

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN EQUIPO NEUMÁTICO PARA
MOLDEAR LÁMINAS DE DIFERENTES FORMAS USADAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE CARROCERIAS PARA BUSES**

JESUS IGNACIO GUZMÁN HERAZO

YENIS ROMERO CARRASQUILLA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS

2002

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN EQUIPO NEUMÁTICO PARA
MOLDEAR LÁMINAS DE DIFERENTES FORMAS USADAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE CARROCERIAS PARA BUSES**

JESUS IGNACIO GUZMÁN HERAZO

YENIS ROMERO CARRASQUILLA

**Trabajo de grado, presentado como
requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director
FELIX JULIO RADA
Ingeniero Mecánico**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

CARTAGENA DE INDIAS

2003

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias D.T. y C., 27 de Enero del 2003

ARTICULO 107

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Cartagena, Junio del 2002

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de ingeniería mecánica

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

Ciudad

Estimados señores:

Nos permitimos presentar nuestro proyecto de grado titulado '**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN EQUIPO NEUMÁTICO PARA MOLDEAR LAMINAS DE DIFERENTES FORMAS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA BUSES**, como prerrequisito para obtener el titulo de INGENIERO MECANICO.

Cordialmente,

JESUS GUZMAN HERAZO

YENIS ROMERO CARRASQUILLA

Cartagena, Diciembre 11 del 2001

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de ingeniería mecánica

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA

TECNOLOGICA DE BOLIVAR

Ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente les manifiesto que los señores YENIS ROMERO CARRÁSQUILLA Y JESÚS IGNACIO GUZMÁN HERAZO presentan para su consideración y fines pertinentes, con mi participación como director del proyecto de grado "DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE UN EQUIPO NEUMÁTICO PARA MOLDEAR LÁMINAS DE DIFERENTES FORMAS USADAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERIAS PARA BUSES", requisito necesario para optar el título de Ingenieros Mecánicos.

Atentamente,

FELIX JULIO RADA

Director

A mis padres y hermanos,
Por brindarme su apoyo en todo momento.
A Dios por iluminar siempre mi camino
Gracias,

JESUS GUZMAN HERAZO

Agradezco a Luis Eduardo, por su confianza
y apoyo en todo momento
y a Dios por guiarme
Siempre en todas las cosas.

YENIS ROMERO CARRASQUILLA

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	18
1. MARCO CONCEPTUAL	20
1.1. NEUMÁTICA	20
1.1.1. Leyes Básicas	20
1.1.1.1. Ley de Boyle	20
1.1.1.2. Ley de Charles	21
1.1.1.3. Ley de Pascal	21
1.1.2. Flujo de Aire	21
1.1.3. Participación de la Neumática en la Automatización	22
1.1.3.1. Automatización	22
1.1.3.2. Neumática y Automatización	24
1.1.4. Aire Comprimido	26
1.1.4.1. Datos Históricos del Aire Comprimido	26
1.1.4.2. ¿Por qué Aire Comprimido?	28
1.1.4.3. Aire Libre	29
1.1.4.4. Aire Atmosférico	30
1.1.4.5. Preparación del Aire Comprimido	30
1.1.4.6. Deposito de Aire Comprimido	33
1.1.4.7. Unidad de Mantenimiento	34
1.1.4.7.1. Filtro de Aire Comprimido	34
1.1.4.7.2. Regulador de Presión	35
1.1.4.7.3. Lubricador de Aire Comprimido	36

1.2. COMPRESORES	37
1.2.1. Método de Operación	38
1.2.2. Clasificación de los Compresores	39
1.2.2.1. Alternativos	39
1.2.2.1.1. Compresores de Simple y Doble Efecto	42
1.2.2.1.2. Compresores Alternativos de Una Etapa y Multi – Etapa	44
1.2.2.1.3. Compresores Alternativos de Membrana	44
1.2.2.1.4. Construcción de Compresores	45
1.2.2.1.5. Caballos de Fuerza Requeridos para Enfriar	46
1.2.2.2. Compresores Rotativos	50
1.2.2.2.1. Clasificación de Compresores Rotativos	51
1.2.2.2.1.1. Compresores con Alabe	51
1.2.2.2.1.2. Compresores Rotativos de Tornillo Sinfín Seco	53
1.2.2.2.1.3. Compresores Rotativos de Tornillo Sinfín Húmedo	56
1.2.2.2.1.4. Compresores de Anillo Líquido	57
1.2.2.2.1.5.. Compresores de Gran Volumen y Baja Presión	59
1.2.2.2.1.6 Compresores de Diafragma	61
1.2.2.2.1.7. Compresores Dinámicos	61
1.2.2.2.1.8.. Compresores Centrífugos	63
1.2.2.2.1.8.1. Compresores de Flujo Axial	64
1.2.2.2.1.9. Compresores Roots	65
1.2.2.2.1.10. Turbocompresores	65
1.2.2.2.1.10.1. Radial	65
1.2.2.2.1.10.2. Axial	65
1.2.3. Selección del Compresor	66
1.2.4. Capacidad del Compresor	68
1.2.4.1. Revisión de la Capacidad del Compresor	69
1.2.5. Accesorios	70
1.2.6. Compresores Empaquetados	71
1.2.7. Instalación de Aire Comprimido	72

1.2.7.1. Red de Distribución de Aire Comprimido	74
1.2.7.2. Parámetros	74
1.2.7.2.1. Presión	75
1.2.7.2.2. Caudal	75
1.2.7.2.3. Perdida de Presión	75
1.2.7.2.4. Velocidad de Circulación	76
1.2.7.3. Disposición de la Red de Aire Comprimido	76
1.2.7.4. Tuberías	77
1.2.7.4.1. Tubería Principal	77
1.2.7.4.2. Tuberías Secundarias	78
1.2.7.4.3. Tubería de Servicio	78
1.2.7.5. Depósito de Aire Comprimido	78
1.3. ACTUADORES NEUMATICOS	81
1.4. CILINDROS	82
1.4.1. Cilindro de Simple Efecto	82
1.4.2. Cilindro de Doble Efecto	85
1.4.3. Cilindros Especiales	85
1.4.4. Cilindro Rotativo, de Rotación, Rotatorio o Actuador Rotante	86
1.4.5. Motores Neumáticos	86
1.4.5.1. Motor de Émbolo Radial	87
1.4.5.2. Motor de Paletas o láminas	87
1.5. ELEMENTOS NEUMÁTICOS	88
1.5.1. Válvulas	88
1.5.1.1. Características de la Válvulas de Vías	90
1.5.1.2. Características Constructivas de las Válvulas Distribuidoras	92
1.5.1.2.1. Válvula de Asiento	93
1.5.1.2.2. Válvula de Distribuidor Axial de Corredera	93
1.5.1.2.2.1. Válvula de Distribuidor Axial	93
1.5.1.2.2.2. Válvula de Curso Plano Axial	94
1.5.1.2.2.3. Válvula de Distribuidor Rotante o Disco Distribuidor	94

1.5.1.3. Características de Otras Válvulas	94
1.5.1.3.1. Válvulas de Bloque	94
1.5.1.3.2. Válvula Selectora o Válvula “O”	95
1.5.1.3.3. Válvula de Simultaneidad o “Y”	95
15.1.3.4. Válvulas de Presión	95
1.5.1.3.5. Válvula Limitadora de Presión	95
1.5.1.3.6. Válvula de Secuencia	96
1.5.1.4. Montaje de Válvulas	96
1.5.2. Mandos Neumáticos	97
1.5.2.1. MANDO según Normas DIN 19226	98
1.5.2.2. Señales	98
1.5.2.2.1. Señal Analógica	98
1.5.2.2.2. Señales Discretas	98
1.5.2.2.3. Señal Digital	98
1.5.2.2.4. Señal Binaria	99
1.5.2.2.4.1. Campo de Valores de una Señal Binaria	99
1.5.2.3. Descomposición de la Cadena de Mandos	99
1.6. CIRCUITOS NEUMÁTICOS BÁSICOS	100
1.6.1. Mandos para la Regulación de la Velocidad en los Cilindros	100
1.6.2. Estrangulación del Aire a la Salida	101
1.6.3. Circuitos Básicos con Válvulas Distribuidoras	101
1.6.3.1. Válvula 3 Vías 2 Posiciones	101
1.6.3.2. Válvula 4 Vías 2 Posiciones	101
1.6.3.3. Válvula 5 Vías 2 Posiciones	101
1.6.3.4. Mando Directo	101
1.6.3.5. Mando Indirecto	102
2. CARACTERISTICA DE LOS MATERIALES	103
2.1. LÁMINA GALVANIZADA	105
2.1.1. Fabricación (Proceso de Galvanización)	105
2.1.1.1. Instalaciones Discontinuas ó de Galvanización General	106

2.1.1.2. Instalaciones Automáticas ó Semiautomáticas	106
2.1.1.3. Instalaciones Continuas	107
2.1.2. Propiedades	109
2.1.2.1. Resistencia a la Abrasión	110
2.1.2.2. Resistencia a la Corrosión	110
2.1.2.2.1. Corrosión Atmosférica	111
2.1.2.2.2. Corrosión en Agua Dulce	111
2.1.2.2.3. Corrosión en Agua de Mar	113
2.1.3. Ventajas	113
2.1.4. Normas sobre Galvanización en Caliente	114
2.1.4.1. Galvanización General	114
2.1.4.2. Recubrimiento sobre Tubos	116
2.1.4.3. Recubrimiento sobre Láminas ó Bandas	117
2.1.4.4. Recubrimientos sobre Alambres	119
2.1.5. Aplicaciones	121
2.1.6. Características de la Lámina Galvanizada	122
2.1.7. Diferentes Presentaciones de la Lámina Galvanizada	123
2.1.7.1. Lámina Galvanizada en Rollo	123
2.1.7.2. Lámina Galvanizada Cortada	124
2.1.7.3. Acero Galvanizado Corrugado	124
2.1.7.4. Lámina Galvanizada Pintada	124
2.2. EL ÁNGULO Y EL TUBO	125
2.2.1. Composición Química	125
2.3. ASPECTOS IMPORTANTES EN EL ESTUDIO DE LOS MATERIALES	126
3. PROCESO DE CURVADO	132
3.1. RADIO DE CURVATURA	132
3.2. TOLERANCIA PARA EL CURVADO	133
3.3. RETROCESO ELÁSTICO	133
3.4. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO	136

3.5. DUCTIBILIDAD Y MALEABILIDAD	139
3.6. CONFORMACIÓN DE LOS METALES	140
3.7. EL PROCESO DE CURVADO Y LA NEUMÁTICA	142
3.8. FORMAS DE CURVADO	143
3.9. MÉTODO PARA EL CURVADO	146
3.9.1. Curvado de Tubos y Formas Estructurales	146
3.9.2. Curvado con Tracción	147
3.9.3. Curvado con Estiramiento	147
3.9.4. Curvado por Compresión	148
3.9.5. Curvado por Extrusión a Rodillo	148
3.9.6. Curvado a Rodillo	148
4. DISEÑO DEL EQUIPO	151
4.1. OBTENCIÓN DE PERFILES EN CARROCERÍAS TURBACO	151
4.1.1. Perfil Omega	151
4.1.2. Ángulos y Tubos	152
4.2. MÉTODO ANTERIOR DE CURVADO DE PERFILES	153
4.3 DISEÑO DE LOS RODILLOS	157
4.3.1. Selección del Material	157
4.3.2. Dimensiones de los Rodillos	160
4.4. DISEÑO DEL BLOQUE DE MOLDEO	160
4.4.1. Dimensiones del Bloque de Moldeo	161
4.4.2. Selección del Material	161
4.5. CALCULO DE LA FUERZA NECESARIA PARA CURVAR	164
4.5.1. Fuerza Necesaria para Curvar el Perfil Omega	165
4.5.2. Fuerza Necesaria para Curvar el Ángulo de 1/8"	166
4.5.3. Fuerza Necesaria para Curvar el Ángulo de 3/16"	166
4.5.4. Fuerza Necesaria para Curvar el Tubo Redondo	167
4.6. SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE POTENCIA	168
4.6.1. Calculo para la Selección del Cilindro	169
4.6.1.1. Fuerza Necesaria para el Doblez	169

4.6.1.2. Presión	169
4.6.1.3. Fuerza del Cilindro	171
4.7. VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES	171
4.7.1. Comprobación de los Rodillos para el Perfil Omega	171
4.7.2. Comprobación de los Rodillos para los Ángulos.	177
4.7.3. Comprobación de los Rodillos para el Tubo.	179
4.8. CÁLCULO DEL CILINDRO NEUMATICO PARA CAMBIO DE MATRICES.	181
4.9. POSICIONADORA DE RODILLOS.	184
4.9.1. Cálculo del Cilindro Accionador del Posicionador de Rodillos.	186
4.10. PLAN DE MANTENIMIENTO.	189
4.10.1. Herramientas a Utilizar.	189
4.10.2. Mantenimiento Semanal.	190
4.10.3. Mantenimiento Trimestral.	191
4.10.4. Mantenimiento Semestral.	191
4.10.5. Mantenimiento Anual.	192
5. EVALUACIÓN ECONÓMICA	193
5.1. COSTO DEL EQUIPO	193
5.2. PARALELO ENTRE EL MÉTODO ANTIGUO Y EL MÉTODO NUEVO	194
5.2.1. Método Antiguo	194
5.2.2. Método Nuevo	195
5.3. AHORRO	195
5.4. RETORNO DE LA INVERSIÓN	195
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	198
BIBLIOGRAFIA.	200
ANEXOS.	202

TABLAS

	Pág.
1.1. Clasificación De los Compresores	38
2.1. Especificaciones Técnicas de la Lámina Galvanizada	104
2.2. Propiedades de la Lámina Galvanizada	105
2.3. Duración de la Protección de la Galvanización	112
2.4. Espesores Mínimos de Descubrimiento	114
2.5. Espesores Mínimos de Recubrimientos sobre Piezas Centrifugadas	115
2.6. Espesores Locales Mínimos de Recubrimiento de los Tubos	116
2.7. Normas de Recubrimiento en Láminas	117
2.8. Masa Mínima de Recubrimiento sobre Láminas	118
2.9. Normas de Recubrimiento de Galvanización en Alambres	119
2.10. Especificaciones sobre Galvanización	120
2.11. Características de la Lamina Galvanizada	122
2.12. Lámina Galvanizada en Rollo	123
2.13. Propiedades Mecánicas del A36	125
4.1. Designación, Propiedades y Usos del Acero	158
4.2. Propiedades Mecánicas del AISI 1045	159
4.3. Propiedades el AISI 1040	163
4.4. Propiedades Mecánicas de los Perfiles a Curvar.	165
4.5. Formato de Datos de los Diámetros de la Posicionadora.	191
5.1. Costo al utilizar el Método Antiguo	194

FIGURAS

	Pág.
1.1. Sistemas de Aire	26
1.2. Unidad de Mantenimiento	34
1.3. Filtro de Aire Comprimido	35
1.4. Compresor Alternativo	40
1.5. Válvula de Admisión y de Descarga	41
1.6. Compresores de Simple y Doble Efecto	42
1.7. Compresores de una Etapa y Multi – Etapas	43
1.8. Diferentes Disposiciones de los Compresores Alternativos	45
1.9. Compresor de Dos Etapas	48
1.10. Compresor con Alabe	52
1.11. Compresor de Tornillo Sinfín Rotatorio	54
1.12. Compresor de Tornillo Sinfín Húmedo	57
1.13. Compresor de Anillo Líquido	58
1.14. Compresor Impeler de Baja Presión	60
1.15. Compresor de Diafragma	61
1.16. Compresor Centrifugo	62
1.17. Compresor de Flujo Axial	64
1.18. Compresores Empaquetados	72
1.19. Cilindro de Simple Efecto	83
1.20. Cilindro de Doble Efecto	84
1.21. Motores Neumáticos	88
1.22. Válvula de Vías	91
2.1. Procedimiento de Galvanización	107
2.2. Instalación de Galvanización Continua	108

2.3.	Recubrimiento que se Obtiene por Galvanización	109
2.4.	Diagrama de Dureza de los Recubrimientos Galvanizados	110
3.1.	Términos sobre el Curvado	134
3.2.	Curvado con Respecto a un Eje	136
3.3.	Diagrama Esfuerzo Deformación en Algunos Materiales	137
3.4.	Dispositivo de Conformación por Curvado para Material Plano	143
3.5.	Naturaleza de un Curvado Metálico	144
3.6.	Métodos de Curvado de Tubos y Perfiles Estructurales	149
3.7.	Máquina Curvadora con Rodillos Verticales	150
3.8.	Curvadora con Rodillos de Apriete	150
4.1.	Lámina Galvanizada	152
4.2.	Procedimiento para Doblar el Perfil Omega	152
4.3.	Tipos de Perfiles Usados por Carrocería Turbaco	153
4.4.	Método Utilizado anteriormente por Carrocería Turbaco	154
4.5.	Esquema del Equipo Neumático para Curvar	156
4.6.	Diagrama de Cargas sobre los Rodillos	159
4.7.	Rodillos para el Curvado de las Láminas.	160
4.8.	Esquema de los Bloques Formadores (vista lateral).	161
4.9.	Esquema de Diagrama de Fuerzas del Cilindro para Intercambiar Matrices.	182
4.10.	Esquema de Posicionadoras.	185
4.11.	Accionamiento Posicionadora Superior.	185
4.12.	Accionamiento Posicionadora Móvil.	186

INTRODUCCIÓN

Desde la fundación de “CARROCERIAS TURBACO”, esta se ha visto en la necesidad de emplear formas curvas en perfiles diversos, los cuales son necesarios para construir carrocerías metálicas de acuerdo a los estándares de esta área.

Estos perfiles curvados, se emplean principalmente como los párales ó columnas principales que sirven de soporte de techo y forman los espacios necesarios para la formación de las paredes. En pocas palabras estos constituyen la piedra angular en la construcción de carrocerías.

Para obtener estos perfiles curvados, actualmente CARROCERIAS TURBACO, emplea un método rustico, que consiste en calentar el perfil mediante un soplete de LLAMA DE OXIACETILENICA hasta que el perfil obtenga propiedades moldeables. Cuando el material llega a este estado es conformado mediante herramientas de impacto sobre un molde previamente diseñado por la empresa.

Este método ofrece grandes desventajas, tales como:

1. El material sufre alteraciones en sus propiedades, ya que ve reducida su resistencia mecánica y su resistencia a la corrosión.
2. El gasto de oxígeno durante el proceso es apreciable, lo cual resulta altamente costoso para la empresa.
3. Este procedimiento presenta riesgos para el operario que lo realiza.

Adicionalmente a esto, la compañía cuenta con algunos elementos que no están siendo aprovechados, tales como:

1. Un compresor de Aire de 12 HP Alternativo de una etapa.
2. Una red de aire comprimido.

Todo lo anterior nos ocasionó la inquietud, como estudiantes de Ingeniería Mecánica, de buscar un método que cumpliera con los requerimientos de conformado de los perfiles sin acarrear con las mismas desventajas con que cuenta actualmente CARROCERIA TURBACO al aplicar el método descrito anteriormente.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se establecieron una serie de conceptos importantes en la sección 1 (Marco Conceptual). Posteriormente se despejaron dudas de los materiales a utilizar en la sección 2 (Propiedades de los Materiales). El desarrollo del trabajo continuó describiendo los métodos

empleados para el curvado en la sección 3 (Proceso de Curvado).

Por último se condensa toda la información contenida en las secciones anteriores realizando el diseño de cada uno de los componentes del equipo con comprobaciones, cálculos y criterios de diseño en la sección 4 (Diseño del Equipo).

Una vez finalizado todos los cálculos pertinentes obtenemos el Diseño, Construcción y Montaje de un Equipo Neumático para Moldear Laminas de Diferentes Formas usadas en la Construcción de Carrocerías para Buses.

El resultado es un equipo neumático de conformación en frío, con el fin de aprovechar el compresor de aire con que cuenta la empresa, junto con la red de aire comprimido y evitar los inconvenientes que ofrece en este caso la conformación mediante la aplicación de calor, aprovechando así las ventajas que trae la conformación en frío, tales como aumento de la resistencia mecánica por deformación y la permanencia de propiedades tan importantes como la inhibición de la corrosión con la que cuenta la lamina galvanizada, entre otras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y montar un equipo neumático para moldear láminas en diferentes formas usadas en la construcción de carrocerías de buses

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un documento investigativo, que contemple nuestro proceso de diseño, construcción y montaje, incluyendo cálculos, fundamentación teórica y esquemas, con el fin de suministrar a la comunidad en general material de estudio respecto al tema.
- Calcular los datos de diseño necesarios mediante un estudio de resistencia de materiales, diseño de máquinas, procesos de manufactura y neumática, para determinar las características óptimas de los equipos a utilizar.
- Diseñar los diferentes componentes de la máquina de acuerdo a los estudios obtenidos del material.
- Construir y ensamblar los diferentes componentes de la máquina.
- Comprobar y poner en marcha la máquina
- Elaborar un programa de mantenimiento para la máquina

- Evaluar económicamente la inversión del equipo.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 NEUMATICA

El uso de aire comprimido, como medio para transmitir potencia se ha usado por muchos años, aunque recientemente ha tenido aplicaciones complejas. Con el advenimiento de válvulas muy pequeñas, el aire se ha convertido en el sistema nervioso y muscular de complicados equipos automáticos.

¿Qué es el aire? El *aire* puede definirse como un gas incoloro, inodoro e insípido, compuesto químicamente de nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua. El aire se mezcla muy fácilmente con otros fluidos ya que sus moléculas se encuentran muy separadas y en movimiento continuo viajando siempre en líneas rectas. Al nivel del mar el aire se encuentra a una presión de 101325 Pa.

1.1.1. Leyes Básicas. Hay varias leyes básicas que rigen el comportamiento del aire y que son importantes en el diseño de sistemas neumáticos, tales como:

1.1.1.1. Ley de Boyle. Esta ley define la relación entre el volumen y la presión y enuncia que si la temperatura es constante, la masa de un volumen dado de gas,

varía inversamente a su presión absoluta. Se expresa:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

Ecuación 1.1

Donde:

P_1 = Presión inicial (absoluta)

P_2 = Presión final (absoluta)

V_1 = Volumen inicial

V_2 = Volumen final.

1.1.1.2. Ley de Charles. Esta ley se refiere al comportamiento de los gases cuando cambia la temperatura, enunciando que cuando no hay cambio en el volumen, la presión de un gas varía directamente con la temperatura absoluta.

1.1.1.3. Ley de Pascal. Esta ley enuncia que la presión de un gas contenido en un recipiente se trasmite en todas las direcciones sin disminución y actúa en ángulo recto con las superficies del recipiente.

1.1.2. Flujo de Aire. El aire fluye únicamente cuando existe una diferencia de presión y va de la mayor presión hacia la menor presión. La velocidad del flujo depende de la presión inicial, la diferencia de presión existente, tamaño, forma y suavidad del orificio. La forma y suavidad del orificio son importantes debido a que

una tubería recta o de curvas suaves, ayuda al flujo; también la suavidad de las paredes interiores disminuye la fricción ya que las paredes interiores rugosas disminuyen la velocidad de las capas adyacentes de aire reduciendo el área efectiva de la tubería.

1.1.3. Participación de la Neumática en la Automatización.

1.1.3.1. Automatización. El hombre pone la máquina a su servicio con el objeto de lograr que lo producido por esta sea de la mejor calidad, aumentando la producción, disminuyendo la fatiga y los riesgos de accidentes. El siempre interviene para dar una orden de puesta en marcha y según sea el grado de su intervención, se obtiene un mayor o menor nivel de automatismo.

En la primera escala se puede colocar un operador que actúa directamente sobre un pulsador ó válvula que a su vez acciona un cilindro neumático para lograr un desplazamiento con una determinada fuerza. En este caso toda la responsabilidad de la decisión recae sobre el operador.

Ascendiendo en la escala, si se intercala algún recurso tecnológico entre el operador y el elemento receptor de su decisión, disminuye su responsabilidad y se garantiza su integridad bajo determinadas condiciones. La máquina se encarga del proceso manual.

Subiendo un escalón más y agregando al caso anterior de seguridad un cierto grado de automatismo se logra que el operario dé solamente una señal de arranque manual continuando así el proceso hasta cumplir un ciclo prefijado; limitando su intervención, dándole mayores garantías y fijando una secuencia lógica del proceso. Esta fase, es la automatización parcial, generalmente una máquina realiza varios pasos en la mecanización de una pieza que se repite constantemente.

En la última fase ó peldaño, el autómeta se encarga de todo el proceso de mecanización, es decir que con un conjunto de Recursos Tecnológicos íntegramente automatizado, se puede anular totalmente la intervención humana durante la ejecución de un proceso.

Desde el punto de vista técnico podemos definir la automatización como el conjunto de Recursos Tecnológicos tendientes a lograr que una serie de funciones, operaciones o actos que se realicen en una determinada secuencia sin la intervención humana. Hoy en día, se busca automatizar en todos los casos en los que tienen que realizarse trabajos de rutina que para el hombre son aburridos, pesados, molestos ó nocivos para su salud. Esto es válido principalmente para los procesos técnicos de producción, pero también lo es para otros sectores, por ejemplo, la técnica para la ordenación del tráfico. De acuerdo con su funcionamiento puede distinguirse, de forma general, entre cuatro clases de procesos:

- Procesos de transformación.
- Procesos de fabricación.
- Procesos de distribución.
- Procesos de medición y de verificación

1.1.3.2. Neumática y Automatización. Para operar el conjunto de recursos tecnológicos que origine una automatización, es necesaria la energía. Entre las varias formas energéticas, está la neumática. Si bien, la utilización del aire comprimido como fuente energética es relativamente cara, podría llegarse a suponer que los costos de producción, acumulación y distribución involucran gastos elevados. Esto no es exacto, pues en el cálculo de rentabilidad de una instalación, no sólo debe tenerse en cuenta el costo energético y los gastos de instalación, sino también los ahorros de mano de obra, los gastos de mantenimiento y el aumento de la producción logrado, resultando finalmente que el costo energético resulta despreciable y las inversiones de

instalación fácilmente amortizable. La gran difusión en el proceso de automatización neumática principalmente se basa en el aire comprimido, cuyos aspectos sobresalientes son:

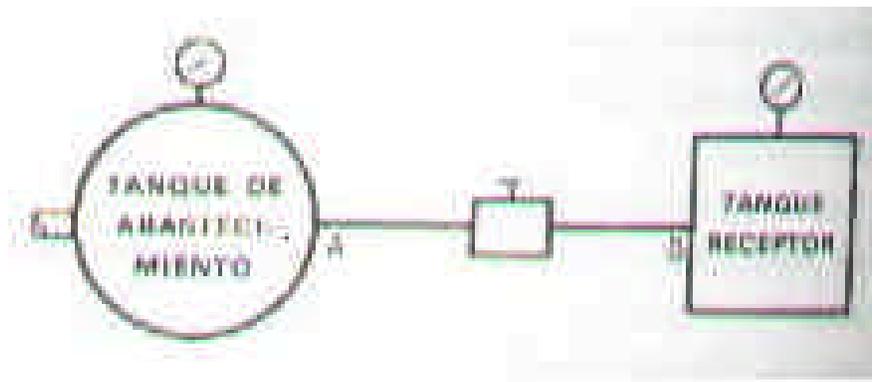
- Obtención: Puede generarse sin limitaciones ya que la materia prima no tiene costo ni límite.
- Distribución: Fácil transporte y no es necesaria su recuperación.
- Acumulación: Puede almacenarse mediante el empleo de depósitos acumuladores.
- Flexible a la temperatura: Admite variaciones de temperatura considerable.
- Antiexplosiva: Permite ser utilizada en ambientes calificados como inflamables o explosivos.
- Ambiente: No afecta el medio ambiente, caso industria alimenticia, industria con polvos, etc.
- Componentes: Los componentes de utilización son de costo moderado y de fácil aplicación.
- Utilización: Admite altas velocidades de trabajo, regulación de fuerzas sin escalonamientos y sin perjuicios por bloqueos ó detenciones forzosas por sobrecarga.

Algunas de las limitaciones que en muchos casos definen su campo de aplicación, son:

- Compresibilidad: Esta característica impide obtener velocidades constantes frente a resistencias variables.
- Fuerzas: Limitaciones prácticas de aproximadamente 35.000 Newton (3.500 Kg) en forma directa.

1.1.4. Aire Comprimido. En los sistemas de aire comprimido (ver figura 1.1) el aire aspirado por el compresor entra a la presión y temperatura ambiente con su correspondiente humedad relativa. Entonces se le comprime a una presión más alta que la atmosférica. Este ciclo de compresión lleva consigo una elevación de temperatura y en consecuencia, un calentamiento del aire hasta un grado tal que toda la humedad contenida en el aire pasará por el compresor al ser aspirado. Este aire comprimido caliente que descarga el compresor y que lleva vapor de agua, al enfriarse por radiación y convección en el depósito y tuberías de distribución y por lo tanto descender su temperatura hasta igualar la temperatura ambiente (pero a mayor presión), condensaría gran parte del vapor en forma de gotas de agua, las que serían arrastradas por el flujo de aire a los lugares de utilización.

Figura 1.1. Sistemas de Aire



1.1.4.1. Datos Históricos del Aire Comprimido. Podemos decir que los pulmones son el primer y más antiguo de los compresores del aire, pudiendo tratar 100 lts. de aire por minuto. La impulsión del aire la podemos ver en cualquier acto de la humanidad por Ej. la cerbatana para impulsar una flecha.

Como primer compresor mecánico se puede citar el fuelle manual que fue inventado 3.000 años a.C. Sintetizando podemos decir que los avances más notables sobre la utilización del aire comprimido comienzan en:

- 1650 Otto Von Guericke inventa la bomba de aire.
- 1688 Demis Papin sugiere la utilización del aire por tubos neumáticos.
- 1717 El Dr. Edmundo Halley inventa la campana de buzo.
- 1800 Comienza a estudiarse el empleo del aire comprimido como medio de transmisión de energía, al comprobarse que el vapor debido a su rápido enfriamiento y condensación, sólo podía emplearse en distancias cortas.
- 1810 M. Medhurst construye un compresor.

- 1888 Funciona en París la primera Central de Compresores.
- 1890 - 1891 Se suscitaron vivas controversias sobre la rentabilidad del aire comprimido como fuerza motriz en competencias con el vapor, la electricidad y el motor de gas.

Recién en el año 1965 se comienza a comercializar los sistemas fluídicos a la industria.

1.1.4.2. ¿Porqué Aire Comprimido? Es la primera pregunta que formula el empresario cuando se le propone su uso. La razones son: su versatilidad y su rapidez de respuesta en el trabajo, su acción no es tan rápida como la electricidad, pero si es notablemente más rápida que la hidráulica. Por ser el aire un fluido compresible podemos almacenarle fácilmente en depósitos, los cuales sirven además para regular la entrada en funcionamiento del compresor y reponer el aire comprimido consumido. El mantenimiento es de poco gasto.

Otras características propias del aire comprimido son:

- El costo no es muy superior a los de otros sistemas de energía.
- No implica riesgos graves ni peligro de accidentes.
- El escape de aire no es tóxico ni es explosivo.
- Tiene gran capacidad de regulación y de control.

- El aire no presenta riesgos de chispas ni de cargas electrostáticas.
- Los circuitos de aire no están expuestos a los golpes de ariete.
- Admite combinación con otras formas de energía.

1.1.4.3. Aire Libre. *Una cantidad en N l/min ó en m³/min que se dan generalmente en los catálogos para el consumo de aire por las herramientas neumáticas o equipos, se refieren a aire libre por minuto (aire atmosférico a la presión y temperatura normal).*

Debemos asegurarnos que el dato sobre la capacidad del compresor que da el fabricante esté también referido a aire libre, con objeto de que exista una correspondencia entre consumo y capacidad. Normalmente, estas dos especificaciones están dadas en aire libre, y por lo tanto, no hace falta ninguna conversión. Sin embargo, cuando se trata del consumo de aire de otros equipos, es posible que no se dé en aire libre; entonces deberá recurrirse a la fórmula para la conversión de litros de aire comprimido a una presión determinada en litros de aire libre:

$$Q = Q_1 \left(\frac{P + 1.033}{1.033} \right)$$

Ecuación 1.2.

Donde:

Q = litros de aire libre por minuto.

Q_1 = litros de aire comprimido por minuto.

P = presión del aire comprimido en kg/cm^2 .

Existen diversas denominaciones utilizadas por los fabricantes para indicar la cantidad de aire que proporciona el compresor, tales como desplazamiento volumétrico, volumen engendrado, etc. Bajo estos nombres genéricos se considera un caudal de aire expresado en cifras teóricas, que no responde al verdadero caudal de aire suministrado por el compresor, mientras que el consumo de los equipos neumáticos se da en cifras efectivas.

1.1.4.4. Aire Atmosférico. Es sabido que el aire atmosférico contiene cierta proporción de humedad, esta proporción es mayor o menor según el país, la localidad, las condiciones climatológicas y según las estaciones del año.

Las aptitudes del aire para retener agua vaporizada están relacionadas con la temperatura y la presión pero principalmente con la primera, admitiendo más vapor de agua cuando aumenta su temperatura. Un aire saturado (100% de humedad) puede retener más humedad si aumenta la temperatura o desciende la presión por el contrario desprende parte de su contenido de humedad si baja la temperatura o sube la presión.

1.1.4.5. Preparación del Aire Comprimido. El aire comprimido contiene impurezas (gotas de agua, polvo, restos de aceite, óxido, cascarillas, etc.) que pueden causar interrupciones en los mandos neumáticos, por lo que se debe tratar de eliminarlas, aumentando de esta forma la duración de los elementos, disminuyendo la avería de los mandos y reparaciones en general.

Si no se evacua el contenido, como se suele llamar, el agua existente en los conductos del aire comprimido, puede causar daños en:

- La red metálica.
- Los elementos de mando.
- Los elementos de trabajo.
- Las máquinas.

En caso de que exista condensado entre los elementos, no se puede garantizar un funcionamiento impecable de los mismos.

Los restos de aceite de los compresores pueden producir junto con el aire comprimido una mezcla de aire y aceite (mezcla de gas), con el peligro de explosión, sobre todo cuando hay temperaturas elevadas (más de 373K).

Como precaución contra los daños que se producen en los elementos debido al aire comprimido sucio, y en perjuicio de los procesos de mando, se deben colocar los siguientes aparatos para limpiar el aire comprimido:

- *Filtro de aspiración del compresor* evita la entrada del polvo.
- *Refrigerador intermedio y final del compresor* sirven para separar el condensado.
- *Refrigerador final* el cual no sólo se ocupa de la limpieza en la red de conductos (Separación de partículas externas y agua), sino también evita accidentes en caso de explosión, que se pueden producir por la mezcla de aire y aceite. Con este aparato se extrae la mayor cantidad posible de aceite quemado. El aire comprimido debe prepararse, sobre todo debe prestarse mucha atención a la humedad que contiene. En caso de que los refrigeradores no sean suficientes para obtener aire comprimido completamente seco, se debe realizar un proceso de secado de aire.
- *Secadores*. En estos procesos de secado se puede reducir el contenido de agua hasta un $0,001 \text{ g/m}^3$, en casos especiales. Esta fuerte reducción solo es necesaria en casos de aplicaciones muy especiales. El principio de absorción se trata de un procedimiento puramente químico. A través del

secador se sopla aire caliente el cual condensa la humedad. En la mayoría de los casos se montan en paralelo dos secadores, uno para el secado del aire y el otro para su regeneración. La capacidad de almacenado del material de secado es limitada. Bajo las condiciones normales se debe cambiar el material de secado cada 2 ó 3 años.

