

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

DEPARTAMENTO METAL- MECÁNICA

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO:

DISEÑO Y CÁLCULO DEL ARREGLO DE INTERCONEXIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE PARA EL SISTEMA DE REGULACIÓN DE LAS UNIDADES DE LA SEGUNDA ETAPA.

RESIDENTE:

ANTONIO DE JESÚS AQUINO CRUZ

NÚMERO DE CONTROL:

12270525

ASESOR INTERNO:

ING. FERNANDO ALFONSO MAY ARRIOJA

ASESOR EXTERNO:

ING. ARMANDO VIZA LÓPEZ

PERIODO DE REALIZACION:

AGOSTO - DICIEMBRE

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS; A 04 DE DICIEMBRE DE 2017

Introducción

En la actualidad las empresas de generación de energía, forman parte esencial del desarrollo de un país o entidad, debido a su alcance e impacto dentro de la sociedad, así como en la economía. Una empresa generadora de energía al prestar sus servicios tiene como principal objetivo satisfacer una necesidad demandada por el usuario, pero para poder cumplir con este objetivo es necesario contar con estándares de calidad y control de los procesos que se realizan acabo en ella.

La central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres” perteneciente a la empresa CFE (Comisión Federal de Electricidad) es el segundo aprovechamiento hidroeléctrico de la cuenca del río Grijalva, ubicada en el municipio de Chicoasen, Chiapas cuenta con 5 unidades marca Mitsubishi de 300 MW cada una en la primera etapa del proyecto y 3 unidades marca Alstom de 300 MW cada una en la segunda etapa del proyecto hidroeléctrico para una capacidad instalada de 2400 MW.

En las unidades de la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres” se pueden encontrar diversos sistemas que tiene como principal objetivo el garantizar la seguridad y correcto funcionamiento de los elementos de las unidades generadoras, como consecuencia de ello se garantiza una producción de energía eficiente y de gran calidad, aunado a esto se establece la seguridad del personal operario y de mantenimiento en la central. Dentro de estos sistemas podemos encontrar el sistema de enfriamiento, sistema de frenado, sistema de regulación, entre otros.

El sistema de regulación en las unidades generadoras tiene como finalidad como su nombre lo dice, de regular la velocidad de cada una de ellas, esto para asegurar el correcto funcionamiento al ser accionadas para el proceso de generación de energía.

El presente proyecto está dirigido hacia las unidades de la 2 etapa, específicamente al sistema de regulación implementado en cada una de ellas. Las unidades generadoras de la segunda etapa cuentan con compresores de alta presión para suministrar aire a presión de 70 bar hacia los tanques de regulación y compuerta cilíndrica para el proceso de regulación de velocidad de las unidades generadoras. Cada unidad cuenta con dos compresores de regulación que trabajan como equipo dúplex, es decir, cada unidad trabaja con un solo compresor y el otro queda como respaldo para actuar en caso de emergencias, actualmente se ha visto la necesidad de interconectar los tanques intermedios de aire a presión de las tres unidades generadoras de la segunda etapa.

Esta necesidad surge de una problemática expuesta en este documento, haciendo referencia a una pérdida de tiempo y mano de obra, que a su vez genera ingresos no percibidos para la empresa, como también el inminente riesgo para el personal al realizar conexiones temporales.

Por ello, a través de fundamentos teóricos y cálculos adecuados para el diseño, se plantea la realización de una interconexión de aire comprimido para el sistema de regulación de la 2 etapa. En cuanto a los fundamentos teóricos, se tomarán en cuenta las características del aire comprimido, las ventajas y desventajas de usar el aire comprimido, unidades de medida para este tipo de sistemas; los componentes en un sistema neumático, por ejemplo: generación de aire comprimido (compresores), acumulación del aire (depósitos o tanques pulmón), tubería, accesorios en las tuberías, reguladores de caudal o presión (válvulas), entre otros puntos. Para la parte del diseño, se realizarán cálculos para la selección de la tubería, tomando en cuenta factores como el caudal y la presión de servicio en el sistema, las dimensiones de la tubería y el recorrido que realizara en su instalación. También se seleccionará el tipo de material a emplear para la tubería de acuerdo a las condiciones de trabajo establecidas previamente.

Por último, en el capítulo final del proyecto se analizarán los resultados obtenidos, y se verificara el cumplimiento de los objetivos planteados, así como demostrar el beneficio que proporcionara la implementación del proyecto, además de concluir respecto a todo el trabajo realizado.

Índice

Índice de figuras	6
Índice de tablas.....	8
Capítulo 1. Caracterización del área de trabajo	9
1.1 Datos generales.....	9
1.1.1 Centrales eléctricas	9
1.1.2 Centrales hidroeléctricas	11
1.1.2 Sistema hidroeléctrico de la cuenca del río Grijalva.....	13
1.1.3 Central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres “Chicoasén”	15
1.1.3 Ubicación de la empresa	22
1.1.4 Datos característicos de la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres”	22
1.1.5 Capacidades de las unidades generadoras de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres	24
1.2 Misión, visión y políticas de la empresa.....	26
1.2.1 Misión	26
1.2.2 Visión.....	26
1.2.3 Políticas de la empresa	26
1.2.4 Objetivos e indicadores.....	27
1.3 Logo de la empresa.....	28
Capítulo 2. Planteamiento del problema o área de oportunidad	28
2.1 Planteamiento del problema.....	28
2.2 Justificación	31
2.2 Caracterización del área de desarrollo del proyecto	32
2.3 Antecedentes.....	33
2.4 Sistemas de aire comprimido.....	34
2.5 Objetivos.....	35
Capítulo 3. Fundamentos teóricos.	35
3.1 El aire comprimido	35
3.1.1 Elementos básicos de una instalación de aire comprimido	36
3.1.2 Ventajas y desventajas del uso de aire comprimido.....	37
3.1.3 Configuración (tipos de red)	38
3.1.4 Unidades de medida en instalaciones de aire comprimido	39
3. 2 Leyes de los gases.....	41
3.2.1 Ley de Boyle.....	42

3.2.2 Ley de Charles	43
3.2.3 Leyes combinadas de los gases.....	43
3.3 Unidad de presión	44
3.4 Medición del volumen	45
3.5 Características esenciales de los componentes neumáticos	45
3.6 Sistema neumático y disposición de la tubería	46
3.6.1 Sistema básico.....	46
3.6.2 Generación del aire comprimido	47
3.6.3 Compresores o generadores de aire comprimido.....	47
3.6.4 Depósitos y acumuladores intermedios.....	51
3.7 Selección de la tubería para el sistema neumático.....	52
3.7.1 Sistema de circuito cerrado en la disposición de la tubería.....	52
3.7.2 Caída de presión en la línea neumática.....	53
3.8 Materiales de tubos	56
3.8.1 Capacidad nominal de presión para los materiales de tubos.....	57
3.8.2 Ajustes de la tubería	58
3.8.3 Conectores roscados	60
3.8.4 Tamaño del tubo	61
3.9 Accesorios.....	63
3.9.1 Codos	63
3.9.2 Conexiones en T	64
3.9.3 Niples.....	64
3.9.4 Cruces	64
3.9.5 Reducciones	65
3.9.6 Adaptadores.....	65
3.9.7 Uniones	65
3.9.8 Acoples rápidos.....	65
3.9.9 Filtro.....	66
3.10 Válvulas.....	66
3.10.1 Criterios de selección de las válvulas.....	66
3.10.2 Normas de fabricación	67
3.10.3 Clasificación y tipos de válvulas	68
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto.....	69
4.1 Caracterización de los elementos del sistema de regulación de la 2° etapa ...	69
4.1.1 Unidades de producción de aire comprimido.....	69

4.1.2 Tanques de almacenamiento: intermedio y acumulador.....	71
4.1.3 Operación del sistema (alimentación al tanque de presión aire-aceite del sistema de regulación).....	73
4.1.4 Diagramas neumáticos de la conexión e interconexión de aire comprimido	74
4.2 Definición de parámetros de operación y diseño	76
4.2.1 Determinación de elementos y/o accesorios en la tubería de la interconexión	76
4.2.3 Longitud equivalente de la tubería para la interconexión.....	81
4.2.4 Determinación del caudal total requerido.....	83
4.2.5 Calculo de la pérdida de presión	84
4.3 Dimensionamiento de la red de aire	86
4.3.1 Presión de operación.....	86
4.3.2 Factores de dimensionamiento	86
4.3.3 Dimensionamiento de la tubería de la interconexión	87
4.3.4 Calculo del diámetro de la tubería.....	87
4.4 Selección del material y tipo de unión para la tubería de aire comprimido de la interconexión.....	89
4.4.1 Selección del material para la tubería	89
4.4.2 Selección del tipo de unión de los elementos de la interconexión.....	95
Capítulo 5. Análisis de resultados.....	96
5.1 Análisis de los valores de diseño determinado.....	96
5.1.1 Caída o pérdida de presión en el sistema.....	96
5.1.2 Selección del diámetro y espesor de la tubería.....	96
5.3 Conclusión.....	97
Referencias	98
Anexo A. Diagrama del sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa C.H.M.M.T.	99
Anexo B. Simbología del sistema de regulación de la 2° etapa C.H.M.M.T.	100
Anexo C. Nomograma para calcular el diámetro interno de las tuberías y tablas de longitudes equivalentes.	101
Anexo D. Simbología ISO para circuitos de fluidos	103

Índice de figuras

Figura 1. Generación de energía en una presa hidroeléctrica.....	9
Figura 2. Componentes de una central geotérmica.....	10
Figura 3. Componentes de una central térmica.....	10
Figura 4. Componentes de una central hidroeléctrica.....	11
Figura 5. Esquema de una instalación hidráulica con sus principales componentes en una central hidroeléctrica.....	13
Figura 6. Presas del Río Grijalva alojadas en la cuenca del Río Grijalva.....	15
Figura 7. Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres "Chicoásen".....	16
Figura 8. Cuenca propia de Chicoásen.....	16
Figura 9. Cortina de la presa Chicoasén.....	17
Figura 10. Perfil del vertedor.....	18
Figura 11. Planta de los vertedores.....	19
Figura 12. Tubería a presión y casa de máquinas de la presa Chicoasén.....	20
Figura 13. Planta general de la central Manuel Moreno Torres.....	21
Figura 14. Unidad 1 Características generales.....	24
Figura 15. Unidad 2, características como generador.....	25
Figura 16. Unidad 6, características generales.....	25
Figura 17. Unidad 7, características como generador.....	26
Figura 18. Logo Comisión Federal de Electricidad (CFE).....	28
Figura 19. Obstaculización de la interconexión temporal de aire comprimido.....	29
Figura 20. Maniobras de montaje para la conexión temporal.....	29
Figura 21. Manguera de la interconexión temporal restringiendo acceso a tuberías de enfriamiento.....	30
Figura 22. Conexión de la manguera temporal al tanque intermedio.....	30
Figura 23. Manguera temporal obstaculizando acceso a gabinetes de control.....	31
Figura 24. Tanques acumuladores del sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa.....	33
Figura 25. Compresores y tanque intermedio neumático del sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa.....	33
Figura 26. Interconexión temporal del sistema de aire comprimido.....	34
Figura 27. Configuración general de un sistema de aire comprimido.....	36
Figura 28. Diseño de una red abierta de aire comprimido.....	38
Figura 29. Diseño de una red cerrada de aire comprimido.....	39
Figura 30. Diseño de una red interconectada de aire comprimido.....	39
Figura 31. Ley de Boyle: $P_1 =$ presión inicial; $P_2 =$ presión final; $V_1 =$ volumen inicial; $V_2 =$ volumen final; $P_1V_1 = P_2V_2$	42
Figura 32. b) De simple acción; c) de doble acción: 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvulas de placa, 4. Bloque del cilindro, 5. Pistón.....	49
Figura 33. Tres tipos de compresores recíprocos de aire: a) Vertical, b) Horizontal, c) Radial. 1 y 2. Bloque del cilindro, 3. Conjunto de la biela, 4. Tubo de descarga.....	50
Figura 34. Partes de un compresor recíproco de aire.....	51
Figura 35. Tanque acumulador de aire comprimido.....	52
Figura 36. Disposición del tipo de circuito cerrado para la línea de aire: 1. Compresor de aire, 2. Tanque de compresión, 3. Válvula de conexión y desconexión, 4. Unidad de filtro-lubricador-regulador. (British Compressed Air Society).....	53

Figura 37. Accesorios para tubos de líneas de aire: 1. Rosca de tubería de conector macho con empaquetadura en O (O-seal), 2. Conector de rosca cilíndrica con empaquetadura en O, 3. Cubo de rosca cilíndrica para conector macho, 4. Reductor de obturación, 5. Bloque de recalcar para un adaptador, 6. Reductor, 7. T múltiple macho, 8. Conector hembra, 9. Unión en T, 10. Unión en cruz, 11. Codo hembra, 12. conector de orificio, 13. Conector reductor de orificio, 14. Casquete, 15. Tapón, 16. Unión de obturación, 17. Codo macho, 18. Codo macho de 45°, 19. Conector flexible de manguera metálica.	56
Figura 38. Ramificación de las líneas neumáticas.	58
Figura 39. (a) Tuerca de compresión con tubo abocinado; (b) Conexión de compresión con casquillo: 1. Tubo metálico, 2. Tuerca de apretadura, 3. Unión de cubo, 4. Casquillo; (c) Ajustes típicos de tubos.....	59
Figura 40. Método de montaje de tubos: 1. Conector de reducción, 2. Conector desigual, 3. Conector en T, 4. Tubos	60
Figura 41. Codos.	64
Figura 42. Conexión Te.	64
Figura 43. Niple.	64
Figura 44. Reducción.....	65
Figura 45. Uniones.	65
Figura 46. Racor con anillo de sujeción.	65
Figura 47. Filtro neumático.	66
Figura 48. Normas de fabricación de válvulas y accesorios.....	68
Figura 49. Unidades de producción de aire comprimido del sistema de regulación 2° etapa	71
Figura 50. Diagrama esquemático del sistema de aire de regulación 2° etapa (tanque intermedio).....	74
Figura 51. Diagrama neumático original de la conexión de aire comprimido, compresor – tanque intermedio.	74
Figura 52. Diagrama neumático modificado.....	75
Figura 53. Isométrico de la interconexión de aire comprimido.....	76
Figura 54. Especificaciones técnicas válvulas de aguja serie 1700.....	78
Figura 55. Materiales utilizados en las válvulas de aguja.....	79
Figura 56 Separador de humedad.	81
Figura 57. Cálculo de la longitud equivalente, toolbox Kaeser Compresores.....	83
Figura 58. Estructura y elementos de la unión por férulas de ajuste.	95

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de centrales eléctricas.....	9
Tabla 2. Energía Hidroeléctrica en las presas del Río Grijalva (Comision Federal de Electricidad, 2009).....	14
Tabla 3. Presas del Río Grijalva (Comision Federal de Electricidad, 2009).....	14
Tabla 4. Datos sobre la obra de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.....	22
Tabla 5. Ubicación de la empresa.....	22
Tabla 6. Hidrología de la C.H.M.M.T.....	22
Tabla 7. Cortina de la C.H.M.M.T.....	22
Tabla 8. Embalse de la C.H.M.M.T.....	23
Tabla 9. Desfogue de la C.H.M.M.T.....	23
Tabla 10. Obras de excedencias de la C.H.M.M.T.....	23
Tabla 11. Obras de conducción de la de la C.H.M.M.T.....	23
Tabla 12. Casa de máquinas de la C.H.M.M.T.....	23
Tabla 13. Obras de toma de la C.H.M.M.T.....	24
Tabla 14. Objetivos e Indicadores CFE.....	27
Tabla 15. Componentes del aire con sus respectivas concentraciones.....	35
Tabla 16. Límites para principales contaminantes del aire comprimido, norma ANSI/CGA G.7.1.....	36
Tabla 17. Unidades del SI.....	44
Tabla 18. Coeficiente de resistencia.....	54
Tabla 19. Presiones nominales de los materiales para tubos.....	57
Tabla 20. Datos de roscas BSP.....	60
Tabla 21. Rosca cónica americana de sello seco, para tubo (NPTR).....	61
Tabla 22. Límites típicos de temperatura y presión en materiales.....	67
Tabla 23. Ficha técnica compresor SAUER, unidad de generación de aire comprimido.....	70
Tabla 24. Ficha técnica del motor eléctrico de las unidades generadoras de aire comprimido del sistema de regulación 2º etapa.....	71
Tabla 25. Ficha técnica tanque acumulador.....	72
Tabla 26. Ficha técnica tanque intermedio.....	72
Tabla 27. Norma ISO 8573-1.....	80
Tabla 28. Accesorios en la interconexión.....	81
Tabla 29. Diámetros de tuberías comerciales según norma DIN 2441.....	87
Tabla 30. Ficha técnica del acero inoxidable serie 300.....	91
Tabla 31. Tubo de acero inoxidable sin soldadura fraccional.....	93
Tabla 32. Referencia para solicitar Tubing.....	94

Capítulo 1. Caracterización del área de trabajo

1.1 Datos generales

1.1.1 Centrales eléctricas

Se llama central eléctrica al conjunto de equipos, máquinas y elementos de control, de protección, de maniobra, etc., cuyo fin principal es la producción de la energía eléctrica. En realidad, el nombre de “Central Eléctrica” es la abreviatura de “Central Generadora de Energía Eléctrica”, lo que se debe tener en cuenta para evitar confusiones

Tipos de centrales

Por el elemento natural que utilizan para su operación, las centrales eléctricas se dividen como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de centrales eléctricas

Tipo	Elemento natural
Hidroeléctricas	Agua
Combustión interna	Combustible diésel
Turbo-gas	Gas natural
Geotérmica	Vapor del subsuelo
Termoeléctrica	Vapor de agua
Ciclo combinado	Gas y vapor de agua
Nuclear	Uranio

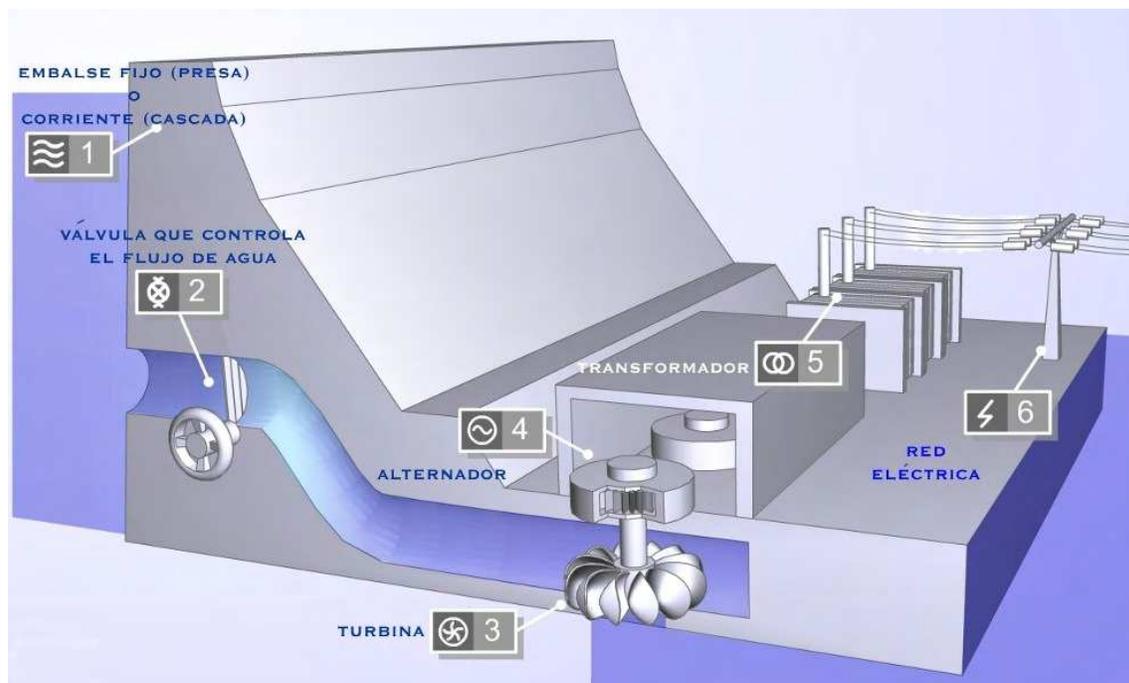


Figura 1. Generación de energía en una presa hidroeléctrica.

