver Anexo C3)

## **6.2 MANUAL DE MANTENIMIENTO**

Así mismo en este manual se detallan los pasos detallados de un programa de mantenimiento para la red de aire comprimido, así como también se hace una declaración de políticas y reglamentaciones básicas que servirán de soporte para la ejecución de dicho programa. (Ver Anexo C4)

## **6.3 MANUAL DE SEGURIDAD**

En este manual se formulan normativas de seguridad enmarcadas en las recomendaciones del fabricante para precautelar tanto la integridad física de los usuarios de la red de aire comprimido, como también de los equipos que el laboratorio dispone, así mismo se formulan políticas y reglamentaciones de uso de los laboratorios necesarias para la consecución exitosa de estos objetivos planteados. (Ver Anexo C5)

## **6.4 MANUAL DE VERIFICACIONES**

En este manual se tendrá una lista de las verificaciones de funcionalidad del equipo compresor y demás accesorios que forman parte del Sistema de aire Comprimido, así como también se exponen procedimientos para determinar la calidad de diseño del sistema. (Ver Anexo C6)

## **6.5 HOJAS DE REGISTROS**

En este manual se va exponer los modelos de hojas de registros que se van a manejar para controlar los tiempos de reposición del conjunto de los equipos neumáticos y sus reparaciones, con las horas de servicio, para un control del desgaste de sus partes mecánicas y hacer el oportuno cambio de piezas. (Ver Anexo C7)

# CAPITULO 7

## ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO

### 7.1 ESTUDIO FINANCIERO

El resultado del estudio financiero expresa cuantitativamente las ventajas y desventajas del presente proyecto, realizado en los laboratorios del ITSA.

#### PRESUPUESTO DEL PROYECTO

##### 7.1.1 Ingeniería y Administración

###### 7.1.1.1 Personal

			USD	USD
Cant	Posición	Horas-H	Valor H-H	Valor total
1	Ingenieros	10	25.00	250.00
			<b>TOTAL1,1</b>	<b>250.00</b>

###### 7.1.1.2 Misceláneos

		USD
Útiles de oficina		50.00
Uso de Vehículos y Transporte		100.00
Otros gastos de funcionamiento		50.00
<b>TOTAL1,2</b>		<b>200.00</b>
<b>SUB TOTAL 1</b>		<b>450.00</b>

## 7.1.2 Costos Directos

### 7.1.2.1 Honorarios profesionales

			USD	USD
Cantidad	Posición	Horas-H	Valor H-H	Valor total
1	Director	30	25.00	750.00
1	Codirector	20	25.00	500.00
			<b>TOTAL 2,1</b>	<b>1250.00</b>

### 7.1.2.2 Remuneraciones a no profesionales

			USD	USD
Cant	Posición	Horas-H	Valor H-H	Valor total
4	Obreros	50	2.80	560.00
			<b>TOTAL 2,2</b>	<b>560.00</b>

### 7.1.2.3 Remuneraciones a estudiantes

			USD	USD
Cant	Posición	Horas-H	Valor H-H	Valor total
2	Egresados	960	2,00	3840.00
			<b>TOTAL 2,3</b>	<b>3840.00</b>

#### 7.1.2.4 Adquisición de materiales y equipos

<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Compresor de 15HP Campbell	3976.00	3976.00
1	Caja de arranque 15HP Siemens	246.40	246.40
2	Tubo galvanizado iso II de 2"	44.52	89.04
12	Tubo galvanizado iso II de 1 1/2"	33.84	406.02
	Materiales varios*		405.48
		<b>TOTAL 2,4</b>	<b>5122.94</b>

#### 7.1.2.5 Otros costos directos

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>costo total</b>
	Instalaciones eléctricas	50.00
	Construcción de cimentación	200.00
	Pintura líneas de seguridad y otros accesorios	150.00
	Adquisición de libros y revistas	50.00
	<b>TOTAL 2,5</b>	450.00
		<b>SUB TOTAL 2</b>
		<b>SUMA 1 Y 2</b>
		11222.94
		<b>11672.94</b>