- *Secado en frío:* Si se enfría el aire comprimido a la temperatura más baja que el punto de rocío, aparece una condensación y se separa el agua. El aire comprimido se enfría a una temperatura de 274,7 K (1,7° C). La refrigeración se realiza en el serpentín del aparato de refrigeración y a través de este serpentín circula un líquido refrigerante. Nuevamente se separan el agua y las impurezas de aceite restantes. El aire comprimido limpio y seco vuelve nuevamente a la primera parte del secador. El aire sale por el secundario y efectúa pre-refrigeración del aire comprimido caliente que entra por el primario. Las paredes interiores sucias pueden influir en el funcionamiento, por este motivo se debe colocar un filtro para separar grandes gotas de aceite y partículas de suciedad.

1.1.4.6. Depósito de Aire Comprimido También el depósito de aire comprimido conectado después del compresor y de las estaciones de preparación ayuda a preparar el aire comprimido. Este sirve para la estabilización de la alimentación del aire y compensa las caídas de presión en la red durante el consumo de aire; gracias a la gran superficie del depósito de aire comprimido, se enfría el aire

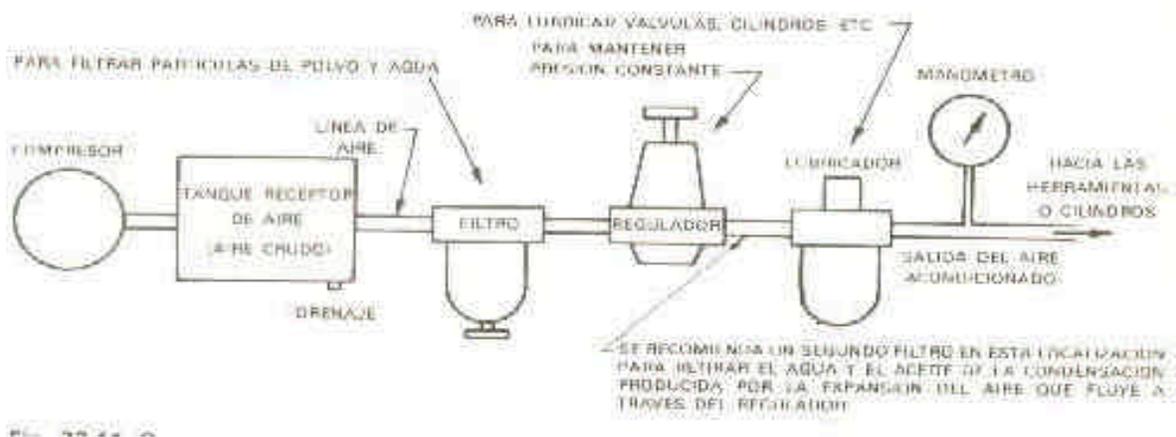
adicionalmente. Con esto se separa directamente en el depósito de aire comprimido una parte de la humedad en forma de agua.

El compresor alimenta el depósito de aire comprimido y tan pronto se llega a la presión ajustada se desconecta automáticamente el compresor. Si la presión baja por el consumo de aire, se conecta nuevamente el compresor. Luego, desde el depósito de aire comprimido pasa el aire por una red de conductos a los diferentes puestos de consumo.

1.1.4.7. Unidad de Mantenimiento. La unidad de mantenimiento es un montaje en bloque de los elementos siguientes, como se muestra en la figura 1.1:

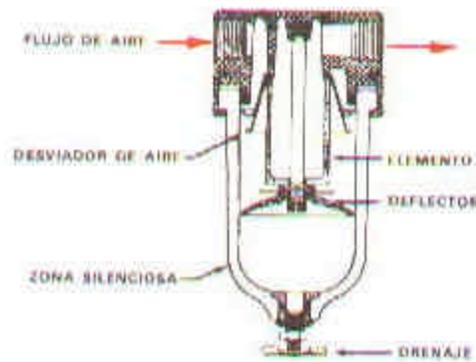
- Filtro de aire comprimido.
- Regulador de presión.
- Lubricador del aire.

Figura 1.2 Unidad de mantenimiento



1.1.4.7.1. Filtro de Aire Comprimido. Este elemento puede suministrarse en forma independiente ó formando una unidad con los elementos antes indicados. Su efectividad depende de la construcción (recorrido de flujo) y del cartucho filtrante. La misión de los filtros consiste en eliminar los condensados y materias sólidas que salen del aire comprimido. Estos, no deben elegirse según el diámetro de la tubería sino según el caudal de aire que van a tratar y la presión de trabajo. En caso de filtros normales se utilizan diámetros de poros de 30 a 70 mm, los filtros finos pueden tener poros de 3 mm. Ver figura 1.3.

Figura 1.3. Filtro de Aire comprimido.



1.1.4.7.2. Regulador de Presión. *Todas las instalaciones neumáticas disponen de una presión de trabajo óptima, donde la presión de trabajo es menor a la presión existente en el compresor, por lo que se hace necesario regularla. Los reguladores de presión disponen de un indicador que nos da el valor de la presión que circula hacia el lado secundario, este indicador es un manómetro. Las tres razones principales para regular la presión del aire son:*

- Mantener el mínimo desperdicio de aire.
- Obtener la máxima consistencia en la operación del circuito.
- Mantener un balance óptimo entre el trabajo efectuado por los componentes y el desgaste de éstos.

El regulador debe escogerse para que se ajuste a la gama de presiones de

trabajo, usualmente entre 0 a 125 psi.

Los reguladores deben instalarse en cuanto sea posible, inmediatamente antes de un lubricador, ya que el aire puede contaminarse por la interacción de algunos aceites en el diafragma del regulador.

1.1.4.7.3 Lubricador del Aire Comprimido. *En un sistema neumático las piezas móviles necesitan lubricación y para que este sea suficiente y continuo se añade al aire comprimido una cierta cantidad de aceite mediante un lubricador. Las ventajas de la lubricación son las siguientes:*

- Reducción del desgaste.
- Disminución de las pérdidas por rozamiento.
- Protección contra la corrosión.

Las exigencias que debe cumplir un lubricador de aire comprimido son:

- Fácil servicio y mantenimiento.
- Funcionamiento completamente automático, con el comienzo y terminación del trabajo debe empezar y terminar también la lubricación.

- La cantidad de aceite para el mando neumático debe ser regulable según las necesidades.
- Producción de una fina niebla de aceite después de la salida en el lubricador.
- El lubricador debe funcionar en caso de necesitar el aire comprimido solamente en forma intermitente.

La mayoría de los lubricadores trabajan según el principio de Venturi. La diferencia de presión debida a la caída de presión delante de la tobera y la presión en el lugar más estrecho de la tobera se aprovecha para aspirar líquido (aceite) de un depósito y mezclarlo con el aire. El lubricador de aire comprimido empieza a trabajar sólo cuando existe un flujo lo suficientemente grande.

1.2. COMPRESORES

Son maquinas que aspiran un gas a una determinada presión y lo comprimen a una presión superior, la mayoría de los compresores aspiran el aire a presión atmosférica y lo comprimen a presión requerida. Antes de que el aire pueda ser usado para cumplir el trabajo requerido en un sistema neumático, se le debe haber dado energía potencial en forma de presión. El compresor comprime el aire (que se encuentra a la presión atmosférica) aumentando su presión debido al cambio de su volumen.

Tabla 1.1. Clasificación de los Compresores

ALTERNATIVOS	TURBOCOMPRESORES	ROTATIVOS
De pistón	Radiales	De paletas
De membrana	Axiales	De tornillo Roots

Muchos tipos de compresores son usados en la industria. Ellos están clasificados de acuerdo a su construcción, presión y requerimientos de aplicación, como se describe en la tabla 1.1.

1.2.1. Método de Operación. Un compresor de aire funciona por la creación parcial de un vacío en su entrada, de tal manera que el aire a la presión atmosférica pueda fluir a la entrada del filtro hacia el interior del compresor.

El compresor reduce el volumen mientras se incrementa la presión del aire. Cuando el aire ha sido comprimido, fluye a través de la válvula de descarga del compresor y entra a un tanque de almacenamiento, debido a que el compresor opera solo cuando la presión del tanque es baja.

El flujo de aire del compresor entra al tanque siempre que el compresor esta en marcha; cuando la presión del tanque alcanza el nivel de presión deseada, el compresor se apaga. Generalmente se previene que el aire fluya de regreso a

través del compresor, mediante las válvulas de descarga. El aire que está en el tanque fluirá a todas las líneas de aire que se encuentran a una presión menor que la del tanque. El aire no fluirá del tanque a las líneas de aire cuando estas tengan la misma presión. En este punto el sistema está completamente cargado.

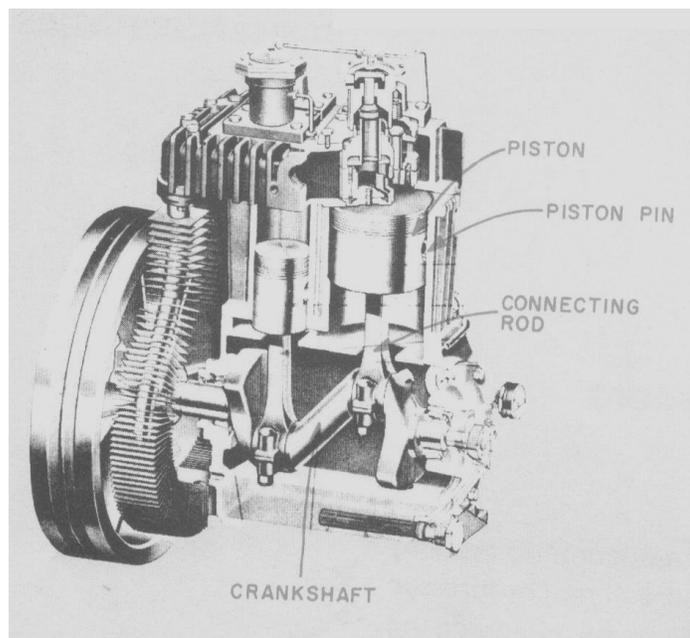
Un compresor con una capacidad ligeramente por encima de la presión requerida del sistema es seleccionado para eliminar el trabajo innecesario. De esta manera el compresor solo opera durante cortos periodos de tiempo cuando la presión cae o cuando el sistema está iniciando. La presión del sistema puede caer debajo de lo normal, cuando es empleado más aire del que el sistema es capaz de entregar. Durante esto un compresor entrega flujo en lugar de presión.

1.2.2. Clasificación de los Compresores

1.2.2.1. Alternativos. La compresión se consigue en el interior de un cilindro, por el movimiento alternativo de un pistón que es accionado por el mecanismo biela-manivela. Este consta de dos carreras una descendente o de admisión y otra ascendente o de descarga, ahora bien con una simple etapa de compresión podemos alcanzar hasta 4 ó 6 bares con un rendimiento aceptable, pero si necesitamos mayores presiones debemos recurrir a dos o más etapas de compresión.

Un compresor alternativo como se muestra en la figura 1.4, opera de la siguiente manera: el eje del cigüeñal del compresor es rotado por un motor eléctrico. El cigüeñal y la biela convierten este movimiento rotatorio en movimiento alternativo. El pistón está unido a la biela por un pin, el cual permite un movimiento independiente del pistón y la biela.

Figura 1.4. Compresor Alternativo

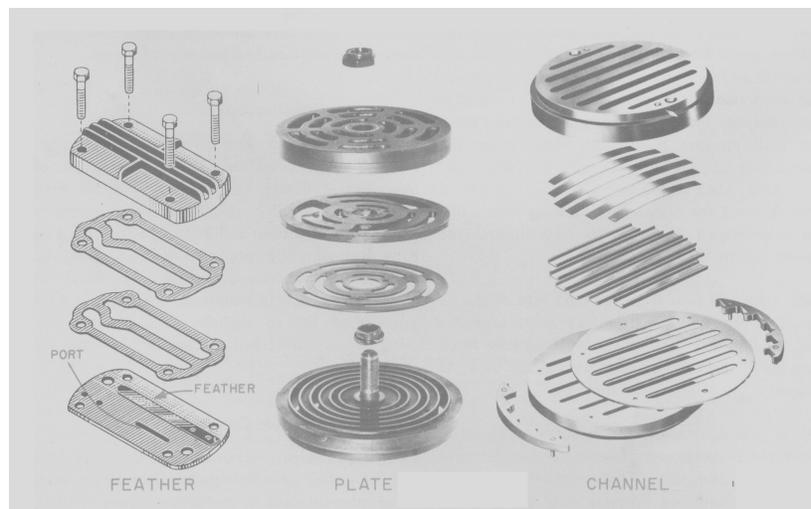


El pistón es movido de regreso en el cilindro por la biela y la rotación del cigüeñal. La biela retorna mientras el pistón entra y sale. Cabe anotar que las válvulas de descarga y de admisión se encuentran en la cabeza del cilindro. Debido a que el pistón regresa (en dirección al cigüeña l) se crea la suficiente presión negativa para admitir aire a la presión atmosférica para abrir las válvulas y empujar el aire dentro del espacio ensanchado. Como el pistón completa su carrera y comienza

retornando, la válvula de admisión se cierra ya que regresa, se comprime aire en el cilindro y cuando ya casi ha completado su carrera el pistón ha comprimido aire a la presión suficiente para que las válvulas de descarga se abran. El aire descargado del cilindro en este punto está a la misma presión de descarga del compresor.

Las válvulas de admisión y descarga se muestran en la figura 1.5 Pueden ser de diseño de pluma, de disco o plato, o de canal. La construcción de cada una de las válvulas difiere ligeramente, pero la operación de todas es similar.

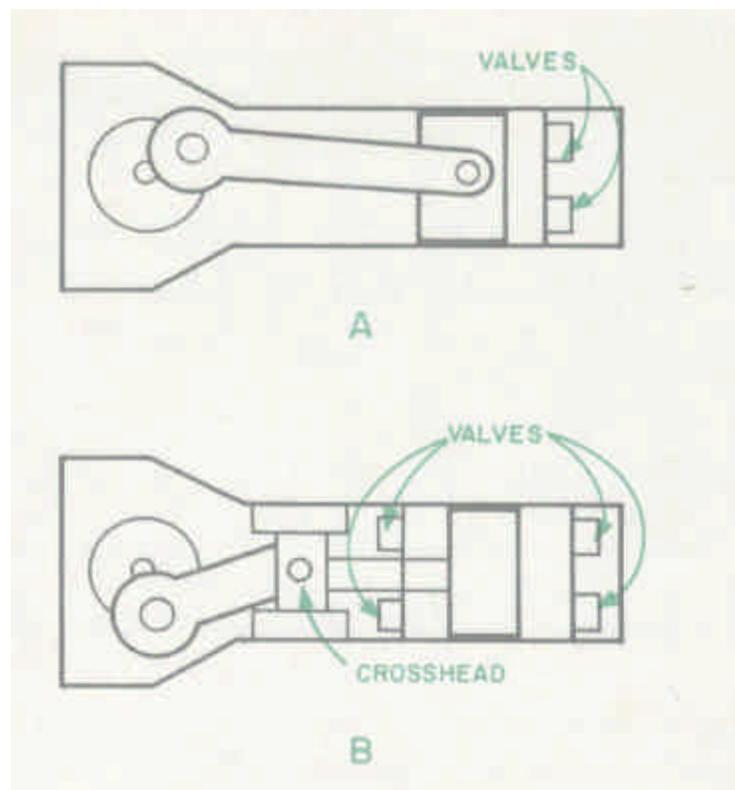
Figura 1.5. Válvula de Admisión y de Descarga



Las partes de la válvula incluyen un asiento de válvula, válvula movable y guarda o plato tope. La válvula movable permanece frecuentemente frente al asiento por un resorte, durante la operación el resorte mantiene la válvula en contacto con el

asiento. Como el aire es comprimido en el cilindro se genera una presión tal que es capaz de accionar la válvula y cuando el pistón retrocede de su carrera, el resorte y la presión de descarga cierran la válvula, previniendo que el aire regrese al cilindro.

Figura 1.6. Compresores de Simple y Doble Efecto

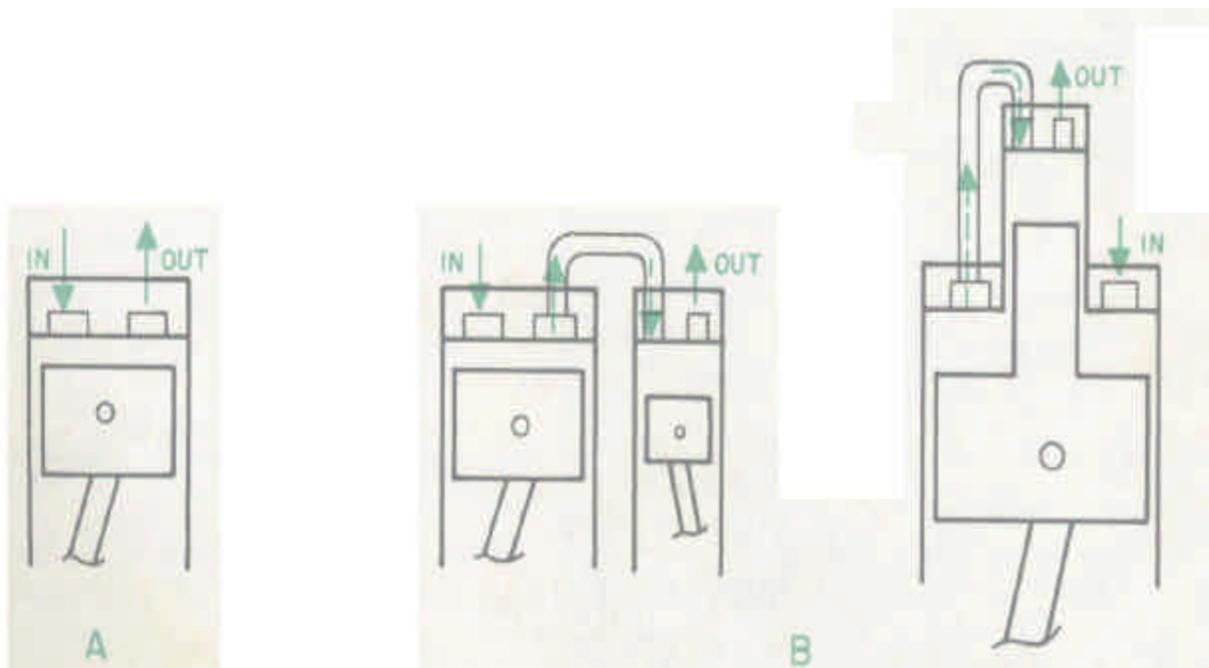


1.2.2.1.1 Compresores de Simple y Doble Efecto. Los compresores se clasifican de acuerdo a su operación en simple ó doble efecto y en etapas simples o multi-etapas. Un compresor que comprime aire solo con el final de un cilindro como en la figura 1.6A, es conocido como un compresor de simple efecto. Un

compresor que comprime aire con ambos finales del cilindro figura 1.6B, es conocido como un compresor de doble efecto o de cabeza cruzada.

El final del vástago del cilindro puede ser sellado, lo cual permite que el pistón comprima aire en ambos finales del cilindro. La cabeza cruzada soporta el vástago del pistón (la biela) y lo mantiene alineado en el centro del sello del cilindro. Las válvulas de succión y de descarga son generalmente montadas en el lado del cilindro, a diferencia de un compresor de simple efecto donde las válvulas se encuentran en la parte superior del cilindro.

Figura 1.7. Compresores de Una Etapa y Multi Etapas



términos de simple y multi - etapa describen el número de etapas o pasos que un compresor alternativo usa para comprimir aire a su presión final.

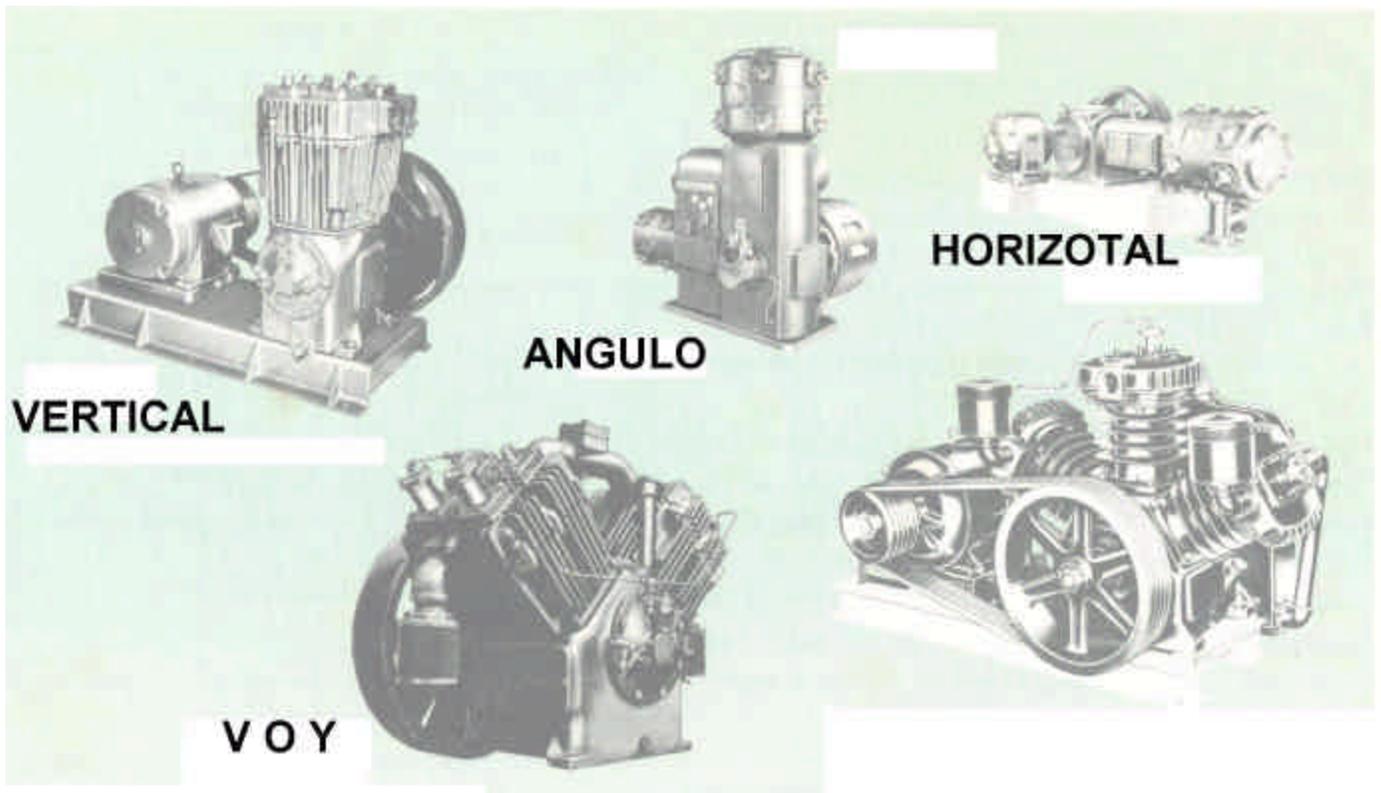
Un compresor que toma aire a la presión atmosférica y lo comprime a una presión final en una carrera, como se muestra en la figura 1.7A, es llamado un compresor de una etapa. Un compresor que toma aire a la presión atmosférica y lo comprime en dos o más carreras como en la figura 1.7B, es llamado un compresor de multi-etapas. Un compresor de simple o multi-etapas puede ser construido con dos o tres cilindros cada uno con cilindros de diferente diámetro, los compresores de simple-etapa son más económicos para presiones por debajo de 100 psi, pero los compresores de multi-etapa son más económicos de operar a una rata de presión superior a 100 psi.

El tiempo de operación del compresor también debe tenerse en cuenta. Los compresores de simple etapa pueden ser usados con una gran economía a una presión de 125 psi, cuando operan alrededor de dos horas en un día. El compresor de multi-etapa es recomendado para una operación de 80 a 100 psig para un uso de 12 a 24 horas al día.

1.2.2.1.3. Compresores Alternativos de Membrana. El funcionamiento es similar al anterior, la diferencia radica en que la aspiración y compresión, la efectúa una membrana, con este sistema se logra conseguir una gran pureza del aire ya que no esta en contacto con las partículas de aceite que puede expulsar el pistón en la carrera de compresión. Se utiliza este tipo de compresor en procesos químicos que requieren ausencia absoluta de aceites.

1.2.2.1.4. Construcción de Compresores. Los compresores alternativos son identificados también por la forma en que están dispuestos los cilindros como se muestra en la figura 1.8. tales como: vertical, en v o en y, en w, horizontal, en ángulo o L y semi-radial.

Figura 1.8 Diferentes Disposiciones de los Compresores Alternativos



Los compresores de doble efecto son fabricados en más de los arreglos mostrados mientras que los compresores de simple efecto son hechos usualmente solo con los tres primeros arreglos. Los compresores pequeños son construidos con un armazón sencillo, mientras que los grandes con dos pistones máximo, son

construidos con dos armazones, cada uno próximo al otro. En estos se usa un largo cigüeñal.

1.2.2.1.5. Caballos de Fuerza requeridos para Enfriar. Cuando el aire es comprimido su temperatura se incrementa debido a la fricción entre las moléculas del aire.

Cabe mencionar que se necesitan 25 caballos para producir 100 cfm de aire comprimido a 100 psi en un minuto, en un cilindro de un compresor de una etapa y que la temperatura del aire este cerca de 400°F. Por el contrario si se comprime aire en un compresor de dos etapas en lugar de una y el aire es enfriado entre la primera y segunda etapa se requerirá solo 10 Hp. Menor potencia es necesitada para comprimir el aire ya que el enfriamiento entre etapas reduce el volumen de aire que es comprimido en la segunda etapa.

Cuando un compresor tiene más de una etapa, el aire es enfriado usualmente después que el ha sido descargado de la primera etapa. Esto es conocido como Inter.-enfriador. Si el aire es enfriado después que el deja el compresor, este es pasado a través de un “after-cooler”.

El compresor puede ser enfriado también con agua o con aire dependiendo de la aplicación. El enfriamiento con aire es menos costoso por que requiere menos equipos pero el enfriamiento por agua es más eficiente. El enfriamiento por aire

es limitado generalmente para pequeños compresores (menos de 25 Hp) y el enfriamiento con agua se utiliza para grandes unidades.

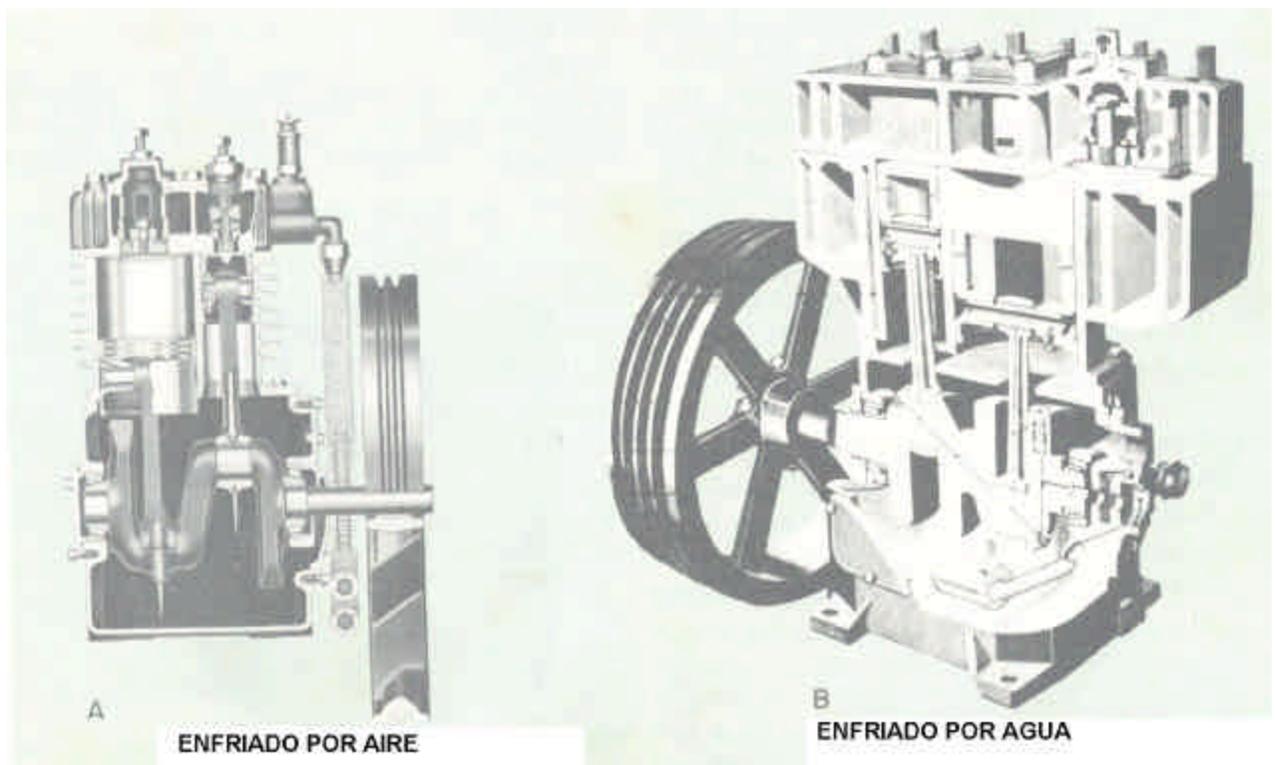
Un compresor de dos etapas enfriado por aire se muestra en la figura 1.9A. Este tiene un cilindro grande para la primera etapa y un cilindro pequeño para la segunda etapa. Nótese las aletas de enfriamiento sobre las paredes del cilindro y sobre la cabeza del cilindro del compresor, estas aletas son hechas cuando se fabrica la cabeza del cilindro. De esta manera el calor es conducido directamente a las superficies de enfriamiento. El calor de las aletas es entonces transmitido a los alrededores por convección y radiación.

Un compresor típico de dos etapas enfriado por agua, también es mostrado en la figura 1.9B, nótese el paso de agua dentro de la cabeza y el cilindro del compresor. Este compresor de dos etapas tiene un cilindro grande en la primera etapa en cada lado del compresor y el cilindro de la segunda etapa es ligeramente menor y está ubicado en la mitad del compresor. El calor generado en el cilindro es conducido directamente al agua en su paso.

En un compresor de dos etapas enfriado por agua como en la figura 1.9B, es suministrado con un intercambiador ubicado entre la primera y la segunda etapa, con el propósito de enfriar el aire entre etapas. Varios tipos de "Inter.-coolers", son manufacturados para compresores. Estos pueden ser refrigerados por aire ó refrigerados por agua, dependiendo de la aplicación del compresor.

Los intercambiadores enfriados por aire, son de uno o más tubos aleteados a lo largo de su longitud, conectando la primera y segunda etapa del compresor. El aire comprimido caliente pasa a través de los tubos cediendo su calor a estos los cuales a su vez lo transmiten a las aletas de enfriamiento, por lo que las aletas extienden el calor sobre una gran área de superficie.

Figura 1.9. Compresor de Dos Etapas



El enfriamiento depende de la cantidad y temperatura del aire comprimido, la longitud de los tubos, el número de aletas, la temperatura y la velocidad del aire de enfriamiento moviéndose sobre los tubos. Para ayudar a transferir el calor de los

tubos aleteados, muchos compresores refrigerados por aire utilizan un ventilador, motado en el cigüeñal del compresor. Este ventilador es fundido usualmente como una pieza del volante del compresor que fuerza el aire sobre las aletas mientras el compresor está en marcha.

El intercambiador refrigerado por agua es simplemente un intercambiador de tubos y coraza que está compuesto de un haz de tubos montados en la coraza. El agua de enfriamiento se dispone para pasar a través de la coraza y el aire comprimido para fluir a través de los tubos.

El aire de descarga caliente, transfiere su calor a los tubos y luego al agua. Algunos intercambiadores de calor son montados de manera diferente, con el agua corriendo a través de los tubos y el aire pasando a través de la coraza.

En cualquier que sea el arreglo que se utilice, el fluido y el aire fluyen usualmente en direcciones opuestas, comúnmente llamado contra-flujo. El aire que entra al intercambiador es enfriado por el líquido que está saliendo. Como el aire se mueve a través del intercambiador de calor, es enfriado por el agua de enfriamiento.

Finalmente antes que el aire deje el intercambiador es enfriado por el agua, que entra al intercambiador de calor. Esta es una manera más eficiente de transferir calor que el flujo paralelo, donde el agua y el aire fluyen en la misma dirección.

Como en los aires acondicionados, la cantidad de calor transferido en el intercambiador de calor depende de la cantidad de aire enfriado, la cantidad de agua usada, de cuan caliente este el aire, de cuan fresca o fría este el agua y del tamaño del intercambiador. La precaución que debe tomarse en un intercambiador que enfríe por agua es que el aire no debe ser enfriado a una temperatura donde el vapor de agua del aire se condense. Si esto ocurre se encontrará agua en el intercambiador, la cual puede ser llevada a la etapa de alta presión del compresor y causar daño.

1.2.2.2. Compresores Rotativos. Aunque el aire comprimido (sobre 100 Psi) es comúnmente usado en la industria, muchas plantas usan aire de 50 a 75 psi, pero debe moderarse para altos flujos. En algunas aplicaciones la presión del aire solo tiene que ser incrementada una pequeña cantidad (5 a 10 psi), pero el aire tiene que estar disponible en grandes cantidades. Esto sería derrochador y costoso al comprimir el aire a alta presión y luego reducirla a un bajo nivel a causa de aplicaciones de presión moderada.

Aplicaciones de presión baja son frecuentemente denominadas aplicaciones de procesos y son usadas para enfriamiento, calentamiento, movimiento de materiales al granel y para ayudar en la combustión. Los compresores que suministran aire para estas aplicaciones son usualmente del tipo rotatorio y son fabricados en diversos modelos ó estilos. Algunos son diseñados para suministrar

aire a grandes cantidades y a presiones intermedias, mientras otros suministran solamente aire a procesos de baja presión.