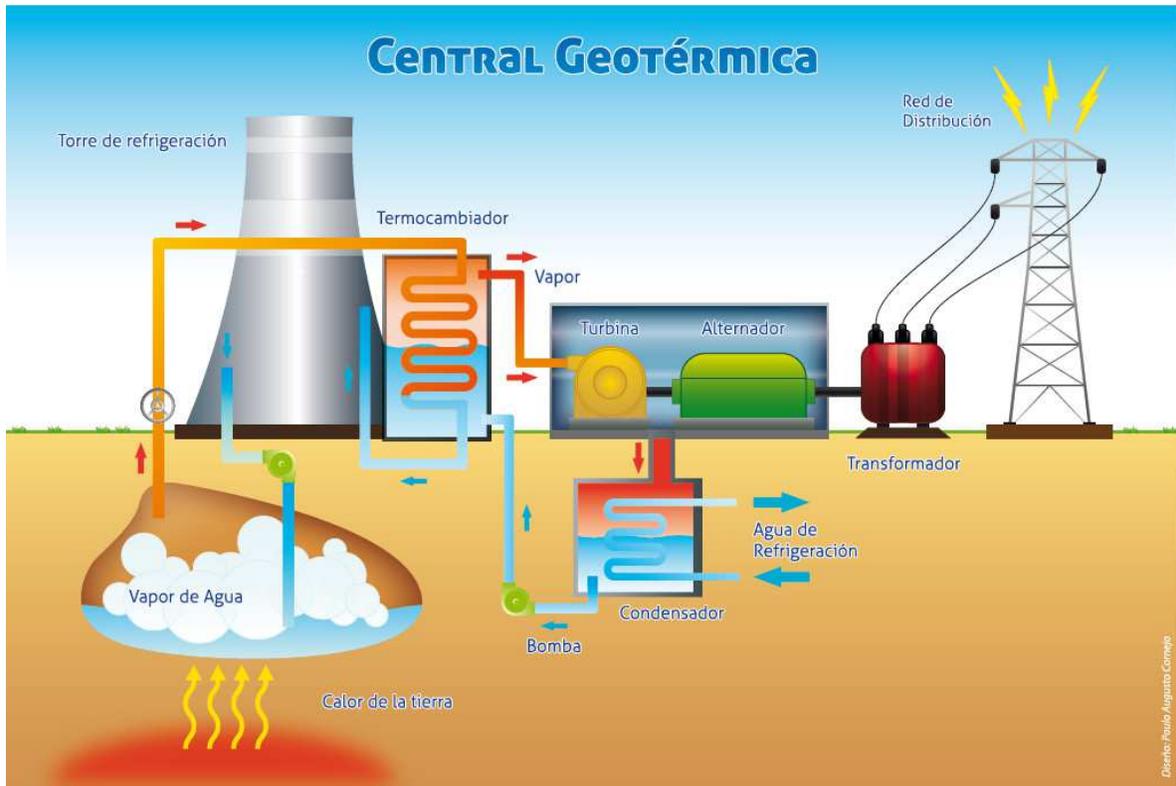


Figura 2. Componentes de una central geotérmica.

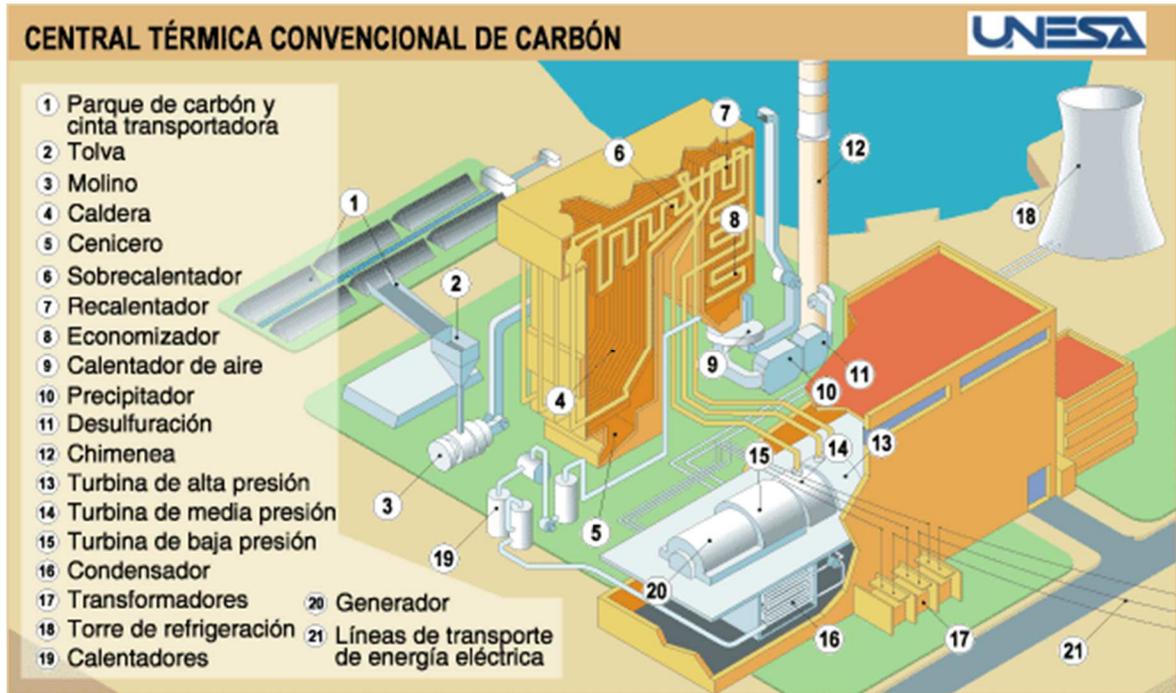


Figura 3. Componentes de una central térmica.

1.1.2 Centrales hidroeléctricas

Una central hidroeléctrica se puede definir como el conjunto de elementos destinados a utilizar la energía potencial del agua para transformarla en energía eléctrica. (Central escuela de Celaya, CFE, 1987)

La energía hidráulica potencial existente en el salto de agua comprendido entre el nivel en la toma y el de salida del agua en las turbinas, sufre una serie de transformaciones a través de las obras de conducción y de las máquinas de generación eléctrica, como se indica a continuación:

- a) En energía cinética de traslación, en la conducción forzada que lleva el agua a las turbinas.
- b) En energía mecánica, por rotación de los órganos móviles de las turbinas.
- c) En energía eléctrica, en los alternadores mediante la acción del campo giratorio sobre la armadura.

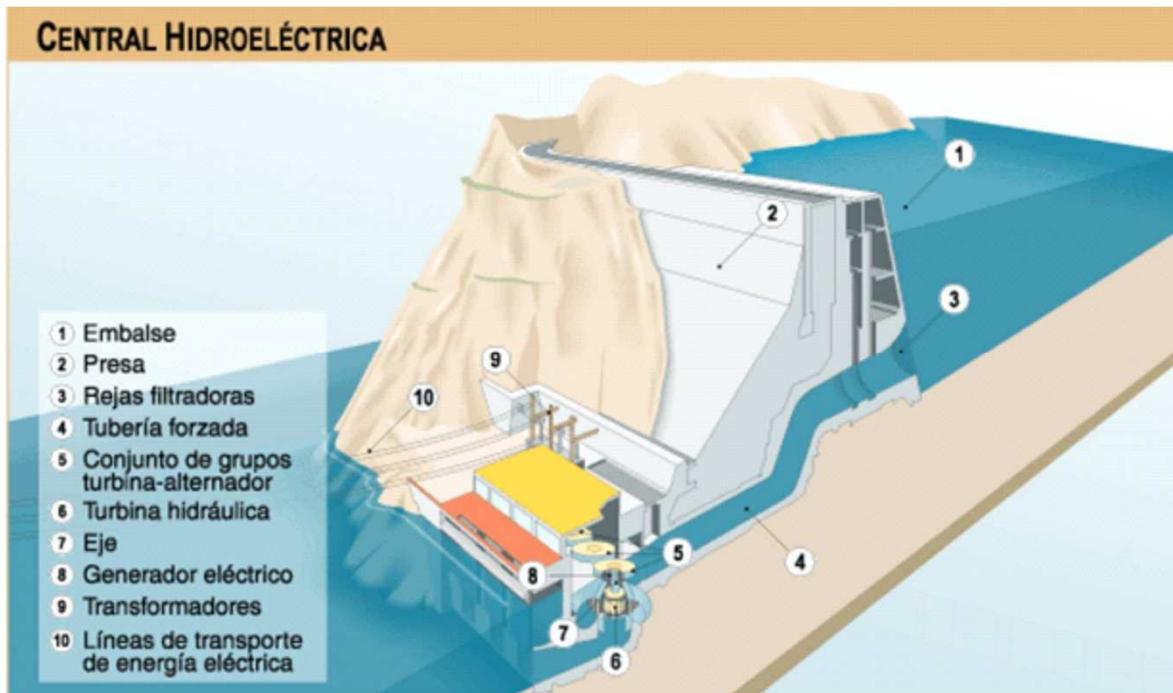


Figura 4. Componentes de una central hidroeléctrica.

En general los componentes principales de un desarrollo hidroeléctrico son los siguientes:

- a) Presa
- b) Canal de conducción
- c) Sifón
- d) Tanque de reposo
- e) Cámara de presión
- f) Pozo de oscilación
- g) Tubería de presión

- h) Turbinas hidráulicas
- i) Canal de desfogue

Presa

Consiste de un dique transversal o diagonal con o sin vertedor de excedencias, que represa el agua y aumenta ligeramente su nivel obligándola a entrar al canal de conducción.

Canal de conducción

Es un conducto abierto, de sección semicircular, rectangular o trapezoidal cuya longitud puede ser de varios kilómetros sin causar por ello una pérdida considerable de energía, ya que su pendiente es apenas perceptible y que lleva el agua del río al tanque de reposo o vaso de almacenamiento según el caso.

Sifón

Un sifón es un dispositivo en el cual el líquido fluye de un nivel A, a otro nivel inferior B, pero pasando primero por una cúspide o cima C.

Tanque de reposo

Es un depósito de dimensiones adecuadas utilizado para almacenar el agua proveniente del río y elevar la caída útil a la turbina, además de producir la decantación de arena y lodo u otros elementos extraños que puedan ser arrastrados por el agua del canal. Sirve de enlace entre el canal y la tubería de presión ya que las características de ambos son diferentes y pueden conectarse entre sí.

Cámara de presión

Es una instalación indispensable en saltos superiores a 12 metros y consiste en un ensanchamiento del canal de conducción a su llegada a las tuberías de presión para amortiguar pequeñas variaciones de presión en las tuberías y almacenar volúmenes de agua.

Pozo de oscilación

En saltos mayores se instalan chimeneas de equilibrio o pozos de oscilación para absorber las ondas de agua producidas por el movimiento brusco de los alabes de las turbinas, y proteger a éstas y a las tuberías de daños producidos por golpe de ariete.

Tubería de presión

Es un tubo de acero generalmente apoyado en silletas y anclado en machones, colocado sobre la superficie del terreno o enterrado, cuyo diámetro varía de 0.5 metros hasta 5 o más metros según el caudal de agua que alimenta y de la potencia que desarrolle la turbina.

Turbinas hidráulicas

Son los elementos encargados de transformar la energía potencial del agua en energía mecánica, auxiliados por otros elementos (regulador de velocidad, compresores de aire, bombas de aceite, etc.) para su adecuado aprovechamiento en los generadores.

Canal de desfogue

Este canal recoge el agua a la salida de la turbina para devolverla al río en el punto conveniente. A la salida de las turbinas, el agua tiene todavía una velocidad importante y,

por lo tanto, bastante poder erosivo y para evitar daños en el piso o paredes, hay que revestir cuidadosamente éstas. (Central escuela de Celaya, CFE, 1987)

En la figura 5, se observa un esquema de una instalación hidráulica con sus principales componentes.

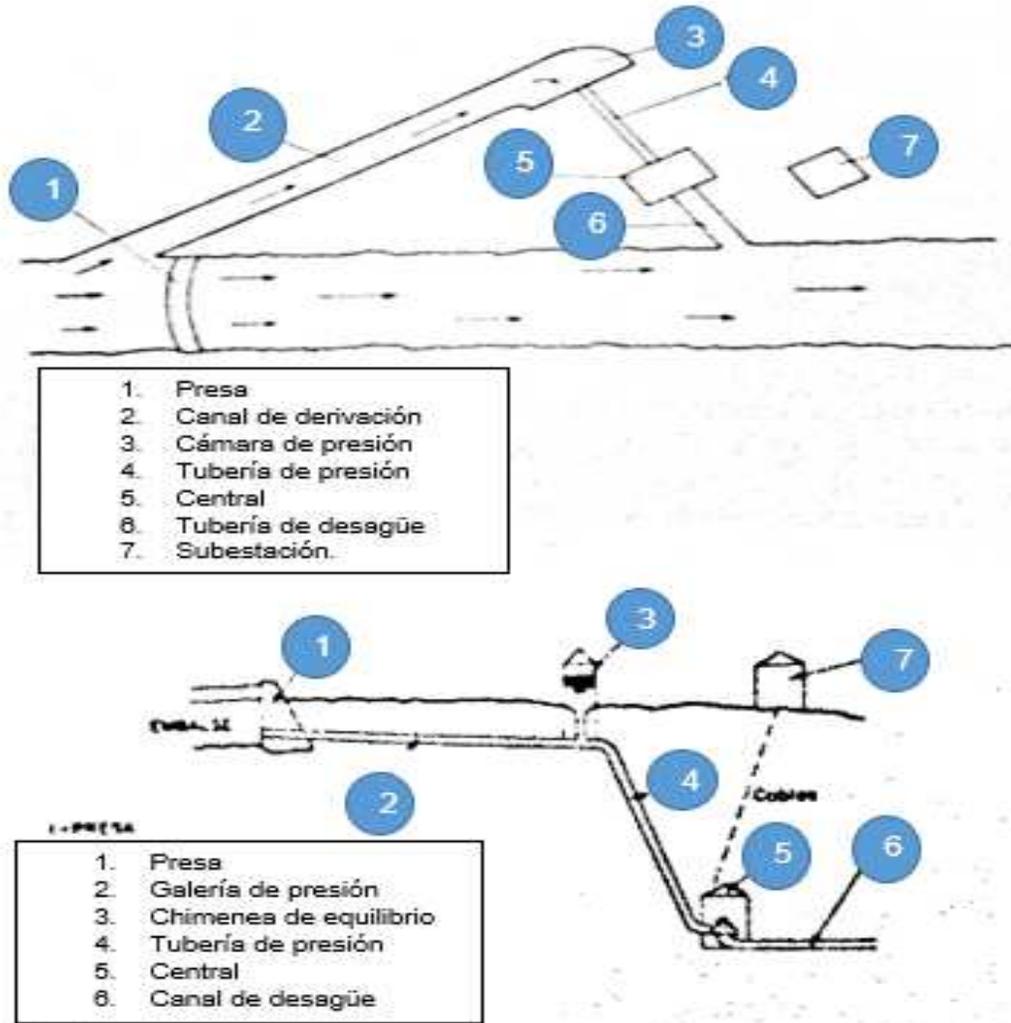


Figura 5. Esquema de una instalación hidráulica con sus principales componentes en una central hidroeléctrica.

1.1.2 Sistema hidroeléctrico de la cuenca del río Grijalva

En la cuenca del río Grijalva se localiza el mayor desarrollo hidroeléctrico del país, con 4,800 MW. Está integrado por las centrales “Angostura” (Belisario Domínguez), “Chicoasén” (Manuel Moreno Torres), Malpaso (Netzahualcóyotl) y Peñitas (Ángel Albino Corzo). En el Río Grijalva entre Chiapas y Tabasco, estas cuatro presas tienen la finalidad de evitar inundaciones y producir energía eléctrica. Dicho sistema de presas generan cerca del 44% (2009) del total de energía hidroeléctrica disponible en el país. (Subdirección de programación. Gerencia de programación de sistemas eléctricos, 2016)

En la tabla 2, se aprecia la generación media anual del Sistema Grijalva.

Tabla 2. Energía Hidroeléctrica en las presas del Río Grijalva (Comision Federal de Electricidad, 2009).

SISTEMA HIDROELÉCTRICO DE LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA								
Central	Tecnología	Estado	No. De Unidades	Capacidad efectiva instalada (MW)	Generación de energía anual (GWh)	Factor de Planta (%) *	% de la capacidad hidroeléctrica	% de Generación hidroeléctrica nacional
La Angostura (Belisario Domínguez)	Hidroeléctrica	Chiapas	5	900	2299	29.16		
Chicoasén (Manuel Moreno Torres)	Hidroeléctrica	Chiapas	8	2400	4725	22.47		
Malpaso (Netzahualcóyotl)	Hidroeléctrica	Chiapas	6	1080	3107	32.84		
Peñitas (Ángel Albino Corzo)	Hidroeléctrica	Chiapas	4	420	1493	40.58		
Total del Sistema Grijalva				4800	11625	27.57	42	43
Hidroeléctrica Nacional				11383	26445			
Capacidad Total Nacional				51686	235107			

La tabla 3 contiene los datos de las 4 presas con sus respectivos nombres oficiales, ubicación y la fecha de construcción. La Fig. 6 se esquematiza de forma general el arreglo de las presas del Río Grijalva en planta y en perfil.

Tabla 3. Presas del Río Grijalva (Comision Federal de Electricidad, 2009).

Porción	Presa	Ubicación	Inicio de la construcción	Fin de la construcción	Entrada en operación
Alto Grijalva	Belisario Domínguez (Angostura)	V. Carranza, Chiapas	1969	1974	14-Jul-76
	Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Chicoasén, Chiapas	1974	1980	29-May-81
	Netzahualcóyotl (Malpaso)	Tecpatán, Chiapas	1960	1965	29-Ene-69

Bajo Grijalva	Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Ostuacán, Chiapas	1979	1987	15-Sep-87
---------------	------------------------------	-------------------	------	------	-----------

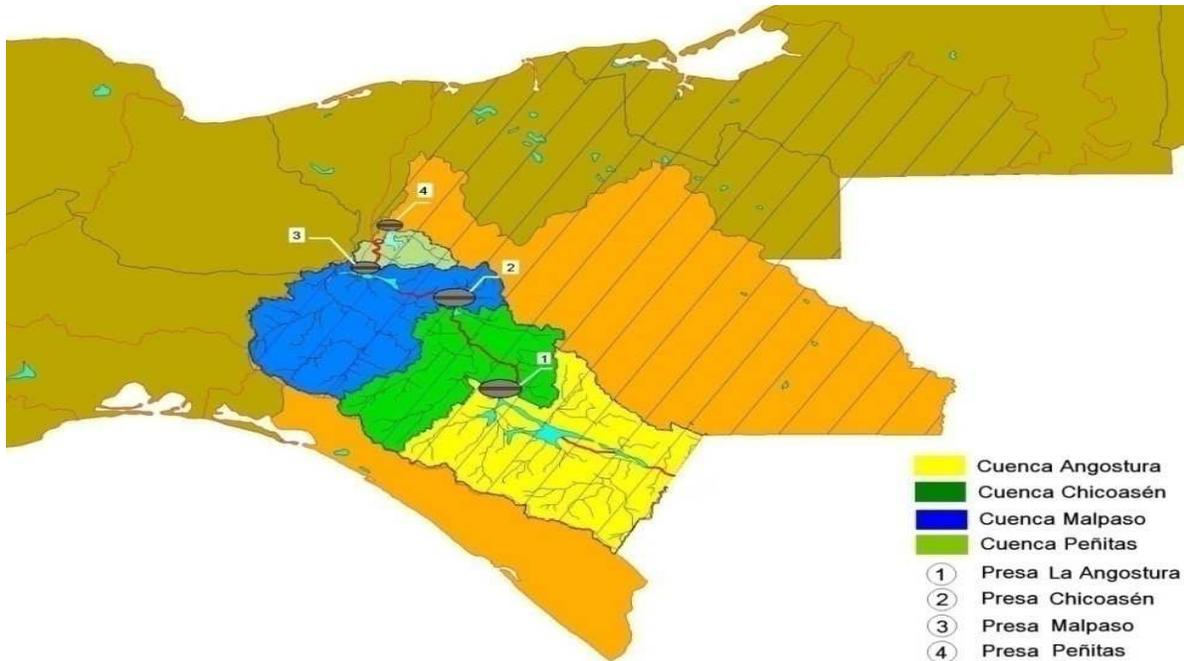


Figura 6. Presas del Río Grijalva alojadas en la cuenca del Río Grijalva.