<b>7.1.3</b>	<b>TOTAL COSTOS DE IMPLEMENTACION (USD):</b>	<b>11672,94</b>
--------------	--	-----------------

**Materiales varios\***

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>V TOTAL</b>
1	Bushing de 1 1/2 " A 1/2" Galv, clase 150	10	16.30
2	Bushing de 2" A 1 1/2 " Galv, clase 150	5	15.50
3	Codo de 1 1/2 " Galvanizado clase 150	4	14.88
4	Codo de 2" Galvanizado clase 150	2	11.24
5	Neplo Galvanizado de 1 1/2 " x 4"	22	7.70
6	Neplo Galvanizado de 1/2 " x 4"	4	4.96
7	Te de 1 1/2 " Galvanizada clase 150	15	73.95
8	Unión de 2 " Galvanizada clase 150	4	13.60
9	Universal de 1 1/2 " Galvanizada clase 150	6	59.16
10	Universal de 2" Galvanizada clase 150	1	9.66
11	Válvula de compuerta de de 1 1/2 "	3	42.90
12	Fijador Perpendicular J=2405	10	6.30
13	Perfil J=2380	2	38.80
14	Tirafondos de 4"	20	2.00
15	Arandelas Planas de 3/8	20	1.60
16	Herrajes en Angulo	4	13.04
17	Taco Fisher	20	1.00
18	Varillas de Sujeción	4	29.44
<b>SubTotal</b>			<b>362.03</b>
<b>IVA 12%</b>			<b>43.45</b>
<b>Total</b>			<b>405.48</b>

## 7.2 ESTUDIO ECONÓMICO

Se va determinar que este proyecto presenta beneficio para el ITSA.

### 7.2.1 Estudio del costo beneficio.

En los laboratorios de mecánica del ITSA una práctica normal se la realiza en tres horas de 50 minutos cada una. Los alumnos pierden mucho el tiempo de la práctica en armar y desarmar los diversos motores de entrenamiento, o en realizar diversos trabajos con herramientas manuales. Con el nuevo sistema neumático los alumnos ahorrarán hasta en un 60% del tiempo empleado en cada práctica. Es así un trabajo que normalmente demora con herramientas manuales una hora, con el sistema neumático se lo hará en tan solo 24 minutos.

<b>Cantidad de Alumnos en Mecánica ITSA</b>	350
---	-----

#### 7.2.1.1. Costos de Operación.

Los costos de operación están divididos en 4 cuentas, de acuerdo al siguiente detalle:

**1. Personal.-** Los laboratorios están bajo la supervisión de un aerotécnico, quien tiene como función adicional el control del sistema neumático. Por el cumplimiento de esta labor al aerotécnico se le pagará 100 dólares mensuales.

$100\$ \times 12\text{meses} = 1200\$ \text{ anuales.}$

**2. Energía.-** El costo de la energía se determino de acuerdo a las siguientes formulas tomadas del manual de Keiser compresores pag 68.

**Formula 7.1 Cálculo de la potencia de Entrada**

$$K_{\text{entrada}} = \frac{0.746 \times \text{HP}}{\text{Eficiencia}}$$

- ◆ La eficiencia es tomada del manual de Keiser compresores pag 68.

$$K_{\text{entrada}} = \frac{0.746 \times 15 \text{HP}}{0.875} = 12.79$$

**Formula 7.2 Costo de Energía**

**Costo anual de energía (\$/h)** = Costo electricidad(\$/Kwh) x Kw entrada x Num de horas

**Costo anual de energía** = 0.1 (\$/Kwh) x 12.79 x 1600(h/año)

**Costo anual de energía** = 2046(\$/h).

**3. Mantenimiento.-** El mantenimiento de un sistema de aire comprimido en el peor de los casos puede llegar hasta el 10% de su costo inicial en el año.

$$11672 \times 0.1 = 1167\$$$

**4. Depreciación.-** Este proyecto tiene una vida útil de 10 años.

<b>Descripción</b>	<b>Costo Total</b>
Compresor de 15HP Campbell	3976.00
Caja de arranque 15HP Siemens	246.40
Tubería y accesorios	900.54
<b>TOTAL</b>	<b>5122.94</b>

$$\text{Depreciación} = 5122/10$$

$$\text{Depreciación} = 512\$$$

## TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN

<b>1. Personal</b>	
1 operario 12 meses	1200.00
<b>2. Energía</b>	
Costo compresor 15 HP	2046.00
<b>3. Mantenimiento</b>	
10% costo inicial	1167.00
<b>4. Depreciación</b>	
a 10 años	512.00
<b>TOTAL</b>	<b>4925.00</b>

Tabla 7.1. Total de costos de operación.

### 7.2.1.2. Determinación del beneficio del proyecto.

Tomando en cuenta que los alumnos tienen dos horas treinta minutos de prácticas en los laboratorios a la semana, y que el sistema optimizará el tiempo hasta en un 60%, se procede a determinar el valor total del ahorro.

$$2.5 \text{ horas} \times 0.6 = 1.5 \text{ horas}$$

$$\text{Horas de ahorro al año} = 1.5 \text{ horas} \times 350 \text{ alumnos} \times 40 \text{ semanas al año}$$

$$\text{Horas de ahorro al año} = 21000$$

$$\text{Créditos para el laboratorio al semestre} = 3$$

$$\text{Valor del crédito} = 12\$$$

$$\text{Numero de semestres en el año} = 2$$

$$\text{Numero de semanas en el año} = 40$$

$$\text{Horas de laboratorio semanal} = 2.5$$

$$\text{Costo de hora x alumno} = \frac{3 \times 12 \times 2}{40 \times 2.5}$$

$$\text{Costo de hora x alumno} = 0.72\$/h$$

**Valor de ahorro total=** 0.72 x 21000

**Valor de ahorro total=** 15120

Ahora se va proceder a realizar el análisis de costo beneficio en los 10 años de vida útil del proyecto. Donde **B/C>1** indica que el proyecto es factible.