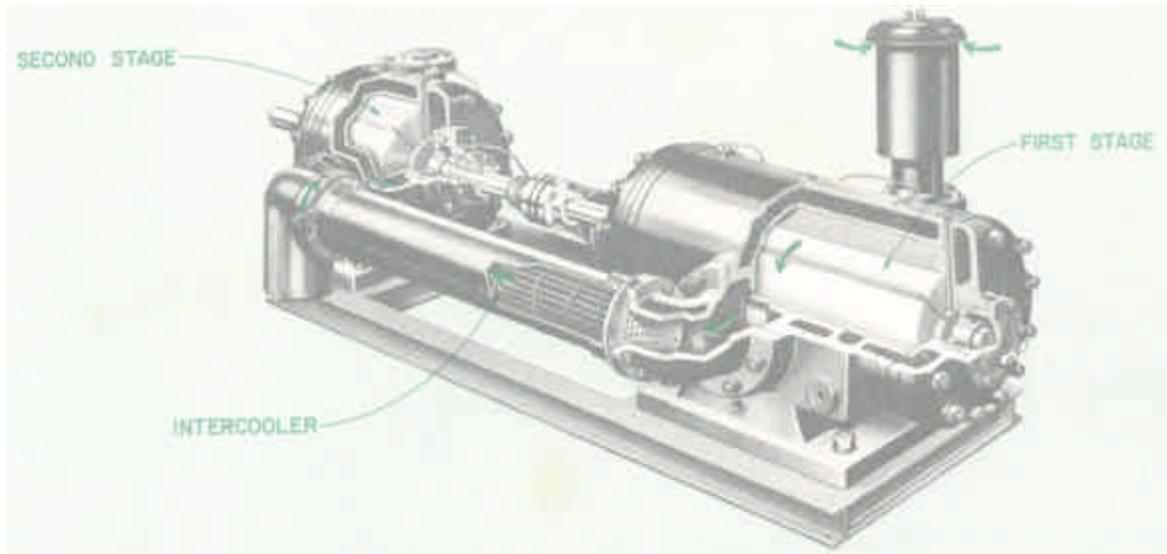
1.2.2.2.1. Clasificación de Compresores Rotativos. Los compresores rotativos también se clasifican en compresores de desplazamiento positivo y dinámico. Los compresores rotativos con entrada separada mecánicamente y aberturas de descarga son clasificados como de desplazamiento positivo. Los compresores dinámicos no tienen métodos de separación en la entrada ni en las aberturas de descarga y permiten el libre paso del aire cuando ellos no están funcionando.

Los compresores de aire rotatorio de desplazamiento positivo incluyen: un alabe de deslizamiento, tornillo sin fin seco, tornillo sin fin húmedo, anillo fluido y tipos de Impeler o lóbulo. Los compresores dinámicos incluyen tipos de flujo centrífugo y axial que son semejantes a las bombas de fluido usado en diferentes etapas o pasos, los cuales constan de un impeler independiente para conseguir su presión de operación.

1.2.2.2.1.1. Compresores con Alabe. Los compresores con alabe de deslizamiento mostrado en la figura 1.10., es un compresor rotatorio de desplazamiento positivo. Este compresor es una unidad compacta que es menos eficiente que un compresor con pistón, pero es mas eficiente que algún otro compresor rotatorio. Estos compresores son bastante semejantes a las bombas con alabes, pero son mas largos. El compresor consiste en un rotor con ranuras

radiales montado fuera del centro en una cubierta redonda. El rotor es equipado con alabes rectangulares localizados en las ranuras.

Figura 1.10. Compresor con Alabe



Como el rotor gira, la presión negativa creada por los alabes causa que el aire sea sacado a través de la entrada del compresor. Como el rotor continúa girando, los alabes limitan el aire en un espacio que es cada vez más pequeño. Como los alabes se aproximan al lugar de descarga de la cubierta, el aire es comprimido y luego descargado a través de la abertura de descarga.

Los compresores de alabe de Fase Simple son capaces de desarrollar presiones de descarga hasta de 50 psi. Aunque esto es conveniente para algunas aplicaciones, ello puede ser desfavorable para otras. Si se requiere una presión

más alta, puede usarse un modelo de Dos Fases, estos son capaces de desarrollar presiones hasta de 125 psi.

Los compresores de alabe son más pequeños que los compresores de pistón, teniendo la presión de descarga y capacidades de flujo comparables. Sin embargo su eficiencia de operación es también un poco más baja. A 100 psi ellos desarrollan un poco menos de 4 cfm por HP, comparando con aproximadamente 5 cfm por HP para compresores de pistón.

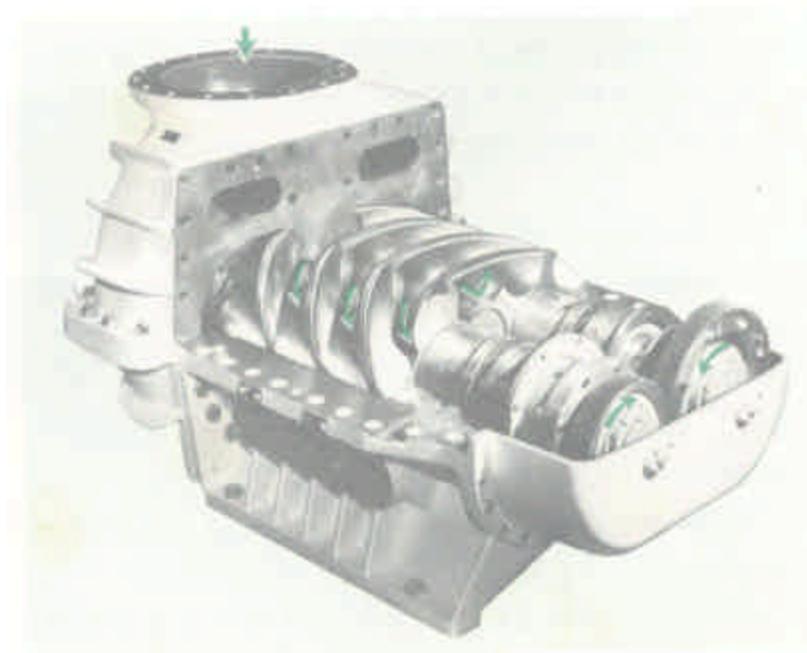
Debido a que muchos compresores con alabe operan el motor a velocidades de 1200 a 1800 rpm, es requerida una lubricación presurizada por los apoyos y otras partes rotatorias.

1.2.2.2.1.2. Compresores Rotatorios de Tornillo Sinfín

Seco. El compresor de desplazamiento positivo con Tornillo Sinfín Rotatorio seco, mostrado en la figura 1.11., combina lo compacto de un compresor rotativo con una presión más constante que la que puede ser obtenida de un compresor de pistón.

El diseño de un compresor de tornillo sinfín es totalmente diferente de otros compresores. Estos son construidos con dos motores; uno con un perfil (hembra) cóncavo y otro con un perfil (macho) convexo. El rotor puede tener o no el mismo número de lóbulos o aletas, dependiendo del fabricante. Los rotores son hechos de acero, aleaciones de Aluminio u otros metales de alta resistencia. El engranaje de los motores con alrededor de 0.003 (31 milésima de pulgada) de espacio muerto entre ellos. Los rotores son impulsados y prevenidos del contacto por una serie de mecanismos de tiempo.

Figura 1.11. Compresor de Tornillo Sinfín Rotatorio



Debido a que el rotor gira, un área de presión negativa es creada en la entrada permitiendo que el aire sea arrastrado dentro de la cubierta. El aire que ingresa en la entrada es atrapado entre los rotores y la cubierta tanto en los engranajes de los rotores hembra y macho. El aire es conducido a lo largo de un espacio que es más pequeño progresivamente hasta que es descargado. Sucesivos robos de aire son recogidos, comprimidos y descargados de esta manera; cada cavidad completa su descarga; como la siguiente cavidad comienza a descargar, esto provee un uniforme, continuo y libre colisión de flujo de aire.

Compresores de fase simple son patentes por los motores tan grandes como 75HP y produce aproximadamente 300 cfm a 50 psi. Los compresores de doble fase, tienen más pequeños los tornillos sinfín de la segunda fase , la cual es alimentada por un tubo o conducto de flujo directo desde el orificio de descarga de la primera fase. La segunda fase puede ser impulsada directamente desde la fuente impulsora o desde el soplador de la primera fase. El rango de presiones es aproximadamente 150 psi para los compresores de doble fase y de 250 psi para los de triple fase

A pesar de que usualmente no hay enfriamiento, los refrigerantes de agua o aire frío y los compresores de tornillo sinfín son aprovechados por modelos del tipo seco.

A diferencia de los compresores de pistón o reciprocantes, los compresores de tornillo operan a velocidades entre 3000 y 12000 rpm. Debido a las altas velocidades ellos son mantenidos en movimiento continuamente. Cuando el sistema ha alcanzado su presión máxima, la líneas de descarga es descargada por desviación del aire comprimido retornando a la atmósfera.

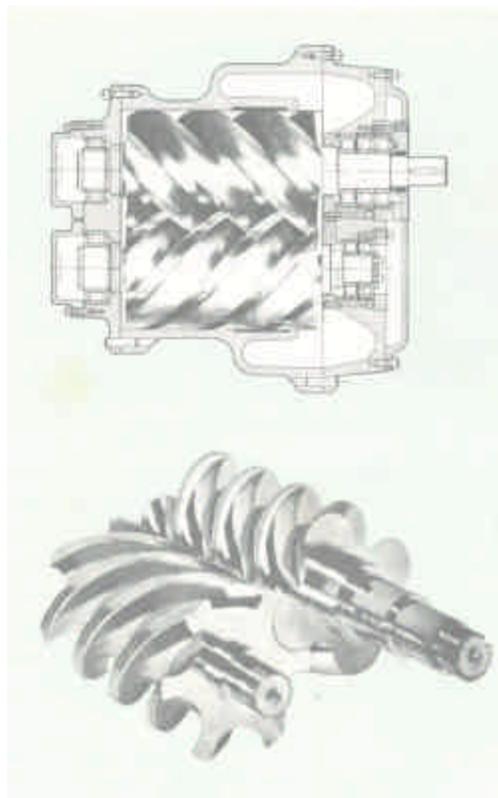
Los compresores de tornillo sinfín seco son generalmente usados en sistemas de potencia neumática donde comparativamente grandes cantidades de aire libre y de aceite son necesarias. Ellos pueden también suministrar grandes cantidades de aire de 80 a 120 psi y usan un espacio menor de fondo que un compresor de pistón, pero tienen desplazamientos mas bajos ($3 \frac{1}{2}$ a $3 \frac{3}{4}$) cfm y la cubierta y su acción como cuña lo hacen susceptible a la suciedad, sin embargo ellos deben ser bien protegidos por filtros de entrada.

1.2.2.2.1.3. Compresores Rotatorios de Tornillo Sinfín Húmedo. El compresor de tornillo sinfín rotatorio humeado es similar en diseño y construcción a el compresor de tornillo sinfín seco. Sin embargo, en este compresor (mostrado en la figura 1.12.), el aceite es esparcido en la cámara de entrada para disminuir la temperatura y es trasportado solo por el aire. Tanto el líquido como el aceite pasan

a través del compresor y son separados en el recibidor o por un separador de aceite.

Ambos compresores de tornillo sinfín húmedo y seco son impulsados a altas velocidades donde motores eléctricos u otro impulsor de velocidades mas baja es usado.

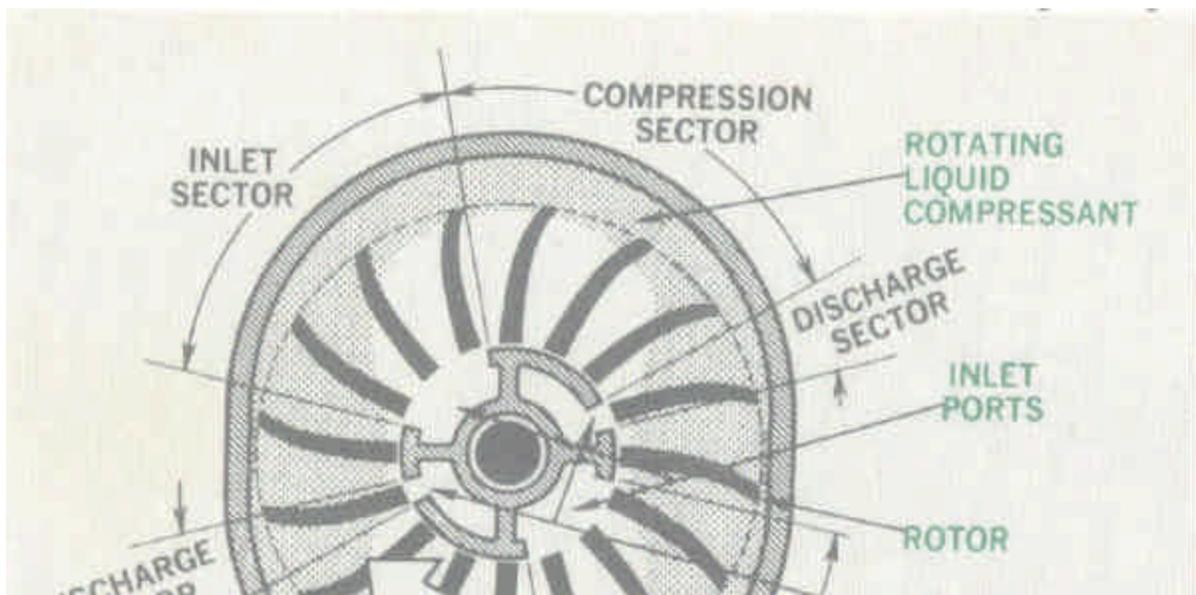
Figura 1.12. Compresor de Tornillo sinfín Húmedo



1.2.2.2.1.4. Compresor de Anillo Líquido. El compresor de anillo líquido, (mostrado en la figura 1.13), es un tipo diferente de compresor rotativo, aunque es similar a un compresor de alabe, es totalmente diferente. Los principales componentes incluyen la cubierta, un eje impulsor, un rotor con aleta fija y un líquido (usualmente agua).

Durante la operación el líquido es transportado alrededor del interior de la cubierta por las aletas del rotor. Puesto que el rotor gira, el líquido (reaccionando la fuerza centrífuga) persigue el contorno de la cubierta y debido a que el rotor y la cubierta no son centrados, el líquido forma una cámara de compresión interior flexible, como las aletas del rotor, por el orificio de entrada pasa el aire, el cual es arrastrado dentro del compresor por el incremento del tamaño de la cámara formada por el fluido. El tamaño de la cámara comienza a disminuir cerca al orificio de salida del compresor y el aire es descargado donde la cámara está mas pequeña.

Figura 1.13. Compresor de Anillo Líquido



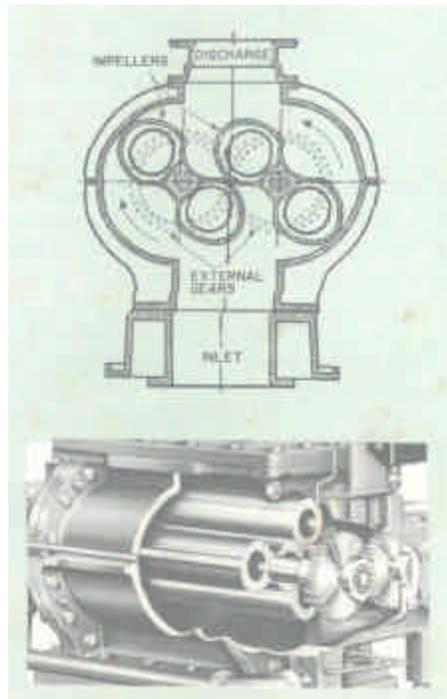
Los compresores de anillo líquido tienen capacidades hasta de 5000 cfm a 75 psi, en modelos de fase simple, los cuales pueden producir hasta 10000 cfm, pero a un rango de presión mas bajo (aproximadamente 15 psi). Presiones superiores a 75 psi pueden también obtenerse pero con una reducción en la capacidad.

Debido a que ellos arrojan aire libre de aceite y libre de cenizas, estos compresores han sido diseñados para ser muy eficientes, para aire de instrumentos y control de aire. El enfriamiento del líquido en el aire cuando esta siendo comprimido contribuye en el aumento de la eficiencia del compresor.

El aire contaminado ingresa a la cámara del fluido, deposita los contaminantes en la superficie del líquido. El líquido sobrante en el compresor puede ser filtrado y limpiado con chorros de agua cuando es requerido.

1.2.2.2.1.5. Compresores de Gran Volumen y Baja Presión. Estos compresores son frecuentemente relacionados con sopladores debido a que ellos son diseñados para un gran volumen antes que para presión. Las unidades son ajustadas con un ensamblado, dos interlock, sincronizador e impeler con mecanismos de impulso. Los impeler puede tener dos, tres o cuatro lóbulos, los cuales pueden ser directos o tener un leve giro o una configuración helicoidal. Los mecanismos de tiempo previenen que los lóbulos tengan contacto. El compresor Impeler mostrado en la figura 1.14., es un compresor de baja presión. Sus operaciones pueden ser comparadas con las de una bomba de engranaje.

Figura 1.14. Compresor Impeler de Baja Presión



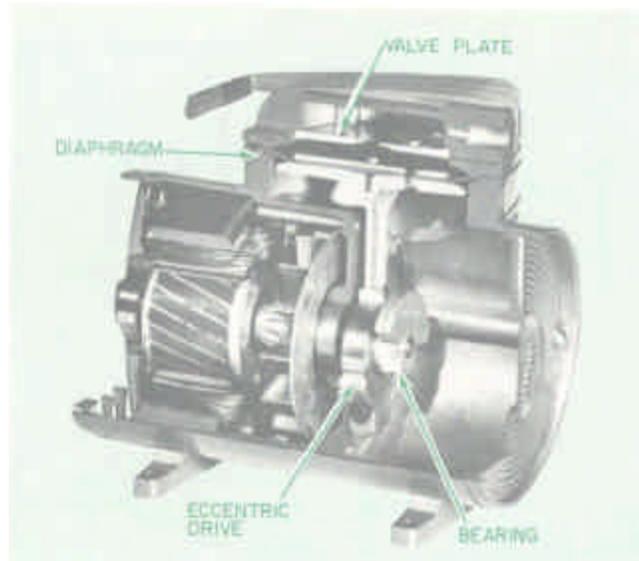
Debido a que los impeler rotan, ellos crean una presión negativa en la entrada, la cual impulsa el aire dentro del ensamblado y a su vez, conducen el aire entre el lóbulo y el ensamblado en dirección al orificio de descarga. Ya que en el engranaje de lóbulos el aire es prensado fuera del orificio de descarga. Los Impeler son usados en máquinas con tolerancias muy estrechas y tienen solamente 0.003" a 0.006" de espacio muerto entre ellos. Para ser eficientes deben ser operados a las rpm recomendadas

Estos compresores manejan grandes cantidades de aire relativamente, con presiones hasta de 10 psi. Si son requeridos presiones mas altas, una segunda fase puede ser adicionada para incrementar la presión de descarga a 30 psi. Debido a su rendimiento de baja presión no son usados frecuentemente en sistemas de fuerza neumática; son usados para suministrar aire de procesos o instrumento.

1.2.2.2.1.6. Compresores de Diafragma. Los compresores de diafragma son usados para muchas aplicaciones diferentes y son clasificados como compresores de desplazamiento positivo. El diafragma del compresor, como el

mostrado en la fig. 1.15 es usualmente conectado a un impulso excéntrico por un pistón y a un vástago disponible.

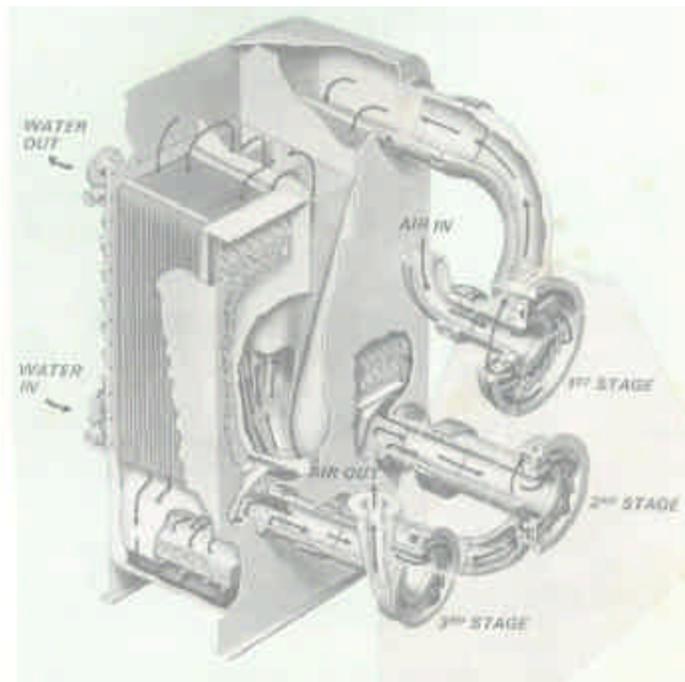
Figura 1.15. Compresor de Diafragma



1.2.2.2.1.7. Compresores Dinámicos Estos son diseñados para suministrar grandes cantidades de aire (tan grandes como 10000 cfm) a presiones hasta de 125 psi. Ellos son usados principalmente para suministrar aire al proceso, pero también pueden ser usados para ventilación. Sus capacidades mínimas, son de aproximadamente 3000cfm, lo hacen tan grande para la mayoría de sistemas de fuerza neumática. Al mismo tiempo unidades mas pequeñas llevan aire a presiones (25 a 30 psi) tan baja para sistemas de aire comprimido. Estos tipos de compresores con presiones tan bajas son igualmente clasificados preferiblemente como sopladores que como compresores. Los compresores dinámicos son mas

compactos y potentes que los sopladores o abanicos usados en calentamiento o instalaciones de ventilación pero no menos eficientes y mas ruidosos. Los dos principales tipos de compresores dinámicos son: centrífugos y de Flujo axial.

Figura. 1.16. Compresor Centrifugo



1.2.2.2.1.8. Compresores Centrífugos. Un tipo de compresores centrífugos es el mostrado en la figura 1.16. Este es un compresor de tres fases y es un compresor típico mult-fase de los que actualmente están siendo fabricados.

El compresor consiste de tres Impeler comprimidos, individuales, de diferentes tamaños montados en un incrementador de velocidad, el cual esta montado en un plato horizontal que también soporta la fuente de la potencia. La fuente puede ser un motor eléctrico, una maquina de combustión interna o una turbina de vapor o gas.

Muchos compresores centrífugos son equipados con enfriamiento dentro y fuera para prevenir que la temperatura del aire incremente excesivamente. Lo típico de los

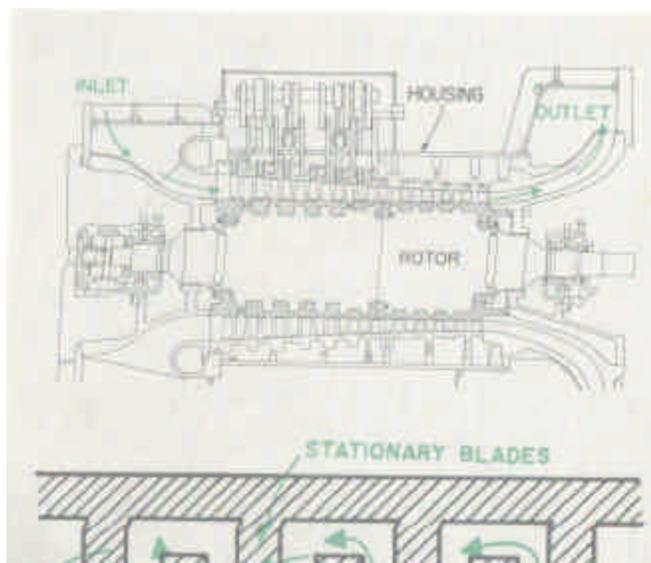
compresores centrífugos es que el impeler debe rotar a altas velocidades para ser eficiente.

En cuanto a la construcción de este tipo de compresores, ellos se asemejan a las bombas centrífugas. Utilizan refrigerantes entre las diferentes etapas de los compresores multifásicos, mejorando la eficiencia del compresor por la reducción de la potencia necesaria para comprimir el aire.

Dependiendo de las aplicaciones los Impeler tienen diferentes formas y son clasificados como de Flujo radial o mixto. Muchos compresores de flujo mixto y fase simple son usados como elevadores de presión o sopladores.

1.2.2.2.1.8.1 Compresores de flujo axial. El compresor de flujo axial multifásico mostrado en la figura 1.17., es otro tipo de compresor centrífugo; es capaz de desarrollar una constante de aire de flujo relativamente a presiones mas bajas (aproximadamente 50 psi).

Figura 1.17. Compresor de Flujo Axial



Este tipo de compresores tienen varias filas de aletas montadas sobre el rotor. La velocidad de las aletas aumenta con el paso del aire a través de ellas, tanto como un abanico. Las hileras de aletas del difusor estacionario son montadas entre las aletas de rotación. Las aletas estacionarias convierten e incrementan la velocidad axial del aire a aproximadamente 3 psi de presión por etapa. Cuantas más fases, la presión de descarga es más alta. Debido a sus grandes cfm, desarrollo de baja presión, muchos compresores de flujo axial son limitados para aplicaciones de procesos de aire.

1.2.2.2.1.9. Compresor Roots. Estos compresores alcanzan presiones muy bajas del orden de los 2 bares y solo transporta el volumen de aire aspirado del lado de aspiración al de compresión sin comprimirlo en este recorrido, el volumen que llega a la boca de descarga, todavía con la presión de aspiración, se mezcla con el aire ya comprimido de la tubería de descarga y se introduce en la cámara llegando esta a la presión máxima siendo luego expulsado.

1.2.2.2.1.10 Turbocompresores. Funcionan bajo el principio de la dinámica de los fluidos en donde el aumento de presión no se obtiene a través del desplazamiento y reducción del volumen sino por efecto dinámico del aire.

1.2.2.2.1.10.1. Radial. Es una a turbina de tres etapas y se basa en el principio de la compresión del aire por fuerza centrífuga y consta de un rotor centrífugo que gira dentro de una cámara espiral, tomando al aire en sentido axial y arrojándolo a gran velocidad en sentido radial, la fuerza centrífuga que actúa sobre el aire lo comprime contra la cámara de compresión. Son máquinas de alta velocidad superior a 15000 r.p.m.

1.2.2.2.1.10.2. Axial. Este tipo funciona por el principio de la compresión axial (principio del ventilador), el aire es aspirado e impulsado simultáneamente, se construyen de varias etapas (20 rodetes). En estos compresores se obtienen presiones muy bajas y por el contrario se obtienen elevados caudales, raramente se utilizan en neumática industrial.

1.2.3. Selección del Compresor. Al momento de seleccionar un compresor para una aplicación en particular o

seleccionar su ubicación, hay factores que afectan el mantenimiento del mismo; sin embargo ello ayudará a entender que hacer para tomar esta decisión. Las siguientes consideraciones son importantes cuando seleccionamos un compresor para una aplicación particular:

- Capacidad en cfm.
- Temperatura de descarga del aire comprimido.
- Nivel de presión del compresor operando.
- Altura de instalación.
- Temperatura de entrada y rango de humedad.
- Aire o agua de enfriamiento disponible.
- Tipo de energía (eléctrica, turbina, motor).
- Condiciones atmosféricas (corrosivos, polvo, humedad)
- Condiciones de descarga (libre de aceite, frió, seco)
- Accesorios (controles de arranque y capacidad, filtros, controles de Seguridad).

Hasta cierto punto los requerimientos de un compresor de planta son influenciados por el tamaño del compresor existente, su ubicación, el tamaño y ubicación del tanque de almacenamiento y el tamaño de las líneas de aire.

Un método aproximado para determinar la capacidad necesaria del compresor nuevo o adicional, es determinar el aire total que se usará durante algún periodo pico, 15 minutos o media hora. Prever de 5 a 10% de la capacidad por escapes y seleccionar un compresor que sea igual o levemente superior en capacidad requerida.

Si no se conoce la disipación de aire de la planta, se seleccionan varias piezas del cuerpo común localizado en la planta. Se calcula o se mide la cantidad de aire requerido por cada pieza y luego se multiplica por el número de veces por hora que el equipo es usado y el número de piezas que hay en la planta. Aunque esto no puede ser exacto, dará una buena indicación de la cantidad de aire requerido.

Otro factor de capacidad es si la ubicación de los compresores es centralizada o no. Consideraciones de servicios y mantenimiento usualmente recomiendan centralización. Sin embargo, si la planta es grande, los requerimientos de aire variarían en diferentes ubicaciones. La instalación de compresores donde el aire es requerido puede ser más económica. Si varios compresores son usados y uno se avería, los otros pueden hacerse cargo hasta que el daño sea reparado. Los

compresores deberían ser ubicados tal que ellos estén suministrando aire tan limpio, frío y seco como sea posible.

Otro factor que afecta la ubicación del compresor es la cantidad de electricidad disponible (Si el compresor es impulsado por un motor eléctrico). También se tiene en cuenta la iluminación, la salida de electricidad conveniente, la ventilación, y el agua para enfriamiento, si es requerida.

El ruido del compresor no deberá ser tan estrepitoso y el piso debe ser capaz de soportarlo. Idealmente cada compresor deberá ser instalado en un lugar cerrado bien ventilado. Esto es más fácil en estaciones de compresión centralizado.

Antes de seleccionar un compresor, los requerimientos de presión de los equipos neumáticos usados en la planta deben ser determinados. La mayoría de los equipos operan a 100 psi aunque algunos operan a 150 psi, por lo cual se requiere un compresor que suministre una presión mínima de 150 psi.

1.2.4. Capacidad del Compresor. *La capacidad del compresor es usualmente especificada en términos de ft^3/min (cfm). Algunas veces se requiere más que esta especificación. Cuando esto ocurre se definen*

especificaciones tales como ACFM (ft³/min actual) y SCFM (ft³/min estándar).

ACFM es también tomado como la capacidad de aire libre, la capacidad actual es medida en el compresor de entrada cuando es instalada. Ello incluye la temperatura, presión atmosférica y condiciones de humedad del aire de entrada en el compresor.

La capacidad Estándar (SCFM) es especificado en condiciones de entrada estándar incluyendo una temperatura de 60°F y una atmósfera de presión de 14.7 psi a y aire seco de humedad relativa 0%. Muchos fabricantes tienen cartas que muestran la diferencia entre SCFM y ACFM para condiciones diferentes.

1.2.4.1. Revisión de la Capacidad del Compresor. Muchas veces después que un compresor ha sido instalado y operado, este no se comporta de la forma deseada. Cuando esto sucede, la capacidad del compresor debe ser revisada. Si el compresor opera con los datos y especificaciones que fueron obtenidos y verificadas en el momento de instalación, ellos pueden ser revisados cuando sea necesario.

Usualmente, el primer ítem revisado es la potencia de rendimiento del motor principal que puede ser revisada por varios métodos diferentes. Si el motor principal es un motor eléctrico, la lectura del amperaje debe ser tomada y comparada con la tablas que muestren la corriente arrastrada por diferentes tipos y tamaños de motores eléctricos. Si el motor está también sobrecargado es posible que el compresor este también sobrecargado intentando producir la capacidad del Nameplate. Cuando esto pasa la vida útil del compresor se reduce y los costos de operación son incrementados. Algunas veces el motor esta sobrecalentado, entonces se debe revisar las ACFM del compresor. Si el motor no esta sobrecargado pero la capacidad del compresor es baja, revise las ACFM

1.2.5. Accesorios.

- Switches de operación
- Descargadores
- Intercooler y controles
- Conexiones de enfriamiento del compresor
- Motores

- Sistemas de lubricación
- Filtro de aire a la entrada
- Recibidores de aire
- Una base

Los Accesorios como descargadores, equipos lubricantes y controles de presión, pueden ser montados en varios tipos de compresores.

Otros equipos son seleccionados para uso de un compresor particular o grupo de compresores y sustituciones, no deberían realizarse sin la aprobación del fabricante. Estos otros equipos incluyen Switches, válvulas piloto descargadoras, intercooler, motores de primera, bombas lubricantes, filtros de entrada y cámaras amortiguadoras de descarga.

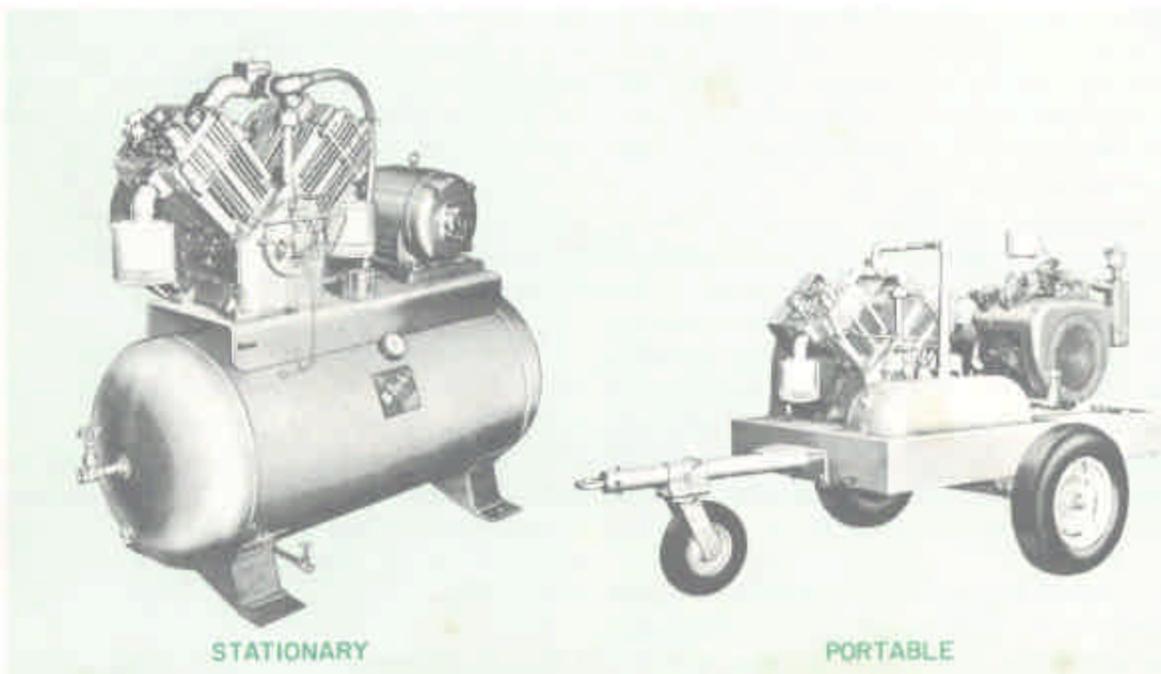
1.2.6. Compresores Empaquetados. Usualmente los compresores empaquetados completos, como los de la figura 1.18., van montados en una base o tanque , con todos los equipos y accesorios necesarios para operar independientemente, solo requiere estar conectados a las líneas de servicio.

Las bases o tanques son diseñados para ser fijado con tornillos en bases convenientes. En algunas instalaciones,0 los compresores son simplemente anclados al piso

Los compresores portátiles son unidades empaquetadas montadas en un camión o remolque fabricado con ruedas. Unidades empaquetadas son suministradas con motores eléctricos como motores de primera y son usualmente disponibles para ser “enchufado en casa”.

Los compresores empaquetados más grandes van equipados con algunos medios de enfriamiento.