1.1.3 Central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres “Chicoasén”

La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres “Chicoasén” está sobre el río Grijalva, a la salida del Cañón del Sumidero, y forma parte del sistema de aprovechamiento hidroeléctrico del propio río. Es la segunda presa aguas arriba desde la desembocadura. Consta de una cortina de enrocamiento con una altura de 255 m y una longitud sobre la corona de 515 m. Se eligió este tipo de cortina tomando en cuenta costo y riesgo sísmico. La obra de toma consiste en un canal de llamada para 8 bocatomas en rampa. Las conducciones a presión, de 6.20 m de diámetro, están revestidas con concreto y encamisadas en acero.

La casa de máquinas se aloja en caverna y tiene 20.50 m de ancho, 199 m de largo y 43 m de altura. Puede alojar hasta ocho unidades turbogeneradoras de 300 MW de capacidad cada una. Las primeras cinco con capacidad de 1,500 MW entraron en operación comercial entre los años 1980-1981, y para 2004 la capacidad de la central fue de 2,400 MW. La obra de excedencia, sobre el margen izquierdo, está formada por un canal de llamada que conduce hasta 15,000 m³ de agua a través de 3 túneles de 15 m de diámetro y 1,300 m de longitud.

La Presa Chicoasén es la tercera en construirse del Plan Integral del Río Grijalva. Las características hidrológicas, topográficas, geológicas y económicas del sitio hacen que esta central hidroeléctrica se convierta en la más poderosa para generar energía eléctrica anual en México.



Figura 7. Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres "Chicoasén".

En la cuenca propia de Chicoasén, el régimen pluviométrico establece dos periodos bien definidos: El primer periodo se presenta con precipitaciones máximas, se registra en los meses de julio a noviembre; es producto de las perturbaciones ciclónicas que se generan en el Golfo de México y el Mar Caribe, a las cuales se le agregan ocasionalmente las del Océano Pacífico. El segundo periodo corresponde al de estiaje, que comprende los meses de diciembre a junio. (Comisión Federal de Electricidad, 1985)

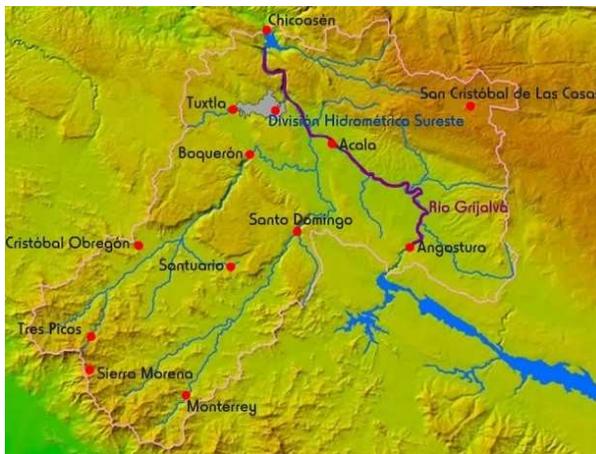


Figura 8. Cuenca propia de Chicoasén.

1.1.3.1 Descripción general de las obras

Cortina

Para el diseño de la cortina, se analizaron dos alternativas. En la primera se proponía una presa de concreto tipo arco-bóveda, y en la segunda un terraplén

de materiales graduados. Finalmente se optó por la segunda alternativa debido a la presencia de una falla geológica próxima a la cortina de Chicoasén (falla de Chicoasén).

La sección de la cortina fue construida con material de enrocamiento, se definió con un núcleo central flexible, impermeable, protegido con filtros, transiciones y respaldos amplios de protección. Los taludes exteriores son: 2:1, aguas abajo y de 2.1:1, aguas arriba. El material (1), corresponde al corazón impermeable de arcilla y tiene un volumen de 2.07×10^6 (m³). Para el material (2), los filtros se construyeron a base de grava-arena provenientes de los depósitos del río con volumen de 0.73×10^6 (m³). El material de transición (3), se obtuvo de la rezaga de las excavaciones de las obras que contenían roca-grava-arena y tiene un volumen de 2.71×10^6 (m³). Los respaldos de enrocamiento compactado (material 4), están formados por fragmentos de caliza provenientes de las excavaciones de la obra de excedencias, de la obra de toma y de la casa de máquinas (Fig. 9).

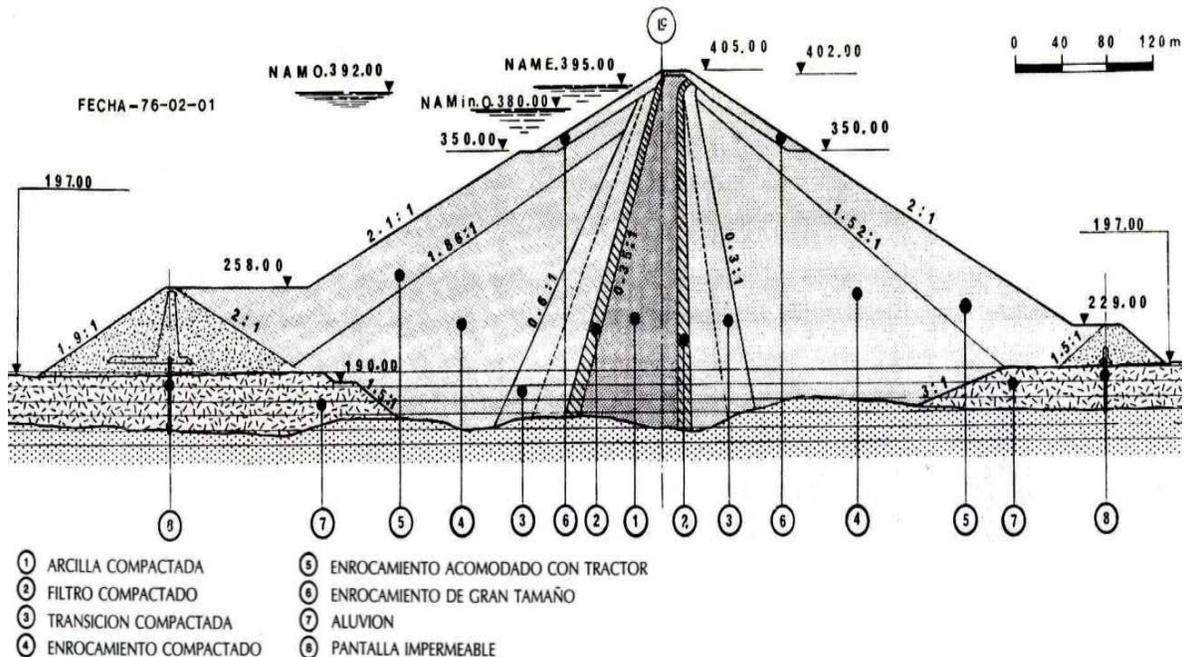


Figura 9. Cortina de la presa Chicoasén.

Obra de desvío

El desvío se realizó en condiciones muy favorables, ya que se tuvo que cerrar el embalse de “La Angostura”. Dado un reducido caudal del río después del cierre, fue posible desviarlo para librar la zona de construcción de la ataguía aguas arriba mediante la excavación de un túnel auxiliar de 343 (m) de longitud de sección portal sin revestir, de 7 (m) de ancho y 6 (m) de altura, excavado en la margen izquierda.

La obra de desvío, consta de dos túneles excavados en la margen derecha, de sección portal sin revestir, de 13 (m) de ancho y 13 (m) de altura. Las ataguías de materiales graduados forman parte de la cortina, la de aguas arriba con 61 (m) de altura y de 26 (m) la de aguas abajo.

Obra de excedencias

Está formada por tres vertedores en túnel alojados en la margen izquierda, controlados por compuertas radiales. El acceso del agua a los vertedores es mediante un canal excavado a cielo abierto, de ancho variable. En cada uno de los vertedores se tiene tres compuertas radiales de 8.40 (m) de ancho por 19 (m) de altura. La cresta del cimacio, tipo Creager, se fijó a una elevación de 373 (m) y permite evacuar un gasto de 15,000 (m³/s) (5000 (m³/s) por túnel), bajo una carga máxima de 22 (m).

Los túneles de descarga se excavaron a 17 (m) de diámetro y se revistieron de concreto para quedar con diámetro de 15 (m); la longitud aproximada de cada uno es de 900 (m) con una pendiente de 0.0322. La estructura terminal, localizada en el portal de salida de cada túnel, está constituida por una cubeta de lanzamiento (salto de esquí).

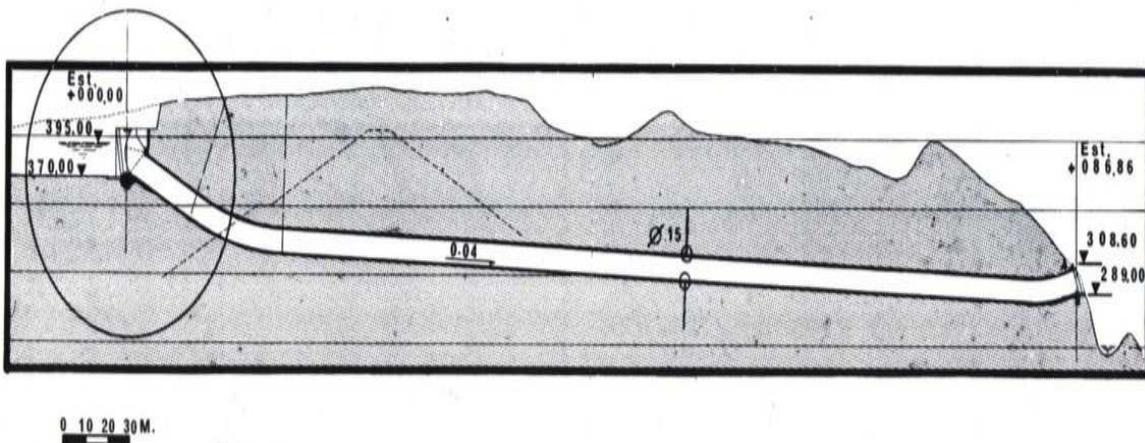


Figura 10. Perfil del vertedor.



Figura 11. Planta de los vertedores.

Planta Hidroeléctrica

La planta hidroeléctrica, se localiza en la margen derecha, consta de obra de toma, conducción a presión y casa de máquinas. La obra de toma consiste en un canal de acceso y 8 tomas independientes. Está diseñada con 8 estructuras de toma, una para cada grupo generador, provistas de rejillas y de una compuerta automática de accionamiento hidráulico rápido de 6.70x6.70 (m) (Fig. 11). La casa de máquinas es subterránea, tiene dimensiones de 199 (m) de longitud, 20.5 (m) de ancho y 43 (m) de altura. Está diseñada para alojar 8 grupos, cada uno constituido por una turbina tipo Francis, con capacidad de 306 (MW) cada una (Fig.12).

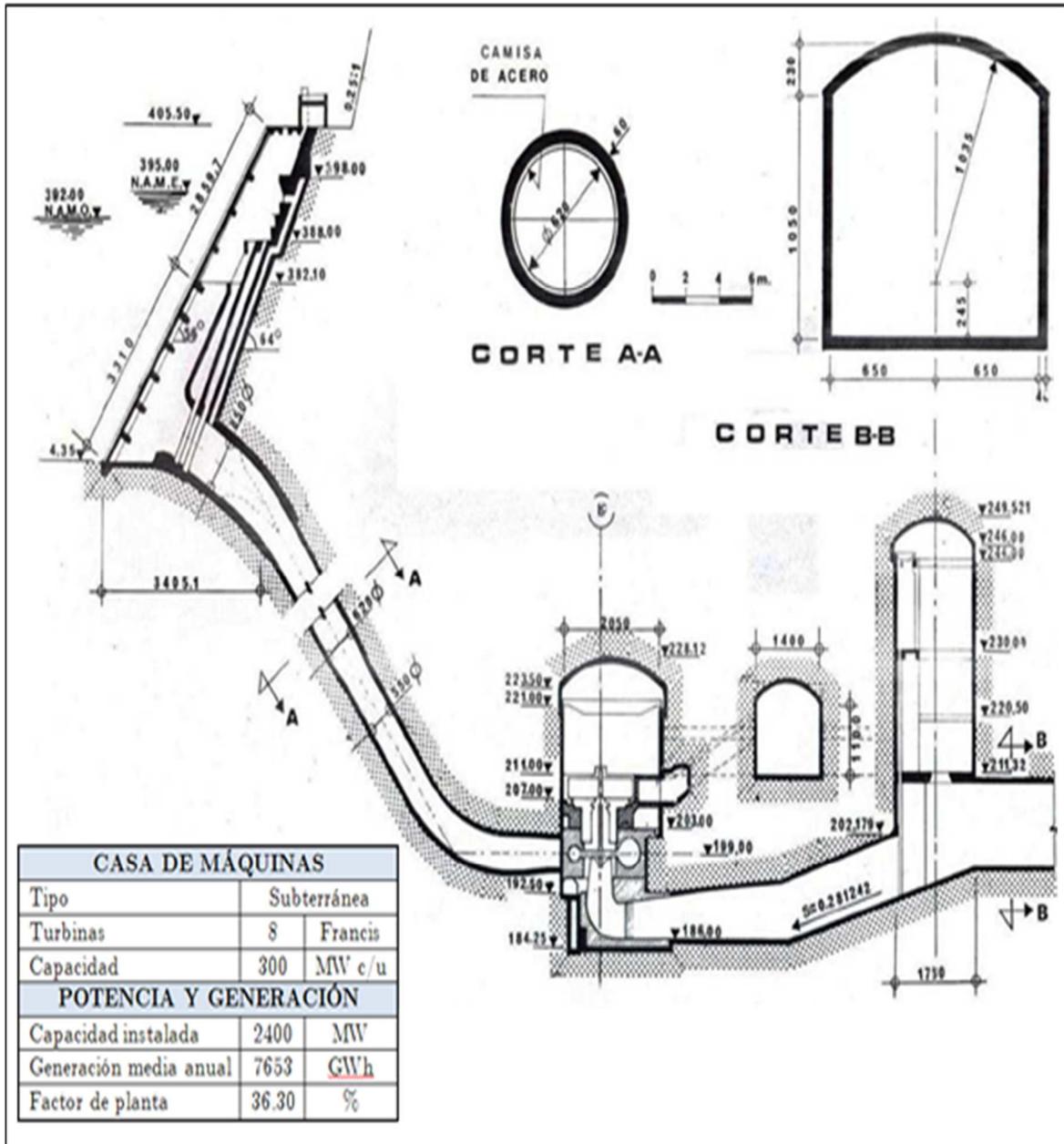


Figura 12. Tubería a presión y casa de máquinas de la presa Chicoasén.

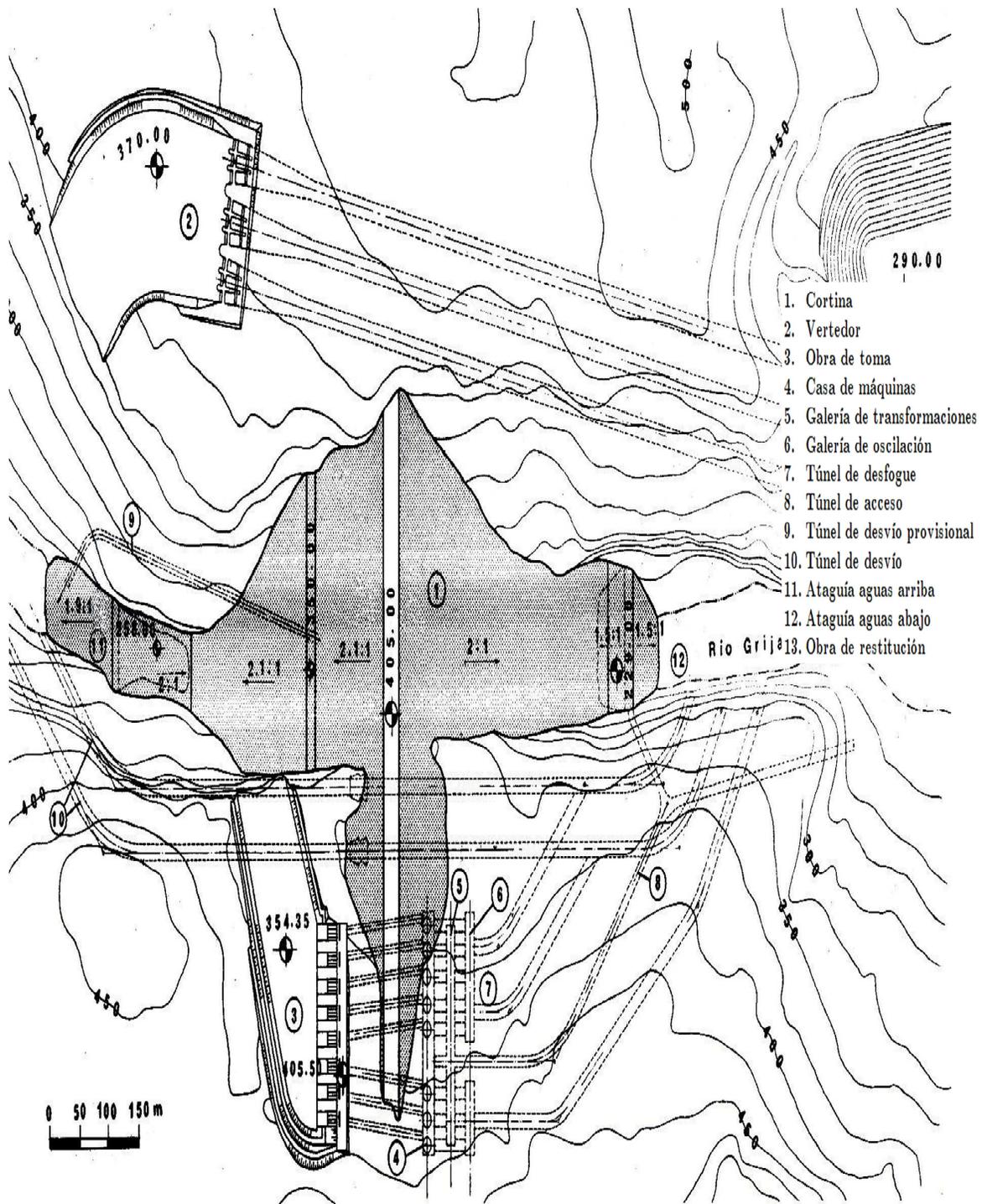


Figura 13. Planta general de la central Manuel Moreno Torres.

Tabla 4. Datos sobre la obra de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres.

Fecha de inicio de la obra	1974
Fecha de terminación de la obra	1980
Magnitud de la obra	La presa tiene una capacidad de almacenamiento de 1,705 millones de m ³ de agua y una capacidad instalada de 2,400 MW
Siglas	C.H.M.M.T.

1.1.3 Ubicación de la empresa

La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres está ubicada a la salida del Río Grijalva, en el km 40 de la carretera Tuxtla Gutiérrez – Chicoasén.

Tabla 5. Ubicación de la empresa.

País	México
Estado	Chiapas
Ciudades más próximas	Chicoasén, Tuxtla Gutiérrez
Ubicación	Río Grijalva, a la salida del Cañón del Sumidero

1.1.4 Datos característicos de la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres”

En las siguientes tablas se dan datos característicos de cada una de las obras presenten en la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres”:

Tabla 6. Hidrología de la C.H.M.M.T.

Hidrología	
Área de la cuenca	7,940 km ²
Escorrentamiento medio anual	1,347 mill.m ³
Gasto medio anual	413m ³ /s
Gasto máximo registrado	6,214 m ³

Tabla 7. Cortina de la C.H.M.M.T.

Cortina	
Tipo	Enrocamiento
Elevación de la corona	402 msnm
Longitud de la corona	480 m
Altura máxima	262 m
Volumen total (incl. ataguías)	15.37 mill.m ³

Tabla 8. Embalse de la C.H.M.M.T.

Embalse	
Name	395 msnm
Namo	392.50 msnm
Namino	380 msnm
Capacidad total al Name	1,705 mill m ³
Capacidad control avenidas	58.23 mill m ³
Capacidad útil para generar	270 mill m ³

Tabla 9. Desfogue de la C.H.M.M.T.

Desfogue	
Elevación media	203.5 msnm
Compuerta deslizante (N°, l x a)	16,9.66*5.12 m

Tabla 10. Obras de excedencias de la C.H.M.M.T.

Obras de excedencias	
Elevación de la cresta	373 msnm
Long. Total de la cresta	75.60 msnm
Gasto máx. de descarga total	15,000 m ³ /s msnm
Compuertas radiales	9,8.40*19.50 m
Elevación labio superior compuertas	394 msnm
Gasto máx. (avenida de diseño)	17,400 m ³ /s
Volumen de la avenida	6,214 mill m ³
N° de túneles	3

Tabla 11. Obras de conducción de la de la C.H.M.M.T.