Para esto se llevara el beneficio al valor actual dentro de 10 años de acuerdo a la siguiente formula.

$$PV = xn \left[ \frac{1}{(1+k)^n} \right]$$

Donde

PV= Valor actual

Xn= Valor de ahorro total

n = número de años

k= riesgo de la inversión que actualmente esta en el 13.75%

$$PV = \left[ \frac{15120}{(1.1375)^{10}} \right]$$

PV= 13292.31

Tabla 7.2. Desglose costo beneficio a lo largo de la vida útil del sistema.

<b>Años</b>	<b>Beneficio</b>	<b>Costo</b>
0		11673.00
1	13292.31	4925.00
2	11685.55	4925.00
3	10273.01	4925.00
4	9031.21	4925.00
5	7939.53	4925.00
6	6979.81	4925.00
7	6136.09	4925.00
8	5394.37	4925.00
9	4742.30	4925.00
10	4169.06	4925.00
<b>TOTAL</b>	<b>79643.23</b>	<b>60923.00</b>

<b>B/C=79643.23/60923.00</b>
<b>B/C=1.31</b>
<b>B/C&gt;1</b>

Al terminar este estudio podemos concluir que el proyecto es factible y beneficioso para el instituto.

### **7.2.2 Determinación del ahorro.**

A continuación se realiza una comparación entre el costo del proyecto ejecutado en la empresa privada, para determinar el beneficio obtenido, los valores presentados a continuación son un promedio de lo que costaría el presente proyecto en empresas como La Llave CIA; Keiser; Bracero & Bracero. Empresas estas dedicadas al negocio del aire comprimido.

Tabla 7.3 Costos del proyecto en la empresa privada.

<b>COSTOS PROYECTO EMPRESA PRIVADA</b>
--

MATERIALES Y EQUIPOS	5122.94
COSTO MANO DE OBRA LAYOUT	850.00
COSTO MANO DE OBRA IMPLEMENTACION	700.00
OTROS COSTOS MATERIALES	405.48
COSTO INGENIEROS	5000.00
<b>TOTAL</b>	<b>12078.42</b>

Tomado de un sondeo hecho en las empresas antes mencionadas.

En el análisis de los costos del proyecto realizado por la empresa privada en relación al proyecto desarrollado particularmente, no se han variado los costos de materiales y equipos, y de otros materiales, debido a que las empresas anteriormente mencionadas venden equipos mucho más costosos que los adquiridos para este proyecto, y con similares características técnicas y performance\* .

A pesar de que existen en el mercado un sin número de empresas dedicadas al negocio del aire comprimido y existe mucha información acerca de este tema, el presente proyecto es único, ya que para el diseño e implementación del mismo se usó datos específicos producto del funcionamiento muy particular de los laboratorios de mecánica del ITSA, es así que estamos hablando de horarios, tiempos, y los momentos críticos en los cuales estén en uso más de un laboratorio. Habiendo sido necesario un estudio previo del comportamiento de los diferentes laboratorios; así como un estudio Layout de los mismos.

Para este estudio y tomando en cuenta que el uso de los laboratorios son netamente académicos, se realiza una comparación entre el valor que cobra una empresa privada respecto a lo que costo el desarrollar el proyecto en forma particular, tomando para lo cual la siguiente formula:

**Fórmula 7.3:** Cálculo comparativo para determinar el ahorro conseguido.

---

\* Desempeño.

$$\frac{CEP - CEG}{CEP} \times 100$$

CEP= Costo empresa privada

CEG= Costo egresados

$$\frac{12078,42 - 11672,94}{12078,42} \times 100 = 3.36\%$$

Es realmente pequeño el porcentaje de la ventaja de haber realizado este proyecto por nuestra cuenta, sin embargo la ventaja académica de la implementación de este proyecto a los laboratorios del ITSA es muy grande, ya que se optimiza las horas de clase aprovechando de mejor manera la instrucción impartida en los mismos, así como el ir a la par con las exigencias que hoy por hoy la industria de la aviación requiere.

## **CAPÍTULO 8**

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES.