Figura 1.18. Compresores Empaquetados



1.2.7. Instalación de Aire Comprimido. Al proyectar una instalación de aire comprimido debemos tener en cuenta que la red debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Mínima pérdida de presión
- Mínima pérdida de fugas
- Mínima cantidad de agua en la red

En condiciones normales de funcionamiento la mayor parte de los equipos neumáticos y herramientas están diseñadas para operar con una presión de 6 a 7

Kg/cm². Ahora bien hay que tener en cuenta que la presión del aire en el compresor no es la presión del aire en la herramienta debido a las pérdidas en la tubería, llaves de paso, depósitos, etc. Se admite una caída de presión entre el compresor y el útil no superior a un 2% de la presión efectiva del compresor, es decir 0,14Kg/cm² pero en casos excepcionales la pérdida de presión puede alcanzar hasta un 0,5Kg/cm². No debemos olvidar que una cosa es presión de aire en el compresor y otra es presión de aire en la herramienta. En general la pérdida de presión es:

- Inversamente proporcional a la quinta potencia del diámetro para un caudal de aire prefijado.
- Directamente proporcional a la longitud de tubería.
- Directamente proporcional al cuadrado del caudal de aire libre que pasa por la tubería.
- Directamente proporcional a la velocidad (entonces para tuberías de conducción muy largas donde se cuentan en Km. la velocidad no debe pasar de 5 a 7 m/seg. pero en instalaciones industriales puede llegar de 8 a 15 m/seg.)

En consecuencia si por un deficiente proyecto de instalación la presión de trabajo que pide la herramienta o el equipo neumático no puede mantenerse, la potencia

de las máquinas y útiles neumáticos decrece a mayor proporción que lo hace la presión, disminuyendo por consiguiente el rendimiento.

La fuga de aire es la cantidad de aire comprimido incontrolado que se pierde, es un volumen sorprendentemente alto, y no es siempre fácil de descubrir dado que el aire no es visible y es inodoro. Si la fuga de aire es grande es fácilmente detectable por el ruido, lo grave es cuando es pequeña ya que no se detecta fácilmente, y el conjunto de pequeñas pérdidas puede representar de un 25 a un 30% de la capacidad total del compresor. Además, cuando el abastecimiento de aire comprimido no es suficiente, puede bajar la presión resultando una reducción considerable en la potencia de las herramientas neumáticas y por lo tanto baja su rendimiento. Debemos tener presente que una fuga es una pérdida de aire continua, lo que significa que tendría un mayor consumo de energía.

1.2.7.1. Redes de Distribución de Aire Comprimido. Al proyectar una red de distribución de aire comprimido debemos estudiar todas las aplicaciones del mismo y transportarlas a un plano en planta, en donde se dejarán localizadas. Debemos recordar que un buen proyecto de instalación del sistema trae aparejado un buen rendimiento del mismo y una muy buena utilización de la capacidad del sistema neumático.

1.2.7.2. Parámetros. Los parámetros que deciden en una instalación de aire comprimido son:

1.2.7.2.1. Presión. La presión a la cual deseamos trabajar, tanto para el caudal de aire suministrado por el compresor como para el de utilización en la red. Mientras no se indique lo contrario, al hablar de presiones serán siempre presiones efectivas, que se cuentan a partir de la presión atmosférica. Los manómetros industriales miden la presión efectiva. Por presión absoluta se entiende la suma de la presión atmosférica (en la práctica se toma 1 Kg/cm²) más la suma de la presión indicada en el manómetro (en Kg/cm², atm, etc.).

1.2.7.2.2. Caudal. El caudal de aire comprimido que debe suministrar el compresor, así como el que debe circular por cada zona de trabajo o ramal de distribución, deberá ser calculado por métodos conocidos. El caudal de aire comprimido viene expresado en N m³/min o en N l/min., referidos al aire libre.

1.2.7.2.3. Pérdida de presión. La pérdida de presión, pérdida de carga o caída de presión, se refieren a pérdida de energía que se va originando en el aire comprimido ante los diferentes obstáculos que encuentra en su desplazamiento hacia los puntos de utilización, como son: refrigerador posterior, secador, filtro, tuberías, etc.-

Al momento de realizar un proyecto es muy importante prever que las caídas de presión estén dentro de los límites permisibles, con el objeto de obtener un buen rendimiento del sistema.

1.2.7.2.4. Velocidad de circulación. También existe límite para la velocidad del aire, ya que cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación.

1.2.7.3. Disposición de las Redes de Aire Comprimido. Una vez fijadas la presión, caudal, pérdidas de presión y velocidad de circulación, ya se está en condiciones de dimensionar la instalación y encontrar los diámetros de tubería mediante el empleo de cualquier sistema de cálculo de tuberías. Teniendo a la vista los puntos de consumo, ubicación de máquinas, estructura del edificio, grado de sequedad del aire etc. podremos establecer la disposición gráfica de la red de tubería, adoptando el circuito cerrado o el circuito abierto.

Debe tenerse en cuenta, al diseñar la red de tuberías, que el factor más importante a tener en cuenta es la humedad del aire, puesto que aplicando las fórmulas que correspondan, el caudal y la pérdida de presión se pueden calcular matemáticamente, así como el diámetro de tubería más conveniente.

Dependiendo de si el aire está seco o no, es el tipo de circuito a utilizar, cerrado o abierto respectivamente. Se recomienda, que si el aire no es seco se use un circuito abierto con cierta pendiente (1 %), en dirección del flujo de aire para permitir la eliminación del agua condensada al final de la línea en la que se instalarán purgadores.

Si se proyecta un circuito cerrado, el aire en un principio tiene una dirección determinada, pero cuando se llena el depósito y la tubería de conducción, la dirección del aire va a depender de los consumos mayores que se originen dentro del circuito, lo que puede dar lugar a un movimiento rotatorio dentro del sistema, que anulará la eficacia de los equipos de evacuación del agua.

Además, hay que tener en cuenta que los equipos de separación de agua, tienen todos una entrada y una salida de aire, es decir, la entrada es por donde llega el aire sucio con impurezas y humedad, y una salida de aire tratado para su utilización, estos separadores de agua tienen una flecha visible indicando la dirección del flujo, por tanto en un circuito cerrado, a estos elementos le puede llegar aire por ambos lados inutilizándolo.

1.2.7.4. Tuberías. Para el transporte de aire comprimido desde el depósito hasta los lugares de utilización, se emplea una red de conducciones conocidas bajo el nombre genérico de tuberías. Se pueden considerar tres tipos de tuberías:

1.2.7.4.1. Tubería principal, llamada también tubería madre: Se denomina tubería principal, a la línea de aire que sale del depósito y conduce la totalidad del caudal de aire. Debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad en cuanto a futuras ampliaciones de fábrica, por consiguiente, a un aumento de la central de compresores. La velocidad máxima del aire es de 8 m/seg.

1.2.7.4.2. Tuberías secundarias. Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las áreas de trabajo, y de las cuales salen las tuberías de servicio. El caudal de aire que transportan será el correspondiente a la suma de los caudales parciales que de ella se deriven. También es conveniente prever alguna futura ampliación al calcular su diámetro.

1.2.7.4.3. Tuberías de servicio. Las tuberías de servicio, o bajantes, son las que alimentan a los equipos neumáticos. Llevan los enchufes rápidos y las mangueras de aire, así como los grupos filtro-regulador- lubricador. Se deben dimensionar conforme al número de salidas o tomas, procurando que no se coloquen más de dos o tres enchufes rápidos en cada una de ellas. Se debe procurar no hacer tuberías de servicio inferiores a 1/2" ya que si el aire está sucio, puede taparlas. La velocidad máxima del aire es de 15 m/segundo.

1.2.7.5. Deposito de Aire Comprimido. Toda instalación de aire comprimido debe disponer de un deposito de aire, el cual estará entre el compresor y la red tratando que las distancias de unión sean lo menor posible, por tal motivo en equipos relativamente pequeños el compresor y él deposito son una sola unidad. En este punto debemos dejar perfectamente claro que la función del depósito es solamente para:

- Acumular dentro de ciertos límites el aire comprimido.

- Equilibrar las pulsaciones de aire procedente del compresor.
- Compensar en forma instantánea un consumo extra absorbido por una máquina, es decir, compensar las fluctuaciones del sistema.
- En caso de corte de energía, permitir que los dispositivos neumáticos vuelvan a su posición de reposo.
- Refrigerar el aire proveniente del compresor y que fue calentado por el proceso de compresión.
- Recoger el aceite que proviene del compresor y separar el agua de condensación al enfriarse el aire.
- Regular el funcionamiento del compresor en función del consumo, o sea, si el caudal a la salida del compresor es superior al consumo de aire de la red, el dispositivo de regulación lo detiene a intervalos de tiempo determinados, pero durante ese tiempo de detención, el depósito de aire debe alimentar al sistema con el aire almacenado.

De acuerdo a lo expuesto podemos sacar en conclusión que el depósito no corrige los errores cometidos en el diseño de la instalación o mala selección del compresor, ya que no debemos confundir un depósito de aire comprimido con una fuente de energía por aire, es decir, que no suministra aire continuamente, actúa como acumulador para satisfacer una demanda "instantánea" de aire. También se recomienda y con el afán de mejorar la refrigeración del depósito instalarlo fuera de la sala de máquinas (al aire libre).

Como medida de seguridad los depósitos deben llevar los accesorios siguientes:

- *Válvula de seguridad* que permita la evacuación total del caudal del compresor cuando exista una sobrecarga (generalmente del 10% al 20%). Esta válvula actúa generalmente cuando no se activa el presostato de corte que habiendo llegado a la presión para el cual se ha regulado, el compresor sigue funcionando (no se detiene).
- *Manómetro*, este instrumento de medición indica la presión a la cual se encuentra el depósito.
- *Llave de purga manual ó automática* ubicada en el fondo del depósito para evacuar el agua que se ha condensado y el aceite.
- *Presostato*, es un elemento de control que esta conectado al sistema de regulación del compresor y efectúa la detención del motor cuando se ha alcanza la presión preestablecida en el depósito.

En todos los casos la capacidad del depósito esta determinado según el tipo de regulación, así para el caso de regulación automática la capacidad del depósito en m^3 , no debe ser inferior al caudal del compresor en m^3/min . Esta norma se adopta si la variación de presión del depósito se encuentra entre 1 a $1.5 Kg./cm^2$.

También debemos tener en cuenta, que el compresor no debe arrancar más de 10 veces por hora, excepcionalmente 15 veces por hora.

1.3 ACTUADORES NEUMÁTICOS

El diseño de un sistema neumático presupone el conocimiento de la estructura y función de los componentes posibles que puedan intervenir en un equipo. Para el técnico neumático, el punto principal lo constituye la función del elemento. La estructura del mismo está condicionada por la construcción y por esta razón puede variar de acuerdo al fabricante. Uno de los principales componentes son los Actuadores o Elementos de Trabajo.

Los Actuadores son capaces de transformar la energía de presión del aire (Energía Estática) en trabajo mecánico, esto es por la reducción de la sobrepresión hasta el valor atmosférico.

Los Actuadores neumáticos pueden clasificarse en dos grupos, según el movimiento:

- Movimiento rectilíneo alternativo (movimiento lineal)
 - Cilindro de simple efecto.
 - Cilindro de doble efecto.

- Movimiento giratorio
 - Motor neumático.

- Actuador giratorio o rotante.

1.4. CILINDROS

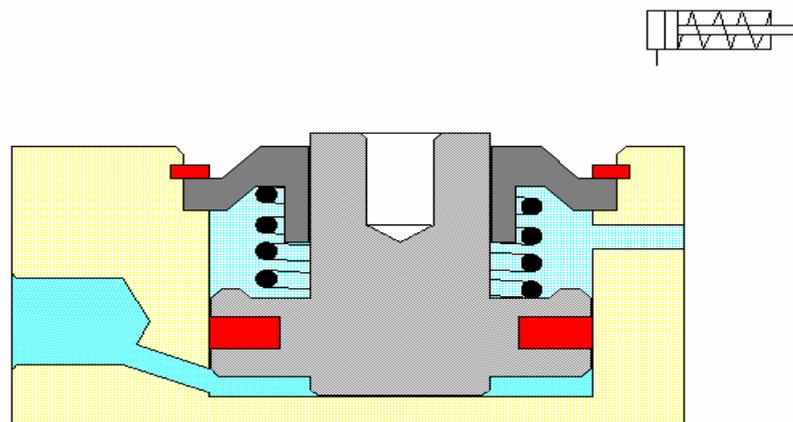
El cilindro de aire comprimido es un " órgano motor " en un sistema neumático, con la misión de generar un movimiento rectilíneo alternativo, dividido en carrera de avance y carrera de retroceso.

1.4.1. Cilindro de Simple Efecto. El cilindro de simple efecto realiza trabajo en una dirección solamente (avance, por ejemplo), y la carrera de retorno se logra mediante una fuerza externa o por la acción de un resorte antagonista. Es decir que una sola cara del cilindro recibe presión por lo que en la carrera de retorno, aunque puede lograr a suficiente velocidad, no se debe colocar carga alguna, excepto para sujeciones simples, ligeras y sin guías.

Los cilindros están constituidos, básicamente, por un tubo del cilindro, tapas de cierre anterior y posterior, émbolo y vástago. A estas partes debe añadirse los

elementos de enlace y juntas, como así también elementos tensores para el armado y una guía para el vástago. El tubo del cilindro se fabrica generalmente de tubos de acero estirados sin soldadura y a las superficies interiores se les da un acabado de precisión. Figura 1.19.

Figura 1.19. Cilindro de Simple Efecto



El cilindro está compuesto de una camisa, de las culatas, del émbolo con la junta (retén doble), del vástago, de los casquillos de cojinete, del anillo rascador, de las piezas de unión y de las juntas. La camisa del cilindro suele ser de una sola pieza de acero estirado sin costura.

A las superficies interiores se les da un acabado fino (bruñido) con el fin de aumentar la vida útil de los elementos estanqueizantes. Las camisas pueden ser fabricadas en aluminio, latón o en tubo de acero con superficie interior cromada,

generalmente si se trata de cilindros que no son accionados con demasiada frecuencia o si están expuestos a la corrosión.

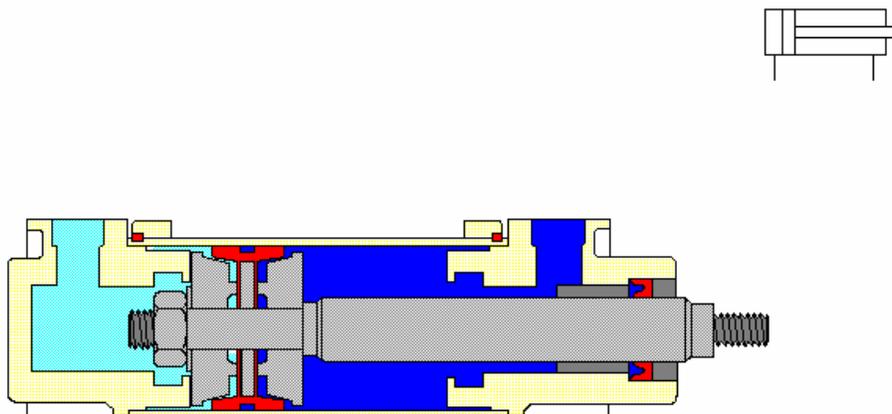
Las culatas suelen ser de material fundido (aluminio ó fundición maleable). Las sujeciones de ambas culatas pueden efectuarse mediante barras, roscas o bridas.

En la mayoría de los casos el vástago es de acero inoxidable o SAE 1040, cromado duro, rectificado y pulido. Las roscas suelen ser laminadas con el fin de disminuir el peligro de rotura. Con el fin de estanqueizar el vástago, la culata o tapa correspondiente está provista de una ranura anular.

El émbolo generalmente es de aleación de aluminio de alta resistencia.

El vástago es guiado por un casquillo de cojinete, que es de bronce sinterizado con gran capacidad autolubricante o de metal recubierto de material plástico. Delante del casquillo de cojinete está situado el anillo roscador, mediante el cual se evita que penetren partículas de polvo o de suciedad en la cámara del cilindro.

Figura 1.20. Cilindro de Doble Efecto



1.4.2. Cilindros de doble efecto. El diseño de éstos cilindros es similar a los de simple efecto con émbolo, pero, sin muelle de reposición y, además, las dos conexiones son utilizadas tanto para la alimentación como para la evacuación del aire a presión. Los cilindros de doble efecto ofrecen la ventaja de poder ejecutar trabajos en ambos sentidos. Las fuerzas ejercidas sobre el vástago en ambas carreras no son iguales, ya que la superficie del lado del émbolo es mayor que la del lado del vástago, Figura 1.20.

1.4.3. Cilindros Especiales. En la industria existen ejecuciones especiales de cilindros normales y cilindros específicos. Dentro de las primeras podemos enumerar las siguientes:

- Cilindro con vástago reforzado.
- Cilindro con vástago saliente en ambos lados (doble vástago)
- Cilindro con vástago resistente a los ácidos.
- Cilindro con superficies de deslizamiento de cromo duro.
- Cilindro con juntas resistentes al calor, hasta 200°C.
- Cilindro de latón.
- Cilindro con recubrimiento exterior de plástico y vástago resistente a los ácidos.

Estas ejecuciones particulares pueden estar reunidas y combinadas en un cilindro.

1.4.4. Cilindro Rotativo, de Rotación, Giratorio o Actuador Rotante. En este tipo de cilindros el movimiento alternativo rectilíneo del émbolo se transmite a una rueda dentada a través de una cremallera situada en el vástago, y puede considerarse una rotación. La rotación máxima puede llegar a 360°, aunque generalmente es menor a 180° o 290°. El ángulo de giro depende de la carrera del émbolo y del radio de la rueda dentada, y el momento de giro disponible, en el eje de salida, depende de la superficie del émbolo, presión y del radio de la rueda dentada.

Otro detalle constructivo, es donde la cremallera es movida en forma alternada por dos émbolos fijos en sus extremos. La velocidad se puede controlar en forma

independiente en ambos sentidos por el flujo de aire. El par torsional se controla con la presión del aire. Una variante es, colocar en la parte inferior de la rueda dentada otro cilindro con doble émbolo, lo que supondrá un momento de giro doble.

Las aplicaciones más comunes de este tipo de Actuadores son rotación angular en órganos de máquinas de herramientas, transporte de pieza en alimentadores, selección de pistas en alimentadores, comando a distancia de válvulas rotantes, salteo de piezas, doblado de tubos.

1.4.5. Motores Neumáticos. Si se habla de un motor en general, normalmente, es para referirse a un motor de combustión interna o a un motor eléctrico. Sin embargo, en la neumática existen también Actuadores para la generación de movimientos giratorios. Ver figura 1.21. Los motores neumáticos son universales y pueden utilizarse en ambientes adversos y especialmente en lugares con peligro de explosión. Dos tipos de motores:

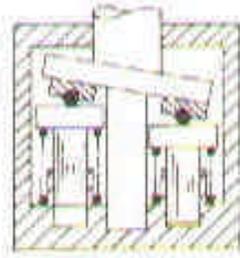
1.4.5.1. Motor de Émbolo Radial. En el motor de émbolo radial, los émbolos se mueven alternativamente de un lado a otro e impulsan el cigüeñal del motor por medio de bielas articuladas. Para que pueda garantizarse una marcha del motor sin sacudidas se instalan varios cilindros en forma radial, la válvula distribuidora impulsa el aire en un orden prefijado. La ejecución de 5 cilindros asegura un

régimen uniforme en el momento de giro. Este tipo de motores tienen un elevado par de arranque. Ver figura 1.21 B

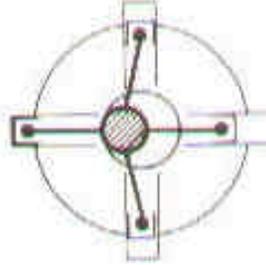
1.4.5.2. Motor de Paletas o Láminas. El motor de paletas está conformado esencialmente de un rotor, un cilindro y dos tapas de cojinetes. En el rotor existen ranuras donde se deslizan las láminas. El rotor está apoyado excéntricamente con respecto al eje del cilindro. Ver figura 1.21C.

Las láminas son apretadas contra la pared interior del cilindro, formando cámaras de trabajo de diferentes tamaños. Al introducir aire comprimido en la cámara menor se produce por la fuerza superficial y el radio activo, el momento de giro. Por el movimiento giratorio, la cámara se amplía y el aire se expande y sale. El número de revoluciones de estos motores es entre 3000 y 8500, son reversibles y cubren una amplia gama de potencia. Son de construcción sencilla, escaso peso por unidad de potencia, seguridad contra sobrecargas y regulable de manera continúa.

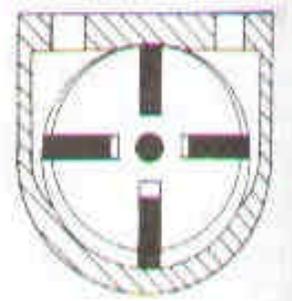
Figura 1.21. Motores Neumáticos



(A) PISTÓN AXIAL



(B) PISTÓN RADIAL



(C) D.D. PALETAS

1.5. ELEMENTOS NEUMÁTICOS

1.5.1. Válvulas. A las válvulas podemos definir las, según normas, como dispositivos para controlar o regular el arranque o parada y sentido, así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor, una bomba de vacío o acumulado en un depósito.

El tipo constructivo de una válvula neumática tiene una connotación secundaria comparada con la función que puede obtenerse de ella. Las válvulas en neumática sirven para, fundamentalmente, comandar y controlar magnitudes que actúan en un proceso. Una válvula puede "mandar" a un actuador, otra puede enviar una señal para la válvula que manda.

El aire comprimido pasa o no pasa a través de la válvula o la puede atravesar pudiendo ir hacia una salida u otra. Es decir, las válvulas pueden tener varias

posiciones, por lo que es necesario conmutarla. Para variar su posición se necesita una energía de control que debe conseguir el mayor efecto posible con el menor gasto.

La energía de control viene determinada por la forma de accionamiento de una válvula y puede conseguirse manualmente, por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

De acuerdo a la función que realizan, las válvulas neumáticas se clasifican en los siguientes grupos principales.

- Válvulas de vías o distribuidoras
- Válvulas antiretorno o de bloqueo
- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas reguladoras de flujo o de velocidad
- Válvulas distribuidoras

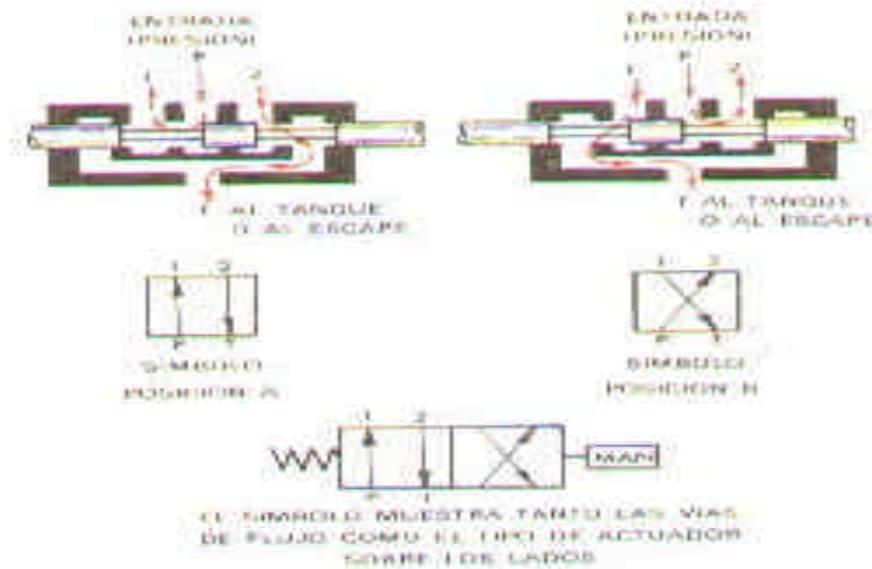
Antes de desarrollar cada tipo de válvulas debemos decir que se ha normalizado los símbolos de las mismas, estos símbolos no representan ningún tipo constructivo sino su función y se logra con un bloque central donde especifica, posiciones y conexión entrada-salida, en relación de las posiciones y dos bloques extremos en donde se especifica su accionamiento.

1.5.1.1. Características de las Válvulas de Vías. Las Válvulas de Dos Vías, se muestran en la figura 1.22. Estas son las llamadas llaves de paso, poseen un orificio de entrada (1º vía) y otro de salida. Si la válvula está abierta, el aire comprimido puede circular en un sentido o en el otro. En general son las más usadas, sólo tienen un sentido de paso establecido. En este tipo de válvulas se distingue el abierto o cerrado, y la válvula se define en función de su posición de reposo.

La posición de "cerrado" no permite el paso de aire en reposo. La válvula "abierta" permite el paso en posición de reposo. La posición de reposo se define en aquellas válvulas en las que cuentan con reposición incorporada, un resorte por ejemplo, por lo que la posición de reposo sería la que adopta la válvula cuando no es accionada.

Las válvulas 3/2, son fundamentales para accionar los cilindros de simple efecto, también son usados para la introducción de señal, final de carrera o pulsador de arranque, parada, etc. El accionamiento en este tipo de válvulas puede ser manual como vimos, mecánico, neumático, eléctrico, etc. Su retorno puede ser mediante resorte, por efecto de una señal neumática o por aire (autoalimentación).

Figura 1.22. Válvula de Vías



Un cilindro de doble efecto puede accionarse también con dos válvulas de tres vías o con una válvula de cuatro vías, en este tipo de válvula se accionan alternativamente dos tuberías de salida o conexiones al consumidor.

Otra alternativa a la válvula de 4 vías es la de 5 vías, la diferencia es que ésta última provee a cada cámara del cilindro de doble efecto una purga definida. Este tipo de válvula puede ser accionada en forma manual, eléctrica o neumáticamente, el retorno a su posición normal puede ser mediante resorte, aire tomado de P o por una señal neumática.

En neumática se usa generalmente la válvula 5/2 para manejar Actuadores. Más de 5 vías no son usuales en neumática, aunque para algunas aplicaciones específicas pueden utilizarse válvulas de más vías, que generalmente son combinaciones de válvulas. En algunas funciones del circuito, no es suficiente una válvula de dos posiciones, por lo que se necesita una válvula de tres posiciones en

los que puede tener en la posición intermedia bloqueadas todas las vías (centro cerrado) o purgadas las vías de salida (centro abierto).

Las válvulas que tienen retorno por muelle o resorte y por autoalimentación se denominan MONOESTABLE, es decir memorizan sólo la posición de reposo, aquellas válvulas que son autoalimentados o retornados por señales eléctricas o neumáticas se los llama MEMORIA o BIESTABLE, es decir que memorizan la última posición.

1.5.1.2. Características Constructivas de las Válvulas Distribuidoras.

Fundamentalmente podemos clasificar a las válvulas distribuidoras en:

- Válvula de asiento
- Válvula de distribución axial o corredera.

1.5.1.2.1. Válvula de Asiento. En las válvulas de asiento, el paso es abierto o cerrado mediante placas, platos, bolas o conos. Las juntas elásticas son las que dan estanqueidad. El tiempo de respuestas de este tipo de válvulas es muy corto, son poco sensibles a la suciedad, tienen buena estanqueidad y tienen pocas piezas sometidas al desgaste.

1.5.1.2.2. Válvulas de Distribuidor Axial o de Corredera. Estas válvulas generalmente se clasifican en:

1.5.1.2.2.1. Válvulas de Distribuidor Axial, Estas válvulas son las más utilizadas, y básicamente constan de un émbolo que en su movimiento axial alternativo, comunica las distintas conexiones de trabajo tanto con la presión de la red como con la fuerza.

Estas válvulas tienen el problema de que cuesta lograr estanqueidad. En hidráulica se logra la obturación a base de metal a metal, pero en neumática es muy difícil porque el ajuste debe ser muy preciso sino hay muchas fugas. Para evitar el trabajo caro de mecanizado de esta válvula, se recurre a estancar con juntas tóricas o bien el émbolo, o la carcasa. También se pueden usar pequeños retenes interiores dobles; para evitar que se dañen los elementos obturadores deben distribuirse pequeños orificios hasta lograr la superficie total del paso.

1.5.1.2.2.2. Válvula de Curso Plano Axial. Esta válvula posee un émbolo para la inversión de la válvula, pero las tomas son controladas por un distribuidor plano adicional. En ella se compensa automáticamente el desgaste en el distribuidor y en la superficie del mismo, ya que el cursor plano es presionado además, por el aire comprimido y de modo adicional por un resorte. La estanqueidad se logra con juntas tóricas en el émbolo.

1.5.1.2.2.3. Válvulas de Distribuidor Rotante o Disco Distribuidor. Se fabrican como válvula de mando manual o por pedal del tipo 3/2, 4/2, 3/3 y 4/3. La vinculación entre las bocas de utilización y descarga se realiza a través de un disco rotante con canalizaciones.

1.5.1.3. Características de otras Válvulas. A continuación se detallan las características de algunas otras válvulas importantes en la neumática:

1.5.1.3.1. Válvulas de Bloqueo. Las válvulas de bloqueo cortan el paso del aire comprimido, bloqueando siempre un sentido, quedando el otro libre. El aire comprimido actúa sobre la pieza que produce el bloqueo, reforzando el cierre. Según DIN 24300, definimos " Las válvulas de bloqueo son aquellas que impiden el paso del aire en un sentido y lo dejan libre en el contrario". Las válvulas de bloqueo más conocidas son las de retención o antirretorno.

1.5.1.3.2. Válvula Selectora o Válvula "O". Esta válvula fue conocida como de doble retención, tiene dos entradas y una salida, El sentido de bloqueo actúa siempre en el sentido de la entrada purgada, quedando libre la otra entrada, en el circuito desempeña la función lógica "O", y se usa generalmente cuando hacen falta una de dos señales, por ejemplo activar un accionamiento desde dos partes

distintas y distantes; si hubiere más de dos mandos (o señales), se debe usar más de una válvula "O".

1.5.1.3.3. Válvula de Simultaneidad o "Y". Esta válvula también posee 3 vías de conexión, dos entradas y una salida, de tal forma que hay salida cuando hay presión en las dos entradas a la vez, cuando una de ellas no existe, se bloquea esa entrada por el mismo efecto de la presión, no circulando aire hacia la salida. Se usa como función lógica "Y"; cuando por ejemplo se necesita un enclavamiento, por ejemplo activar un accionamiento desde dos partes a la vez. Esta función lógica también se logra empleando una válvula con mando neumático y reacción a resorte.

1.5.1.3.4. Válvulas de Presión. Las válvulas de presión actúan sobre la presión del aire comprimido.

1.5.1.3.5. Válvula Limitadora de Presión. Esta válvula impide la elevación de la presión máxima admisible del sistema, es una válvula de seguridad. Cuando se alcanza un valor determinado de presión, se conecta la presión del sistema a la atmósfera. Esta no es una válvula muy usada en neumática, ya que no hay problema con las sobre presiones, en cambio es muy usada en hidráulica. La fuerza del resorte se regula en función de la presión máxima admisible.

1.5.1.3.6. Válvula de Secuencia. A diferencia de la anterior esta válvula, cuando ha alcanzado un valor de presión predeterminado, conecta la presión a una salida de trabajo A. Se usan en aquellos equipos en que se debe garantizar una presión determinada o cuando hay consumidores de preferencia y los restantes sólo se conectan al sistema cuando hay suficiente presión.

1.5.1.4. Montaje de Válvulas. Cuando el automatismo es simple o tenemos pocas válvulas, estas se conexionan directamente en sus bocas, lo que se denomina montaje unitario. El montaje unitario cuando se eleva el número de válvulas; se vuelve antieconómico y se complica porque es difícil su conexionado y engorroso su mantenimiento, ya que hay que aprender a desconectar y conectar; y es antieconómico por la gran cantidad de accesorios de conexionado y de horas-hombres en el mantenimiento mencionado.

Para evitar este problema se usa una base unitaria. Todas las conexiones se encuentran sobre la base inferior carente de partes móviles, por lo tanto de mantenimiento

Cuando el número de válvulas es más elevado aún, los fabricantes acuden a las denominadas "bases manifold" o bases para montajes múltiples. Estas, al igual que la base unitaria, posee las conexiones y la válvula es independiente. La diferencia estriba en que en esta base se forma un canal común de alimentación y otro u otros para escapes, por lo que las válvulas están agrupadas (una al lado de la otra). Es decir alimentando la base todas las válvulas están alimentadas. Las bases Manifold son moduladoras y componibles a la necesidad del número de válvulas.

Las normas ISO 5599/1, normalizan las bases de montaje y la interfaz base-válvula a efecto de garantizar además la ínter cambiabilidad de válvulas entre los distintos fabricantes.

1.5.2. Mandos Neumáticos. En el concepto de equipos neumáticos quedan comprendidos la totalidad de los elementos neumáticos de mando y de trabajo unidos entre sí por tuberías, por lo que el equipo neumático puede estar constituido por una o varias cadenas de mandos empleadas para la resolución de cualquier problema. Podemos definir:

ELEMENTOS DE MANDO = PROCESADORES DE INFORMACIÓN

ELEMENTOS DE TRABAJO = TRANSFORMADORES DE ENERGÍA

1.5.2.1. MANDO según Normas DIN 19226. Mandar o controlar, es el fenómeno engendrado en el interior de un sistema, durante el cual uno o varios parámetros considerados de entrada, actúan sobre él, según leyes propias del sistema. Este fenómeno origina una acción a través del órgano de transferencia, como tal o a través de una cadena de mandos.

1.5.2.2. Señales. Las señales son informaciones que se representan por el valor o variación del valor de una característica física. Esta variación puede afectar la transmisión, el tratamiento o la memorización de la señal. Podemos mencionar cuatro tipos de señales, a saber:

1.5.2.2.1. Señal Analógica. Es una señal de entrada, en la cual están coordinadas punto a punto diferentes informaciones en un campo continuo de valores del parámetro de señales de salida. Por ejemplo, termómetros, indicación del número de revoluciones, etc.

1.5.2.2.2. Señales Discretas. Son aquellas cuyos parámetros de información sólo pueden adoptar un número de valores dentro de determinados límites. Los valores no tienen relación entre sí, es decir, que a cada número le corresponde una sola información.

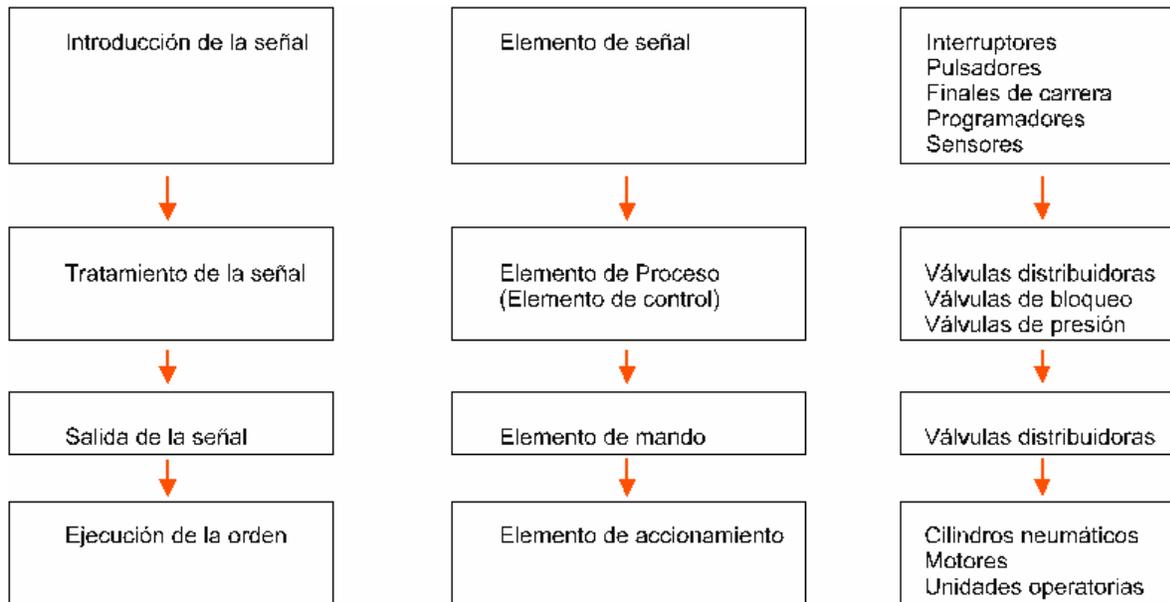
1.5.2.2.3. Señal Digital. Es una señal discreta con un número definido de valores del parámetro de señales. A cada uno le corresponde una información bien definida, pero con la diferencia, de que los valores son un múltiplo de un número entero de la unidad base E.