Conducción	
Conductos (#)	8
Diámetro	6.20-5.50 m
Longitud total	190 m
Inclinación	45°
Tipo	Revestimiento con mampostería

Tabla 12. Casa de máquinas de la C.H.M.M.T.

Casa de máquinas	
Tipo	Subterráneas
Ancho	20.50 m
Largo	199 m
Altura máxima	43 m

Grúa(s) viajera(s) (cap. En ton.)	2 (270 ton. c/u)
--	------------------

Tabla 13. Obras de toma de la C.H.M.M.T.

Obras de toma	
Número de tomas	
Tipo de toma	
Gasto máximo por toma	186.70 m ³ /s
Compuertas rodantes (N° l x a)	8, 7.45*6.80
Diámetro de túneles	6.20-5.50 m
Longitud promedio de túneles	1326.67 m
Total de compuertas	16

1.1.5 Capacidades de las unidades generadoras de la central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres

En las siguientes imágenes se dan los valores de las capacidades de las unidades generadoras de la central, tomando en cuenta que las unidades de la 1 a 5 de la 1 etapa comparten las mismas características, y las unidades 6,7 y 8 de la 2 etapa comparten de las mismas características:

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
No. de Unidad:	1			
Tipo de Unidad:	Hidroeléctrica			
Fecha de operación comercial:	29/05/80			
Capacidad Efectiva:	300 MW			
Capacidad de Placa:	300 MW			
General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Eje:	Vertical		Carga estática máxima:	m
Tipo:	Francis		Gasto de diseño:	186.70 m ³ /s
Marca:	Mitsubishi		Carga neta de diseño:	176 m
Fabricante:	Mitsubishi		Carga mínima:	173.31 m
Capacidad Efectiva:	300,000 KW		Velocidad de rotación:	163.64 rpm
Potencia máxima por unidad:	300 MW, 470 HP, 17 KV		Rendimiento:	46 %
Nivel de Desfogue:	203.5m			

Figura 14. Unidad 1 Características generales.

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
No. de Unidades:	2		Tensión nominal:	17 Kv
Marca:	Asea		Factor de potencia:	95 %
Fabricante:	Asea		Rendimiento:	98.91
Potencia:	300 KW		Frecuencia:	60 %
Voltaje:	17 KV		Voltaje de excitación:	340 V
Corriente:	10,189 A		Corriente de excitación:	1,840 A
Capacidad nominal:	345 MVA		Velocidad de rotación:	163.64 rpm

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Número:	3		Tensión de transformación:	17/400 Kv
Marca:	IEM		Frecuencia:	60 hz
Tipo (no. de fases):	MONOFASICO		Voltaje:	400 Kv
Capacidad nominal:	115 MVA		Conexión:	BTDelta-At estrella
Clase de enfriamiento:	FOW			

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Lineas:	7		Destino:	3 Julle, 2 Angostura, 2 Malpaso
Tensión:	400			

Figura 15. Unidad 2, características como generador.

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
No. de Unidad:	6			
Tipo de Unidad:	Hidroeléctrica			
Fecha de operación comercial:	29/08/2004			
Capacidad Efectiva:	300 MW			
Capacidad de Placa:	300 MW			

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Eje:	Vertical		Carga estática máxima:	m
Tipo:	Francis		Gasto de diseño:	186.70 m3/s
Marca:	Alstom		Carga neta de diseño:	176 m
Fabricante:	Alstom		Carga mínima:	173.31 m
Capacidad Efectiva:	300,000 KW		Velocidad de rotación:	163.64 rpm
Potencia máxima por unidad:	300 MW, 427,000 HP, 17 KV		Rendimiento:	46 %
Nivel de Desfogue:	203.5m			

Figura 16. Unidad 6, características generales.

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
No. de Unidades:	7		Tensión nominal:	17 Kv
Marca:	ALSTOM		Factor de potencia:	95 %
Fabricante:	ALSTOM		Rendimiento:	98.91
Potencia:	300,000 KW		Frecuencia:	60 HZ %
Voltaje:	17 KV		Voltaje de excitación:	340 V
Corriente:	10,189 A		Corriente de excitación:	1,840 A
Capacidad nominal:	300 MVA		Velocidad de rotación:	163.64 rpm

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Número:	3		Tensión de transformación:	17/400 Kv
Marca:	KONCAR		Frecuencia:	60 hz
Tipo (no. de fases):	MONOFASICO		Voltaje:	400 Kv
Capacidad nominal:	115 MVA		Conexión:	BTDelta-At estrella
Clase de enfriamiento:	FOW			

General	Turbina	Generador	Transformador	Subestaciones
Lineas:	6		Destino:	3 Jule, 2 Angostura, 1Malpaso
Tensión:	400			

Figura 17. Unidad 7, características como generador.

1.2 Misión, visión y políticas de la empresa

1.2.1 Misión

Desarrollar actividades empresariales, económicas, industriales y comerciales generando valor económico y rentabilidad para el Estado Mexicano, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad, en beneficio de la población y contribuir con ello al desarrollo nacional.

1.2.2 Visión

Ser una empresa de energía, de las mejores a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera y reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

1.2.3 Políticas de la empresa

Presta el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, así como la generación y comercialización de electricidad y otros servicios relacionados, que generen valor económico y rentabilidad, procurando el mejoramiento de la productividad con sustentabilidad para el desarrollo nacional. Considerando los aspectos ambientales y de seguridad, y la mejora continua de la eficacia del Sistema Integral de Gestión, con el compromiso de:

- Formar y desarrollar el capital humano.
- Gestión eficiente de los riesgos.
- Prevenir la contaminación y aprovechar de manera responsable los recursos naturales.
- Cumplir con la legislación, reglamentación y otros requisitos aplicables.

- Mejorar continuamente la gestión y los resultados de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

1.2.4 Objetivos e indicadores

Tabla 14. Objetivos e Indicadores CFE.

Objetivos	Indicadores
Garantizar el abasto del suministro eléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiempo de interrupción por usuario (sin eventos). ✓ Disponibilidad (generación CFE). ✓ Compromisos de servicio.
Incrementar la competitividad.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pérdidas de energía [%]. ✓ Costo total de kWh.
Dar un buen servicio al cliente.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Satisfacción del cliente del servicio eléctrico (encuesta). ✓ Inconformidades por cada 1000 usuarios.
Trabajar con criterios de desarrollo sustentable.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cumplimiento de metas ambientales. ✓ Capacidad de generación con tecnologías limpias.
Participar en nuevas áreas de oportunidad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disponibilidad del servicio (fibra óptica).
Promover el liderazgo y desarrollo del personal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Frecuencia (accidentes). ✓ Gravedad (días). ✓ Clima organizacional. ✓ Ausentismo por enfermedad general. ✓ Días anuales de capacitación por trabajador.
Contar con fortaleza financiera	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cobranza.

1.3 Logo de la empresa



Figura 18. Logo Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Capítulo 2. Planteamiento del problema o área de oportunidad

2.1 Planteamiento del problema

La central hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (C.H.M.T.), siendo una de las principales centrales generadoras de energía en el estado, y perteneciente a la empresa energética Comisión Federal de Electricidad (CFE), está comprometida a cumplir normas y estándares de calidad. Debido a este compromiso, cada uno de sus procesos de producción deben realizarse con el mayor índice de eficiencia y seguridad.

Actualmente el proceso de generación de energía, está constituido por un total de 8 unidades turbogeneradoras las cuales se dividen en 2 etapas, referente a la 2° etapa, las unidades turbogeneradoras 6, 7 y 8 emplean un sistema de regulación hidroneumático de igual forma que las unidades de la 1° etapa, dentro de este sistema, cada unidad cuenta con un tanque acumulador hidroneumático, y el aire acumulado en estos tanques es proporcionado por un tanque intermedio, que a su vez reciben el suministro de aire de dos compresores en cada uno de ellos. Pero la carga en el tanque intermedio suele ser algo limitada, además que en ocasiones algunos de estos compresores se encuentran fuera de servicio ya sea por mantenimiento o falla del mismo, y es necesario recuperar o generar la carga neumática de los compresores y/o tanques intermedios de otra unidad, usando conexiones temporales las cuales no garantizan la seguridad del operador, además de que la instalación de estas conexiones causa una baja de tiempo y personal aprovechable en otras actividades. Otro punto a mencionar, es el hecho que el tiempo de carga de aire comprimido en el tanque acumulador en ocasiones es requerido sea el mínimo, y el uso de dos compresores por unidad suele limitar este requerimiento.



Figura 19. Obstaculización de la interconexión temporal de aire comprimido.



Figura 20. Maniobras de montaje para la conexión temporal.



Figura 21. Manguera de la interconexión temporal restringiendo acceso a tuberías de enfriamiento.



Figura 22. Conexión de la manguera temporal al tanque intermedio.



Figura 23. Manguera temporal obstaculizando acceso a gabinetes de control.

2.2 Justificación

El departamento mecánico de la C.H. M.M.T. es el encargado del mantenimiento mecánico de las unidades turbogeneradoras, así como de los equipos relacionados directa e indirectamente a la operación de la misma. Debido a esto, en el sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa, la prioridad de un sistema funcional y eficiente es muy alta, pues de esto depende el correcto desarrollo de la generación de energía en la central, y para poder cumplir este objetivo, es necesario contar con un suministro de aire comprimido estable y operacional cuando sea requerido.

El sistema de regulación es el encargado de regular la velocidad de giro de las unidades turbogeneradoras. En situaciones cuando la demanda aire comprimido es muy elevada en consumo para cortos períodos de tiempo, resulta económicamente desfavorable dimensionar al compresor o en su caso las tuberías, tomando exclusivamente este patrón de consumo extremo. Para este tipo de situaciones, es recomendable colocar un acumulador de aire cerca del punto de consumo y dimensionarlo con respecto al valor de consumo máximo.

Ante estos factores se propone la realización de una interconexión del sistema de inyección de aire comprimido en el sistema de regulación de las unidades de la 2 etapa, con la cual se planea resolver los conflictos anteriormente expuestos. Además, en caso de realizar mantenimientos en los que se necesite despresurizar al sistema de regulación por trabajos correspondientes al mismo, el proceso de presurización al termino de los trabajos, se realizaría de una forma más rápida, al tener 6 compresores disponibles y no solo dos.

Actualmente se realiza una interconexión de los compresores de las unidades de la 2° etapa, pero de forma temporal, lo cual genera riesgos y contratiempos durante su uso. Por lo tanto, se busca establecer una interconexión permanente

en este sistema de regulación para poder disponer según los requerimientos del proceso en curso, sin más contratiempos o limitaciones tanto de personal como de equipo técnico.

Ventajas de la interconexión de aire comprimido:

- Disponer de un sistema estable y seguro durante la puesta en servicio del mismo.
- Reducir los tiempos de carga de aire comprimido en los tanques acumuladores de cada unidad respectivamente.
- Emplear los compresores de otras unidades de la 2° etapa como equipos auxiliares, cuando no se disponga del servicio de uno de ellos en una unidad específica.
- Realizar descargas continuas de los tanques intermedios a los tanques acumuladores hidroneumáticos, debido a que mientras uno de ellos realiza la descarga de aire comprimido, otros pueden recibir la carga de los compresores.

2.2 Caracterización del área de desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto será realizado en el área del piso de turbinas, específicamente en las unidades 6, 7 y 8 de la 2° etapa de la C.H. M.M.T. Las unidades mencionadas anteriormente se componen de varios sistemas y elementos, que permiten el control adecuado y preciso del funcionamiento en cada una de las unidades mencionadas anteriormente. Mencionando algunos de estos sistemas tenemos: el sistema de regulación, sistema de frenado, entre otros. Se hará énfasis en el sistema de regulación, precisamente porque es en este sistema en el que se desarrollara el presente proyecto.

El sistema de regulación para cada una de las unidades, como su nombre lo dice es el encargado de regular el flujo de agua hacia el caracol de la turbina y los alabes de la misma. Dicho sistema se encuentra conformado por varios elementos, mencionando algunos de ellos tenemos: el anillo de mando, en el cual los alabes móviles están interconectados para desempeñar la función de cierre y apertura del flujo de agua; dos servomotores, principal y auxiliar respectivamente encargados de direccionar el anillo de mando para la apertura y cierre de los alabes móviles; un tanque acumulador de aceite y aire comprimido, el cual proporciona el fluido de potencia para el accionamiento del sistema de regulación; un tanque intermedio neumático, el cual acumula el aire suministrado para incorporar al sistema; y dos compresores de tres etapas, los cuales suministran el aire comprimido empleado en el sistema de regulación. Entre otros elementos que integran el sistema de regulación. (Ver anexo A)



Figura 24. Tanques acumuladores del sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa.



Figura 25. Compresores y tanque intermedio neumático del sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa.

2.3 Antecedentes

En el sistema de regulación de las unidades de la 2° etapa en la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres”, anteriormente los tiempos de carga de un tanque acumulador hidroneumático alcanzaba las 8 horas por unidad, debido a que solo se empleaba la carga neumática de un solo tanque intermedio, que a su vez recibía este suministro de dos compresores solamente. En la actualidad se ha logrado reducir a un promedio de 2 horas por unidad interconectando 6 compresores, los cuales permiten ocupar la carga de los tanques intermedios en menor tiempo, aunque dichas conexiones son temporales, es decir, se realizan maniobras de montaje y ajuste, cada vez que se requiere la puesta en marcha de esta interconexión.

Para realizar estas maniobras se requiere al menos una pareja de técnicos del departamento mecánico, conectores neumáticos, selladores (cinta teflón) que prevengan fugas en las entradas y salidas de la conexión, mangueras de diámetro de $\frac{3}{4}$ ", herramientas de trabajo como: pinzas (mecánicas, de presión, etc.), llaves de ajuste y/o apriete, entre otras.



Figura 26. Interconexión temporal del sistema de aire comprimido.

2.4 Sistemas de aire comprimido

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático. La utilización de aire comprimido es en si la neumática, cuyo proceso es tomar el aire de la atmosfera, comprimirlo y pasarlo a presión por espacios reducidos con la finalidad de producir energía que luego será convertida en trabajo. En los sistemas neumáticos el aire comprimido es producido por el compresor, que está compuesto por una bomba que es accionada por un motor eléctrico, este aire comprimido es almacenado en depósito o receptor. Desde aquí el aire es transportado a través de tuberías y válvulas a los cilindros, que son los encargados de transformar la energía neumática en trabajo.

Un sistema de aire comprimido puede definirse como un grupo de equipos y accesorios con una disposición específica, con el fin de proporcionar un caudal de aire determinado, a unas condiciones de presión y calidad de acuerdo con los requerimientos de la aplicación. (Londoño)

El empleo de aire comprimido para diferentes actividades industriales está fundamentado en las ventajas que lo preceden. Entre otras se destacan la amplia disponibilidad de esta sustancia; su compresibilidad; la posibilidad y facilidad para ser transportando en recipientes a presión.

El aire comprimido es un elemento muy habitual en todo tipo de instalación industrial. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático.

2.5 Objetivos

Objetivo general: Calcular y diseñar la línea de interconexión de aire del sistema de regulación de las unidades de la segunda etapa.

Objetivos específicos:

1. Desarrollar la ingeniería conceptual del proyecto
2. Desarrollar la ingeniería básica del proyecto
3. Desarrollar la ingeniería detallada del proyecto
4. Seleccionar el material y elementos del sistema de acuerdo a los cálculos desarrollados.

Capítulo 3. Fundamentos teóricos.

3.1 El aire comprimido

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión, compuesto por lo general en un 78% de Nitrógeno, un 21% de Oxígeno y en un 1% de otros gases como se indica en la tabla 8; físicamente es inodoro, incoloro e insípido.

Tabla 15. Componentes del aire con sus respectivas concentraciones.

Componente		Concentración aproximada
Nitrógeno	N	78.03% en volumen
Oxígeno	O	20.99% en volumen
Dióxido de carbono	CO ₂	0.03% en volumen
Argón	Ar	0.94% en volumen
Neón	Ne	0.00123% en volumen
Helio	He	0.0004% en volumen
Criptón	Kr	0.0005% en volumen
Xenón	Xe	0.000006 % en volumen
Hidrogeno	H	0.01% en volumen
Metano	CH ₄	0.0002% en volumen
Óxido nitroso	N ₂ O	0.00005% en volumen
Vapor de agua	H ₂ O	Variable
Ozono	O ₃	Variable
Partículas		Variable

La presión del aire atmosférico depende de la altura geográfica. Como altitudes de referencia para la presión y la temperatura del aire suelen darse las siguientes:

$P_0 = 1.013 \text{ bar}$ y $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (condiciones estándar) o $P_0 = 1.013 \text{ bar}$ y $T_0 = 0^\circ\text{C}$ (condiciones normales)

El aire comprimido tiene infinidad de aplicaciones entre las más importantes están: accionamiento de herramientas, movimientos a través de pistones neumáticos, transporte de producto, así como producción de aire comprimido el cual tiene que estar en contacto con productos para consumo humano, caso en el cual tiene que cumplir con normas establecidas que fijan los límites permisibles de contaminantes que puede contener el aire comprimido para poder ser calificado como respirable. La norma ANSI/ CGA G.7.1 establece los siguientes límites para los principales contaminantes que tiene el aire comprimido:

Tabla 16. Límites para principales contaminantes del aire comprimido, norma ANSI/CGA G.7.1.

Nitrógeno.	79 %
Oxígeno.	De 19.5% a 23%
CO₂.	1000 ppm.
CO.	20ppm.
Vapores de aceite e hidrocarburos.	5 ppm.
Vapor de agua.	PDP menor de 5 ° C
Partículas sólidas.	1 mg / m ³
Olores y sabores.	Libre de olores y sabores.
Bacterias	Libre de bacterias.

3.1.1 Elementos básicos de una instalación de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda. Del lado del suministro, encontraremos el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y depósitos y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

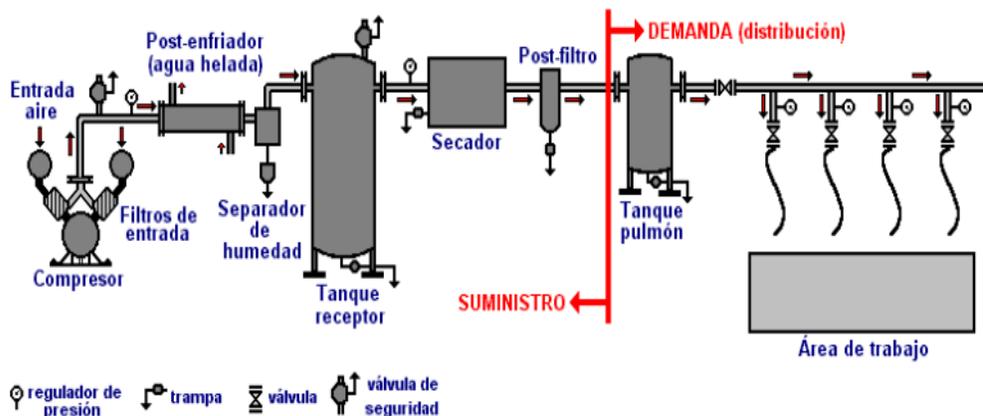


Figura 27. Configuración general de un sistema de aire comprimido.

3.1.2 Ventajas y desventajas del uso de aire comprimido

El empleo de aire comprimido para diferentes actividades industriales está fundamentado en las ventajas que la preceden. Entre estas ventajas se tienen las siguientes:

- **Alta disponibilidad:** Es un medio fácil de obtener para ser energizado por medio de un compresor, no hay que adquirirlo y no se presentan cambios ya que el aire para ser energizado se lo realiza en un solo paso. Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- **Transporte:** El aire comprimido tiene la facilidad de ser transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. Con la ventaja de que no es necesario disponer de tuberías de retorno.
- **Almacenable:** El aire comprimido generado por un compresor suele almacenarse en un depósito cuyo volumen se elige para sostener una demanda dentro de unos niveles de presión predeterminados. No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes cerrados.
- **Temperatura:** El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura; garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- **Anti-deflagrante:** No existe ningún tipo de riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones anti-deflagrantes, que son costosas.
- **Limpio:** El aire comprimido es limpio siempre y cuando pase por un filtro que contenga las micro-impurezas que contiene el aire y en caso de faltas de estanqueidad en tuberías o elementos. Esto es muy importante, por ejemplo, en las industrias alimenticias, farmacéuticas, de la madera, de los textiles y del cuero.
- **Con la particularidad de que los sistemas de aire comprimido son libres de impurezas tóxicas, sin riesgo de contaminación por fugas.**
- **Constitución de los elementos:** la concepción de los elementos de trabajo es simple y, por tanto, económico.
- **A prueba de sobrecargas:** Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden utilizarse hasta su parada completa sin riesgo alguno de sobrecargas.