1. Se realizó el diseño, implementación y pruebas del proyecto sin mayores contratiempos.
2. Se realizó una redistribución de los equipos y maquinaria de los laboratorios del bloque 42, dando con ello una mayor comodidad a los alumnos e instructores que laboran en el lugar.
3. Las pruebas realizadas en el sistema fueron satisfactorias, sin presentarse grandes pérdidas de presión.
4. Se adquirió información sobre las normas que rigen estos sistemas, sin embargo por el costo de estas no fue posible adquirirlas.
5. La red está diseñada e implementada para satisfacer las necesidades de los laboratorios que funcionan en el bloque 42.
6. El diseño y la implementación del sistema neumático se lo realizó pensando en la economía del instituto pero conservando la calidad de los materiales.
7. Se realizaron manuales de operación, mantenimiento, verificaciones y pruebas del sistema con la finalidad de que este sea aprovechado de la mejor manera lográndose con ello altos niveles de calidad y seguridad.
8. Se encuentra en proceso la compra de unidades de mantenimiento FRL, para el sistema neumático.
9. Se realizó el estudio económico y financiero donde se determinó un ahorro que justificó la realización del presente proyecto.

## 8.2 RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda seguir impulsando este tipo de proyectos de mejoramiento de los laboratorios y equipos del ITSA, para estar a la par con las exigencias tecnológicas que la industria aeronáutica requiere.
2. Se debe mantener los laboratorios libres de materiales de trabajo, así como también libres de los proyectos que los alumnos del Instituto realizan.
3. Se recomienda chequear periódicamente que no existan fugas en el sistema de aire comprimido.
4. Se recomienda comprar las normas que rigen los sistemas de aire comprimido, como fuente de información y consulta para los alumnos que reciben la materia de neumática en el ITSA.
5. Cumplir con lo escrito en el capítulo cuatro en lo que se refiere a restricciones del sistema ya que de no ser así el sistema no va a funcionar dentro de los parámetros de presión y caudal previstos.
6. Se debe realizar un estricto control del uso del sistema por parte de los encargados de los laboratorios, garantizando de esta manera un eficiente funcionamiento del mismo.
7. Seguir al pie de la letra lo estipulado en los manuales de operación, mantenimiento, verificaciones, así como las hojas de registro.
8. Se recomienda adquirir las unidades FRL que sean necesarias para completar todas las tomas de aire comprimido del sistema.
9. Se debe seguir confiando en la capacidad de los miembros que conformamos la Fuerza Aérea, apoyándolos en los proyectos que de una u otra forma engrandecerán a la Institución.

## BIBLIOGRAFIA

- **Dr. Aguinaga, A;** Compresores y redes de aire comprimido, EPN, Quito; Centro de educación continua
- **Ingersoll-Rand.** Diseño de redes neumáticas, Accessory División, Folleto; 2000.
- **Ingersoll-Rand.** Air Power, Editado por Ingersoll-Rand Company; USA 2000.
- **Keiser, Compresores;** Manual de aire comprimido; Editorial Keiser Compresores; Colombia 2003.
- **Atlas Copco;** Aire comprimido y su aplicación en la industria; Atlas Copco Venezuela.
- **Atlas Copco;** Aire comprimido ; Editado por Atlas Copco; Ecuador 1986.
- **BAHAMONDE, V;** Cimentación de Maquinaria; Tesis Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Mecánico, EPN, Quito; 1976.
- **VALVERDE, J ;** Cimentaciones, Publicaciones Escuela Politécnica Nacional.
- **VARGAS;** Cimentaciones para Maquinaria, Publicaciones Escuela Politécnica del Litoral; Guayaquil.
- **TOMLINSON, MJ;** Cimentaciones Diseño y Construcción; Editorial Trillas; México, 1996.
- **ASEPEYO.** Seguridad en máquinas. Exigencias de la Normativa Europea. Monografías de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Barcelona.
- **Asociación para la Prevención de Accidentes (A.P.A.).** Compendio de recomendaciones de seguridad. San Sebastián: APA, 1994.
- **Asociación para la Prevención de Accidentes (A.P.A.).** Seguridad en la soldadura eléctrica y oxiacetilénica. San Sebastián: APA, 2000.
- **Asociación para la Prevención de Accidentes (A.P.A.).** Máquinas portátiles. San Sebastián: APA, 2002.
- **Asociación para la Prevención de Accidentes (A.P.A.).** Conocimientos básicos sobre prevención de riesgos laborales. San Sebastián: APA, 2003.

- **Bailach F y otros.** Manual para la adecuación de las máquinas herramientas para trabajar los metales en frío. Erandio-Goikoa: Osalan, 2000.
- **Documentación diversa sobre riesgos laborales,** facilitada por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UPV.
- **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).**  
<http://www.mtas.es/insht>
- **Paris J.** En: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Capítulo 86. Industrias manufactureras. Oficina Internacional del Trabajo (OIT). Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998.
- **Unión de Mutuas.** Manual para la implantación de un sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales. Sector Madera. Valencia: Unión de Mutuas 113 - 179.