1.5.2.2.4. Señal Binaria. Es una señal digital con sólo dos valores del parámetro de señales, por ejemplo, PARO-MARCHA, SI-NO, 1-0

1.5.2.2.4.1. Campo de Valores de una Señal Binaria. Mientras que en regulación se trabaja principalmente con señales analógicas, en la técnica de mando se utilizan con más frecuencia señales digitales, con lo cual predominan aquí las señales binarias, que son fáciles de representar y de procesar.

Como es imposible mantener los valores de presión absolutamente constantes se definen dos campos uno inferior y otro superior, para poder definir los dos valores de la señal binaria, y para evitar interferencias debe existir una zona de seguridad relativamente extensa, sintetizado: señal cero de 0 a 0.8 bar (0 a 80 kPa) y para señal 1 de 3 a 8 bar (300 a 800 kPa), variando entre esas cotas tenemos siempre valor 1 o valor 0

1.5.2.3. Descomposición de la Cadena de Mandos. La cadena de mandos se puede descomponer detalladamente. Haciendo esto, se desprende también el sentido de la fluencia de señales.



1.6. CIRCUITOS NEUMÁTICOS BÁSICOS.

Cada tecnología se caracteriza por sus particularidades y propiedades fundamentales bien definidas de sus elementos, conocer éstas es indispensable para el diseño de circuitos funcionales. En particular el trazado de circuitos

neumáticos en forma esquemática tiene en general cosa en común, como ser la composición de determinados circuitos básicos concretos.

1.6.1. Mandos para la Regulación de Velocidad en los Cilindros. Lo que logra la válvula de escape rápido es un retorno violento del cilindro, esta también se puede colocar en un cilindro de doble efecto ya sea en la entrada o en la salida.

1.6.2. Estrangulación del Aire a la Salida. Aquí existe la posibilidad de ajustar la velocidad de la carrera de ida y de retorno independientemente una de otra. Como vemos la estrangulación regulable se hace a la salida del aire, ya sea en el avance o retroceso del vástago, esto es para que éste no se mueva a saltos.

1.6.3. Circuitos Básicos con Válvulas Distribuidoras.

1.6.3.1. Válvulas 3 Vías 2 Posiciones. Mando de cilindros de simple efecto, Mando de distribuidores neumáticos. En general: Para todos aquellos casos donde deba llenarse un cierto volumen y el escape sea realizado por la misma válvula utilizada.

1.6.3.2. Válvulas 4 Vías 2 Posiciones. Para el mando de cilindros de doble efecto y como válvula memoria para la combinación de señales.

1.6.3.3. Válvulas 5 Vías 2 Posiciones. Igual que la anterior pero dotada de dos escapes, uno para cada línea de trabajo con Posibilidad de regular el aire de salida por separado.

1.6.3.4. Mando Directo. Cuando basta con una sola señal para el mando y cuando no se efectúen mandos de cilindros de gran volumen

1.6.3.5. Mando Indirecto. Cuando existen varias señales y cuando no pueden montarse juntos los órganos de mando y los de señal.

2. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

Uno de los aspectos especiales, cuando se trata del diseño de un equipo de esta clase, es el estudio de las variables que intervienen en el proceso.

Una de las variables que juega un papel primordial es el estudio de los materiales. El estudio de las propiedades de estos, establece los parámetros de selección de los elementos de potencia necesarios para efectuar las operaciones de formado en los perfiles señalados.

En este capítulo hablaremos de todos los aspectos que rodean los materiales de que están constituidos los perfiles que van a ser curvados.

2.1. LAMINA GALVANIZADA

La lámina galvanizada posee como metal base el Acero SPCC 1D JIS G3141 – 96 equivalente al ASTM A 366., el cual posee las especificaciones técnicas, descritas en la tabla 2.1.

Según el fabricante, la lámina galvanizada califica como un acero 230 y presenta las propiedades vistas en la tabla 2.1

Tabla 2.1 Especificaciones Técnicas de la Lamina Galvanizada.

ASTM	JIS G 3141	COMPOSICIÓN QUIMICA						PROPIEDADES MECANICAS		APLICA CIONES
		L	C	MN	P	S	SI	Resistencia a la tracción	% alar.	
A366	SPCC	MIN								
		MAX	0.12	0.50	0.04	0.05		28 KG/mm ²	39	comercial

Esta lámina es producida según la norma ASTM A 653 – 94 por el proceso de inmersión en caliente (Hot – Dip) y galvanizadas bajo la designación de recubrimiento G-60 o su equivalente Z180 (180 g/m² de la lámina).

La lámina Galvanizada utilizada en CARROCERÍAS TURBACO en los perfiles laterales de las Carrocerías de buses poseen las siguientes características

- Calibre 14
- Espesor: 1.90 mm
- Largo: 2.44 metros (8 pies)
- Ancho: 1.22 metros (4 pies)
- Lamina lisa
- Peso: 45.22 Kg.
- Fabricante: ACESCO

- Tolerancia: según la norma ASTM A 924 – 94

Tabla 2.2. Propiedades de la Lámina Galvanizada.

Valores Mínimos de Resistencia Elástica, Resistencia a la Tensión y Elongación			
Grado	Resistencia Elástica Sy (Mpa)	Resistencia a la tensión St (Mpa)	Elongación en 50 mm E (%)
230	230	310	20

2.1.1. Fabricación (Proceso de Galvanización). La galvanización en caliente es uno de los sistemas más eficaces de protección del hierro y el acero frente a la corrosión que experimentan estos materiales cuando se exponen a la atmósfera, las aguas y los suelos. Consiste en la formación de un recubrimiento de zinc sobre las piezas y productos de hierro o acero mediante inmersión de los mismos en un baño de zinc fundido a 450°C.

La reacción de galvanización solamente se produce si las superficies de los materiales están químicamente limpias, por lo que éstos deben someterse previamente a un proceso de preparación superficial.

Durante la inmersión en el zinc fundido, se produce una reacción de difusión entre el zinc y el acero, que tiene como resultado la formación de diferentes capas de

aleaciones de zinc-hierro. Al extraer los materiales del baño de zinc, estas capas de aleación quedan cubiertas por una capa externa de zinc puro. El resultado es un recubrimiento de zinc unido metalúrgicamente al acero base mediante diferentes capas de aleaciones zinc-hierro.

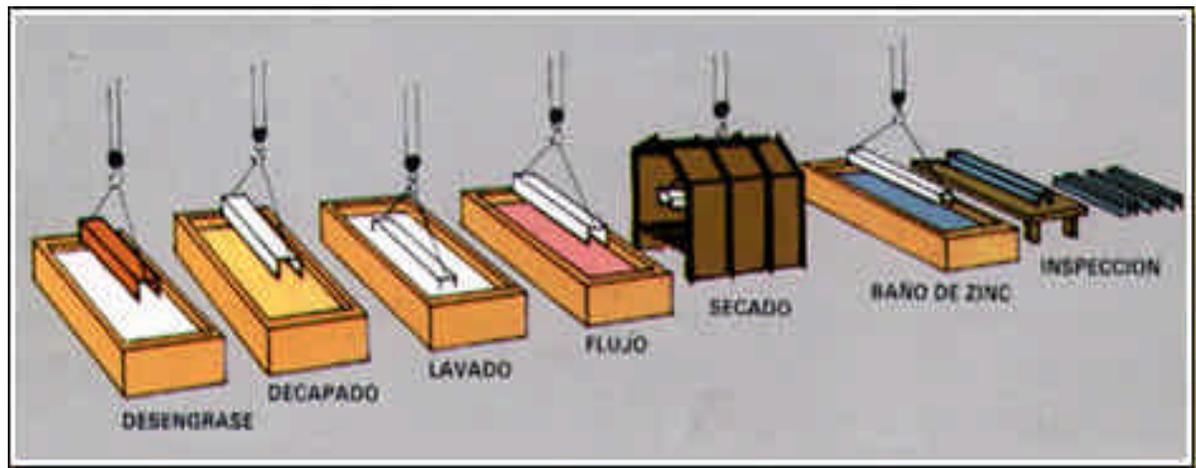
Desde el punto de vista industrial se distinguen tres tipos principales de instalaciones o procedimientos de galvanización:

- Procedimientos discontinuos
- Procedimientos automáticos o semiautomáticos.
- Procedimientos continuos

*2.1.1.1. Instalaciones Discontinuas o de Galvanización General. **Son aquellas en las que se galvanizan piezas y productos de peso y tamaños muy diversos (desde tortillería hasta elementos estructurales de gran tamaño), por lo que no es fácil la automatización del proceso. En este tipo de instalaciones la preparación superficial se realiza por vía química. En la Figura 2.1., se ilustran las principales etapas del proceso:***

2.1.1.2. Instalaciones Automáticas o Semiautomáticas. Permiten la galvanización de productos en serie, tales como tubos, perfiles, accesorios de tuberías, etc. En estas instalaciones la preparación superficial se realiza también por vía química (en algunos casos por chorreo abrasivo), y el movimiento de los materiales a través de las distintas etapas del proceso está total o parcialmente automatizado.

Figura 2.1. Procedimiento de Galvanización.

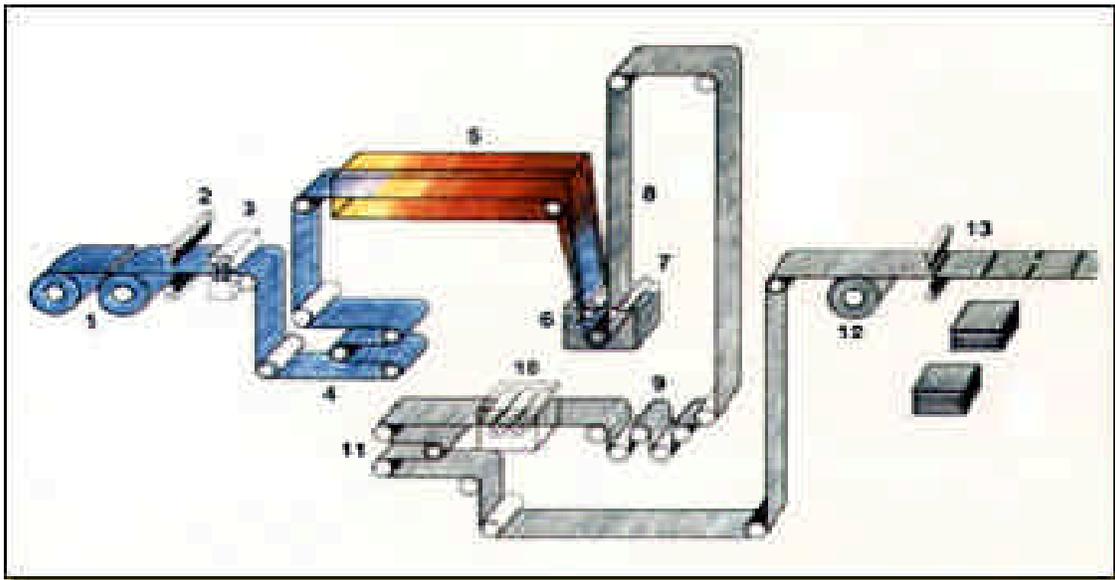


2.1.1.3. Instalaciones Continuas. La galvanización del alambre (en carretes) y de la banda y fleje (en bobinas) se efectúa en líneas de galvanización que trabajan en continuo y en las que la preparación superficial previa a la inmersión en el baño de zinc puede realizarse por vía química (como es el caso más frecuente en el alambre) o por

vía termoquímica en hornos de atmósfera apropiada, sistema más ampliamente empleado para el fleje y la banda. En la Figura 2.2. se muestra un proceso de Instalación de Galvanizado en Continuo realizado mediante los siguientes pasos:

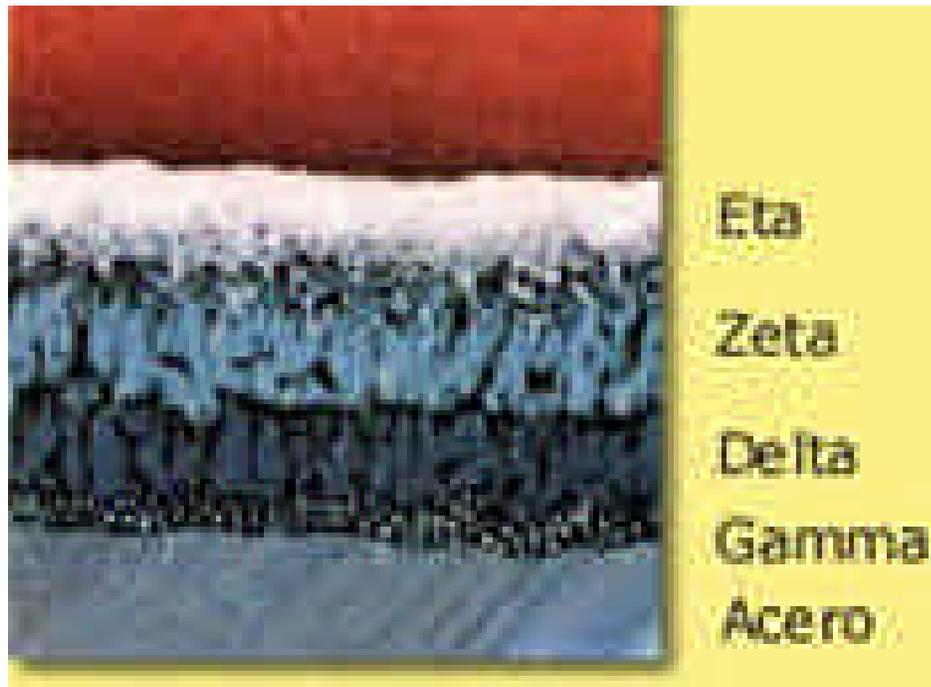
1. Alimentación en bobina.
2. Cizallado de las colas.
3. Unión de las bobinas por Soldadura.
4. Acumulador de entrada de la banda.
5. Horno de oxidación-reducción y h homogeneización de la estructura.
6. Inmersión en zinc fundido.
7. Escurrido con chorro de aire o vapor.
8. Zona de enfriamiento.
9. Enderezado.
10. Pasivación por cromatado.
11. Acumulador de salida de banda.
12. Bobinado.
13. Cizallado.

Figura 2.2. Instalación de Galvanización Continua



2.1.2 Propiedades. Los recubrimientos que se obtienen por galvanización en caliente están constituidos por varias capas de aleaciones zinc-hierro, fundamentalmente tres, que se denominan "gamma", "delta" y "zeta" y una capa externa de zinc prácticamente puro (fase "eta"), que se forma al solidificar el zinc arrastrado del baño y que confiere al recubrimiento. Su aspecto característico es su color gris metálico brillante. Ver figura 2.3.

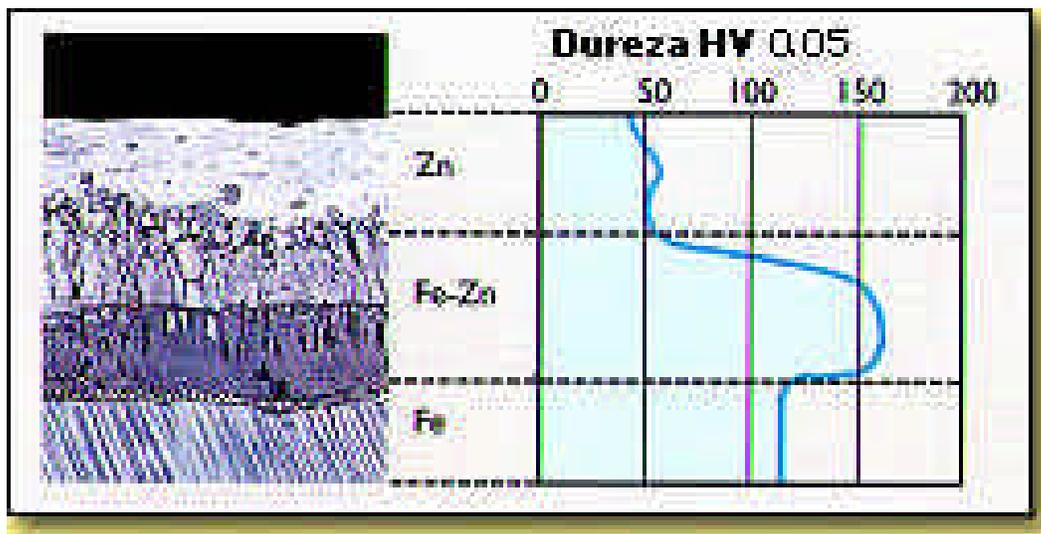
Figura 2.3. Recubrimientos que se Obtienen por Galvanización



Los recubrimientos obtenidos por inmersión en zinc fundido, cubren la totalidad de la superficie de las piezas, tanto las exteriores como las interiores de las partes huecas así como otras muchas áreas superficiales de las piezas que no son accesibles para otros métodos de protección.

2.1.2.1. Resistencia a la Abrasión. Los recubrimientos galvanizados poseen la característica casi única de estar unidos metalúrgicamente al acero base, por lo que poseen una excelente adherencia. Por otra parte, al estar constituidos por varias capas de aleaciones de zinc-hierro, más duras incluso que el acero, y por una capa externa de zinc que es más blanda, forman un sistema muy resistente a los golpes y a la abrasión. Un diagrama de dureza de los recubrimientos galvanizados se ilustra en la figura 2.4

Figura 2.4. Diagrama de Dureza de los Recubrimientos Galvanizados



2.1.2.2. Resistencia a la Corrosión. Los recubrimientos galvanizados proporcionan al acero una protección triple.

- *Protección por efecto barrera.* Aislándolo del medio ambiente agresivo.
- *Protección catódica o de sacrificio.* El zinc constituirá la parte anódica de las pilas de corrosión que puedan formarse y se irá consumiendo lentamente para proporcionar protección al acero. Mientras exista recubrimiento de zinc sobre la superficie del acero, éste no sufrirá ataque corrosivo alguno.
- *Restauración de zonas desnudas.* Los productos de corrosión del zinc, que son insolubles, compactos y adherentes, taponan las pequeñas

discontinuidades que puedan producirse en el recubrimiento por causa de la corrosión o por daños mecánicos (golpes, arañazos, etc.).

2.1.2.2.1 Corrosión Atmosférica. La duración de la protección que proporcionan los recubrimientos galvanizados frente a la corrosión atmosférica es extremadamente alta y depende de las condiciones climatológicas del lugar y de la presencia en la atmósfera de contaminantes agresivos, como son los óxidos de azufre (originados por actividades urbanas o industriales) y los cloruros (normalmente presentes en las zonas costeras), Ver tabla 2.3.

2.1.2.2.2. Corrosión en Agua Dulce. El acero galvanizado resiste generalmente bien la acción corrosiva de las aguas naturales, ya que el anhídrido carbónico y las sales cálcicas y magnésicas que normalmente llevan en disolución estas aguas ayudan a la formación de las capas de pasivación del zinc, que son inertes e insolubles y aíslan al recubrimiento de zinc del subsiguiente contacto con el agua.

Tabla 2.3. Duración de la Protección de la Galvanización.

Duración de la protección proporcionada por los recubrimientos galvanizados en	<i>Velocidad de corrosión del zinc en diferentes atmósferas (según ISO 9223)</i>	
	<i>Categoría de Corrosividad</i>	<i>Ambiente</i>

diferentes atmósferas.	<i>C1 Muy baja</i>	<i>Interior: Seco</i>	<i>0,1</i>
	<i>C2 Baja</i>	<i>Interior: Condensación ocasional</i>	<i>0,1 a 0,7</i>
	<i>C3 Media</i>	<i>Interior: Humedad elevada y alguna contaminación del aire</i>	<i>0,7 a 2,1</i>
	<i>C4 Alta</i>	<i>Interior: Piscinas, plantas químicas, etc.</i> <i>Exterior: Industrial no marítimo, y urbano marítimo</i>	<i>2,1 a 4,2</i>

La dilatada experiencia existente en el empleo de acero galvanizado en utilidades relacionadas con el transporte y almacenamiento de aguas dulces, son la mejor prueba de que el acero galvanizado tiene una excelente resistencia a la corrosión en este tipo de aguas.

2.1.2.2.3. Corrosión en Agua de Mar. Los recubrimientos galvanizados resisten bastante bien el ataque corrosivo del agua de mar. Ello se debe a que los iones

Mg y Ca presentes en este agua inhiben la acción corrosiva de los iones cloruro y favorecen la formación de capas protectoras.

2.1.3. Ventajas. Las principales ventajas de los recubrimientos galvanizados en caliente pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Duración excepcional.
- Resistencia mecánica elevada.
- Protección integral de las piezas (interior y exteriormente).
- Triple protección: barrera física, protección electroquímica y auto curado.
- Ausencia de mantenimiento.
- Fácil de pintar

2.1.4. Normas sobre Galvanización en Caliente.

2.1.4.1. Galvanización General. La norma básica que especifica las características que deben cumplir los recubrimientos galvanizados que se obtienen en las instalaciones discontinuas de galvanización en caliente

(conocidas normalmente como instalaciones de galvanización general), es la norma española e internacional UNE EN ISO 1461:1999, "Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo", que ha venido a sustituir a la norma UNE 37-508-88.

Tabla 2.4. Espesores Mínimos de Recubrimiento

Espesor de la pieza	Valor local (mínimo)		Valor medio (mínimo)	
	g/m ²	µm	g/m ²	µm
Acero 6 mm	505	70	610	85
Acero 3 mm hasta < 6 mm	395	55	505	70
Acero 1,5 mm hasta < 3 mm	325	45	395	55
Acero < 1,5 mm	250	35	325	45
Piezas moldeadas 6 mm	505	70	575	80
Piezas moldeadas < 6 mm	430	60	505	70

Las características que, según esta norma, sirven de criterio para determinar la calidad de estos recubrimientos son el aspecto superficial, el espesor y la

adherencia. El espesor es la característica más relevante, ya que la duración de la protección es directamente proporcional a su espesor.. Los espesores mínimos exigibles a estos recubrimientos, según la norma UNE EN ISO 1461, son los que se indican en la tabla 2.4, que están en relación con el espesor del acero base.

Tabla 2.5. Espesores Mínimos del Recubrimiento sobre Piezas Centrifugadas.

DIÁMETRO O ESPESOR DE LA PIEZA	VALOR LOCAL (MÍNIMO)		VALOR MEDIO (MÍNIMO)	
	g/m ²	µm	g/m ²	µm
Piezas roscadas:				
20 mm Ø	325	45	395	55
6 mm hasta < 20 mm Ø	250	35	325	45
< 6 mm Ø	145	20	180	25
Otras piezas (incluyendo piezas moldeadas)				
Espesor 3 mm	325	45	95	55
Espesor < 3 mm	250	35	325	45

Los espesores de recubrimiento exigibles a las piezas pequeñas como dados, tornillos, tuercas, pernos, etc., que se someten a tratamiento de centrifugación después de su extracción del baño de zinc son menores, y se indican en la tabla 2.5.

Esta norma no especifica métodos de comprobación de la adherencia de los recubrimientos, por considerar que éstos son capaces de soportar normalmente una manipulación congruente con sus aplicaciones sin que se produzcan desprendimientos ni descascarillados en los mismos. En los casos necesarios, el ensayo de adherencia a utilizar será objeto de acuerdo entre el cliente y el galvanizador.

Tabla 2.6. Espesores Locales Mínimos del Recubrimiento de los Tubos.

	CALIDAD DE RECUBRIMIENTO					
	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2	B.3
Superficie interior	55 µm	55 µm	45 µm	(1)	(1)	(1)
Cordón interior de soldadura	28 µm	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Superficie exterior	(1)	(1)	(1)	55 µm	40 µm	25 µm

(1) no especificado

2.1.4.2. Recubrimientos Sobre Tubos. La norma que especifica los requisitos y los ensayos relativos a los recubrimientos galvanizados en caliente sobre los tubos de acero aplicados en plantas automáticas es la UNE-EN 10.240:1997.

Los espesores de Recubrimiento se muestran en la tabla 2.6.

Esta norma contempla las siguientes calidades de recubrimiento:

- A.1, A.2 y A.3 para instalaciones de gas y agua
- B.1, B.2 y B.3 para otras aplicaciones

La Calidad A.1 tiene además exigencias de composición química, por tratarse de recubrimientos destinados a estar en contacto con agua potable. Opcionalmente puede extenderse esta exigencia a las calidades A.2 y A.3.

2.1.4.3. Recubrimientos Sobre Láminas y Bandas. Los recubrimientos obtenidos por galvanización en continuo de bandas vienen especificados en las normas que se aprecian en la tabla 2.7

Tabla 2.7. Normas sobre Recubrimientos en Láminas.

UNE 36130 2R:1991 UNE 36130/1ªM:1996	"Bandas (Láminas y bobinas) de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro".
UNE 36137 1R:1992 UNE 36137/1ªM:1996	"Bandas (Láminas y bobinas) de acero de construcción, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro".

Estas normas contemplan los posibles espesores de recubrimiento sobre las chapas y bobinas que se indican en la tabla (expresados en masa del

recubrimiento de zinc por ambas caras de la chapa por unidad de superficie de la misma) como lo muestra la tabla 2.8. Sin embargo, no todos estos espesores de recubrimiento están disponibles en todos los tipos de acero y espesores de chapa en que se fabrican las bandas. Estas normas especifican igualmente ensayos de adherencia del recubrimiento, basados en pruebas de doblado sobre mandril de diámetro variable en función del espesor del recubrimiento y de la calidad del acero base.

Tabla 2.8. Masa Mínima de Recubrimiento para Lámina.

Tipo de recubrimiento	MASA MÍNIMA DE RECUBRIMIENTO, EN G/M ² AMBAS CARAS	
	ENSAYO DE MUESTRA	ENSAYO DE TRIPLE
	SIMPLE	MUESTRA
100	85	100
140	120	140
200	170	200
225	195	225
275	235	275
350	300	350
450	385	450
600	510	600

Estas chapas y bobinas pueden suministrarse también con recubrimientos de aleación hierro-zinc (ZF) y con distintos aspectos y acabados (estrella normal (N),

estrella mínima (M), acabado ordinario (A), acabado mejorado (B), acabado superior(C)).

2.1.4.4. Recubrimientos Sobre Alambres. Los

recubrimientos sobre alambres galvanizados en continuo, sus condiciones de suministro y métodos de ensayo vienen especificados según normas. Ver tabla 2.9.

Tabla 2.9. Normas sobre Recubrimientos de Galvanización en Alambres

UNE EN 10218-1	"Alambres y productos trefilados en acero. Generalidades. Parte 1. Métodos de ensayo".
pr UNE 37-506-00	"Recubrimientos de galvanización en caliente, de calidad comercial, sobre alambres de acero. Características generales. Designación de calidades".
pr EN 10244-2	"Steel wire and wire products - Non - ferrous metallic coatings on steel wire. Part2: Zinc or zinc alloy coatings on steel wire".
EN 10257-1	"Zinc or zinc alloy coated non alloy steel wire for armouring either power cables on telecommunications cables – Part 1: hand cables".

EN 10257-2 "Zinc or zinc alloy coated steel wire for armouring either power cables or telecommunications cables – Part 2: Submarine cables".

Otras especificaciones sobre los recubrimientos se pueden observar en la tabla 2.10.

Tabla 2.10. Especificaciones sobre Galvanización

OTRAS ESPECIFICACIONES DE INTERÉS RELACIONADAS CON LOS RECUBRIMIENTOS Y PRODUCTOS GALVANIZADOS	
UNE 37-501-88	Galvanización en caliente. Características y métodos de ensayo.
UNE 37-505-89	Tubos de acero galvanizados en caliente. Características. Métodos de ensayo.
UNE 37-507-88	Recubrimientos galvanizados en caliente de tornillería y otros elementos de fijación.
UNE 37-509-89	Instalaciones de fontanería realizadas con tubo de acero galvanizado. Recomendaciones para la prevención de la corrosión prematura.
UNE 19.047-85	Tubos de acero soldados y galvanizados para instalaciones interiores de agua fría y caliente.

Protección frente a la corrosión de las estructuras de
UNE EN ISO 14713 hierro y acero. Recubrimientos de zinc y aluminio –
Directrices (ISO 14713:1999).

2.1.5. Aplicaciones.

- *Edificación:* Estructuras, carpintería, escaleras, barandillas, vallados, condiciones, andamios.
- *Instalaciones Industriales:* Naves, estructuras, depósitos y tuberías.
- *Grandes Estructuras:* Puentes, túneles, torres y mástiles.
- *Automoción:* Chasis, carrocerías y piezas diversas de automóviles y camiones.
- *Armaduras Galvanizadas para Hormigón:* Estructura, construcciones portuarias, tableros de puentes, paneles de fachada, prefabricados de Hormigón.
- *Agricultura y Ganadería:* Invernaderos, silos, almacenes, establos y corrales, instalaciones avícolas, cercados y equipos de irrigación.
- *Equipamientos de Carreteras:* pasarelas, pórticos de señalización, barreras de seguridad, pantallas acústicas, parapetos.
- *Elementos de Unión:* tortillería, clavos, fijaciones y accesorios de tuberías.
- *Mobiliario Urbano:* farolas, semáforos, contenedores, marquesinas, bancos, instalaciones para parques y jardines.

- *Deporte y Tiempo Libre:* estadios, piscinas, polideportivos, teleféricos y parques infantiles
- *Electricidad y Telecomunicaciones:* torres y subestaciones eléctricas, antenas de telefonía, repetidores de televisión.
- *Transporte:* Catenarias de ferrocarril, estaciones, terminales,
- embarcaderos, almacenes e instalaciones auxiliares, construcción naval.

TABLA 2.11. Características de la Lámina Galvanizada

Referencia	Calibre	Espesor del metal base (mm)	Dimensiones		Peso Lamina Gal/zada (Kg.)	Peso del re/miento de zinc (gr/m ²)	Espesor Re/entode Zinc (mm)
			Ancho (cm.)	Largo (cm.)			
LGL	11	3.00	120	244	69.71	275	0.038
LGL	12	2.50	120	244	58.26	275	0.038
LGL	14	1.90	100	200	30.38	275	0.038
LGL	14	1.90	120	244	44.45	275	0.038
LGL	16	1.50	100	200	24.10	275	0.038
LGL	16	1.50	120	244	35.26	275	0.038
LGL	18	1.20	100	200	19.39	275	0.038
LGL	18	1.20	120	244	28.37	275	0.038
LGL	20	0.90	100	200	14.57	220	0.030
LGL	20	0.90	120	244	21.32	220	0.030
LGL	22	0.70	100	200	11.43	220	0.030
LGL	22	0.70	120	244	16.72	220	0.030
LGL	24	0.57	100	200	9.32	183	0.026
LGL	24	0.57	120	244	13.64	183	0.026
LGL	26	0.45	100	200	7.43	183	0.026

LGL	26	0.45	120	244	10.87	183	0.026
LGL	28	0.35	100	200	5.86	183	0.026
LGL	30	0.30	100	200	5.02	150	0.021
LGL	31	0.27	100	200	4.55	150	0.021

2.1.6. Características de la Lámina Galvanizada. En la Tabla 2.11.se detallan las características más importantes de la lámina galvanizada.

2.1.7. Diferentes Presentaciones de la Lámina Galvanizada.

TABLA 2.12. Lamina Galvanizada en Rollo.

Referencia	Calibre	Espesor del metal base (m.m)	Ancho (cms.)	Peso Lamina Gal/zada (Kgs.)	Peso del re/miento de zinc (Grs/m2)	Espesor Re/ento de Zinc (mm)
LGR	12	2.50	120	23.88	275	0.038
LGR	14	1.90	100	15.19	275	0.038
LGR	14	1.90	120	18.23	275	0.038
LGR	16	1.50	100	12.05	275	0.038
LGR	16	1.50	120	14.46	275	0.038
LGR	18	1.20	100	9.70	275	0.038
LGR	18	1.20	120	11.63	275	0.038
LGR	20	0.90	100	7.29	220	0.030
LGR	20	0.90	120	8.74	220	0.030
LGR	22	0.70	100	5.72	220	0.030
LGR	22	0.70	120	6.86	220	0.030
LGR	24	0.57	100	4.66	183	0.026
LGR	24	0.57	120	5.59	183	0.026
LGR	26	0.45	100	3.72	183	0.026

LGR	26	0.45	120	4.46	183	0.026
LGR	28	0.35	100	2.93	183	0.026
LGR	30	0.30	100	2.51	150	0.021

2.1.7.1. Lámina Galvanizada en Rollo. Fabricada en rollos hasta de 10 toneladas o cortado a la medida, en espesores desde 0.20 mm hasta 1.90 mm, y ancho desde 800 mm hasta 1220 mm. Se utiliza como materia prima en la Industria de refrigeración, construcción, automotriz y metalmecánica en general. En la Tabla 2.12. se muestran algunas características de la lamina galvanizada en rollo.

Para el espesor de la lámina Galvanizada se debe considerar el espesor del metal base mas el espesor del recubrimiento de zinc. Se ofrecen también largos diferentes y recubrimientos mayores a los especificados.

2.1.7.2. Lámina Galvanizada Cortada. Se utiliza en la industria metalmecánica, señalización, cuartos fríos, furgones, ductos, canales, cielos rasos, etc.

2.1.7.3. Acero Galvanizado Corrugado. Comercialmente conocido como ‘teja de zinc’, este producto es de amplia utilización en el sector rural para techos de vivienda, cerramientos, granjas avícolas, etc.

2.1.7.4. Lámina Galvanizada Pintada. Producida en rollos recubiertos pintados de poliéster. Utilizada en diferentes aplicaciones de la arquitectura metálica (tales como techos y cubiertas) y como materia prima para el desarrollo de nuevos productos en la industria metalmeccánica que requieran del color para su acabado final.

2.2. EL ANGULO Y EL TUBO

la calidad del acero de estos dos tipos de perfiles es el ASTM A36. El A36 es un acero de calidad usado en construcciones de puentes, edificaciones remachadas, unidas con pernos o soldadas y en general para propósitos estructurales.

2.2.1. Composición Química:

- Carbono: 0.26% máximo
- Manganeso: 0.6/0.85%*
- Fósforo: 0.04% máximo
- Azufre: 0.05% máximo
- Silicio: 0.15%
- Cobre: 0.20% mínimo*

* En casos especiales en los cuales se exija resistencia a la corrosión.

Tabla 2.13. Propiedades Mecánicas del A 36

DENOMINACIÓN	LIMITE ELÁSTICO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	ALARGAMIENTO MÍNIMO
N	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)	%
ASTM			
A36	2.530	4.080 A 5620	20

Las propiedades mecánicas de este material pueden observarse en la tabla 2.13.