Para poder conocer las limitantes de la neumática es preciso conocer también los inconvenientes que puede tener el uso de aire comprimido, dichos inconvenientes son los siguientes:

- **Preparación:** El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad con el fin de evitar un desgaste apresurado de los elementos de mando y actuadores.

- **Compresible:** El aire, como todos los gases tiene la propiedad de ocupar todo el volumen de cualquier recipiente, que lo contiene o la de su ambiente. Permite ser comprimido consiguiendo una reducción del volumen. Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos velocidades uniformes y constantes.
- **Fuerza:** El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite también, en función de la carrera y la velocidad es de 20.000 a 30.000 N (2000 a 3000 kPa).
- **Escape:** El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales isonorizantes.
- **Costos:** El aire comprimido es una fuente de energía relativamente cara; este elevado costo se compensa en su mayor parte por los elementos económicos y el buen rendimiento de los sistemas neumáticos. (Majumdar, 1998)

3.1.3 Configuración (tipos de red)

Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido:

- **Red abierta:** Está constituida por una línea que recorre toda la red y de la cual se desprende las tuberías de servicio como se muestra en la Figura. Se puede evacuar el condensado aplicando una inclinación, además hay que considerar que el costo de esta red es bajo. El mantenimiento de este tipo de red representa una desventaja. Para la reparación se debe cortar el suministro de aire produciendo una para de producción.

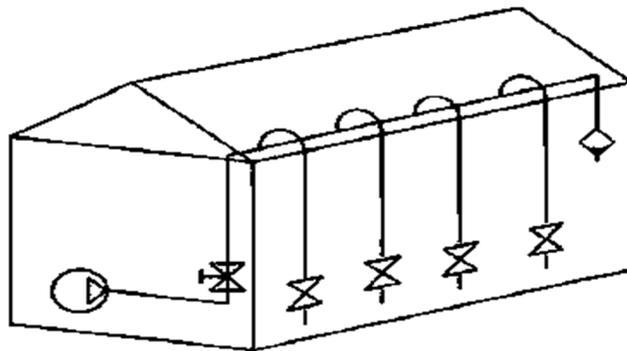


Figura 28. Diseño de una red abierta de aire comprimido.

- **Red cerrada:** Configuración en anillo. La inversión en este tipo de red es mayor que la red abierta. Es fácil realizar las tareas de mantenimiento debido a que no es necesario quitar todo el suministro de aire a la red. Al no tener un flujo constante representa una desventaja importante, el flujo depende de las demandas de los puntos de consumo, lo que provoca que la dirección del flujo dependa del consumo.

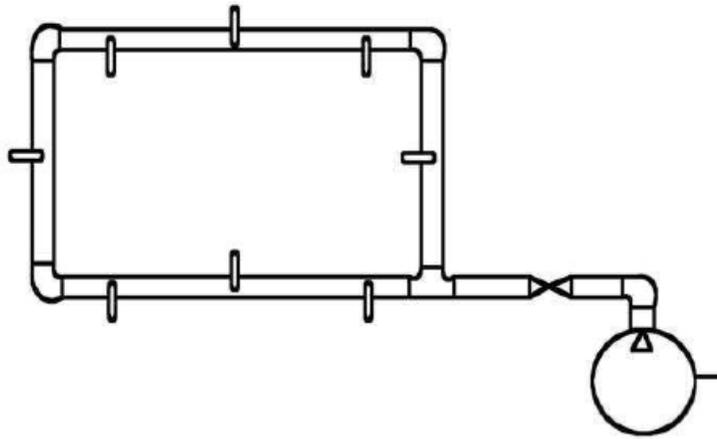


Figura 29. Diseño de una red cerrada de aire comprimido.

- Red interconectada: Se diferencia de la red cerrada debido a que tiene implementado bypass en las líneas principales. Con este sistema el mantenimiento se facilita, sin embargo, requiere una inversión inicial más alta. Este tipo de instalación presenta los mismos problemas que una red cerrada. (Majumdar, 1998)

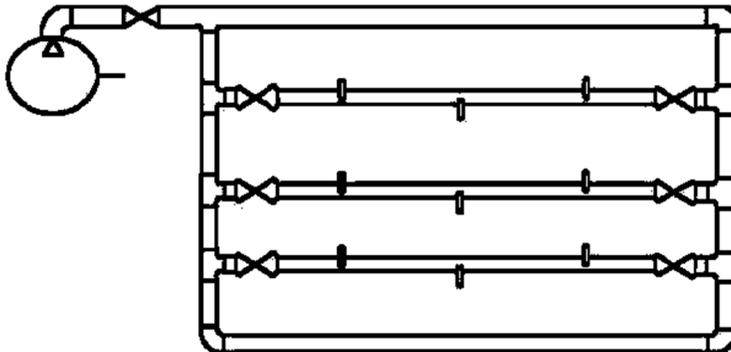


Figura 30. Diseño de una red interconectada de aire comprimido.

3.1.4 Unidades de medida en instalaciones de aire comprimido

Presión

La presión a la que está sometido un gas es la fuerza que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente que lo contiene, expresado en N/m^2 . (Dea Ingeniería, 2015)

Hay que distinguir entre presión absoluta y presión manométrica. Para ello es preciso tener en cuenta el concepto de presión atmosférica que expresa la fuerza que ejerce el aire atmosférico sobre cualquier superficie. La fuerza que ejerce sobre un área de un centímetro cuadrado una columna de aire que se extiende desde el nivel del mar hasta el borde exterior de la atmósfera es de 10.13 N.

Por lo tanto, la presión atmosférica absoluta a nivel del mar es de aprox. $10.13 \cdot 10^4$ N/m^2 , lo que equivale a $10.13 \cdot 10^4$ Pa (Pascal, la unidad del SI para la presión).

Expresada en otra unidad de uso frecuente: 1 bar = 10⁵ Pa.

Cuando se está por encima (o por debajo) del nivel del mar, la presión atmosférica es menor (o mayor) que este valor. La presión manométrica expresa el valor de la presión por encima de este valor de presión atmosférica, de forma que:

$$P_{absoluta} = P_{manometrica} + P_{atmosferica} \quad (\text{Ec. 1})$$

Temperatura

La temperatura de un gas es más difícil de definir con absoluta claridad. La temperatura es una medida de la energía cinética de las moléculas. Las moléculas se mueven más rápidamente cuanto mayor sea la temperatura, y su movimiento cesa a una temperatura de cero absoluto (0 K). (Dea Ingeniería, 2015)

La escala Kelvin (K) para las temperaturas se basa en este fenómeno, aunque su graduación es la misma que la escala de los grados centígrados o Celsius (°C):

$$T = t + 273.3 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

T= temperatura absoluta [K]

t= temperatura centígrada [°C]

Trabajo

El trabajo mecánico puede ser definido como el producto de una fuerza por la distancia a lo largo de la que opera la fuerza en un cuerpo. Exactamente como para el calor, el trabajo es la energía que se transfiere de un cuerpo a otro. La diferencia es que, en este caso, es una cuestión de fuerza en lugar de temperatura. (Dea Ingeniería, 2015)

Un ejemplo de esto es un gas en un cilindro que se comprime mediante un pistón que se mueve. La compresión se lleva a cabo como resultado de la aplicación de una fuerza que es el movimiento del pistón. La energía se transfiere desde el pistón hacia el gas encerrado. Esta transferencia de energía es el trabajo en el sentido termodinámico de la palabra.

El resultado de realizar un trabajo puede tener muchas consecuencias, tales como cambios en la energía potencial, la energía cinética o la energía térmica. El trabajo mecánico asociado con cambios en el volumen de una mezcla de gases es uno de los procesos más importantes en la ingeniería termodinámica.

La unidad del SI para el trabajo es el Joule: 1 J = 1Nm = 1 Ws.

Caudal volumétrico

El caudal volumétrico de un sistema es una medida del volumen de fluido que circula por unidad de tiempo. Se puede calcular como el producto del área de la

sección transversal al flujo por el caudal promedio. La unidad del SI para el caudal volumétrico es m³/s. (Dea Ingeniería, 2015)

Es habitual emplear la unidad de litros/segundo (l/s) para referirse al caudal volumétrico (también llamado capacidad) de un compresor. Puede ser expresado como Normal litros/segundo (NI/s) o como Suministro de aire libre FAD (l/s).

La expresión NI/s representa el caudal de aire calculado en el “estado normal”, es decir, por convención 1.013 bar(a) y 0°C. La unidad normal NI/s se emplea habitualmente cuando se especifica un caudal másico. La expresión aire libre suministrado (FAD), representa el caudal de aire en las condiciones de entrada estándar (presión de entrada 1bar(a) y temperatura de entrada de 20°C). (Dea Ingeniería, 2015)

La relación entre los dos tipos de expresión es:

$$q_{FAD} = q_N \times \frac{T_{FAD}}{T_N} \times \frac{p_N}{p_{FAD}} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$q_{FAD} = q_N \times \frac{(273 + 20)}{273} \times \frac{1.013}{1} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

q_{FAD} = caudal de aire libre [l/s]

q_N = caudal volumétrico normal [NI/s]

T_{FAD} = temperatura estándar de admisión [20°C] en K

T_N = temperatura normal de referencia [0°C] en K

p_{FAD} = presión estándar de admisión [1,0 bar(a)]

p_N = presión normal de referencia [1,013 bar(a)]

O también puede ocuparse la siguiente ecuación:

$$Q_{al} = \frac{Q_{ac} \times (P + 1.013)}{1.013} \quad (\text{Ec. 5})$$

Q_{al} = litros de aire libre por minuto

Q_{ac} = litros de aire comprimido por minuto

P = presión del aire comprimido en bar

3. 2 Leyes de los gases

Aun cuando el aire es una mezcla de varios gases, se comporta como un gas perfecto o ideal, con una desviación muy insignificante respecto de éste. Como

consecuencia, las dos leyes de los gases conocidas como ley de Boyle y ley de Charles se aplican por igual al aire. A continuación, se da una breve exposición sobre estas dos leyes:

3.2.1 Ley de Boyle

La ley de Boyle afirma que, si la temperatura permanece constante, la presión de una masa confinada de gas variará inversamente con su volumen. (Majumdar, 1998) Por consiguiente, si P es la presión absoluta de un gas y V es su volumen entonces, según la ley de Boyle (Fig. 31):

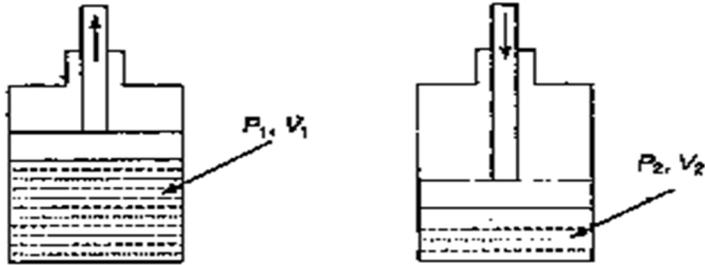


Figura 31. Ley de Boyle: P_1 = presión inicial; P_2 = presión final; V_1 = volumen inicial; V_2 = volumen final; $P_1V_1 = P_2V_2$

$$P \propto \frac{1}{V} \quad (\text{Ec. 6})$$

o sea

$$PV = \text{constante} \quad (\text{Ec. 7})$$

Por lo tanto, se puede escribir que

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 \cdots P_nV_n \quad (\text{Ec. 8})$$

en donde P_1, P_2, P_3, P_n y V_1, V_2, V_3, V_n , etc. son la presión y el volumen del gas en las posiciones respectivas.

De donde, se puede ver que

$$P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} \quad (\text{Ec. 9})$$

y, de manera análoga

$$P_3 = \frac{P_1 V_1}{V_3} \quad (\text{Ec. 10})$$

3.2.2 Ley de Charles

La ley de Charles afirma que, si permanece la presión constante, el volumen de una masa dada de gas variará directamente según su temperatura absoluta. (Majumdar, 1998)

Si T_1 y T_2 son las temperaturas absolutas inicial y final, respectivamente, y, V_1 y V_2 son los volúmenes inicial y final de una masa dada de gas, entonces

$$V_1 \propto T_1 \quad (\text{Ec. 11})$$

Por lo tanto,

$$T_2 = \frac{V_2 \times T_1}{V_1} = \frac{V_2}{V_1} T_1 \quad (\text{Ec. 12})$$

Por consiguiente,

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ o sea } \frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$T_2 = \frac{V_2 \times T_1}{V_1} = \frac{V_2}{V_1} T_1 \quad (\text{Ec. 14})$$

3.2.3 Leyes combinadas de los gases

Para la misma masa de gas que sigue las leyes de un gas ideal, las dos leyes antes enunciadas se pueden expresar en una forma combinada, como sigue:

$$\frac{PV}{T} = mR \quad (\text{Ec. 15})$$

En donde P = presión absoluta (kg/cm²) (abs) u otras unidades

V = volumen (m³)
 T = temperatura absoluta (K)
 m = masa del gas (kg)
 R = constante de los gases

La constante de los gases (R) es la cantidad de trabajo requerida para elevar la temperatura de una masa de 1 kg del gas en un kelvin. (Majumdar, 1998)

3.3 Unidad de presión

Aunque el kg/cm² todavía se usa como unidad de presión, en realidad no es del todo correcto. Al ser el kilogramo la unidad de masa, no debería usarse como unidad de fuerza (en tal caso, a menudo se escribe kgf, para indicar que se trata del kilogramo fuerza). De acuerdo con el sistema SI de unidades, la unidad de fuerza es el newton (N) y la de área es el metro cuadrado (m²). Por lo tanto, la unidad de presión, según la definición de ésta, debe ser 1 N/m². (Majumdar, 1998)

1 N/m² se llama 1 pascal (Pa) en el sistema SI.

Según las normas ISO, 100 000 Pa = 1 bar, o sea, 10⁵ Pa = 1 bar. En donde el bar se ha aceptado como una unidad adicional de presión, para el uso industrial, en el sistema SI:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 1\,000 \text{ mbar} = 750 \text{ torr}, 1 \text{ torr} = 1 \text{ mm de Hg}$$

Tabla 17. Unidades del SI

Nº	Cantidad	Unidad y símbolo del SI	Unidad FPS	Factor de conversión del FPS al SI
1	Longitud	metro (m)	pie	1 ft = 0.3048 m
2	Angulo plano	radián (rad)	grado	1° = 71/180 rad
3	Área	metro cuadrado (m ²)	pie cuadrado	1 ft ² = 0.09290304 m ² = 9.2903 x 10 ⁻² m ² 1 in ² = 6.4516 x 10 ⁻⁴ m ²
4	Volumen	metro cúbico (m ³)	pie cúbico	1 ft ³ = 0.028316 m ³ = 2.8316 x 10 ⁻² m ³
5	Tiempo	segundo (s)	segundo (s)	-
6	Velocidad	metro/segundo (m/s)	pie/segundo	1 ft/s = 0.3048 m/s
7	Velocidad angular	radián/segundo (rad/s)	-	-
8	Frecuencia de rotación	recíproco de segundo (s ⁻¹)	-	-
9	Gasto	metro cubico por segundo (m ³ /s)	pie cúbico/segundo o galón/minuto	1 ft ³ /min = 4.7183 x 10 ⁻⁴ m ³ /s 1 g.p.m.= 75.8 x 10 ⁻⁶

				m ³ /s
10	Masa	kilogramo (kg)	libra	1 lb = 0.4536 kg
11	Densidad	kilogramo por m ³ (kg/m ³)	libra por pie cúbico o libra por pulgada cúbica	1 lb/in ³ = 27.6804 x 10 ³ kg/m ³
12	Fuerza	newton (N)	libra fuerza	1 lbf = 4.45 N
13	Peso específico	newton por m ³ (N/m ³)	lbf/in ³	1 lbf/in ³ = 271.55 x 10 ³ N/m ³
14	Torque (momento de torsión)	newton-metro (N • m)	ft • lbf	1 ft • lbf = 1.3563 N • m
15	Presión	Pascal o newton/metro cuadrado 1 Pa = 1 N/m ²	lbf/in ²	1 lbf/in ² = 6895 N/m ²

3.4 Medición del volumen

En el sistema métrico, una unidad usada con frecuencia para medir volúmenes es el litro (L; 1 L es, por definición, 1 dm³, es decir, 1 L = 10⁻³ m³). Al ser el aire un material compresible, el volumen cambia según la presión. De acuerdo con la ley de Boyle, a temperatura constante, la presión y el volumen de una masa contenida de aire son inversamente proporcionales. Pero en todas las estimaciones prácticas sólo se considera la necesidad de aire a la presión atmosférica normal. La capacidad de un compresor se expresa por: a) la cilindrada o volumen barrido y b) la cantidad de aire, a la presión atmosférica, por minuto que puede entregar, a una velocidad particular. (Serrano, 2009)

El cálculo del volumen barrido y la entrega de aire libre se puede realizar, para los compresores del tipo recíprocante, como se indica a continuación:

Volumen barrido = área de la sección transversal del cilindro x carrera x rpm

Entrega de aire libre = volumen barrido x eficiencia volumétrica (η_{vol}); es decir,

$$Q_l = Q_b \eta_{vol} \quad (\text{Ec. 16})$$

En donde Q_b = volumen barrido, Q_l = entrega de aire libre.

3.5 Características esenciales de los componentes neumáticos

Considerando temperaturas normales de utilización, las características más importantes de los aparatos neumáticos son la presión y el caudal admisible. Cuanto mayor sea el elemento, mayores serán los conductos interiores y, por lo tanto, mayores también los caudales admisibles.

El caudal necesario en una instalación dependerá del tamaño de los cilindros y de otros actuadores, y de la velocidad que en dichos elementos se pretenda conseguir. La elección del paso de las válvulas y del resto de los componentes dependerá de esas variables.

Debido a la compresibilidad del aire, la medida del caudal que es capaz de proporcionar un elemento neumático resulta un tanto compleja cuando se emplea como fluido dicho elemento. Para resolver este problema, lo que se hace en la práctica es emplear agua y determinar un parámetro que pueda compararse con el caudal permitido de aire. (Serrano, 2009)

3.6 Sistema neumático y disposición de la tubería

Un sistema neumático comprende una planta de compresores, tuberías, válvulas de control, miembros accionados y aparatos auxiliares relacionados. El aire se comprime en un compresor ex profeso y de la planta en donde se encuentra éste, el medio de flujo se transmite hasta el cilindro neumático a través de un sistema de tuberías bien tendidas. Para mantener la eficiencia óptima del sistema neumático, es de vital importancia que la caída de presión entre la generación y el consumo del aire comprimido se mantenga muy baja. Se ha visto que los accesorios y las juntas de la tubería son los principales causantes de la caída de presión, si la hay, en el sistema neumático. Por lo tanto, es en extremo esencial que los diseñadores y el personal de mantenimiento de los sistemas neumáticos tengan sumo cuidado sobre este particular, en especial al seleccionar el diámetro de la tubería.

3.6.1 Sistema básico

En las industrias modernas, el sistema neumático se usa como medio de mecanización y automatización del lugar de trabajo, en donde una parte importante del trabajo manual y tedioso puede ser reforzado mediante controles neumáticos para lograr una producción rápida y económica.

En seguida se listan las necesidades del sistema básico para la introducción de la neumática en una planta:

1. Planta de compresores. La planta de producción en la que se usen herramientas neumáticas, etc., debe equiparse con la planta de aire comprimido de capacidad apropiada para satisfacer la necesidad de este aire de los sistemas.
2. Tubería. Debe tirarse un sistema de tubería bien tendido para el aire comprimido, desde la planta de compresores hasta el punto de consumo de la energía neumática en las diversas secciones de la planta en donde se van a introducir dispositivos y sistemas neumáticos.
3. Válvulas de control Se usan diversos tipos de válvulas de control para regular, controlar y monitorear la energía neumática, con el fin de controlar la dirección, la presión, el flujo, etcétera.

4. Actuador neumático. Se utilizan diversos tipos de cilindros y motores neumáticos para realizar el trabajo útil para el cual se diseña el sistema neumático, como usar cilindros para el movimiento lineal de plantillas, artefactos, alimentación de materias primas, etcétera.
5. Aparatos auxiliares. Es posible que deban usarse diversos tipos de equipo auxiliar en el sistema neumático, con el fin de lograr un mejor rendimiento, facilitar el control y obtener una mayor confiabilidad. (Majumdar, 1998)

3.6.2 Generación del aire comprimido

La presión promedio en la línea, en el sistema neumático, es de 6 bar (manométrica), según lo recomiendan las normas o las necesidades normales de la industria. Por consiguiente, se requiere un compresor de aire para generar presión sólo alrededor de este valor. En una fábrica pequeña, que puede requerir una alimentación moderada de aire comprimido, puede ser suficiente cualquier tipo de compresor portátil para aire con dos etapas, para alimentar esta cantidad de presión. Para las plantas más grandes, se pueden usar otros tipos de compresores de alta capacidad, según se necesite. En su mayor parte, los compresores de aire son estacionarios y son accionados por motores diésel o eléctricos. En la industria se utilizan principalmente compresores del tipo reciprocante. Un compresor de aire que es muy popular para los sistemas de bajo volumen y baja presión es el rotatorio del tipo de paletas. En este caso, la cámara de aire se forma por la pared de la carcasa y el rotor y la paleta. (Majumdar, 1998)

3.6.3 Compresores o generadores de aire comprimido

Aunque no se encuentra directamente conectado al sistema neumático, el compresor de aire desempeña un papel vital en el rendimiento global del sistema. En la industria se usan diversos tipos de compresores de aire; pero los de desplazamiento positivo son los más populares. Los compresores de desplazamiento positivo se clasifican como del tipo rotatorio, por ejemplo, compresores del tipo de espirales, de lóbulos, de paletas y reciprocantes (como el compresor de aire de pistón). En ciertas aplicaciones, es esencial que el aire comprimido no contenga aceite; esto se logra por medio del compresor de aire reciprocante del tipo de diafragma. El tanque de compresión es un equipo importante en la familia del compresor. Con el fin de contar con una alimentación ininterrumpida de aire comprimido, se debe seleccionar un tanque del tamaño óptimo. También debe darse importancia a la condensación de la humedad, al seleccionar e instalar una planta de compresores.

Tipos de compresores de aire

Existen dos tipos básicos de compresores: i) de desplazamiento positivo y ii) turbocompresor. La distinción principal entre ellos se encuentra en el método de transferencia de la energía y generación de la presión. (Majumdar, 1998)

- i. Los compresores de desplazamiento positivo trabajan sobre el principio de incrementar la presión de un volumen definido de aire al reducir ese volumen en una cámara encerrada.
- ii. En el compresor dinámico (turbocompresor) se emplean paletas rotatorias o impulsores para impartir velocidad y presión al flujo de aire que se está manejando. La presión proviene de los efectos dinámicos, como la fuerza centrífuga.

Los compresores de desplazamiento positivo se subdividen en dos grupos: compresores i) del tipo recíprocante y ii) del tipo rotatorio.

Clasificación de los compresores

Existen muchas características geométricas y de operación de los compresores de aire, las que conducen a diversos tipos de clasificación de los mismos. Dependiendo de las diversas características, la clasificación se puede hacer de varias maneras:

1. Como compresores de simple o de doble acción, por su número de etapas; a saber, una, dos, tres o múltiples etapas.
2. Según la disposición de los cilindros con relación al cigüeñal (es decir, cilindros en posición vertical, en línea, horizontal, en V, radial, etcétera.)
3. Por la disposición geométrica o de los cilindros usada para obtener las etapas del compresor; a saber, vertical, horizontal, en V, etcétera.
4. Por la manera de impulsar el compresor o por el motor primario, como impulsados por motor diésel, por motor eléctrico, por turbina de gas, etcétera.
5. Por la condición del aire comprimido; a saber, contaminado con aceite lubricante o sin aceite.
6. Por la condición del montaje o su calidad de portátil; a saber, compresor portátil, compresor estacionario o compresor montado en patines.
7. Por el medio de enfriamiento aplicado; a saber, enfriado por aire, enfriado por agua, compresor de líquido inyectado, etcétera.

Invariablemente, los compresores de aire se especifican en términos de su capacidad de entrega de aire libre y de la presión del aire comprimido en el punto final de descarga. En este punto, resultaría pertinente definir los compresores de aire de simple y de doble acción.

De simple acción. La compresión se lleva a efecto en el espacio a uno de los lados del pistón, con una carrera de compresión por etapa para cada revolución del cigüeñal. En la figura 36 (b) se ilustra este tipo.

De doble acción. En este caso, la compresión se realiza sobre las dos caras del pistón, dando lugar a dos carreras de compresión por cada rotación de la manivela y del cigüeñal. Por consiguiente, con este tipo de disposición, se podría usar cada

cilindro como un compresor de etapas múltiples, si el aire comprimido de uno de los lados se alimenta al otro lado del pistón. En la figura 32 (c) se da un esquema de un cilindro de doble acción.

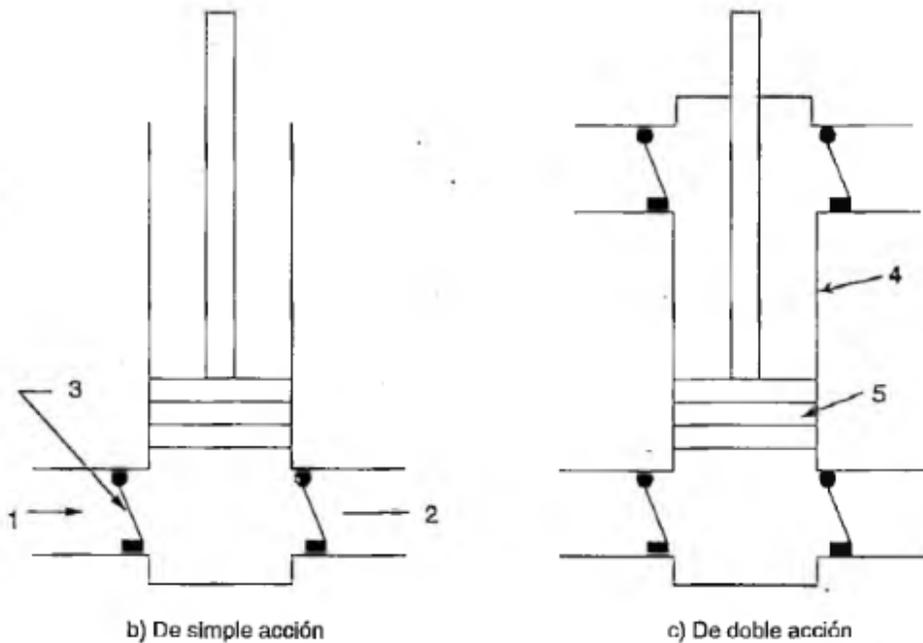


Figura 32. b) De simple acción; c) de doble acción: 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvulas de placa, 4. Bloque del cilindro, 5. Pistón.

Tipos de compresores de aire de desplazamiento positivo

Los compresores de desplazamiento positivo incluyen máquinas reciprocantes, como las de pistón y de diafragma, y máquinas rotatorias del tipo de paletas, de engrane, de espirales y de lóbulos. En estas máquinas, la elevación de la presión requiere un pequeño o ningún espacio libre más algún método de lubricación y, por lo tanto, el gas comprimido puede quedar sujeto a contaminación por parte del lubricante. Sin embargo, algunos compresores especiales del tipo reciprocante o de paletas con anillos del pistón o paletas de carbón están diseñadas para funcionar sin aceite lubricante. (Majumdar, 1998)

Compresores reciprocantes del tipo de pistón

Son muy variados, incluyendo máquinas especiales para necesidades poco comunes. La relación máxima de compresión puede ser tan elevada como de 10 por etapa; existen compresores de dos etapas para relaciones de compresión mayores que ocho. La aplicación de etapas múltiples puede producir presiones de descarga hasta de 300 kg/cm²; pero difícilmente se observa una presión tan elevada en un sistema neumático. En la figura 33 se muestran tres tipos diferentes de compresores de aire de pistón. En general, según la disposición de los cilindros, estos compresores se encuentran en diseños vertical (Fig. a), horizontal

(Fig. b) y radial (Fig. c). Sin embargo, el compresor de aire de uso más común en la industria es el reciprocante, horizontal, enfriado por aire, para un rango de presiones de 7 a 12 kg/cm². Pueden ser de una sola etapa o de etapas múltiples (por lo común, sólo de dos o tres etapas).

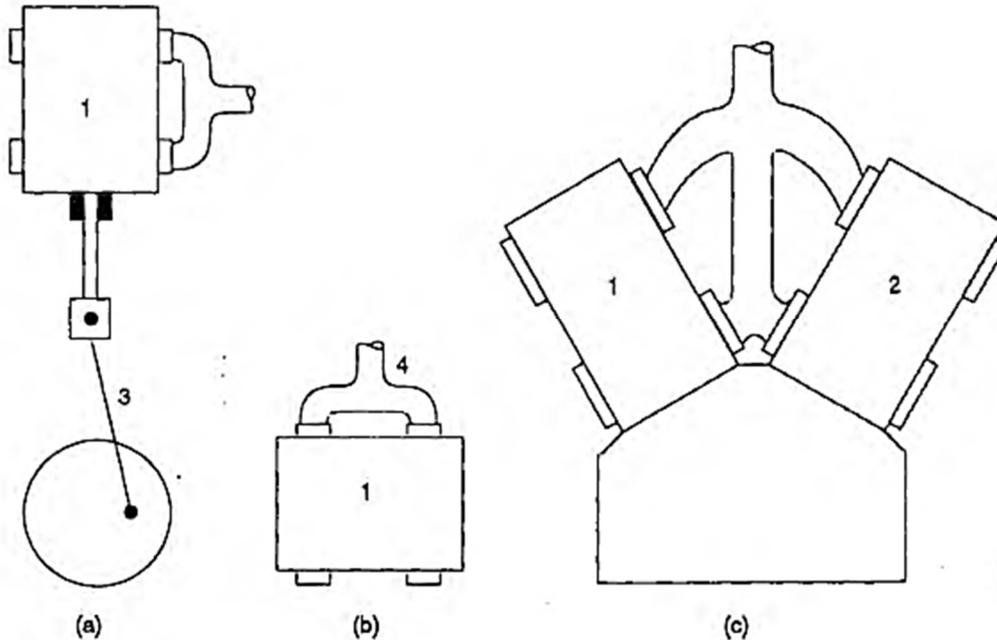


Figura 33. Tres tipos de compresores reciprocantes de aire: a) Vertical, b) Horizontal, c) Radial. 1 y 2. Bloque del cilindro, 3. Conjunto de la biela, 4. Tubo de descarga.

Los compresores de una sola etapa son aquellos en que la compresión, desde la presión en la admisión hasta la de descarga, se realiza en un solo paso; es decir, en un compresor reciprocante se lleva a efecto en una sola carrera del pistón. Los compresores de etapas múltiples son aquellos en que la compresión se realiza en dos o más pasos o etapas distintas. En un compresor reciprocante, los pasos sucesivos suelen producirse en cilindros separados. (Majumdar, 1998)

En la figura 34 se muestran varias partes exteriores de un compresor de aire del tipo reciprocante:

1. Válvula de salida del agua
2. Válvula de salida del aire
3. Válvula de seguridad
4. Manómetro
5. Interruptor accionado por la presión
6. Tanque de compresión
7. Base para el motor eléctrico
8. Protección de seguridad
9. Filtro de admisión
10. Base del compresor

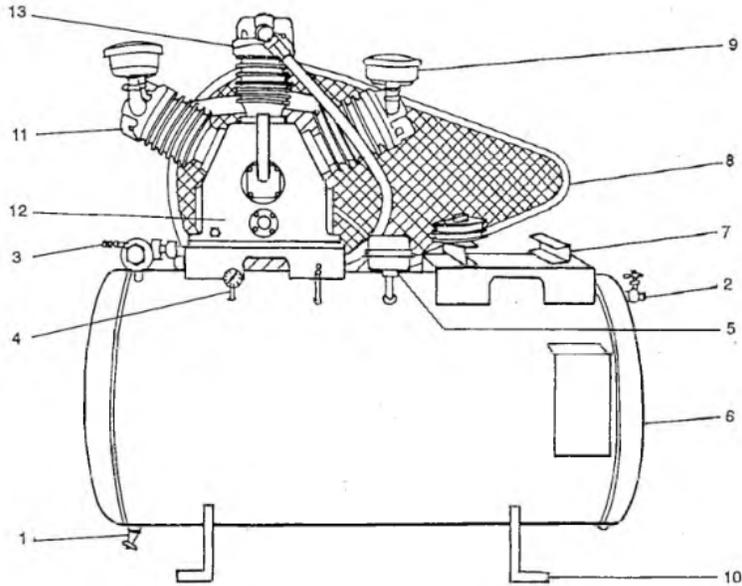


Figura 34. Partes de un compresor recíprocante de aire.

3.6.4 Depósitos y acumuladores intermedios.

En una instalación de compresores, pueden incluirse uno o más receptores (acumuladores o tanques pulmón) de almacenamiento de aire. Su tamaño se calcula en función de la capacidad del compresor, el sistema de regulación y los requisitos del patrón de consumo de aire. El depósito de aire forma una zona de almacenamiento intermedio para el aire comprimido que absorbe las variaciones debidas al funcionamiento intermitente del compresor, enfría el aire y acumula la condensación. En consecuencia, el acumulador de aire debe estar equipado con un dispositivo de drenaje de condensados.

Cuando la demanda de aire comprimido presenta picos de gran consumo en períodos cortos de tiempo, no es económicamente viable dimensionar el compresor o la red de tuberías exclusivamente para este patrón de consumo extremo. En este supuesto debe ser colocado un acumulador de aire por separado cerca del punto de consumo y dimensionarlo de acuerdo con el consumo de aire máximo. (Dea Ingeniería, 2015)

En casos más extremos, se utiliza un compresor de alta presión junto con un acumulador de grandes dimensiones que sea capaz de satisfacer, a corto plazo, altos requerimientos de volumen de aire durante intervalos cortos.

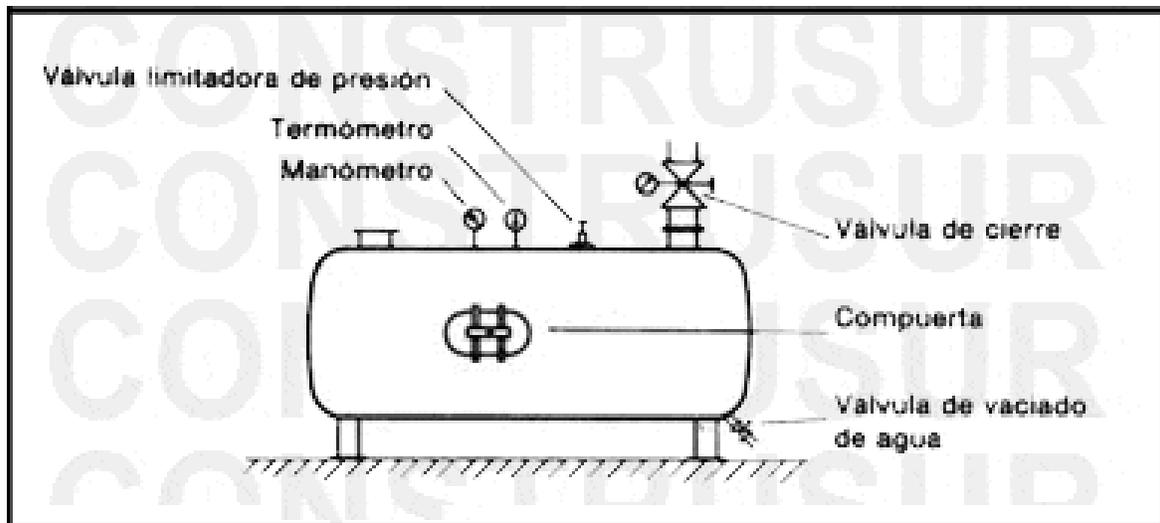


Figura 35. Tanque acumulador de aire comprimido.

3.7 Selección de la tubería para el sistema neumático

En la mayor parte de las plantas, el compresor de aire se coloca a cierta distancia del taller principal y del área de instalaciones; es decir, del punto real de consumo, debido a razones del problema de ruido llevado por el aire o relacionadas con la seguridad de la maquinaria y otros problemas de operación, como la transmisión de vibración al demás equipo. El aire comprimido se almacena en un tanque de compresión, del cual se lleva hacia el punto de consumo por medio de una tubería. Al tender la tubería neumática para el sistema, se debe tener suficiente cuidado y poner atención en ver que la caída de presión, desde el punto de generación hasta el de consumo, permanezca tan baja como se pueda. Por razones económicas, siempre es mejor si la caída total de presión se limita a un valor máximo de 0.1 bar, o incluso menos. Algunas de las normas internacionales prescriben un valor de 0.01 bar para una presión en la línea de 6 bar (manométrica), debido a necesidades específicas de operación. Al seleccionar los tubos neumáticos y otras instalaciones de la línea de aire, se toman en cuenta los factores siguientes:

1. Presión del aire en la línea.
2. Gasto total a través de la línea.
3. Caída de presión admisible en la línea.
4. Tipo del material del tubo y tipo de accesorios de la línea.
5. Longitud y diámetro del tubo o de otras tuberías.
6. Medio ambiente de trabajo, etcétera.

3.7.1 Sistema de circuito cerrado en la disposición de la tubería

Al tender el sistema de tuberías del aire comprimido, el único factor al que se le debe dar una importancia primordial es el de reducir la caída en la presión en el extremo más alejado de la tubería. Esto es muy importante para el uso económico global del aire comprimido. Con el fin de lograrlo, es esencial que se use el tipo de tubería de circuito cerrado, como se ilustra en la figura 36, y debe descartarse,

tanto como se pueda, la disposición de la tubería en largas distancias rectas. Se deben utilizar un número mínimo de codos en la línea para mantener lo más bajas que se puedan las pérdidas debidas a la fricción.

Otro factor que a menudo plantea problemas de mantenimiento es librarse del agua acumulada en la tubería. Para esto, es esencial que la tubería (en especial si se debe tirar una tubería más larga) tenga un gradiente de 6 a 10 mm por metro. En cada punto de desviación de la línea, deben colocarse colectores adecuados para el agua. En la figura 36, se pueden observar varios puntos de extracción de la tubería principal de un sistema neumático. La línea principal horizontal se encuentra sobre el muro con una pendiente. Las líneas de alimentación se toman de la parte superior de la tubería, a través de codos. En cada ramal se usan varias válvulas de cierre para que actúen como aisladoras. El tubo vertical se tira hacia abajo hasta el suelo para separar el agua a través de un separador ex profeso. (Majumdar, 1998)

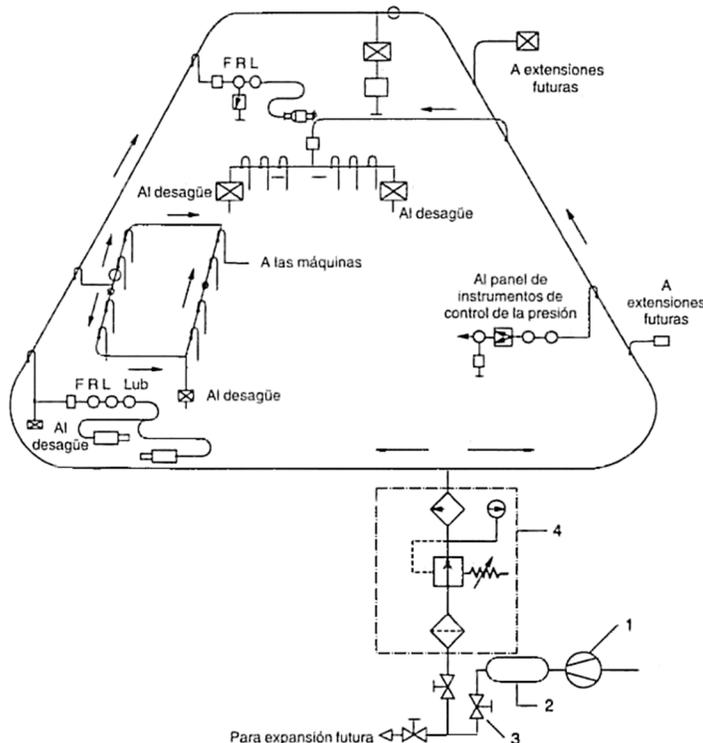


Figura 36. Disposición del tipo de circuito cerrado para la línea de aire: 1. Compresor de aire, 2. Tanque de compresión, 3. Válvula de conexión y desconexión, 4. Unidad de filtro-lubricador-regulador. (British Compressed Air Society)

3.7.2 Caída de presión en la línea neumática

Debido a la fricción del flujo en el interior de la tubería y a otras pérdidas y resistencias, siempre existe una caída en la presión del aire saliente. Los ingenieros han aplicado diversas fórmulas empíricas para calcular la caída de presión. En seguida se da una fórmula muy común:

$$\Delta P = \frac{1.6 \times 10^3 \times Q^{1.85} L}{d^5 P_1} \quad (\text{Ec. 17})$$

en donde

ΔP = caída en la presión, en Pa

L = longitud de la tubería, en m

Q = volumen del aire libre, en m³/s

d^5 = diámetro interior del tubo, en m

P_1 = presión absoluta del aire a la entrada del tubo, en Pa

Con bastante frecuencia, el valor de la fricción depende de diversos factores, como la temperatura, la velocidad del aire en el tubo, etcétera. De donde, en ciertos casos, se puede usar la fórmula que sigue para la caída de presión:

$$\Delta P = \frac{\beta}{RT} \frac{v^2}{d} \cdot L \cdot p \quad (\text{Ec. 18})$$

en donde ΔP = caída en la presión, en bar

p = presión del aire, en bar (absoluta)

R = constante de los gases; para el aire = 29.27

T = temperatura absoluta (273 + t), K

t = temperatura del aire, en °C

d = diámetro interior del tubo, en mm

L = longitud total del tubo, en m

v = velocidad del aire en el tubo = $\frac{m^3/min}{60 p} \frac{1000}{cm^2 sección tub.}$

β = coeficiente de resistencia, es una función variable con G

G = es la cantidad de aire suministrado, G = 1.3 x Q (m³/min) x 60 (kg/m).