2.3. ASPECTOS IMPORTANTES EN EL ESTUDIO DE LOS MATERIALES

- **Aleación.** Una aleación es una mezcla de uno o más elementos metálicos con otros elementos metálicos o no metálicos.
- **Recocido.** Es un proceso que consiste en calentar un metal o aleación hasta una temperatura predeterminada, por debajo de su punto de fusión, manteniendo esta temperatura por un tiempo y luego enfriando lentamente. De cualquier modo, recocido es un término comprensible y el propósito de tal tratamiento puede ser: Quitar esfuerzos, Producir ablandamiento, Modificar la ductilidad, resistencia, propiedades eléctricas o magnéticas u otras propiedades físicas, Refinar la estructura cristalina, Remover gases, Producir una micro estructura definida

- **Fragilidad.** Tendencia a la ruptura sin que haya deformación apreciable.
- **Carburo.** Compuesto formado cuando un elemento se combina con el carbono. Los carburos de metales por lo general son extremadamente duros.
- **Carbono.** Es el segundo constituyente de las aleaciones hierro-carbono; es un elemento que existe, al igual que el hierro, en más de una forma de disposición atómica.
- **Acero al carbono.** Acero que debe sus propiedades principalmente a los diferentes porcentajes de carbono, además de las cantidades de otros elementos aleados.
- **Carburización.** Adición de carbono a la superficie de una aleación a base de hierro, por calentamiento del metal por debajo del punto de fusión, en contacto con sólidos, líquidos o gases carbonosos.
- **Acero fundido.** Un objeto hecho por vertimiento de acero fundido dentro de moldes.

- **Descarburización.** Remoción del carbono (usualmente se refiere a la superficie del acero sólido) por la acción (generalmente oxidante) de un medio que reacciona con el carbono.
- **Ductilidad.** La propiedad de un metal de aceptar una cantidad considerable de deformación mecánica (especialmente por estiramiento) sin agrietarse.
- **Aleación eutéctica.** La composición de un sistema aleado, en el cual las dos curvas de líquido descendentes se interceptan en un punto, en un sistema binario. Así, tal aleación tiene un punto de fusión más bajo que las composiciones vecinas. Puede presentarse más de una composición eutéctica en un sistema aleado específico.
- **Grafito.** Con ciertas condiciones, en una aleación hierro-carbono se presenta una porción de carbono en forma de grafito, el cual es una modificación cristalina distinta del elemento carbono. El grafito formado por recocido, como en una fundición maleable, comúnmente se designa como carbono de temple.
- **Fundición gris.** La fundición gris es hierro en lingotes vuelto a derretir y vaciado dentro de formas. Durante el derretido se ejerce control sobre la composición, pero todas las fundiciones grises tienen más del 2% de

carbono.

- **Temple.** Calentamiento de ciertas aleaciones con base de hierro hasta una temperatura comprendida dentro de los límites de temperatura crítica o superior a éstos y enfriamiento rápido, con el fin de producir una dureza superior a la obtenida cuando la aleación no se enfría rápidamente.
- **Tratamiento térmico.** Una operación o combinación de operaciones que incluye el calentamiento de un metal o aleación hasta una determinada temperatura y luego el enfriamiento a una velocidad determinada, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas.
- **Maleabilidad.** Una propiedad de los metales que les permite ser curvados o deformados permanentemente sin romperse. El hierro y el acero llegan a ser muy maleables, según sea la elevación de la temperatura.
- **Punto de fusión.** Temperatura a la cual los cristales de un metal puro están en equilibrio con el líquido de la misma composición.
- **Metalurgia.** El arte y ciencia de producir metales y sus aleaciones, fabricación y tratamientos térmicos.

- **Acero dulce.** Acero que contiene una pequeña cantidad de carbono, no más del 0.25%, y no tiene elementos especiales de aleación. Debido al bajo contenido de carbono, el acero dulce es comparativamente blando.
- **Normalizado.** Proceso en el cual una aleación ferrosa se calienta hasta una temperatura adecuada, superior a la zona de transformación, y se enfría posteriormente en aire quieto a la temperatura ambiente. Sobrecalentamiento. Calentamiento a una temperatura tal que los granos se vuelven gruesos, perjudicando entonces las propiedades del metal.
- **Oxidación.** Reacción química entre el oxígeno y otros elementos (metales) que produce óxidos.
- **Oxido.** Término aplicado usualmente al herrumbre, corrosión, película o incrustación.
- **Hierro en lingotes.** El hierro en lingotes es el producto de reducir el mineral de hierro en un alto horno. Es el primer paso en la producción de todos los metales con base de hierro.
- **Enfriamiento rápido.** Enfriamiento rápido por inmersión en líquidos o gases, o por contacto con metal.

- **Acero.** Todo acero es una aleación de hierro, Carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio. Se pueden agregar otros elementos, tales como níquel, cromo, molibdeno y tungsteno, para obtener propiedades especiales; pero en todas las clases de acero (excepto en los aceros inoxidables) el carbono es el elemento mas importante, fuera del metal base que es el hierro.
- **Rebajado de Tensiones.** Esta es una forma de tratamiento térmico bien conocida por todos los que tiene que trabajar con aceros de alto carbono así como aceros dulces. Consiste en el calentamiento uniforme, por ejemplo de una estructura soldada, a una temperatura suficiente para rebajar la mayor parte de las tensiones producidas por el calor de la soldadura. Este tratamiento también se utiliza para rebajar las tensiones producidas por el maquinado o trabajo en frío. El rebajado de tensiones no debe confundirse con otras formas de tratamiento térmico tales como recocido y normalizado.
- **Revenido.** Un proceso de calentamiento empleado para alterar la dureza de un metal que ya ha sido sometido a un tratamiento térmico. La temperatura de revenido es menor que la temperatura a la cual se ha efectuado el primer tratamiento térmico.

- **Soldadura.** Una fusión localizada del metal la cual se produce por calentamiento a temperaturas adecuadas, con la aplicación de presión o sin ella y con el empleo de metal de aporte o sin él. El metal de aporte tiene un punto de fusión aproximadamente igual al de los metales bases e inferior, pero siempre superior a los 800° F.

3. PROCESO DE CURVADO

El curvado es la deformación uniforme de un material, de ordinario de lámina o tira de metal, alrededor de un eje recto que descansa en el plano neutral y normal a la dirección longitudinal de la hoja o tira. El flujo de metal se produce dentro de la zona plástica del mismo, de manera que la curva retiene una posición permanente después de la remoción de las fuerzas aplicadas. La superficie interior de un curvado está en compresión; la superficie exterior esta en tensión.

Los términos empleados en el curvado se definen a continuación y se ilustran en la figura 3.1. El eje neutral es el área plana en el metal doblado donde las tensiones son cero.

3.1 RADIO DE CURVATURA.

El radio de curvatura mínimo varía para los diversos metales; en general, la mayor parte de los metales recocidos pueden ser curvados a un radio igual al grueso del metal sin rajaduras o debilitamiento.

3.2 TOLERANCIAS PARA EL CURVADO.

Como el material para curvar es mas largo después de curvado, su aumento en longitud, generalmente es de la incumbencia del diseñador del producto. Esto tiene que ser considerada también por el diseñador del troquel si la tolerancia en longitud de la parte a doblar es crítica. La longitud de metal a curvar puede ser calculada de la siguiente ecuación:

$$B = \frac{A}{360} 2\pi (IR+Kt)$$

Ecuación 3.1

Donde

B = tolerancia para el curvado, pulgadas (a lo largo del eje neutral)

A = ángulo del curvado, grados

IR = radio Interior del curvado, pulgadas

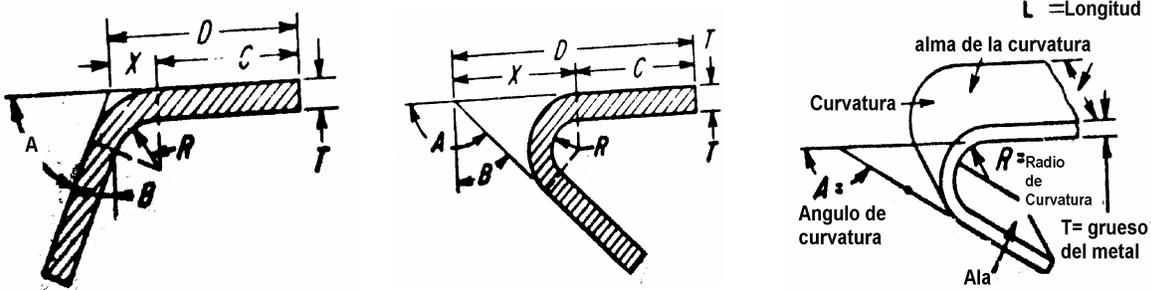
T = grueso del metal, pulgadas

K = 0.33 cuando IR es menor de 2t y es 0.50 cuando IR es mayor que 2t.

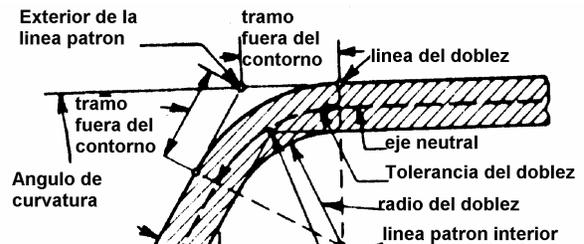
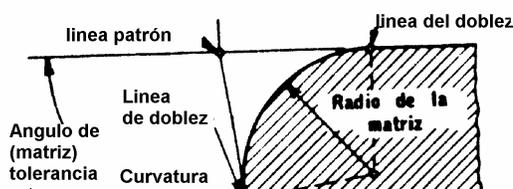
3.3 RETROCESO ELÁSTICO.

Cuando un metal se somete a un esfuerzo dentro de su intervalo elástico se deforma, pero regresa a su forma anterior al liberar la carga. Si cargándolo más allá del límite elástico y dentro de su intervalo plástico se hace que el metal se deforme o adopte una forma dada permanente, este retornará en cierto grado a su forma anterior debido a sus propiedades elásticas. Esta característica de los metales se conoce como recuperación elástica.

Figura 3.1. Términos sobre Curvado



- R = radio de curvatura
- T = Grueso del material
- A = ángulo de curvatura
- B = ángulo de bisel
- C = longitud de ala o ancho de alma
- D = Dimensiones de la línea patrón
- X = tramo fuera del contorno



Después de que se libera la presión curvadora sobre el metal, también se liberan las tensiones elásticas, lo cual ocasiona el movimiento de retroceso del metal, resultando una disminución en el ángulo del curvado (así como un aumento en el ángulo incluido entre las porciones curvadas). Este retroceso elástico, varía en el acero de $\frac{1}{2}$ a 5 grados, dependiendo de su dureza; el bronce fosforoso puede tener un retroceso elástico que varía entre 10 y 15 grados.

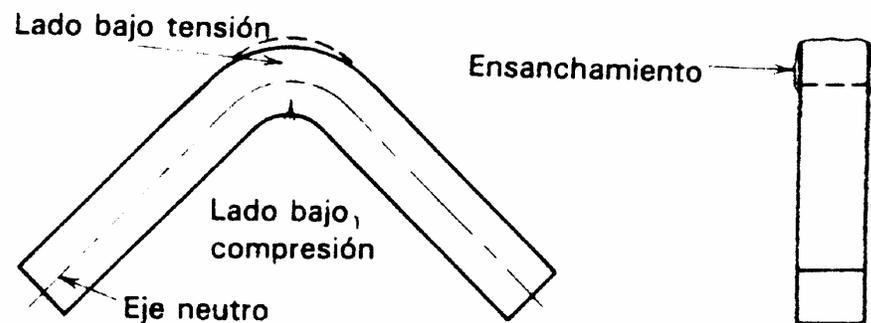
Como consecuencia las partes se curvan varios grados de más o se planchan o rebordean en exceso para compensar la recuperación elástica.

Las partes producidas en otros tipos de matrices curvadoras, también se curvan en exceso una cantidad igual al ángulo de retroceso elástico con un punzón rebajado o con salida.

El eje neutro del curvado (figura 3.2) no está situado en el centro equidistante a las superficies exterior e interior de la curva, ya que el esfuerzo de cedencia de los metales sometidos a compresión es ligeramente mayor que a tracción y esto hace que se abulten los lados internos de compresión del doblado, mientras que el lado exterior sujeto a tracción se adelgaza y reduce su ancho.

Las maquinas que hacen curvados agudos o de radio pequeño en lámina metálica se llaman curvadoras de barra. Estas herramientas se utilizan para curvar lámina metálica para perfiles arquitectónicos, tubos para hornos y acondicionamiento de aire y productos de lámina metálica.

Figura 3.2. Curvado simple con Respecto a un Eje



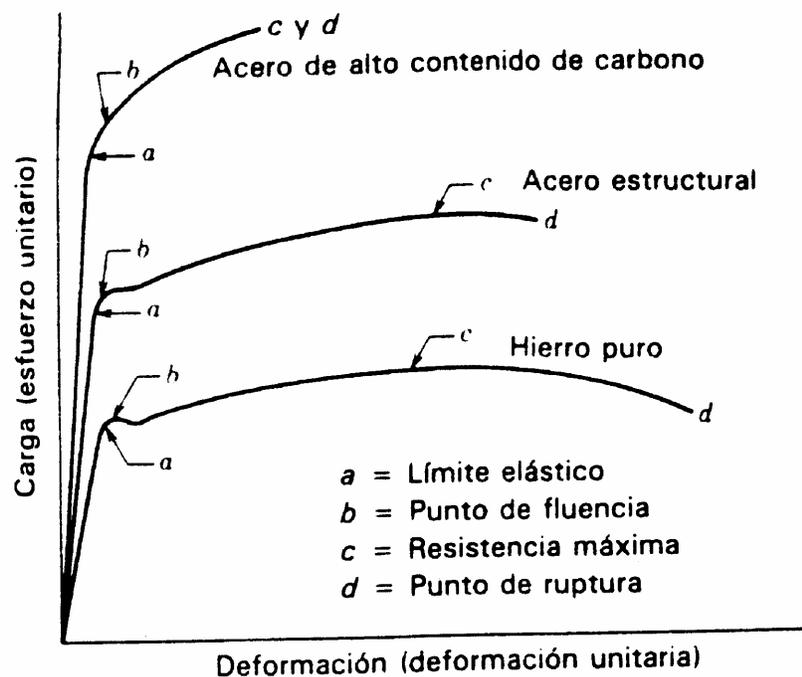
3.4 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO

Una de las características más valiosas de los metales es la que se conoce como

plasticidad, o sea, la capacidad de los metales para deformarse permanentemente en cualquier dirección sin agrietarse ni partirse. Las altas temperaturas, como en el trabajo en caliente, tienden a incrementar la plasticidad de los metales, pero la recristalización que se suscite hace que estos se suavicen, haciendo que su resistencia mecánica sea más baja.

Al deformar el metal a temperaturas normales se obtienen resistencias y durezas más altas. La deformación plástica permanente sólo puede ocurrir bajo esfuerzos superiores al límite elástico o punto de cedencia (figura 3.3). Conforme progresa el trabajo en frío, se requiere más fuerza y la dureza del material aumenta hasta que se alcanza un cierto esfuerzo; en este punto el metal se rompe.

Figura 3.3. Diagrama Esfuerzo, Deformación en algunos Materiales



Arriba del esfuerzo de cedencia, se requiere mas esfuerzo al continuar el trabajo en frío. La *d* en el diagrama indica en donde ocurre la falla. A esto se le llama **punto de ruptura** y a menudo es ligeramente menor que la resistencia máxima o última.

Cuando los metales se trabajan en frío hasta un cierto punto, la siguiente operación requiere fuerzas mayores que las aplicadas previamente para deformar el *metal* a un mayor grado. Cada operación lleva al metal en particular a una condición más cercana a su resistencia última y a su punto de ruptura. El Objetivo en el trabajo en frío de los metales es, por tanto, detener el proceso cuando el material se encuentra todavía lejos de la falla.

El grado de deformación (cantidad de trabajo en frío) determina el nivel de tenacidad, resistencia mecánica, dureza y ductilidad aún presente. Así se pueden obtener diferentes especificaciones para un producto manufacturado. En el caso de la lámina de acero, por ejemplo, es posible producirla con durezas que van desde una cuarta parte de la dureza del acero hasta la dureza de éste.

EL acero de un cuarto de dureza se puede doblar 180 grados sin romperse, en tanto que el acero de dureza media se puede doblar solamente 90 grados y el acero de dureza completa se puede doblar sólo 45 grados sobre un radio aproximado del espesor del material. Si se necesita más deformación, se recurre

entonces a un proceso de recocido para restaurar la plasticidad, que al mismo tiempo reduce la resistencia mecánica del metal y disminuye el esfuerzo que se requiere para deformarlo más. El proceso de recocido que se hace al acero trabajado en frío se efectúa en ocasiones en una cámara de gas inerte para evitar problemas de oxidación. Cuando se hace esto se le llama recocido brillante.

Algunas de las ventajas del trabajo en frío con respecto al trabajo en caliente son:

- Tolerancias dimensionales más cerradas
- Mejor acabado de superficies.
- Mejor maquinabilidad.
- Propiedades mecánicas superiores.
- Anisotropía muy marcada.

Algunas de las desventajas del trabajo en frío son:

- El metal es menos dúctil.
- A veces se requiere recocido.
- Puede originar esfuerzos remanentes, lo cual ocasiona alabeo al maquinar.
- Se requiere maquinaria más potente.
- El calentamiento o soldadura posteriores cambian las propiedades debidas al trabajo en frío y debilitan al metal.

3.5 DUCTILIDAD Y MALEABILIDAD.

La ductilidad es la propiedad de un metal de deformarse permanentemente o de mostrar plasticidad sin ruptura si se somete a tracción.

Todo metal que puede estirarse para hacer alambre es dúctil. La capacidad de un metal para deformarse permanentemente al someterse a compresión recibe el nombre de maleabilidad.

Los metales que pueden llevarse a la forma de láminas o conformarse por forja en frío son maleables. La mayoría de los metales dúctiles son maleables, pero algunos metales muy maleables como el plomo, no son muy dúctiles y no se pueden estirar con facilidad a la forma de alambre. Algunos metales dúctiles son el acero, el aluminio, el oro, la plata y el níquel. Algunas aleaciones no ferrosas, como el latón y el Monel también son dúctiles, pero la mayoría de las aleaciones de acero son menos dúctiles que el acero al carbono simple. Otros metales y aleaciones, como el acero inoxidable, el acero con alto contenido de manganeso, el titanio, el circonio y el inconel, tienden a “endurecerse por trabajo”, es decir, al incrementar rápidamente su dureza al avanzar el proceso de trabajo en frío.

La mayoría de los metales tienden a endurecerse por trabajo en cierto grado. Los aceros austeníticos inoxidables tienden a permanecer dúctiles hasta que alcanzan una dureza muy elevada. Esta es una propiedad valiosa cuando se tiene como

requisito una mayor dureza y tenacidad para un producto conformado en frío. El recocido restaura la ductilidad y la suavidad de los metales que se endurecen por trabajo. El endurecimiento por trabajo es a menudo una dificultad que se afronta en las operaciones de maquina

3.6. CONFORMACIÓN DE METALES.

Es *fácil* imaginar al metal fundido fluir por gravedad a los moldes y al acero ablandado por calentamiento al rojo blanco martillarse o forzarse a una forma dada. También son familiares la dureza y la tenacidad de los metales fríos. Es más difícil entender cómo se puede hacer fluir el metal frío cuando se aplica suficiente presión. Prácticamente, toda operación que se efectúa en caliente se puede hacer en metales fríos, pero el límite en cuanto al tamaño de estas partes lo fijan el tamaño y la potencia de la maquinaria. Como el costo de calentamiento del metal se elimina en la conformación en frío, este es un método menos costoso, especialmente para las partes más pequeñas.

La combinación de la conformación en frío ofrece como ventaja la reducción de los costos de equipo cuando se requieren varias operaciones y a menudo se reducen tanto la necesidad de maquinado secundario como el personal de operación. Las partes más grandes se pueden conformar en caliente y, posteriormente, se les puede dar un acabado mediante métodos de conformación en frío. Hay una nueva tendencia hacia la conformación a temperaturas medias,

que se emplea cuando los metales que son difíciles de trabajar en frío, como el titanio, el acero inoxidable y algunos aceros aleados, se pueden conformar con presiones y esfuerzos menores que los de conformación en frío. Por ejemplo las pistas para cojinetes se conforman en la actualidad a temperatura media o “tibia” en acero aleado tenaz; posteriormente, se templean y se rectifican a esmeril. Los aceros que contienen más de 0.40% de carbono son difíciles de conformar en frío pero se pueden conformar a temperaturas medias, es decir, abajo de la temperatura de transformación pero arriba de la temperatura de recristalización, alrededor de 482 °C (900 °F) para los aceros. La conformación a estas temperaturas puede incrementar substancialmente la producción para algunos materiales

3.7. EL PROCESO DE CURVADO Y LA NEUMÁTICA

En esta modalidad de mecanizado, el criterio principal para la neumática es la fuerza que se necesita; puesto, que la aplicación neumática sólo es posible dentro del margen hasta los 3000 kips aproximadamente.

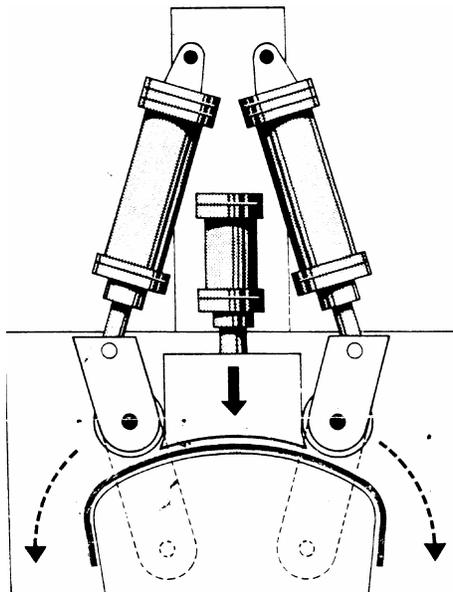
En todos los talleres pueden fabricarse pequeñas prensas neumáticas aprovechando el efecto de golpe mediante un bastidor de columnas y cilindros neumáticos. De esta manera rápida y sencilla se montan, dentro del margen de fuerza, dispositivos para curvar, comprimir, rebordar, doblar, troquelar, perforar y cortar. En los trabajos de curvar y doblar la neumática puede aportar fuerzas

superiores si se proveen para ello transmisiones mediante palancas.

También son posibles los trabajos de estampación: Por ejemplo: la grabación de los tipos, números de serie y otras designaciones, siendo muy apropiados para este fin los cilindros de impacto.

La figura 3.4, muestra un dispositivo para curvar, que son utilizados para muchas finalidades similares. Los dispositivos de esta clase pueden ser instalados y mandados por separado o también estar instalados en grandes equipos de fabricación.

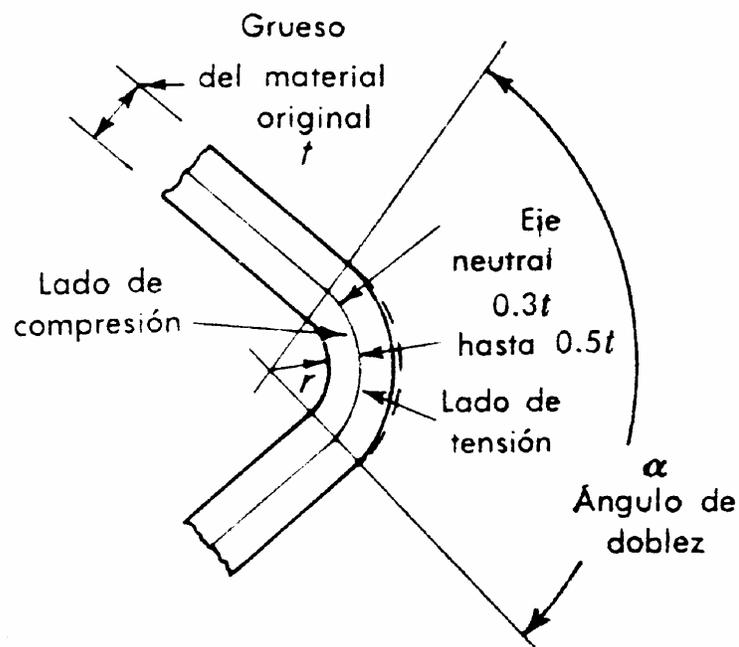
Fig. 3.4. Dispositivo de Conformación por Curvado para Material Plano



3.8. FORMAS DE CURVADO

Toda operación de doblado de metales está caracterizada por la condición ilustrada en la figura 3.5. quedando el metal sometido a un esfuerzo que sobrepasa el límite elástico en tensión en el lado exterior y en estado de compresión en la cara interior del curvado. El estiramiento que experimenta el metal en la parte exterior adelgaza el material.

Figura 3.5. La Naturaleza de un Curvado Metálico



El estiramiento de un curvado obliga al eje neutral a lo largo del que no resiente ninguna tensión a desplazarse hasta una distancia de 0.3t hasta 0.5t desde el interior del curvado, siendo este un fenómeno que ocurre en la mayoría de los casos. Frecuentemente se usa como valor medio 0.4t. Si el radio interior del doblez es r, se estima que la longitud original del material en el curvado es:

$$L = 2\pi (r + 0.4t) \times (\alpha/360)$$

Ecuación 3.2.

Donde:

α = Angulo del curvado expresado en grados

t = Grueso del material original, dado en pulgadas.

Como ya se ha explicado, aun el metal al que se le haya aplicado un esfuerzo más allá del limite elástico es capaz de manifestar cierta cantidad de recuperación elástica. Si se hace un curvado hasta cierto ángulo puede esperarse que regrese hasta un ángulo un poco menor cuando se deja libre el material. Este *muelleo de retroceso (springback)* es mayor para radios de curvas más pequeñas, material

más grueso, ángulos de doblamiento más grandes y materiales endurecidos. Los valores medios son 1° y 2° para aceros blandos con bajo contenido de carbono y de 3° y 4° para aceros blandos de contenido de carbono intermedio.

El remedio usual que se aplica para contrarrestar el muelleo de retroceso consiste en curvar excediéndose del ángulo que se desee obtener. Es necesario observar ciertas limitaciones para evitar romper el metal al estarlo doblando.

En general, es posible curvar un metal blando en un ángulo de 180° dando un radio de curvado igual al grueso del material de trabajo, o menor.

El radio de curvado tiene que ser mayor y el ángulo menor cuando se trata de metales con temple duro. La magnitud depende del metal y de la condición del mismo. En los manuales se encuentran valores para el trabajo práctico. Un curvado deberá hacerse no inferior a 45° y tan próximo a 90° como sea posible con la dirección del grano del metal laminado en forma de hojas porque sufre rajaduras con la mayor facilidad a lo largo del grano.

Un curvado no deberá quedar a una distancia del borde que sea menor a una y media veces el espesor del metal más el radio de doblamiento.

3.9. MÉTODOS PARA EL CURVADO

3.9.1 Curvado de Tubos y Formas Estructurales. Los tubos, y las formas estructurales de todas clases se doblan por métodos que les impiden aplastar o deformarse. Los tubos, formas y perfiles de paredes delgadas pueden unirse en esquinas por medio de uniones, por soldadura o con soldadura dura, pero la operación de curvado es más económica y más digna de confianza. Ejemplos de estos trabajos son los tubos de escape y de cola para automóviles, líneas hidráulicas para aviones y bastidores estructurales.

Los tubos y perfiles se apoyan, ordinariamente, en canales y se curvan alrededor de bloques formadores. Los dobleces se hacen en escala de producción dentro de una tolerancia hasta de 0.50 y dejando un radio interior tan pequeño como el diámetro del tubo. En la figura 3.6., se exponen métodos de doblado utilizados comúnmente.

3.9.2. Curvado con Tracción. *La pieza de trabajo se tracciona desde ambos extremos mientras se dobla sobre un bloque formador. (Stretch bending). La aplicación de este método está limitada a dobleces de radio grande pero es apropiado para curvas que no son circulares.*

3.9.3. Curvado con Estiramiento (*draw bending*). Se lleva a cabo fijando la pieza de trabajo con mordazas contra un bloque formador que gira y tira del metal amoldándolo contra el doblador. La pieza de trabajo que entra en el curvador recibe apoyo mediante una barra de presión. Puede insertarse un mandril en un tubo para evitar que este se aplane. Los trabajos delicados se apoyan al pasar por el tramo doblador mediante mandriles flexibles de esfera, laminados o de cable, como se ilustran en la figura 3.6.

Se considera que el curvado por estiramiento es la mejor elección cuando hay que trabajar sobre piezas de radio pequeño y de pared delgada. Está muy difundido el uso de máquinas accionadas manualmente o con un motor; algunas de estas están muy automatizadas para fines de producción grande. Indicaremos, para dar ejemplos, que pueden realizarse 600 dobleces por hora con tubos de acero de 2.54 cm de diámetro exterior y 0.0889 cm (0.035 pulgada) de espesor de la pared, y 1 200 dobleces por hora en tubos de aluminio. Un doblador rotatorio para producción, para tubería de acero de 15.24 cm (6") por 0.4191 cm (0.165") de espesor de paredes, cuesta cerca de 22 000 dólares.

3.9.5. Curvado por Compresión. La pieza de trabajo se fija con mordaza y se le obliga a envolverse en torno al bloque formador fijo usando para ello una zapata deslizante.

3.9.5. Curvado por Extrusión a Rodillo. El curvado por extrusión a rodillo es para curvar tubos de más de 12.7 cm (5") de diámetro exterior y paredes hasta 15.875 mm ($\frac{5}{8}$ ") de espesor de paredes. Se hace girar dentro del tubo un

cabezal con rodillos de empuje anchos situados por un lado y un rodillo de trabajo angosto por el otro lado. El tubo se rodea con anillos de trabajo en el exterior del cabezal. El rodillo de trabajo es desplazado hacia adentro y afuera por medio de levas mientras gira el cabezal con el fin de aplicar presión para extruir metal en la pared del tubo lateralmente, para obligarlo a doblarse. A medida que se trabaja el material se hace avanzar el tubo pasando por el cabezal. Se ha reportado que este método es diez veces más rápido que otros sistemas para trabajar tubos.

3.9.6. Curvado a Rodillo. El *Curvado a rodillo* de placas, barras, perfiles estructurales y tubos, se efectúa con tres rodillos como se ilustra en la figura 3.6. Un rodillo se ajusta entre los otros dos para obtener el radio de curvado deseado. De esta manera es posible hacer serpentines continuos. Puede cambiarse fácilmente el radio de curvado y la operación es apropiada para trabajo manual. El metal utilizado puede variar desde lámina metálica delgada hasta barras o planchas de gran espesor. (Figura 3.7 a 3.8).

Figura 3.6. Métodos de Curvado de Tubos, y Perfiles Estructurales.

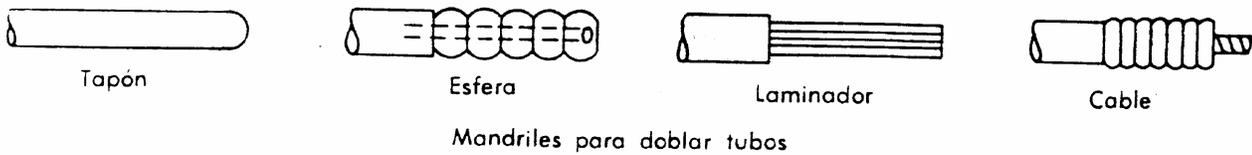
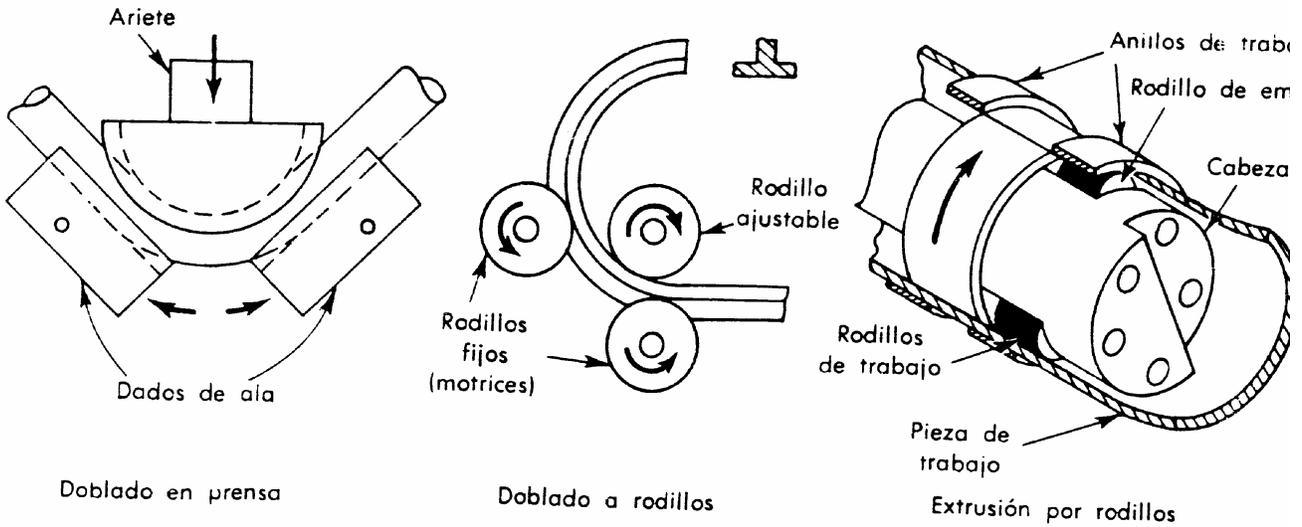
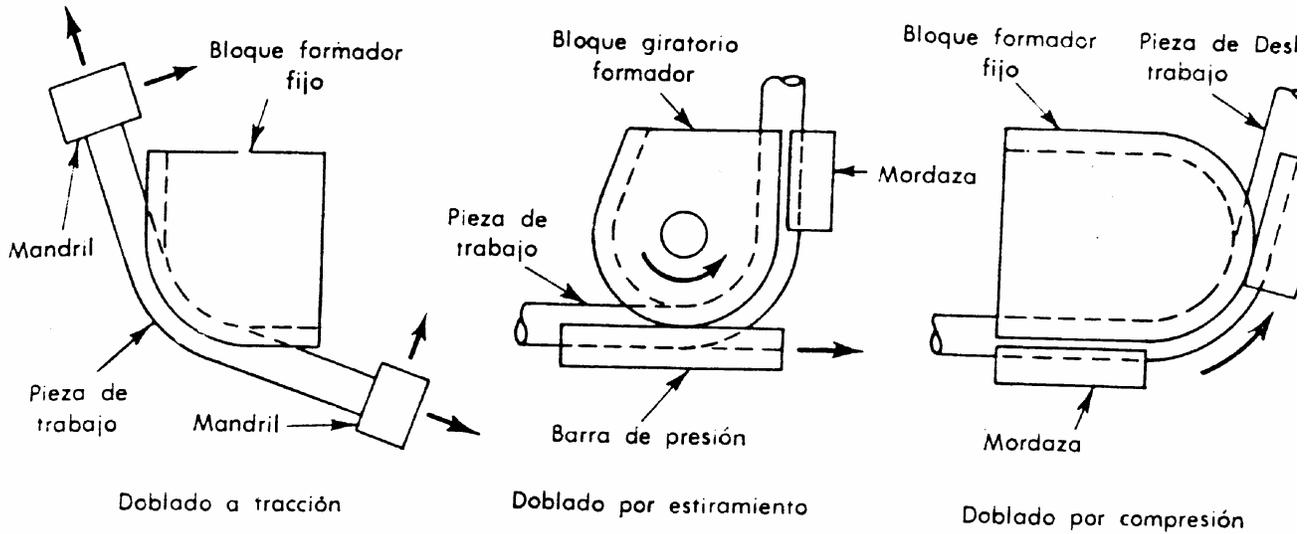


Figura 3.7. Máquina Curvadora con Rodillos Verticales

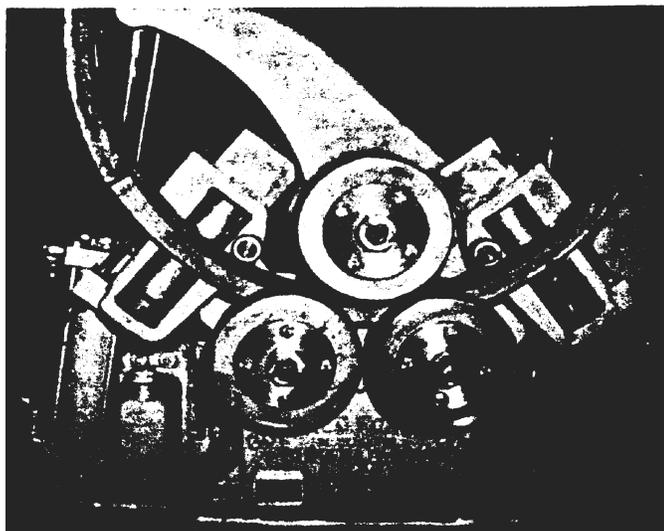
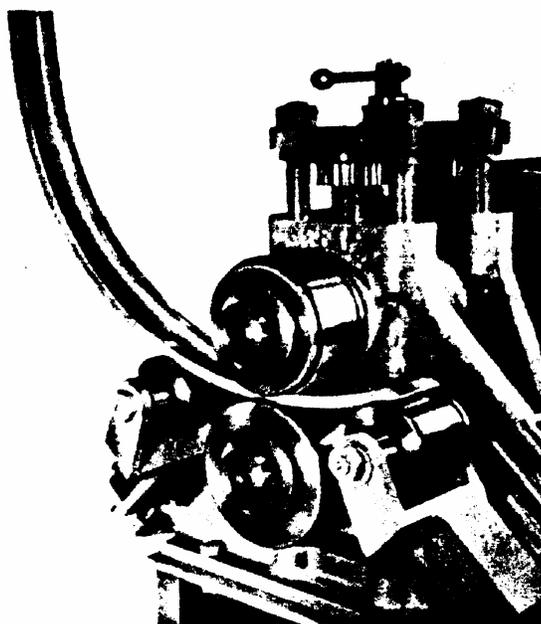


Figura 3.8. Curvadora con Rodillos de Apriete



4. DISEÑO DEL EQUIPO

Para realizar este diseño contamos con los perfiles que se van a curvar, estos son los ángulos de 1/8 de pulgada y de 3/16 de espesor, hechos de Acero A-36 y distribuidos por el Fabricante DIACO. Además contamos con los tubos que tienen un espesor de 2 mm y un diámetro interior de 21.75 mm, fabricado del mismo material de los ángulos; por ultimo, tenemos el perfil de dos alas que denominaremos perfil omega y el cual se obtiene a partir de la lámina galvanizada calibre 14, distribuido por ACESCO.

4.1. OBTENCIÓN DE PERFILES EN CARROCERÍAS TURBACO.

4.1.1. Perfil Omega. Las láminas son distribuidas en las dimensiones 165x240 Cm, las cuales son cortadas en la cortadora de Carrocerías Turbaco con las dimensiones de 122x240 Cm, como se aprecia en la figura 4.1. Con las láminas ya cortadas, se efectúa el doblado de la lamina siguiendo el procedimiento detallado en la figura 4.2.

Después, de doblar la lámina galvanizada, obtenemos la materia prima de nuestro equipó neumático diseñado, para así obtener los diferentes tipos de párales usados en las estructuras de las carrocerías.

Figura 4.1. Lamina Galvanizada

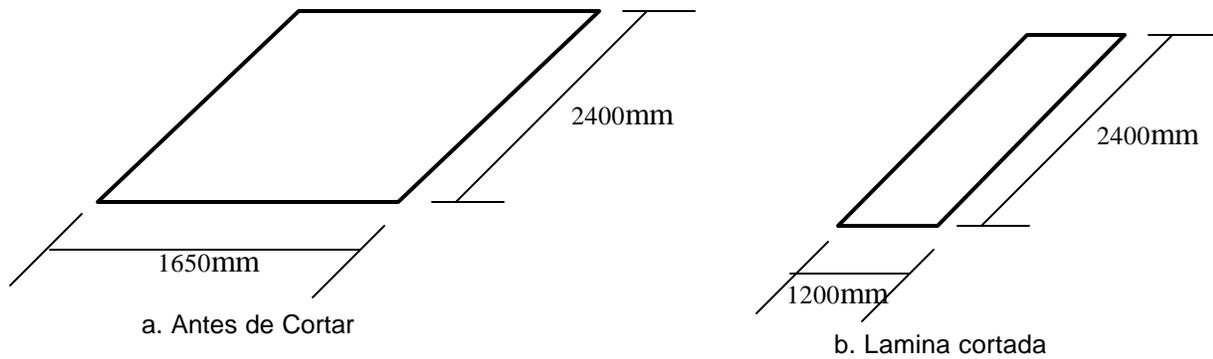
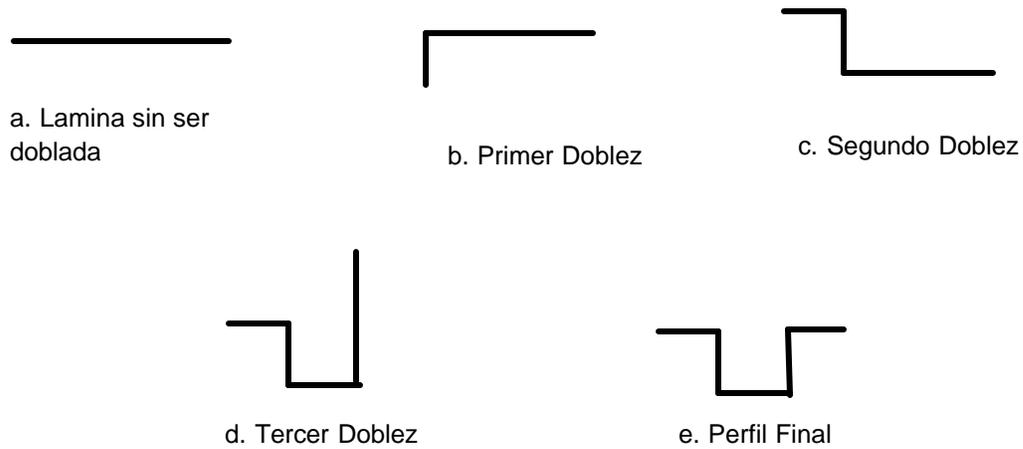


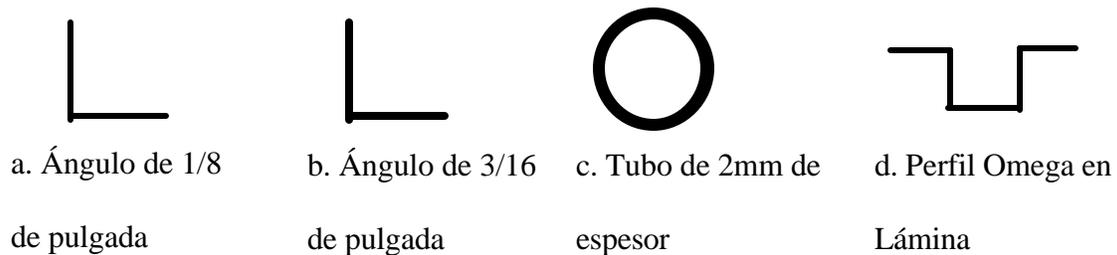
Figura 4.2. Procedimiento para Doblar el Perfil Omega



4.1.2. Ángulos y Tubos. Los ángulos de 1/8 y 3/16, así como el tubo hueco de 2mm de espesor, ambos con material A36, son suministrados a la empresa por el Proveedor, listos para ser curvados.

Carrocerías Turbaco utiliza cuatro tipos de perfiles para la fabricación de sus estructuras: ángulos de 1/8 y 3/16 de pulgada, tubo hueco de 2mm de espesor y el perfil omega en Lamina galvanizada. Estos perfiles se observan en la figura 4.3.

Figura 4.3. Tipos de perfiles usados por Carrocerías Turbaco



4.2 MÉTODO ANTERIOR DE CURVADO DE PERFILES.

En carrocerías Turbaco, la materia prima (perfiles), se proceden a curvarlos mediante calor, dándole la forma deseada con la ayuda de un molde que lleva la forma exacta de la curva deseada.

El método descrito es un poco demorado y tedioso para el operario y además debilita el material, ya que este pierde algunas de sus propiedades debido al calor y está más propenso a la corrosión. Este método de curvado se aprecia en la figura 4.4 a y b.

Los métodos escogidos son el **Formado por estiramiento** (Strech forming) y el **Formado por tres rodillos**.

Figura 4.4. a) Molde Empleado para Curvar el Perfil Omega



El método de formado por estiramiento consiste en un moldeado del perfil por medio de un bloque de formado que posee la forma deseada, mientras que la pieza de trabajo es mantenida bajo tensión. Entre las ventajas que nos ofrece este método se destaca que en este se requiere aproximadamente menos del 70% de la fuerza que en los procesos de formado convencionales.

El método de formado por tres rodillos consiste en hacer pasar el perfil deseado por medio de tres rodillos que poseen un espaciamiento apropiado para efectuar el curvado deseado.

Figura 4.4.b) Procedimiento para Curvar el Perfil con Llama Oxiacetilenica



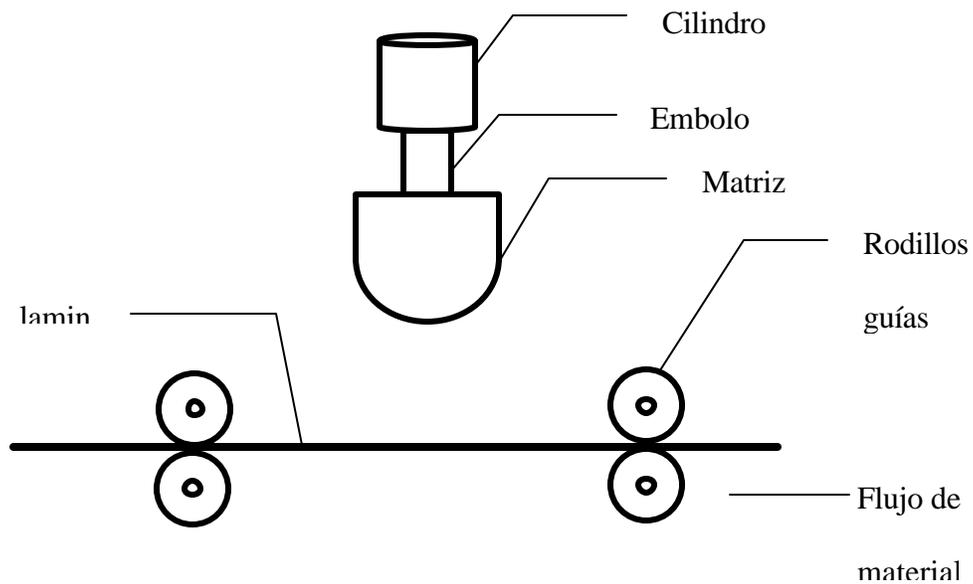
Un esquema de nuestro equipo neumático se aprecia en la figura 4.5.

El método seleccionado emplea rodillos tal como se muestra en la figura. Estos rodillos son usados para realizar tres funciones principales:

- Servir de Guía: en vista de lo difícil que podría ser colocar el perfil en la posición exacta que se requiere para efectuar el curvado.
- Servir de soporte: Los rodillos serán el soporte de la pieza de trabajo; estos harán la función de los asideros o agarraderos vistos en el método formado por

estiramiento con la ventaja de que los rodillos permitirán que la lámina sea deslizada a través de toda su longitud, permitiendo así que haya un flujo de material tal como se muestra en la figura 4.5.

Figura 4.5. Esquema del Equipo Neumático para Curvar



Cabe resaltar que este método nos permitirá intercambiar los rodillos y cambiarlos de posición de acuerdo al diseño de la base.

En conclusión, el procedimiento general es el siguiente:

1. Un operario introduce el perfil a través de los rodillos
2. Cuando la lámina se encuentra posicionada, se le da el mando al cilindro para que efectúe el curvado.

3. El operario sigue empujando la lámina hasta que llegue a otro punto que requiera curvado.

Es importante aclarar que antes de introducir la lámina se deben colocar los rodillos en la posición correcta para efectuar el curvado.

4.3. DISEÑO DE LOS RODILLOS.

4.3.1. Selección del material. Los rodillos usados en esta clase de equipos generalmente son maquinados de acero forjado que tienen un contenido de carbón desde 0.40 hasta 0.50%, y una dureza Brinell desde 160 hasta 210.

Entre los aceros que cumplen este requerimiento se encuentra el acero AISI 1045, el cual es el más usado, pero cuando se deben aplicar grandes esfuerzos, los rodillos son forjados de un acero aleado tal como un AISI 4340.

Debido a que el módulo de elasticidad es el mismo para todos los aceros al carbón y los aceros de baja aleación con mediano contenido de carbón, la deflexión del rodillo para una fuerza dada será la misma.

En nuestro equipo utilizamos para la construcción de los ocho rodillos, el acero AISI 1045, debido a que este material cumple con los requerimientos necesarios

para la función que cumplen los rodillos, como son Tenacidad y resistencia. Además, por que este material es más económico que el 4340.

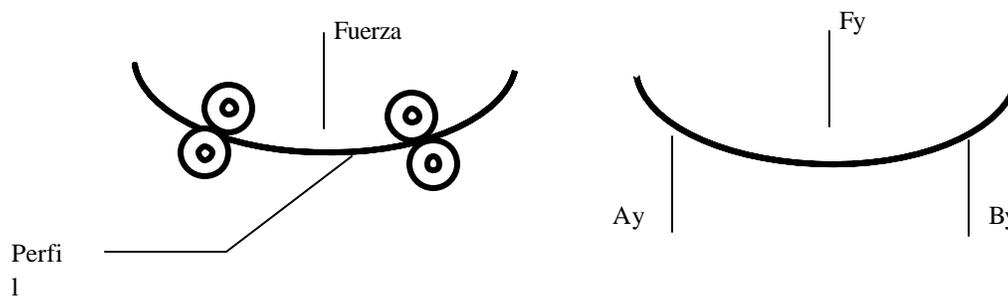
Una comparación entre estos dos materiales y cada una de sus propiedades y usos, la podemos apreciar en la tabla 4.1

Tabla 4.1. Designaciones, Propiedades y Usos del Acero

Tipo de acero	Símbolo numérico	Propiedades principales	Usos comunes
ACEROS AL CARBONO - acero de medio carbono (0.20% a 0.50% de Carbono)	1020 a 1050	Tenacidad y resistencia	Engranajes, ejes, partes de máquinas, piezas forjadas, pernos y tuercas
ACEROS AL MOLIBDENO -Aceros al Níquel-Cromo Molibdeno	43XX	Alta resistencia	Ejes, piezas forjadas, engranajes, levas, partes de mecanismos

Las cargas sobre los rodillos son principalmente de flexión y se comportan como una viga apoyada en dos puntos. Estos dos puntos serán los rodillos, tal como se ilustra en la figura 4.6

Figura 4.6. Diagrama de Cargas sobre los Rodillos



En la figura, A_y y B_y son las reacciones que ejercen los rodillos sobre el perfil para contrarrestar la fuerza ejercida por el cilindro. En base a esto, mas adelante verificaremos las dimensiones de los rodillos.

Tabla 4.2. Propiedades Mecánicas del AISI 1045

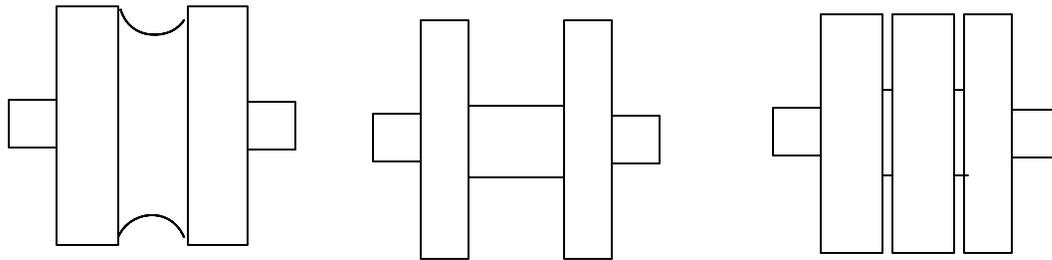
AISi N.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA		Elongación n En 2 in, %	Reducción en área %	Dureza Brinell
		ULTIMA Mpa (Kpsi)	Resistencia de Fluencia Mpa (Kpsi)			
1045	Estirado en frío	630 (91)	530 (77)	12	35	179

Para tener una completa información de los factores que rodean el diseño del equipo, anexamos los datos del material escogido para los rodillos. Ver tabla 4.2

4.3.2. Dimensiones de los Rodillos. Las dimensiones de los rodillos las obtendremos teniendo en cuenta los cuatro tipos de perfiles a curvar.

Un esquema de los rodillos los podemos apreciar en la figura 4.7.

Figura 4.7 Rodillos para el Curvado de las Láminas.



Mas adelante mostraremos las dimensiones y comprobaremos que estas son las adecuadas para soportar las cargas originadas.

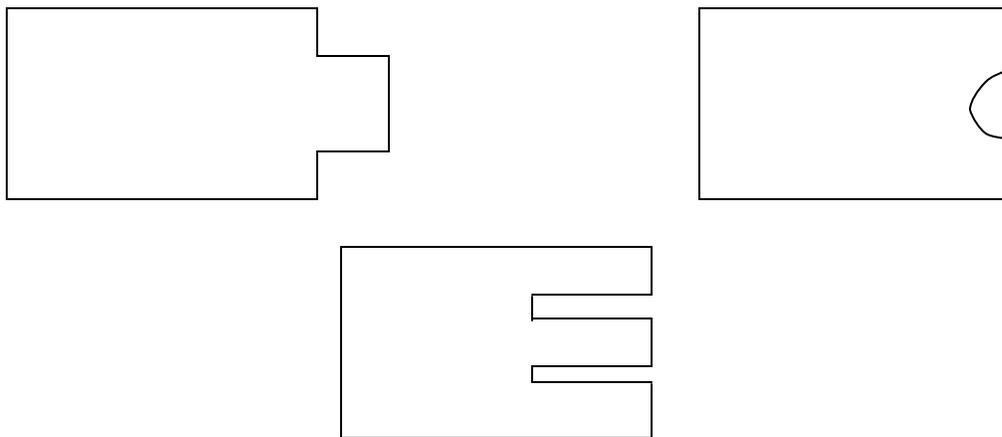
4.4. DISEÑO DEL BLOQUE DE MOLDEO

En los sistemas típicos de moldeo suele emplearse lo que se conoce como sistema de punzón y matriz. El punzón es la parte macho de una matriz, usualmente esta es la parte móvil y se encuentra ubicada sobre la matriz.

En nuestro caso particular el equipo a construir sólo usará punzón, debido a que la matriz no es requerida. A continuación determinaremos los aspectos que rodean el diseño de esta:

4.4.1 Dimensiones del bloque de moldeo. Las dimensiones requeridas por el punzón son dadas debido a nuestros requerimientos, por lo tanto las dimensiones de estas serán como las vistas en la figura 4.8

Figura 4.8 Esquema de los bloques de formado (vista lateral)



4.4.2. Selección del material. Los bloques de moldeo son hechos de materiales económicos, tales como madera, plástico, hierro fundido o acero de bajo carbono y son aproximadamente la tercera parte del costo de la matriz de moldeo convencional.

En nuestro caso emplearemos **acero al carbono** debido a nuestras condiciones de trabajo (grandes cargas).

Para seleccionar este material empleamos la dureza de los materiales que se van a doblar, tomamos el material que tenga mas dureza y le incrementamos un ligero

porcentaje a esta dureza (20% aproximadamente). Con este dato determinamos cual es el tipo de acero que empleamos.

La tomamos de esta manera para garantizar que el desgaste del bloque de formado sea mínimo y que tenga la capacidad para doblar nuestra pieza de trabajo.

De todos los materiales a doblar el que tiene la mayor dureza es el A-36, ya que este es el que tiene mayor esfuerzo último. En vista que no tenemos la dureza tabulada la obtendremos mediante la siguiente formula:

$$S_{ut} = 0.45 \text{ HB (kpsi)}^1$$

Ecuación 4.1

Donde:

S_{ut} = Esfuerzo último del material expresado en Ksi.

0.45 = Constante que da la relación entre la dureza y el esfuerzo último.

HB = Dureza del material en Brinell

Datos:

$S_y = 36 \text{ Kpsi}$

$S_{ut} = 58 \text{ kpsi}$

Si:

$$S_{ut} = 0.45 \text{ HB}$$

Por lo tanto:

$$\text{HB} = \frac{58 \text{ kpsi}}{0.45} \Rightarrow \boxed{\text{HB} = 128.9 \text{ HB}}$$

Ahora le aumentaremos un 20% a esta dureza, para así obtener la dureza del material del bloque de Formado

$$\text{Dureza} = 128.9 \text{ HB} \times 1.2 \Rightarrow \boxed{\text{Dureza del bloque} = 155 \text{ HB}}$$

Según las tablas el más apropiado es el Acero AISI 1040, con una dureza de 285HB. La composición y propiedades de este material, se pueden apreciar en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Propiedades AISI1040

PROPIEDADES MECANICAS CARACTERISTICAS AISI 1040					
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (1000 Lbf / in ²)	RESISTENCIA A LA CEDENCIA (1000 Lbf / in ²)	ELONGACIÓN %	REDUCCIÓN DEL AREA %	DUREZA BRINELL	RESITENCIA A LOS IMPACTOS (Lbf x Ft)
137	118	19	55	285	84

Fuente: Manual del ingeniero Químico.

4.5 CALCULO DE LA FUERZA NECESARIA PARA CURVAR¹

Teniendo en cuenta la formula para doblamiento plástico, La fuerza para doblar es

$$F_p = 1.33 \times \frac{S_w t^2}{L}$$

Ecuación 4.2

Donde:

S: Resistencia a la tracción del material a curvar

W: Ancho de la pieza a doblar

T: espesor de la pieza a doblar

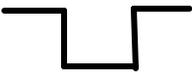
L: Longitud de contacto entre el punzón y la lámina

Los datos necesarios de cada uno de los perfiles a curvar, para el cálculo de la fuerza, se observan en la tabla 4.4

A continuación calcularemos la fuerza necesaria para doblar cada uno de los perfiles:

¹ Procesos de manufactura y materiales para Ingenieros pagina 337

Tabla 4.4 Propiedades Mecánicas de los Perfiles a Curvar

Perfil	Designación	Esfuerzo de fluencia
	ACERO A36	400.248 – 551.3 N/mm ²
	ACERO A36	400.248 – 551.3 N/mm ²
	Lamina galvanizada calibre 14 (JIS 3141)	310 N/mm ²

4.5.1. Fuerza Necesaria para curvar el Perfil Omega

Datos:

$$S = 310 \text{ Mpa}$$

$$t = 1.9 \text{ mm (calibre 14)}$$

$$W = 85 \text{ mm}$$

$$L = 150\text{mm (ancho de la matriz)}$$

$$F_p = 1.33 \times \frac{310 \text{ N/mm}^2 \times (1.9 \text{ mm})^2 \times 85 \text{ mm}}{150 \text{ mm}}$$

$$F_p = 0.1242 \text{ N}$$

4.5.2. Fuerza Necesaria para Curvar el Ángulo de ? ”

Datos:

$$S = (400,248 - 551.32) \text{ Mpa}$$

$$t = 3.175 \text{ mm}$$

$$l = 150 \text{ mm (ancho de la matriz)}$$

$$w = 40 \text{ mm}$$

$$F_p = 1.33 \times \frac{551.32 \text{ N/mm}^2 \times 40 \text{ mm} \times (3.175 \text{ mm})^2}{150 \text{ mm}}$$

$$F_p = 0.1242 \text{ N}$$

4.5.3. Fuerza Necesaria para Curvar el Ángulo de 3/16”

Datos:

$$S = (400.248 - 551.32) \text{ Mpa}$$

$$t = 4.7625 \text{ cm}$$

$$L = 150 \text{ mm}$$

$$W = 40 \text{ mm}$$

$$F_p = 1.33 \times \frac{551.32 \text{ N/mm}^2 \times 40 \text{ mm} \times (4.7625 \text{ mm})^2}{150 \text{ mm}}$$



4.5.4. Fuerza Necesaria para Curvar el Tubo Redondo

Datos:

$$S = 400.248 - 551.32 \text{ Mpa}$$

$$D_i = 21.75 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de pared} = 2 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$L = 150 \text{ mm}$$

$$W = 21.75 + 4 (d_i + 2(\text{espesor})) \Rightarrow W = 25.75 \text{ mm}$$

Ver figura 3

$$F_p = 1.33 \times \frac{551.32 \text{ N/mm}^2 \times 25.75 \text{ mm} \times (4 \text{ mm})^2}{150 \text{ mm}}$$



4.6.. SELECCIÓN DEL ELEMENTO DE POTENCIA.

El elemento de potencia suministra al sistema y mas específicamente al punzón, la fuerza necesaria para efectuar el curvado de la pieza de trabajo. Como elemento de potencia nosotros escogimos un cilindro neumático. Los criterios para escoger esta opción fueron:

- La empresa posee un compresor, lo que nos da aire suficiente para mover nuestro cilindro. El compresor que dispone Carrocerías Turbaco es un compresor alternativo de 12 HP.

- La neumática nos brinda una opción mas sencilla y económica

Para la selección de estos elementos se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

1. La fuerza necesaria para el doblado
2. La presión estándar que es capaz de suministrar la neumática

Con estos dos datos se obtiene el área interior del cilindro, para luego hallar el diámetro interno de este.

4.6.1. Cálculos para la selección del cilindro.

4.6.1.1. Fuerza necesaria para el doblado. Esta fuerza la obtuvimos del cálculo de la fuerza, y los resultados fueron los siguientes:

- Para la omega: $F = 843.42 \text{ N}$
- Para el ángulo de 1/8": $F = 1971 \text{ N}$
- Para el ángulo de 3/16: $F = 4435 \text{ N}$
- Para el tubo: $F = 2014.44 \text{ N}$

De los cuatro, se escoge la mayor fuerza. Esta fuerza es la necesaria para curvar el ángulo de 1/8". Entonces:

$$\mathbf{F = 4435 \text{ N}}$$

Fuerza necesaria para curvar

4.6.1.2. Presión. La presión estándar en la neumática: esta presión es la que es capaz de dar la neumática y es de 6 bares.

Teniendo la presión y la fuerza, y mediante la fórmula de presión $P = F / A$, obtenemos:

$$P = 6 \text{ bares} \times \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}}$$

$$\Rightarrow P = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$\Rightarrow 6 \times 10^5 \text{ N/m} = \frac{4435 \text{ N}}{A}$$

$$\Rightarrow A = 7.3916 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Diámetro del cilindro

$$A = \frac{pD^2}{4}$$

$$\Rightarrow D^2 = \frac{7.391 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 4}{p}$$

$$D = 0.097012 \text{ m}$$

$$D = 97.0121 \text{ mm}$$

Para tener la certeza de obtener la fuerza necesaria para el curvado aplicamos un factor de seguridad de 1.5. Por tanto el diámetro será:

$$D = 97.0121 \text{ mm} \times 1.5 \Rightarrow D = 145.52 \text{ mm} \Rightarrow D = 152.4 \text{ mm (estandarizando)}$$

4.6.1.3. Fuerza del Cilindro. La fuerza ejercida por este cilindro es de:

Si:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \times A \Rightarrow F = 600000 \text{ N/m}^2 \times 18.24 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F = 14499 \text{ N}$$

Fuerza ejercida por el cilindro

4.7 VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS RODILLOS.

Teniendo en cuenta la fuerza obtenida, procederemos a verificar que las dimensiones de los rodillos son las óptimas. Para la verificación supondremos que los rodillos trabajan como un eje debido a que estos se construyeron como una sola pieza.

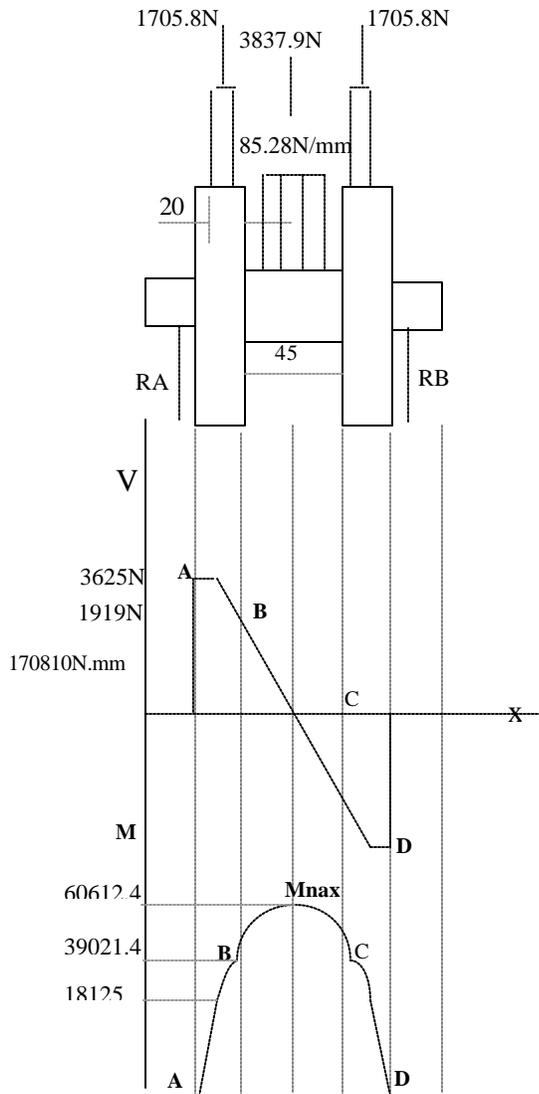
La fuerza a la que están sometidos es de 14499 N, la cual es la fuerza que es capaz de suministrar el cilindro de potencia.

4.7.1. Comprobación de los Rodillos para el Perfil Omega

Nota: todos los radios de las esquinas son de 1/8" para disminuir la concentración de esfuerzos

Procedimiento:

- Determinar puntos críticos de los rodillos (diagrama de cortante y momento flector)



Por simetría vemos que $R_a = R_b$

Haciendo Sumatoria de F_y , tenemos:

$$+ \quad \Sigma F_y = 0: R_a + R_b = 1705.8 + 1705.8 + 3837.9$$

$$2R_a = 7250N$$

$$R_a = 3625N, \quad R_b = 3625N$$

Del diagrama obtenemos:

$$V_{\max} = 3625N$$

$$M_{\max} = 60612N \cdot Mm$$

Puntos Críticos:

Por Cortante los puntos críticos son A y D en vista de que aquí se encuentra el cortante máximo y además existe un cambio de sección.

Por flexión los puntos críticos son B y C, por estar muy cerca del momento máximo y estar en un cambio de sección.

❖ Comprobación:

1. Primero comprobaremos por cortante

$$\frac{72.5}{50} = \frac{170810}{MB}$$

$$MB = \frac{170810 \times 50}{72.5}$$

$$MB = 117800N - mm$$

$$MB = MC$$

- Determinaremos las variables propias del AISI 1045 CD²

$$S_y = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{ut} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$S_e' = 0.504 \times S_{ut} \quad \text{cuando } S_{ut} \leq 400 \text{ N/mm}$$

$$S_e' = 0.504 \times 590 \text{ N/mm}^2$$

$$S_e' = 297.36 \text{ N/mm}^2$$

Calculamos los valores modificadores de la resistencia a la fatiga:

a) K_a = factor de superficie

Nuestros rodillos serán maquinados, por lo que según tabla 7.4 pagina 318 de la Shigley, obtenemos:

$$a = 4.51 \text{ N/mm}^2$$

$$b = -0.265$$

Entonces,

² Shigley Diseño de Máquinas. Tabla A20 pagina 859

$$Ka = a.Sut^b$$

$$Ka = 4.51 \frac{N}{mm^2} (590 \frac{N}{mm^2})^{-0.265}$$

$$Ka = 0.8315$$

b) Kb = factor de tamaño

$$Kb = \left(\frac{d}{7.62} \right)^{-0.1133}$$

$$Kb = \left(\frac{40mm}{7.62} \right)^{-0.1133}$$

$$Kb = 0.829$$

c) Kc = Factor de carga

Como en nuestro caso se trata de tensión, entonces $Kc = 1$

Kd = factor de temperatura

Como se trabaja con temperatura ambiente, entonces $Kd = 1$

d) Ke = factor de efectos diversos

$$Ke = \frac{1}{Kf}$$

$$Kf = 1 + q(Kt - 1)$$

Con $Sut \approx 0.6Gpa$ y un radio de muesca de $0.125 \text{ in } (1/8")$ obtenemos $q = 0.76^3$

Ahora, hallamos Kt^4

³ Shigley Diseño de Máquinas Según figura 5-16 página 244

⁴ Shigley Diseño de Máquinas Según figura A-15 9

$$\frac{D}{d} = \frac{120}{40} = 3$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3.175\text{mm}}{40\text{mm}} = 0.079375$$

obtenemos :

$$K_t = 1.95$$

$$K_f = 1 + (0.76)(1.95 - 1)$$

$$K_f = 1.722$$

$$K_e = \frac{1}{1.722}$$

$$K_e = 0.581$$

$$S_e = (0.8315)(0.829)(0.581)(297.36) \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$S_e = 119.09 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{I}{C} = \frac{\mathbf{p}(D)^3}{32}$$

$$\frac{I}{C} = \frac{\mathbf{p}(40)^3}{32}$$

$$\frac{I}{C} = 6283.18 \text{mm}^3$$

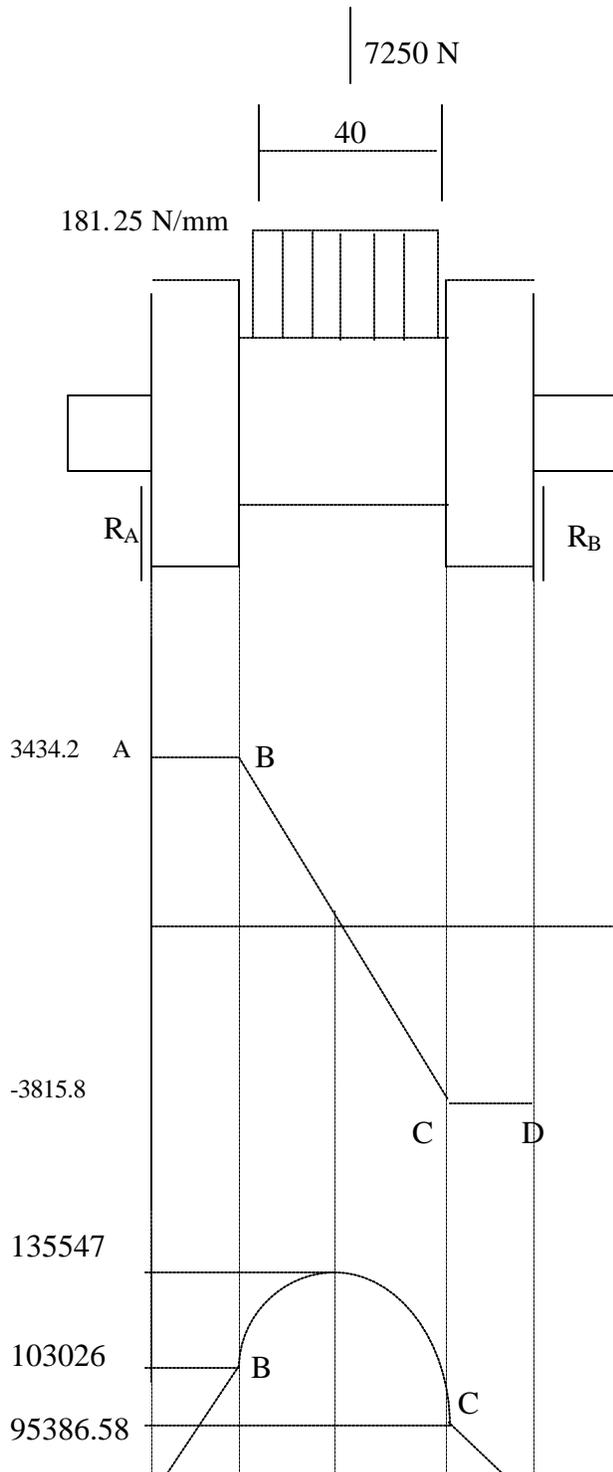
$$\mathbf{s} = \frac{M}{I/C}$$

$$\mathbf{s} = \frac{117800 \text{N} \cdot \text{mm}}{6283.18 \text{mm}^3}$$

$$\mathbf{s} = 18.75 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Como $\sigma \angle S_e$, entonces nuestro rodillo resiste por fatiga

4.7.2 Comprobación de los rodillos para los ángulos.



? Haciendo $M_A = 0$
 $\Sigma M_A = 0 : 7250 \text{ N} \times 50 \text{ mm} = R_B \times 95$
 $R_B = 3815.8$
 $\Sigma F_y = 0 : R_A + R_B = 7250$
 $R_A = 3434.2$

- Al hacer los diagramas obtenemos
 $V_{\max} = 3815.8 \text{ N}$
 $M_{\max} = 135547 \text{ N.mm}$
- Ahora hallamos los puntos críticos
 - Por cortante el punto crítico es D por encontrarse en un cambio de sección y tener el máximo cortante.
 - Por momento el punto crítico es B por encontrarse en un cambio de sección y tener el máximo momento.