En la siguiente tabla se expone el valor de β en función del valor de G:

Tabla 18. Coeficiente de resistencia.

G	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650
β	2.03	1.92	1.78	1.66	1.54	1.45	1.36	1.26	1.18	1.10

También se estuvo usando otra fórmula empírica (fórmula de Harris), la cual se expresa

$$\Delta P = \frac{CLQ^2}{r d^5} \cdot L \cdot p \quad (\text{Ec. 19})$$

en donde ΔP = caída de presión, psi

C = coeficiente empírico, = 0.31 para los tubos de acero

Q = pies cúbicos de aire libre por segundo

L = longitud del tubo, pies

d = diámetro interior del tubo, pulgadas

p = presión del aire en psi

Sin embargo, en la práctica industrial, es posible que no sea necesario usar las fórmulas antes dadas, ya que se ha encontrado más fácil averiguar la caída de presión y seleccionar el diámetro apropiado de tubo a partir de diversos nomogramas que se usan con esta finalidad. (Ver anexo C)

Un mecánico de mantenimiento debe tener presente que, como la presión en la tubería en un sistema neumático no es muy alta, la atención de los aspectos de mantenimiento (tanto preventivo como por averías) de las tuberías y tubos debe centrarse más en la posibilidad de daños debidos a la corrosión, en lugar de daños por estallido de tubos, que rara vez puede producirse. (Majumdar, 1998)

En el caso de que deban tenderse tuberías largas desde las líneas principales de aire, deben tomarse medidas suficientes para colocar ménsulas intermedias con el fin de impedir, si es posible, que el tubo se cuelgue por en medio. En ciertos casos de aplicación crítica, la atención se debe centrar en minimizar los efectos de la vibración debida a choques o a otros problemas mecánicos asociados y relacionados, como la vibración inducida por el propio compresor de aire. En el tendido de una tubería se usan una gran cantidad de accesorios. Algunos de ellos se muestran en la figura 37.

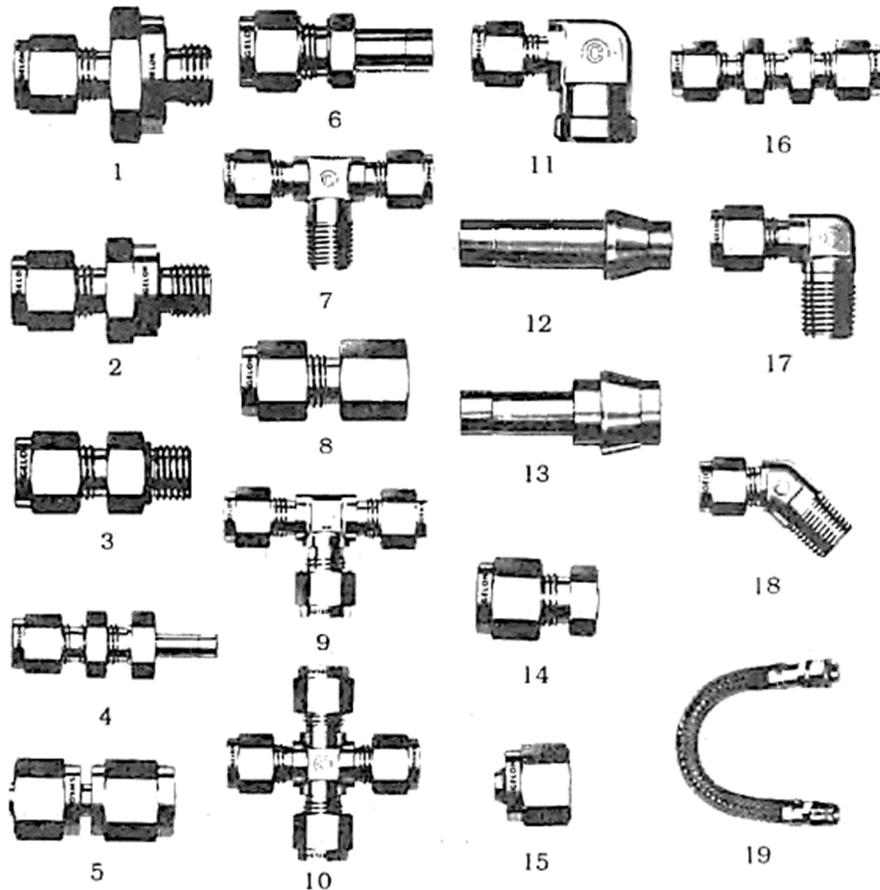


Figura 37. Accesorios para tubos de líneas de aire: 1. Rosca de tubería de conector macho con empaquetadura en O (O-seal), 2. Conector de rosca cilíndrica con empaquetadura en O, 3. Cubo de rosca cilíndrica para conector macho, 4. Reductor de obturación, 5. Bloque de recalcar para un adaptador, 6. Reductor, 7. T múltiple macho, 8. Conector hembra, 9. Unión en T, 10. Unión en cruz, 11. Codo hembra, 12. conector de orificio, 13. Conector reductor de orificio, 14. Casquete, 15. Tapón, 16. Unión de obturación, 17. Codo macho, 18. Codo macho de 45°, 19. Conector flexible de manguera metálica.

3.8 Materiales de tubos

Si la presión en el sistema es bastante alta, los materiales de los tubos y sus propiedades físicas y metalúrgicas se convierten en un parámetro importante para su correcta selección. Pero como el sistema neumático suele trabajar a una presión mucho más baja en comparación con un sistema hidráulico, es posible que no se necesite un material de extraordinaria alta resistencia para las tuberías y accesorios del neumático. A continuación, se da una lista de los materiales de uso más común para los tubos estándar y especiales de los sistemas neumáticos:

1. Tubos de hierro galvanizado (tubos H.G.)
2. Tubos de hierro fundido
3. Tubos especiales de cobre
4. Tubos especiales de aluminio
5. Manguera de caucho
6. Manguera de plástico y de nylon

7. Tubo de acero de alta resistencia
8. Tubos especiales de latón
9. Manguera de caucho o de plástico reforzados, etcétera.

Para las líneas principales de aire, pueden resultar satisfactorios los tubos estándar de hierro forjado o de negro o galvanizado. En la mayor parte de los casos, para los ramales de un circuito neumático son de uso generalizado los tubos especiales de cobre, latón o de material sintético.

3.8.1 Capacidad nominal de presión para los materiales de tubos

Debido a la aplicación a baja presión de la neumática, este concepto puede no ser un criterio muy importante para la selección de los tubos del sistema de aire comprimido. Pero el mecánico de mantenimiento debe tener una idea del rango de presiones para todos estos materiales. En la tabla 20, a continuación, se da el rango de presiones tolerables para algunos tipos comunes de tuberías.

Tabla 19. Presiones nominales de los materiales para tubos.

N°	Material del tubo	Presión máxima (bar)
1	Cobre	250
2	Aluminio	125
3	Latón	200
4	Acero inoxidable	2,500-4,500
5	Polietileno a 80°C	12-15
6	Nylon 100°C	7-10
7	Vinilo a 25°C	8-10
8	Caucho a 80°C	3-7

Al instalar un sistema neumático, no se debe olvidar la colocación de un filtro adecuado entre las líneas principales y el circuito. Con esto se garantizará que toda el agua y cualquier otra materia extraña indeseable serán separadas en esta etapa. Con ello se evitará que los cilindros y las válvulas de control del sistema resulten dañadas por la presencia de partículas extrañas transportadas por el aire.

Al instalar las tuberías, deben considerarse los siguientes puntos, para facilitar el servicio a la línea:

1. Véase que las líneas principales de aire sean accesibles desde todos los lados (para facilitar la inspección). Si es posible, no se empotren las líneas en obras de ladrillo o en ductos angostos.
2. A los tendidos horizontales de la línea de aire se le debe dar una pendiente del uno al dos por ciento, en la dirección del flujo.
3. La línea principal de aire no se debe terminar en un punto en donde se tenga una ramificación adicional de las líneas hacia puntos de consumo. Se debe colocar una trampa de agua en el extremo de cada ramal.

4. Los ramales siempre deben arrancarse desde la parte superior de la línea principal, como se ilustra en la figura 38. (Majumdar, 1998)

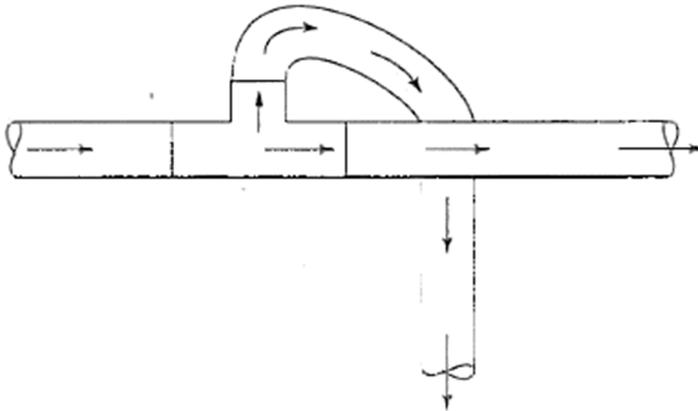


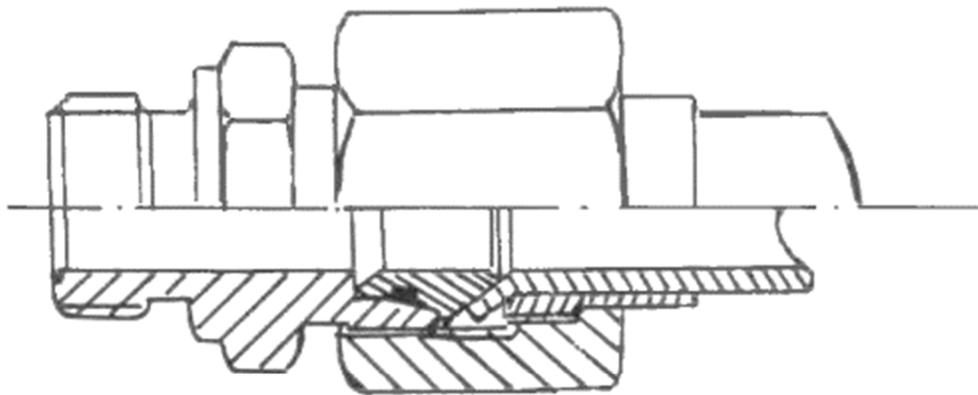
Figura 38. Ramificación de las líneas neumáticas.

3.8.2 Ajustes de la tubería

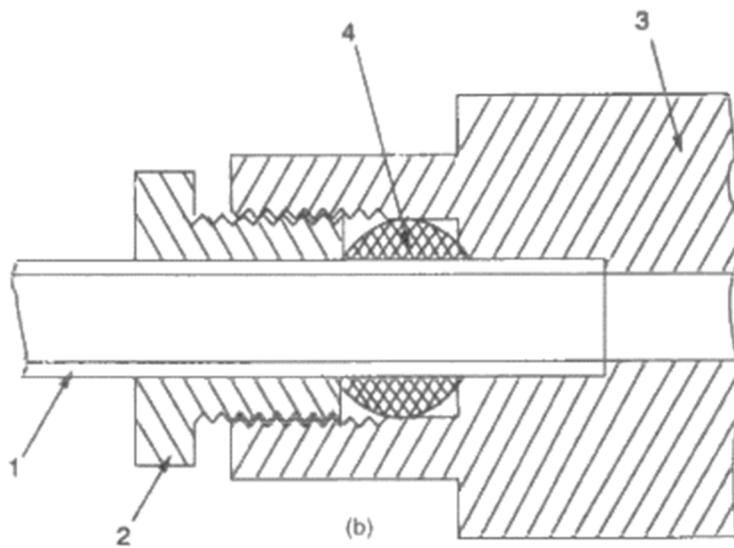
En las redes neumáticas se emplean diversos tipos de ajustes para las tuberías. En una conexión permanente con tubos metálicos, se pueden utilizar soldaduras suaves o autógenas. Esto beneficiaría a impedir probables fugas a través de la conexión. Pero una conexión con soldadura puede crear problemas, como el de tener incrustaciones en el tubo, ocasionadas por efectos de calentamiento. Por este motivo, las conexiones permanentes no son populares en los sistemas de aplicación de la energía de fluidos. En aplicaciones generales, se opta por los ajustes siguientes:

- I. Accesorios para tubo acampanado o accesorio abocinado.
- II. Accesorio del tipo de compresión o accesorio de casquillo
- III. Conectores y acoplamiento rápidos

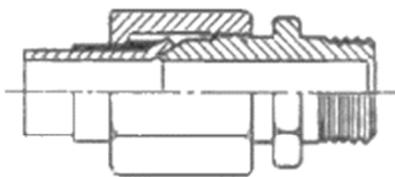
Generalmente estos accesorios se usan en los sistemas neumáticos con tubos de hasta 20 mm (3/4") de diámetro. Si se usan tubos estándar y especiales de materiales dúctiles, las conexiones de los elementos serán producidos mediante el empleo de un collar, sobre el que se aprieta una tuerca, para asegurar un buen agarre del tubo. Este sellado se efectúa por el ajuste de los extremos de los tubos en el casquillo. En la figura 39, (a), (b) y (c) se muestran algunos accesorios sencillos del tipo de casquillo y otros. (Majumdar, 1998)



(a)



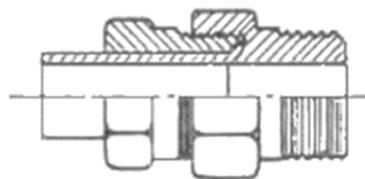
(b)



Tipo de tres piezas



Compresión del tipo de mordedura, sin abocinado



Tipo de abocinado invertido

(c)

Figura 39. (a) Tuerca de compresión con tubo abocinado; (b) Conexión de compresión con casquillo: 1. Tubo metálico, 2. Tuerca de apretadura, 3. Unión de cubo, 4. Casquillo; (c) Ajustes típicos de tubos

3.8.3 Conectores roscados

En la figura 40 se muestran conexiones con tes, uniones, etc. en un sistema de línea neumática. Las conexiones roscadas son sencillas, compactas y se pueden realizar y desconectar con facilidad. Las roscas cónicas son las más adecuadas para los conectores roscados, se logra el sellado más eficiente si la conicidad en la unidad macho es ligeramente mayor que la de la unidad hembra. También se usan roscas idénticas, pero, al conectarse, a la unidad macho se le debe enrollar cinta de Teflón. En la industria (de la India), las roscas British Standard Pipe (Tubo de Norma Británica) son las de forma más favorable que se usan. De acuerdo con la BS 980, los diámetros exteriores de los tubos se encuentran estandarizados. También se usan mucho la NPT y la NPTF (de sello en seco) de las normas de Estados Unidos. (Majumdar, 1998)

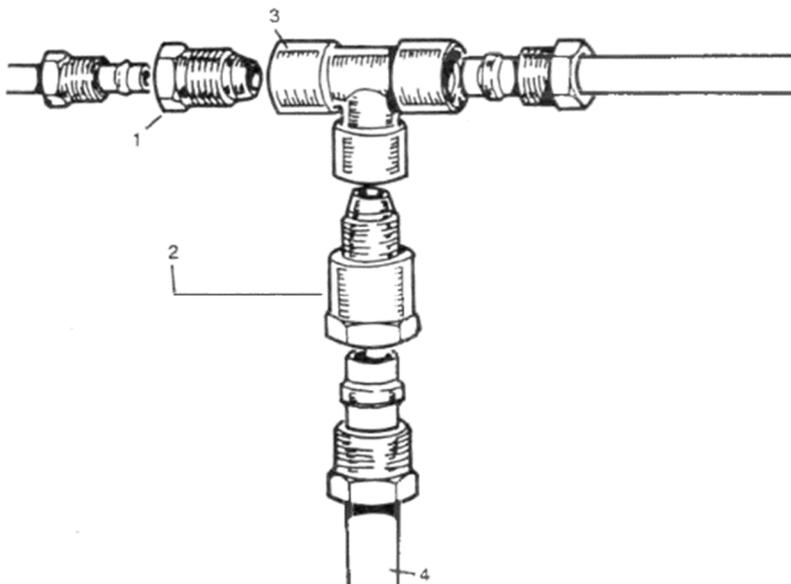


Figura 40. Método de montaje de tubos: 1. Conector de reducción, 2. Conector desigual, 3. Conector en T, 4. Tubos

Todos éstos tamaños de roscas son compatibles con los tubos estándar y especiales con tamaños en fracciones de pulgada. En el caso de las roscas NPTF, las crestas se aplastan al apretarse y, por consiguiente, al volver a usar las mismas, no se obtendrá la resistencia original. (Majumdar, 1998)

En las siguientes tablas se dan datos de roscas y tubos.

Tabla 20. Datos de roscas BSP.

Tamaño nominal (pulg.)	BSP cilíndrica				Tamaño nominal (pulg.)	BSP cónica			
	Hilos por pulgada	Diámetro		Hilos por pulgada		Diámetro			
		Mayor	Efectivo	Menor		Mayor	Efectivo	Menor	
1/8	28	0.3830	0.3601	0.3372	1/8	28	0.3830	0.3601	0.3372
1/4	19	0.5180	0.4843	0.4506	1/4	19	0.5180	0.4843	0.4506
3/8	19	0.6560	0.6223	0.5886	3/8	19	0.6560	0.6223	0.5886
1/2	14	0.8250	0.7793	0.7336	1/2	14	0.8250	0.7793	0.7336

5/8	14	0.9020	0.8563	0.8106	3/4	14	1.0410	0.9953	0.9496
3/4	14	1.0410	0.9953	0.9496	1	11	1.3090	1.2508	1.1926
7/8	14	1.1890	1.1433	1.0976	1 ¼	11	1.6500	1.5918	1.5336
1	11	1.3090	1.2508	1.1926	1 ½	11	1.8820	1.8238	1.7656
1 ¼	11	1.6500	1.5918	1.5336	2	11	2.3470	2.2888	2.2306
1 ½	11	1.8820	1.8238	1.7656	2 ½	11	2.9600	2.9018	2.8436
1 ¾	11	2.1160	2.0578	1.9996	3	11	3.4600	3.4018	3.3436
2	11	2.3470	2.2888	2.2306	3 ½	11	3.9500	3.8918	3.8336
2 ¼	11	2.5870	2.5288	2.4706	4	11	4.4500	4.3918	4.3336
2 ½	11	2.9600	2.9018	2.8436	5	11	5.4500	5.3918	5.3336
2 ¾	11	3.2100	3.1518	3.0936	6	11	6.4500	6.3918	6.3336
3	11	3.4600	3.4018	3.3436	7	10	7.4500	7.3918	7.3220

Tabla 21. Rosca cónica americana de sello seco, para tubo (NPTR)

Tamaño nominal	Hilos por pulgada	DE macho en el punto de calibración in	Distancia de calibración desde el extremo pequeño in	Longitud de la rosca completa in
1/8	27	0.4032	0.1615	0.2639
1/4	18	0.5360	0.2278	0.4018
3/8	18	0.6714	0.2400	0.4078
1/2	14	0.8355	0.3200	0.5337
3/4	14	1.0460	0.3390	0.5457
1	11 ½	1.3082	0.4000	0.6828
1 ¼	11 ½	1.6530	0.4200	0.7068
1 ½	11 ½	1.8919	0.4200	0.7235
2	11 ½	2.3659	0.4360	0.7565
2 ½	8	2.8622	0.6820	1.1375
3	8	3.4885	0.7760	1.2000
3 ½	8	3.9886	0.8200	1.2500
4	8	4.4871	0.8400	1.3000
5	8	5.5493	0.9400	1.4060
6	8	6.6060	0.9600	1.5130

3.8.4 Tamaño del tubo

Para la mayor parte de las aplicaciones neumáticas, los tamaños requeridos de los tubos pueden ser de 3 a 25 mm (de diámetro exterior). En la mayor parte de los países, se ha estandarizado el diámetro exterior de este grupo, por parte de la ISO o por las normas nacionales respectivas.