Comprobación

1) $t = \frac{VQ}{It}$

$Q = \bar{y} \cdot xA = 5.30 \times 245.44$

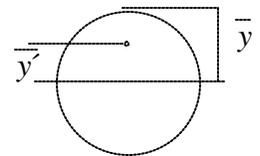
$Q = 1300.815 \text{ mm}^3$

$I = 19174.76 \text{ mm}^4$

$t = 25 \text{ mm}$

$t = \frac{3815.8 \times 1300.815}{19174.76 \times 25}$

$t = 10.35 \text{ Mpa}$



2) $s = \frac{MC}{I} \Rightarrow s = \frac{103026 \text{ N.mm}}{71569.41 \text{ mm}^3} = 1.43 \text{ Mpa}$

$I/C = \frac{p \times D^3}{\dots} = \frac{p (90)^3}{\dots} = 71569.41 \text{ mm}^3$

Datos del material de rodillos:

$$S_y = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{ut} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$S_e' = 0.504 \times S_{ut}$$

$$S_e = 297.36 \text{ N/mm}^2$$

$$K_a = 0.8315$$

$$K_b = 8.829$$

$$K_d = 1$$

$$K_f = 1.722$$

$$K_e = 0.581$$

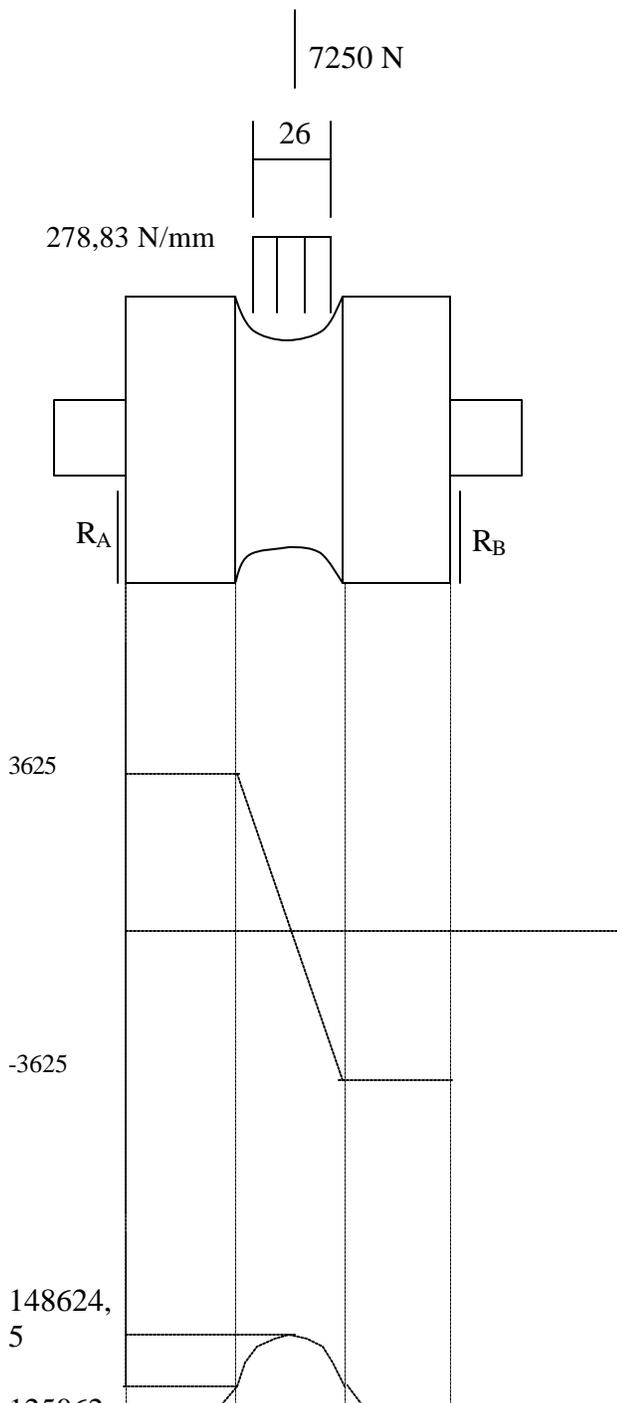
Los datos anteriores, son iguales que los calculados anteriormente para el perfil omega.

$$S_e = (0.8315)(0.829)(0.581)(297.36)$$

$$S_e = 119.09 \text{ N/mm}^2$$

En conclusión, el rodillo si cumple por fatiga, ya que: $S_e > \sigma$ y $t < S_e$

4.7.3 Comprobación de los rodillos para el Tubo



? Por simetría $R_A = R_B$
 $\Sigma F_y = 0 : R_A + R_B = 7250 \text{ N}$
 $2R_A = 7250 \text{ N}$
 $R_A = 3625 \text{ N}$
 $R_B = 3625 \text{ N}$

- Al hacer los diagramas obtenemos

$V_{\max} = 3625 \text{ N}$
 $M_{\max} = 148625 \text{ N.mm}$

- Ahora hallamos los puntos críticos

- 1) Por cortante los puntos críticos son A y D por encontrarse en un cambio de sección y tener el máximo cortante.
- 2) Por momento los puntos críticos son B y C por encontrarse en un cambio de sección y tener el máximo momento.

- **Comprobación**

1) $t = \frac{VQ}{It}$ $Q = 1300.815 \text{ mm}^3$
 $I = 19174.76 \text{ mm}^4$
 $t = 25 \text{ mm}$

$t = \frac{3625 \times 1300.815}{19174.76 \times 25}$

$t = 9.836 \text{ Mpa}$

2) $s = \frac{MC}{I} \Rightarrow s = \frac{148625 \text{ N.mm}}{81542.4 \text{ mm}^3} = 1.82 \text{ Mpa}$

Variabes del AISI 1045 CD:

$$S_y = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{ut} = 590 \text{ N/mm}^2$$

$$S_e = 297.36 \text{ N/mm}^2$$

$$K_a = a S_{ut}^b$$

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$K_b = \left(\frac{120}{7.62} \right)^{-0.265}$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = \frac{1}{K_f}$$

$$k_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$\frac{D}{d} = \frac{120}{94} = 1.28$$

$$\frac{r}{d} = \frac{13 \text{ mm}}{94} = 0.138$$

$$K_t = 1.7$$

$$q = 0.75$$

$$k_f = 1 + 0.75(1.7 - 1)$$

$$K_f = 1.525$$

$$K_e = \frac{1}{1.525} \Rightarrow K_e = 0.656$$

$$S_e = 0.8316 \times 0.732 \times 0.656 \times 297.36$$

$$S_e = 118.74 \text{ N / mm}^2$$

En conclusión, el rodillo si cumple por fatiga, ya que: $S_e > \sigma$ y $t < S_e$

4.8 CÁLCULO DEL CILINDRO NEUMÁTICO PARA CAMBIO DE MATRICES.

Las matrices de nuestro equipo y el cilindro de potencia poseen una gran masa, por lo que se dificulta el cambio de las matrices. En vista de esto, decidimos instalar un sistema que permitiera levantar el cilindro con una comodidad y así poder instalar mas cómodamente las matrices

El primer paso fue instalar una pieza que hiciera un pivote en el cilindro y que permitiera levantarlo y bajarlo. Por lo tanto, el cilindro quedo fijado en la mesa en un solo punto, es decir, en un extremo se encuentra fijado por la pieza anteriormente mencionada y por el otro extremo se encuentra libre. Ver Figura 4.9

El segundo paso fue determinar el ángulo óptimo necesario al cual tenia que ser izado el cilindro para instalar la matriz. Después de varios ensayos llegamos a la conclusión que el ángulo más cómodo es de 45].

Con estos datos y las dimensiones del cilindro, tal como se muestra en la figura

Calculamos cual es la fuerza requerida para levantar el cilindro

1) $+?M_A = 0$

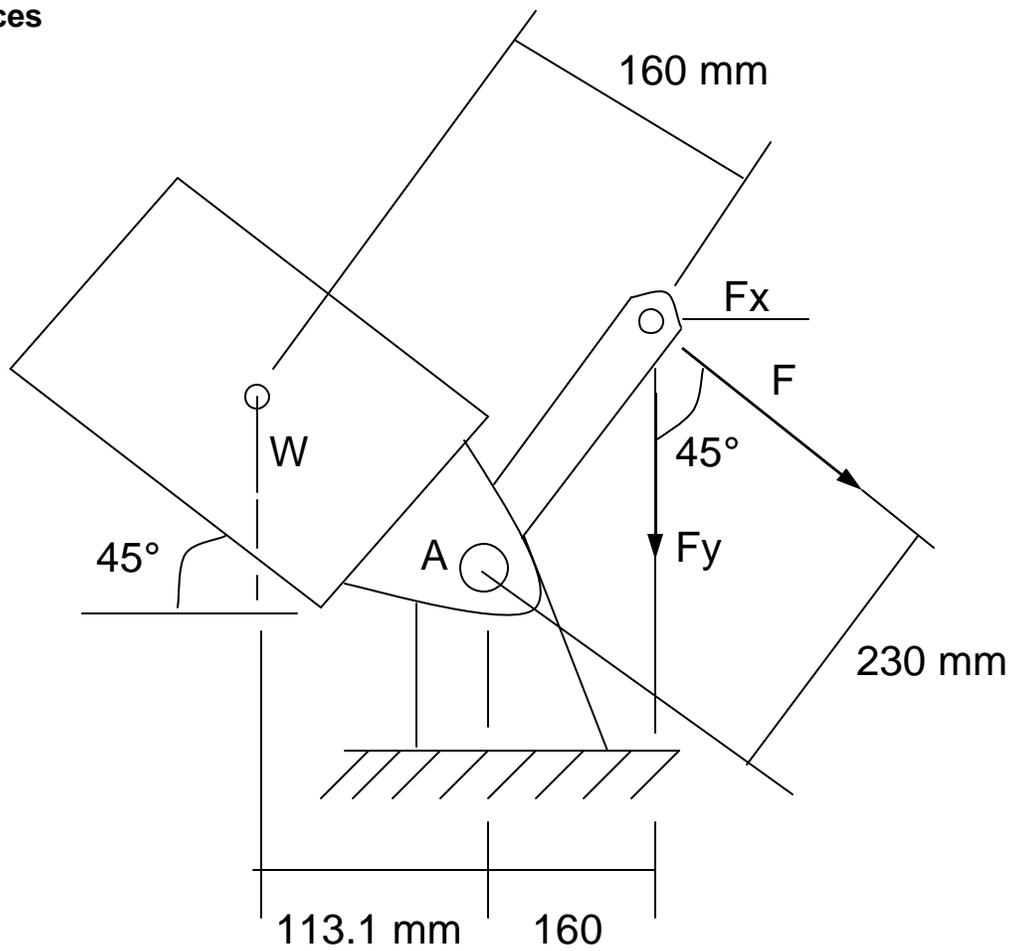
Suponemos $X = 160\text{mm}$

$$120 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 113.1 \text{ mm} = F_y \times 160$$

$$F_y = 832.1332 \text{ N}$$

Figura 4.9. Esquema Diagrama de Fuerzas del Cilindro para Intercambiar

Matrices



2) Hallamos la resultante necesaria

$$\cos 45^\circ = \frac{F_y}{F}$$

$$F = \frac{832.13325}{\cos 45^\circ}$$

$$F = 1176.814 \text{ N}$$

3) Hallamos ahora el cilindro

$$P = 6 \text{ bares} \sim 600.000 \text{ N/m}^2$$

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{1176.814 \text{ N}}{600.000}$$

$$A = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = \frac{? D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\Pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{\Pi}}$$

$$D = 49.97 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad D = 50.8 \text{ mm (Estandarizando)}$$

4.9 POSICIONADORA DE RODILLOS

Nuestro equipo neumático cuenta con dos posicionadores de rodillos; la posicionadora superior es móvil y la inferior se encuentra fijada Al banco del equipo. Ver figura 4.10

Para colocar los rodillos, es necesario que el posicionador móvil se eleve unos 20 cm. Debido al gran peso del posicionador y a lo incomodo que seria para el operario mantenerlo levantado en el tiempo que se emplea para cambiar los rodillos, será necesario la automatización de este proceso de la siguiente manera:

Un cilindro neumático en su acción de retroceso levantara al posicionador por medio de una palanca. Ver Figura 4.11.

Figura 4.10 Esquema de Posicionadoras

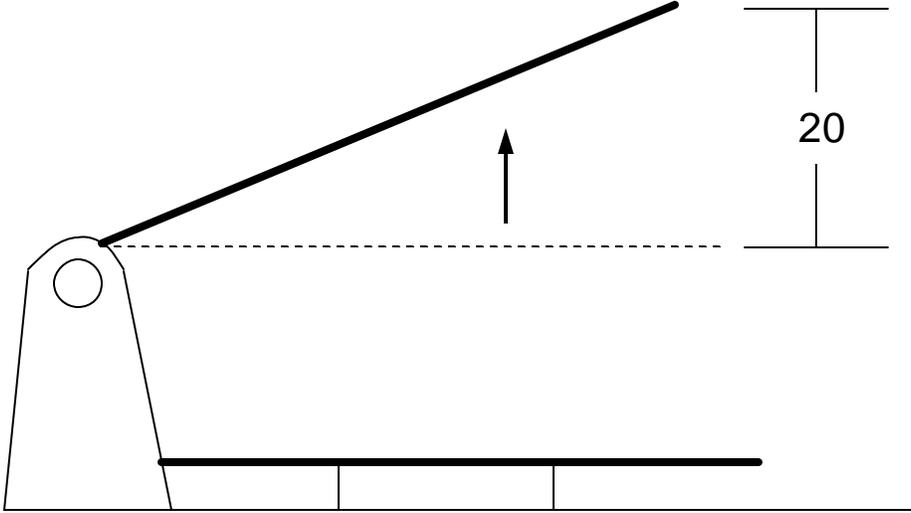


Figura 4.11 Accionamiento Posicionadora Superior

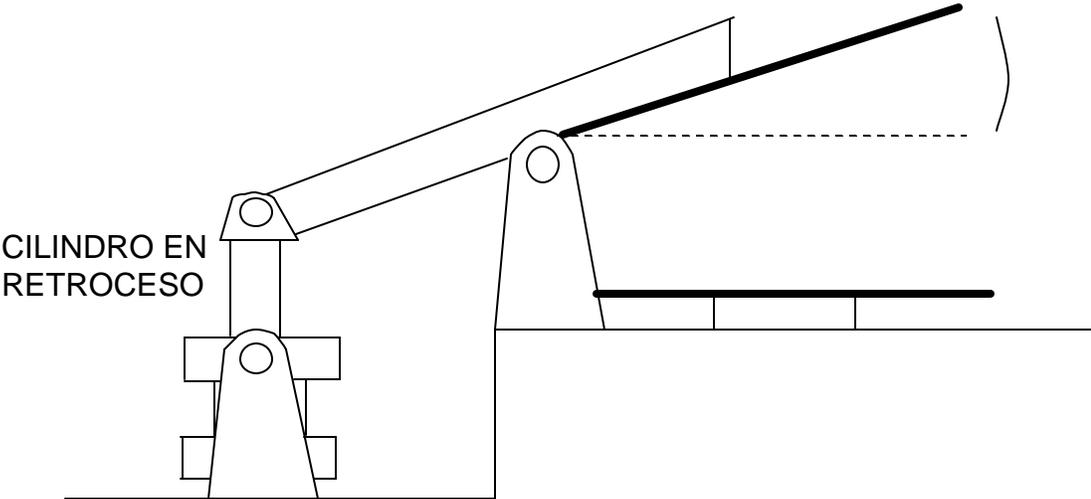
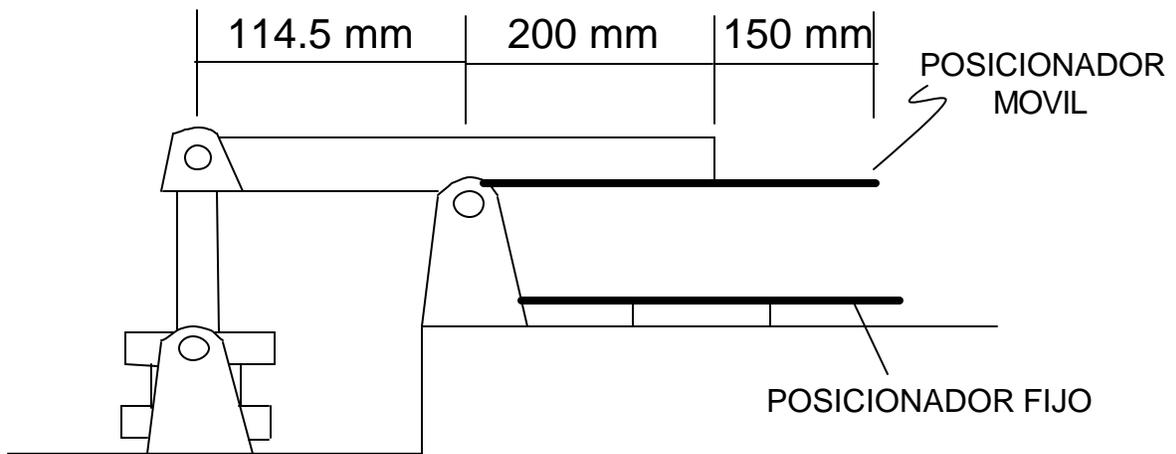


Figura 4.12 Accionamiento Posicionadora Móvil

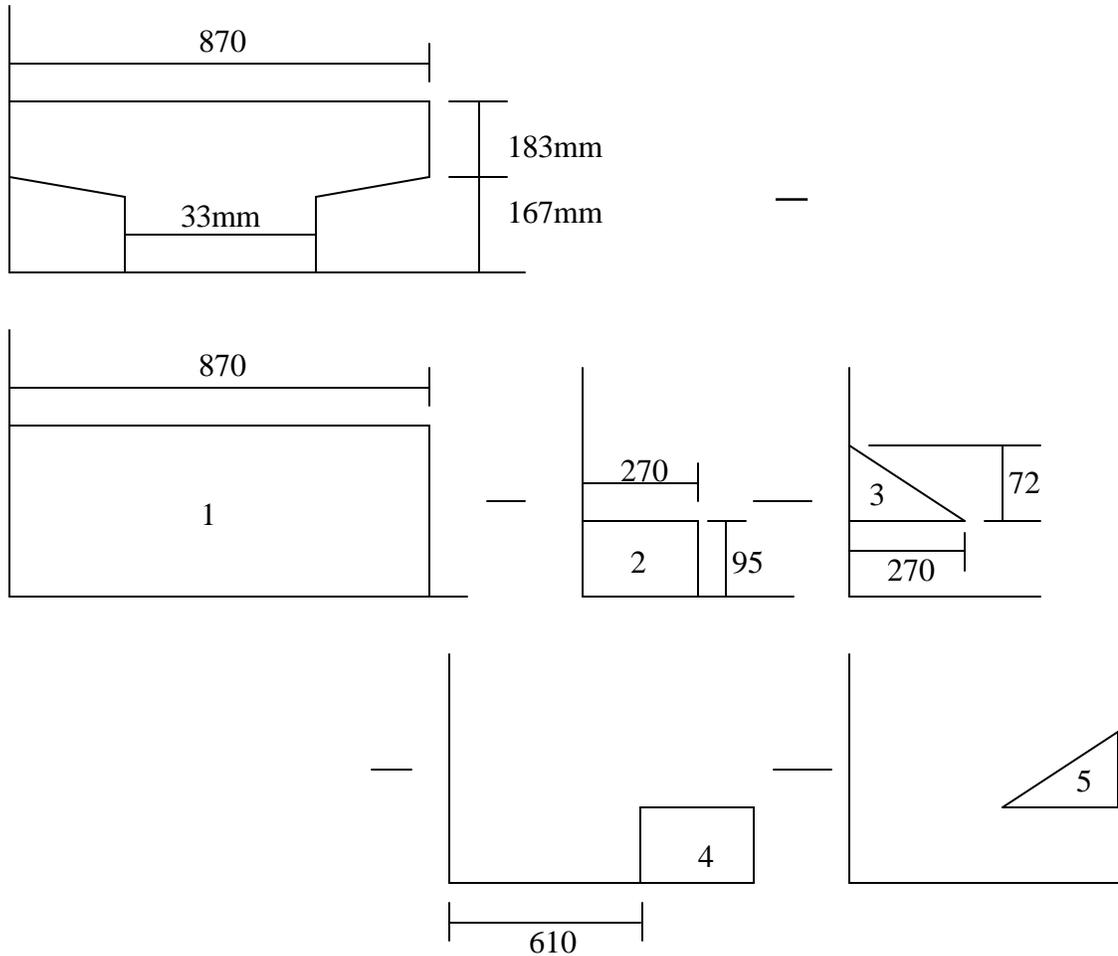


Datos:

Peso del posiclonador superior 60 Kg

❖ CALCULO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL POSICIONADOR DE

RODILLOS

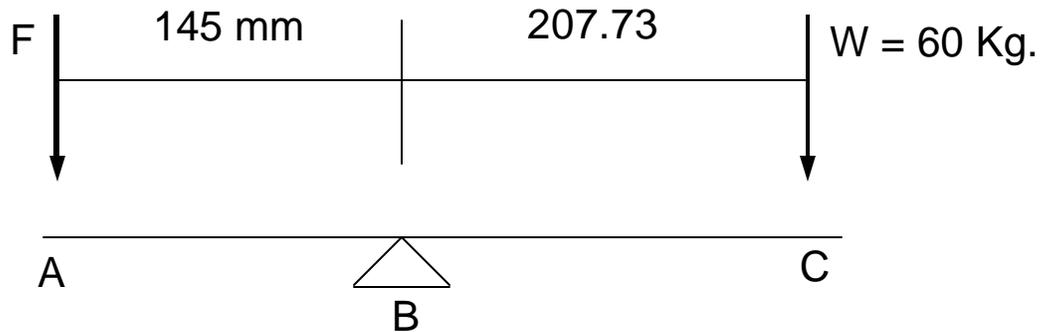


COMPONENTE	AREA mm ²	X	Y	XA	YA
1	304500	435	175	132.46x10 ⁶	53.29 x10 ⁶
2	-25560	135	47.5	-3.46 x10 ⁶	-1.22 x10 ⁶
3	-9720	90	119	-874800	-1.157 x10 ⁶
4	-25650	745	47.5	-19.11 x10 ⁶	-1.22 x10 ⁶
5	-9720	790	119	-7.68 x10 ⁶	-1.157 x10 ⁶
	Σ=233760			ΣAX=101.33X10 ⁶	ΣAY= 48.56X10 ⁶

$$\bar{X} = \frac{\Sigma AX}{\Sigma A} = 433.5 \text{ mm}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Ay}{\Sigma A} = 207.73 \text{ mm}$$

D.C.L.



- Calculamos la fuerza necesaria para levantar el posicionador de rodillos.

Hacemos sumatoria de momentos en B:

$$\left(+ \sum M_B = 0 \right) \quad F (145) - 60 \text{ Kg.} (9.81) (207.73) = 0$$

$$145 F = 122269.878 \text{ N_mm}$$

$$F = \frac{122269.878 \text{ N_mm}}{145 \text{ mm}}$$

$$F = 843.24 \text{ N}$$

- Luego calculamos el diámetro del cilindro neumático que suministra esta fuerza.

La presión de trabajo para la neumática es de 6 bares (600.000 N / m^2)

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{843.24 \text{ N}}{600000 \text{ N/m}^2} \Rightarrow A = 1.40 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = \frac{? D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\Pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times (1.40 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{\Pi}}$$

$$D = 42.30 \text{ mm}$$

El cilindro escogido es de 38.1 mm de diámetro (1 3/4"), con una carrera de 200 mm.

4.10. PLAN DE MANTENIMIENTO

4.10.1. Herramientas a Utilizar

- Llave de 13/16

- Llave de 15 mm.
- Llave de 5/8"
- Llave de 1/2"
- Llave de 9/16
- Llave de 3/4
- Llave de Expansión
- Llave Allen 4/16
- Calibrador Pie de Rey

4.10.2. Mantenimiento Semanal.

- Revisar el nivel de aceite del lubricador en caso de estar bajo el nivel. Para reponer, usar aceite para transmisiones automáticas marca TEXAMATIC FLUID o un equivalente
- Drenar el Filtro
- Engrasar los Rodillos. Usar grasa Multipropósito
- Engrasar los Pivotes de cada uno de los cilindros, usar grasa multipropósito.

- Verificar apriete de tuercas y tornillos

4.10.3. Mantenimiento Trimestral.

- Verificar con calibrador juego de orificios de la posicionadota de Rodillos.

Usar el formato que se muestra a continuación:

- Desarmar las mangueras y verificarlas tal que, no tengan fugas y se encuentren en perfecto estado físico. Usar FAB con el fin de realizar prueba de jabón.

Tabla 4.5 Formato de datos de los diámetros de la posicionadora.

	Numero de Medición				
	1	2	3	4	A
Fecha					
Lectura					

ϕ original = 25 mm

ϕ permisible = 29 mm

4.10.4. Mantenimiento Semestral.

- Desarmar cilindros del equipo y verificar tolerancias internas, revisar anillos y o' nngs.

4.10.5. Mantenimiento Anual

- Realizar mantenimiento de pintura (Reparqueo general)
- Cambio de Mangueras
- Revisión de los interiores de la unidad de mantenimiento
- Verificar desgaste de las matrices
- Revisión del estado de las Válvulas

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una vez finalizada nuestra investigación y realizado el diseño de nuestro equipo neumático, es importante realizar una evaluación económica que nos permita comparar los gastos generados actualmente en CARROCERIAS TURBACO en la realización de los curvados para buses con los costos generados al utilizar nuestro equipo.

Es importante para la empresa conocer que beneficios obtendrá este equipo neumático diseñado para moldear perfiles. CARROCERIAS TURBACO DEBE CONOCERIAS TURBACO debe conocer cuanto ahorraría y en cuanto tiempo recuperaría la inversión realizada

5.1. COSTO DEL EQUIPO

Costo del montaje del equipo	\$5.000.000
Descripción de gastos	
• Gastos materiales	\$2.500.000
• Mano de obra	\$1.000.000

• Asesoría	\$ 500.000
• Imprevistos	\$1.000.000
TOTAL	\$5.000.000

5.2. PARALELO ENTRE EL MÉTODO ANTIGUO Y EL MÉTODO NUEVO

Para realizar la Evaluación Económica primero mostraremos una comparación entre el precio de realizar los curvados por el método antiguo y el gasto mediante el nuevo.

5.2.1. Método Antiguo. Para realizar el curvado se emplean 6 botellas de oxígeno con 1 botella de Acetileno por cada carrocería. Para curvar por este método se utilizan 2 empleados, los cuales deben trabajar en coordinación para realizar los curvados. El costo de este método lo describimos en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Costo de Utilizar el Método Antiguo

ITEM	DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Botella de Oxígeno	6	\$100.000	\$600.000
2	Mano de Obra	2	\$50.000	\$100.000
TOTAL				\$700.000

De acuerdo a lo anterior por cada carrocería se emplean \$700.000 para realizar los curvados necesarios.

5.2.2. Método Nuevo. La empresa posee un compresor de 12 HP, el cual consume 12 Kw/h. Para realizar los curvados se emplean 12 h llenando el compresor en total (aproximadamente) entonces el gasto de energía eléctrica que emplea el compresor es de:

$$\begin{aligned} \text{Gasto del Compreso x Carrocería} &= 12 \text{ Kw/h} \times 12 \text{ h} \times \$308/\text{Kw} \\ &= \$44.352 \\ \text{Gasto de Mano de Obra} &= \$50.000 \\ \hline \text{TOTAL} &= \mathbf{\$94.352} \end{aligned}$$

5.3. AHORRO

Comparando el costo de los dobleces por carrocería de ambos métodos, podemos establecer el ahorro que le genera a CARROCERIAS TURBACO la utilización del equipo neumático:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro} &= \text{Costo del Método Antiguo} - \text{Costo Nuevo Método} \\ &= \$700.000 - \$94.352 \\ &= \$605.648 \text{ por cada carrocería} \end{aligned}$$

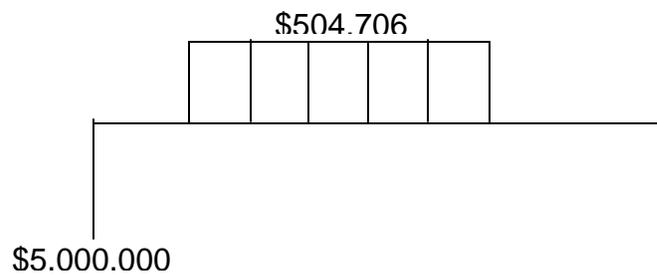
5.4. RETORNO DE LA INVERSIÓN

En CARROCERIAS TURBACO, cada año se realizan en promedio 10 carrocerías, por lo que podemos establecer:

- Ahorro mensual = $\frac{\$605.648 \times 10 \text{ carrocerías}}{12 \text{ meses}}$

= \$504.706 Carrocerías / año

- Ahorro anual = \$504.706 carrocerías / año x 12 meses



Tomando como interés tasa del IPC (8%), obtenemos:

$$A = P \left(\frac{i \times (i + 1)^n}{(1 + i)^n - 1} \right)$$

Donde:

A = Anualidad

P = Presente

i = interés

n = Número de períodos

Resolviendo:

$$\frac{A}{P} = \frac{6.056.480}{5.000.000} = \left(\frac{0.08 \times (0.08 + 1)^n}{(1 + 0.08)^n - 1} \right)$$

n = 0.8875 años

Por lo tanto, la inversión se recupera en 10.75 meses.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Una vez finalizada la investigación y logrando los objetivos siguientes podemos concluir y recomendar lo siguiente:

- La neumática ofrece una opción de aprovechamiento de la energía, aplicable a muchos campos de la ingeniería y más específicamente al área de la metalmecánica; generando grandes esfuerzos que son aprovechados en la conformación en frío de metales.
- Los metales poseen propiedades físicas inherentes, que permiten ser conformados con la aplicación de esfuerzos controlados, mejorando alguna de sus características y manteniendo otras.
- Los procesos de curvado estudiados suministran una opción de conformado en frío, aplicables para sustituir la conformación de metales mediante la aplicación de altas temperaturas; acarreando así los beneficios inherentes que ofrece la conformación en frío.

- La automatización de procesos, mejora las condiciones de seguridad para los operarios y la compañía. En nuestro caso nos permitió realizar operaciones con el equipo diseñado sin riesgos, con la ayuda de palancas que permitieron levantar y bajar elementos de la máquina que poseen gran peso.
- La elaboración de proyectos de ingeniería requieren una cantidad de recursos intelectuales y económicos acompañado de pruebas y ensayos necesarios para determinar parámetros reales al momento de construir equipos de esta categoría, ahí radica la importancia de seguir ensayando los curvados con el propósito de mejorar el desempeño del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

C.H. JENSEN. Dibujo y Diseño de Ingeniería: 3ª ed. México: Mc Graw Hill. Interamericana de México S.A, 1998. 600 Pág.

FAIRES V. M. Diseño de Elementos de Máquinas. 2ª Ed. Barcelona: Montaner y Simón. 1980. 513 Pág.

GERE, Timoshenco. Mecánica de Materiales: 2ª ed. España: Grupo Editorial Iberoamericano. 1996. 700 Pág.

HUTTE. Manual del Ingeniero. 2ª edición. Alemania: Germany Editors. 1975.2014 Pág.

MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. 9ª ed. México D.F.: Mc Graw Hill. 1994. 2560 Pág.

METALS HAND BOOK. Volumen 4. 8ª edición. Estados Unidos de América: American Society for Metals. 1978. 2015 Pág.

SERWAY, Raynond A: Física. Tomo I: 4ª ed. México: Mc Graw Hill, 1999. 1452 Pág.

SHIGLEY, Joseph Edwar. Diseño en Ingeniería Mecánica. 5ª edición. Mexico D.F.: Mc Graw Hill. 1995. 837 Pág.

SMITH, William. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. 2ª edición. Mexico D.F.: Mc Graw Hill. 1993. 1552 Pág.

TPC. Training System. Neumática Básica. 1ª ed. Texas: TPC. 1975. 100 Pág.

ANEXOS