Las tuberías deben estar ampliamente dimensionadas, preparando próximas ampliaciones. Desde el punto de vista de la explotación, no existe ningún riesgo en que la tubería quede sobredimensionada; la caída de presión será menor y la tubería intervendrá como depósito de aire. (Peidró, 2010)

Diámetro de tubería

La dimensión del diámetro en una tubería es de suma importancia, debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando se transporta en ella, están directamente relacionadas con su diámetro.

Por ello es importante calcular un diámetro óptimo, el cual posea la capacidad de transportar un caudal determinado con salidas de presión aceptables; estas pérdidas oscilan entre un 3% a un 6% de la presión nominal.

Para determinar el diámetro óptimo en una instalación neumática se deben seguir los siguientes pasos:

1. Calcular el consumo de aire del equipo, el cual es el resultado de la suma de los consumos individuales de todos los equipos y maquinas neumáticas que se desean instalar.
2. Determine el caudal requerido por la instalación; el cual es el resultado de la suma del consumo de aire del equipo + un 5% por desgaste + 10% por fugas + un 20% o 30 % por futuras ampliaciones (coeficientes de mayoración).

$$Q_T = Q_S + Q_S \cdot 0.05 + Q_S \cdot 0.10 + Q_S \cdot 0.30 \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde: Q_T = Caudal total o requerido

Q_S = Caudal suministrado por el compresor

3. Determine la presión de la instalación; la cual viene dada por la presión máxima requerida para el accionamiento del equipo neumático.
4. Determine la pérdida de presión admisible; la cual es la pérdida basada en la variación de presión que puede sufrir la instalación sin repercutir en el funcionamiento del equipo neumático.
5. Determine la longitud equivalente:

$$\text{Longitud equivalente} = L. \text{ de tubería recta} + L. \text{ por accesorios} \quad (\text{Ec. 21})$$

Para poder determinar, la longitud debida a los accesorios, se deben de tomar un diámetro arbitrario; debido a que esta longitud varía según sea el diámetro de la tubería.

Para el cálculo del diámetro, se basará en la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt[5]{\frac{1.6 \cdot 10^3 \cdot L \cdot Q^{1.85}}{P \cdot \Delta P}} \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde: Q = caudal en m^3
 P = presión en Pa.
 L = longitud de la tubería en m.
 ΔP = caída de presión

Otra forma de calcular el diámetro de la tubería, es por medio de la siguiente ecuación:

$$d = \sqrt[5]{450 \times \frac{q_c^{1.85} \times L}{p \times \Delta p}} \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde: p = presión inicial en bar absolutos
 Δp = pérdida de presión esperada en el sistema
 L_t = largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en metros
 q_c = cauda normal en l/s
 d = diámetro interior del tubo en milímetros

3.9 Accesorios

En toda instalación de tuberías es indispensable la utilización de accesorios, estos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las maquinas neumáticas.

El tamaño de los accesorios está determinado por el consumo de aire de la herramienta. Cuanto mayor sea el consumo de aire, mayor será el tamaño de los accesorios. (Atlas Copco, 2007)

3.9.1 Codos

Acoplamiento rígido que cambia la dirección del fluido a 30, 45, 60 o 90 grados, son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos, y codos desiguales cuando hay variaciones de diámetros en sus extremos.

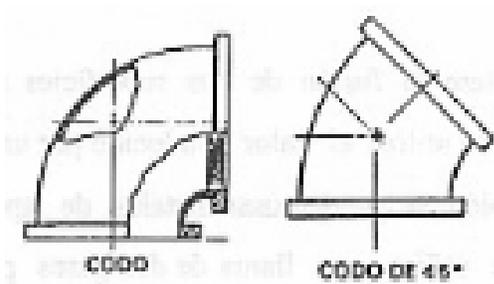


Figura 41. Codos.

3.9.2 Conexiones en T

Elementos de conducción que sirve para acoplar tres tuberías; los diámetros de estas tuberías pueden ser iguales o desiguales según sean las características de la te.

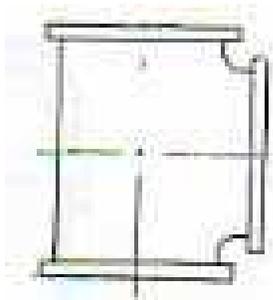


Figura 42. Conexión Te.

3.9.3 Niples

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple tiene rosca doble macho

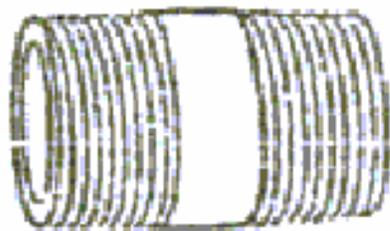


Figura 43. Niple.

3.9.4 Cruces

Son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea. Las cruces pueden ser de cruz igual si poseen una misma dimensión en sus extremos o cruz desigual, si hay variación en uno o dos de sus extremos.

3.9.5 Reducciones

Elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.



Figura 44. Reducción.

3.9.6 Adaptadores

Elemento de unión que admite un enlace de tuberías con distintas roscas.

3.9.7 Uniones

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro, teniendo la unión rosca hembra.



Figura 45. Uniones.

3.9.8 Acoples rápidos

Dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red, figura 46. Son utilizados cuando se tiene la necesidad de estar acoplando o desacoplando diferentes maquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión. Los acoples rápidos cuentan internamente con un dispositivo el cual cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo impidiendo así, cualquier escape innecesario de aire. (Majumdar, 1998)

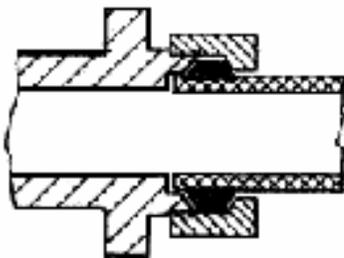


Figura 46. Racor con anillo de sujeción.

3.9.9 Filtro

Tiene la misión de eliminar las últimas impurezas que puede llevar el aire. Es un recipiente en cuya parte superior se instala una placa deflectora que provoca el centrifugado del aire. Las impurezas, tanto sólidas como líquidas, chocan contra las paredes del recipiente, caen al fondo y son evacuadas al exterior a través de una purga, que puede ser manual o automática.

Los filtros de aire se usan en un sistema neumático para realizar las siguientes funciones principales:

1. Impedir la entrada de contaminantes sólidos al sistema.
2. Condensar y extraer el vapor de agua que se encuentre presente en el aire que pasa por él.
3. Retener todas las partículas con tamaño inferior a una micra que puedan plantear un problema, en los componentes del sistema.

Para alcanzar el conducto de salida, el aire tiene que atravesar un cartucho filtrante cuya porosidad dependerá del nivel de pureza exigido en la instalación. (Arredondo, 2000)

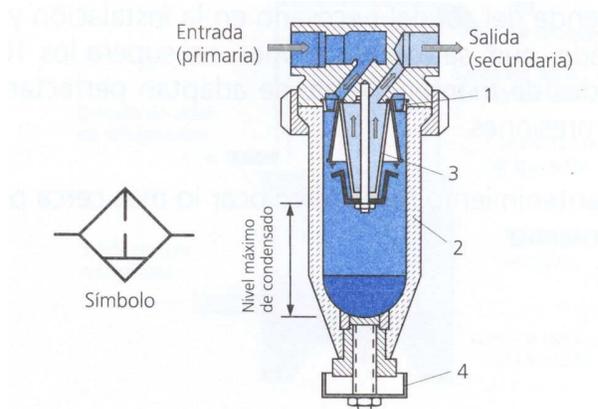


Figura 47. Filtro neumático.

3.10 Válvulas

Los sistemas de vapor utilizan necesariamente válvulas de diferentes características que las hacen idóneas para diversas aplicaciones. Constituyen un alto costo en las redes, no solo por su costa inicial sino por los costos de mantenimiento y paro en los procesos cuando hay que repararlas. (Arredondo, 2000)

3.10.1 Criterios de selección de las válvulas

Para la selección de una válvula debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Capacidades de presión y temperatura.
- Tipo de flujo y sus características entre otras de viscosidad, densidad, corrosión.

- Flujo másico.
- Materiales de construcción de la válvula en especial la empaquetadura, las juntas y asientos.
- Costo, disponibilidad en el mercado y fácil consecución de repuestos.
- Caída de presión permisible.
- Requisitos de control.

Según el uso y tipo de fluido los fabricantes recomiendan los materiales de las válvulas. Los más comunes son aluminio, acero inoxidable, hierro forjado, bronce, acero fundido, acero forjado y materiales no convencionales como el titanio.

La empaquetadura utiliza diversos materiales como asbesto, babbit, aluminio anodizado, cobre, grafito, stellite, teflón o algunas composiciones plásticas, resinas de furano, vidrio, resinas fenólicas, cloruro de polivinilo (PVC), porcelana y caucho entre otros. En la tabla 23, se especifican los límites típicos de temperatura y presión de diversos materiales de las válvulas. (Arredondo, 2000)

Tabla 22. Límites típicos de temperatura y presión en materiales.

Material	Límite típico de temperatura (°C)		Límite típico de presión manométrica (bar)
Aluminio	-198	204	20
Latón	-240	232	20
Bronce	-240	288	20
Hierro fundido	-17	177	17
Acero fundido (bajo carbono)	-17	538	172
Acero forjado	-17	454	310
Acero inoxidable austenítico (Serie 300)	-101	593	172
Acero inoxidable 18-8	-198	871	172

3.10.2 Normas de fabricación

Dada la gran cantidad de fabricantes de válvulas ha sido necesario expedir normas con las cuales tanto fabricantes como usuarios tengan un lenguaje común para entenderse. Las normas de mayor aceptación en la fabricación de válvulas se especifican en la figura dada a continuación.

<p>Normas ANSI</p> <p>B16.1 — Bridas y accesorios con brida para tubo de hierro fundido (25, 125, 250 y 200 lb)</p> <p>B16.5 — Bridas para tubos de acero, válvulas y accesorios con bridas (150, 300, 400, 600, 900, 1 500 y 2 500 lb)</p> <p>B16.10 — Dimensiones de cara a cara y de extremo a extremo de válvulas de material forjado</p> <p>B16.11 — Accesorios de acero forjado (Soldadura de enchufe y roscados)</p> <p>B21 — Juntas no metálicas para bridas de tubo</p> <p>B31.3 — Tubería para refinerías de petróleo</p> <p>Expedidas por: American National Standards Institute 1430 Broadway New York, N.Y. 10018</p> <p>Especificaciones API</p> <p>598 — Inspección y pruebas de válvulas</p> <p>600 — Válvulas de compuerta, de acero</p> <p>602 — Válvulas de compuerta de acero al carbono, de diseño compacto para uso en refinerías.</p> <p>603 — Válvulas de compuerta resistente a la corrosión, pared delgada de 150 lb para uso en refinerías.</p> <p>604 — Válvulas de compuerta y macho con brida, de hierro nodular, para uso en refinerías.</p> <p>Expedidas por: American Petroleum Institute 1801 K Street N.W. Washington, DC, 20006</p>	<p>Especificaciones ASTM</p> <p>E23 — Pruebas de impacto de materiales metálicos con barra ranurada.</p> <p>E165 — Inspección con líquido penetrante.</p> <p>Expedidas por: American Society for Testing and Materials 1916 Race Street Philadelphia, PA 19103</p> <p>Normas MSS</p> <p>SP25 — Sistema estándar de marcas para válvulas, accesorios, bridas y uniones.</p> <p>SP42 — Válvulas, bridas y accesorios con bridas fundidas, resistentes a la corrosión MSS 150 lb</p> <p>SP53 — Norma de calidad para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías.</p> <p>SP54 — Norma de calidad radiográfica para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías</p> <p>SP55 — Norma de calidad para fundiciones de acero para válvulas, bridas, accesorios y otros componentes de tuberías</p> <p>SP61 — Pruebas hidrostáticas de válvulas de acero</p> <p>SP67 — Válvulas de mariposa</p> <p>SP72 — Válvulas de bola con extremos con brida o soldados a tope para servicio general</p> <p>Expedidas por: Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry 1815 N Ft. Myer Drive Arlington, VA 22203</p>
---	---

Figura 48. Normas de fabricación de válvulas y accesorios.

3.10.3 Clasificación y tipos de válvulas

Según su función las válvulas se pueden clasificar en cuatro tipos diferentes:

1. Válvulas de cierre: también llamadas válvulas de bloqueo o de corte del fluido, las más conocidas son:
 - Válvulas de compuerta: Presentan una pérdida de presión muy baja. Se utiliza completamente abierta o completamente cerrada para accionamiento poco frecuente.
 - Válvulas de macho: Para apertura o cierre total y rápido.
 - Válvulas de bola: Es el diseño con la mínima pérdida de presión, al igual que la de macho se usan para apertura y corte rápido del fluido.
 - Válvulas de mariposa: Según su diseño pueden utilizarse como válvulas de cierre, para líquidos y gases a baja presión.
2. Válvulas de estrangulación: también llamadas moduladoras o reguladoras de flujo. Las más conocidas son:

- Válvula globo: Aunque presentan una caída de presión considerable, son muy buenas reguladoras de flujo.
 - Válvula de aguja: Son válvulas globo especialmente diseñadas para regular caudales con precisión.
 - Válvula en Y: Son válvulas tipo globo, que permiten paso rectilíneo del flujo con menor caída de presión.
 - Válvulas en ángulo: Son válvulas de globo donde el flujo se desvía un ángulo de 90°.
 - Válvulas de mariposa: Utilizada especialmente en la regulación de grandes caudales de gases a baja presión (sistemas de ventilación industrial, aire acondicionado etc.)
3. Válvulas de retención de flujo (Check): Destinadas a impedir el flujo inverso en las tuberías, las más comunes son de bisagra, de disco inclinable y válvulas horizontales de retención.
 4. Válvulas para funciones especiales como:
 - Reguladoras de presión.
 - Servicio de muestreo, purga de fluidos o drenaje.
 - Limitadoras de flujo.
 - Válvulas de desahogo.
 - Válvulas de seguridad y de descarga rápida.
 - Válvulas de respiración: Colocadas en los puntos altos de los equipos y tuberías para eliminar gases, vapores y aire especialmente al momento del arranque. (Arredondo, 2000)

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto.

4.1 Caracterización de los elementos del sistema de regulación de la 2° etapa

Aquí se caracterizan los elementos que se involucran directamente con el desarrollo del presente proyecto.

4.1.1 Unidades de producción de aire comprimido

Los equipos de producción de aire comprimido empleados por la central hidroeléctrica “Manuel Moreno Torres” actualmente son dos unidades marca SAUER por máquina turbo generadora. Las unidades generadoras de la segunda etapa cuentan con dos compresores de alta presión para suministrar aire a presión de 70 kgf/cm² hacia los tanques de regulación y compuerta cilíndrica para el proceso de regulación de velocidad de las unidades generadoras.

Estas unidades de producción de aire comprimido tienen por finalidad suministrar el aire necesario para el sistema de regulación de las turbinas hidráulicas. La unidad dirige de manera autónoma estos automatismos y sus seguridades, el accionamiento de marcha y la alimentación del motor eléctrico se realizan a distancia.

La unidad de producción de aire comprimido está principalmente integrada por los equipamientos siguientes:

- 1 compresor de aire WP3232-800
- 1 tablero de mando
- 1 bastidor común

Las dimensiones del conjunto son las siguientes:

Longitud	1335 mm
Anchura	710 mm
Altura	1100 mm
Acoplamiento neumático	3/8" G hembra
Acoplamiento purga	1 1/4" G hembra
Peso	Aprox. 370 kg

Actualmente el acoplamiento neumático de los compresores es de 3/4" G hembra, debido a modificaciones previas realizadas por personal del departamento. Por lo tanto, para los cálculos del presente proyecto se tomará el valor de 3/4".

Según sus respectivas fichas técnicas, las condiciones de operación para los compresores se muestran en la tabla 24:

Tabla 23. Ficha técnica compresor SAUER, unidad de generación de aire comprimido.

Compresor	
<i>Fabricante</i>	SAUER
<i>Referencia</i>	03500670
<i>Tipo</i>	WP3232-800
<i>Cantidad</i>	2
<i>Número de serie 711CO</i>	88160
<i>Número de serie 712CO</i>	88161
<i>Capacidad</i>	12.9 m ³ /h
<i>Presión de servicio</i>	7200 kPa
<i>Presión de servicio máx.</i>	23000 kPa
<i>Potencia absorbida</i>	4.4 kW
<i>Velocidad de rotación</i>	1,150 rpm
<i>Número de cilindros</i>	3
<i>Número de etapas</i>	3
<i>Volumen de aceite</i>	2 litros
<i>Volumen entre marcas del indicador</i>	0.5 litros
<i>Tipo de aceite</i>	Según recomendaciones
<i>Nivel de ruido (a una distancia de 1m)</i>	82 dB (A) máx.
<i>Presiones de reglaje de las válvulas de seguridad:</i>	
<i>Nivel I</i>	800 kPa
<i>Nivel II</i>	5200 kPa

Tabla 24. Ficha técnica del motor eléctrico de las unidades generadoras de aire comprimido del sistema de regulación 2° etapa.

Motor eléctrico

<i>Fabricante</i>	SAUER
<i>Tipo</i>	LS 254 TD "NEMA (LS 160MT)
<i>Cantidad</i>	2
<i>Número de serie 711CO</i>	617663NE05
<i>Número de serie 712CO</i>	617663NE04
<i>Potencia motora</i>	5.5 kW
<i>Velocidad de rotación</i>	1170 rpm
<i>Tensión de alimentación</i>	440V
<i>Frecuencia</i>	60Hz
<i>Intensidad nominal</i>	10.5 A
<i>Factor de potencia</i>	0.79 a carga total
<i>Rendimiento</i>	0.85
<i>Clase de aislamiento</i>	F
<i>Índice de protección</i>	IP55
<i>Carcasa</i>	B35



Figura 49. Unidades de producción de aire comprimido del sistema de regulación 2° etapa

4.1.2 Tanques de almacenamiento: intermedio y acumulador.

En el sistema de regulación cada unidad turbo generadora de la 2 etapa, cuenta con un tanque intermedio y un tanque acumulador, en el primero de ellos su uso es únicamente acumulación de aire comprimido, mientras que, en el segundo, su

función es acumular aire – aceite, es decir, es de aplicación hidroneumática. Las fichas técnicas de los tanques de almacenamiento caracterizan sus condiciones de servicio, las cuales se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 25. Ficha técnica tanque acumulador.

Tanque acumulador

Construido para	ALSTOM
Diseñado por	Felguera Construcciones Mecánicas S.A – España
Construido por	Felguera Construcciones Mecánicas S.A – España
Equipo	CCN050XX31-201
Servicio	Regulador de velocidad, tanque a presión de aceite
Orden n°	39.002.00
Año	2002
Presión de diseño	7.44 MPa
Temperatura de diseño	50 °C
Presión externa	0 MPa a 0 °F
MDMT	5 °C
Presión de PH	11.16 MPa
Margen de corrosión	0 mm
Radiografiado	ASME VIII DIV. 1 UW-11G
Tratamiento térmico	Si
Capacidad	3000 dm ³
Peso total vacío	5900 kg
Código	ASME VIII DIV. 1 ED. 2001

Tabla 26. Ficha técnica tanque intermedio.

Tanque intermedio

Construido para	ALSTOM
Diseñado por	Felguera Construcciones Mecánicas S.A. – España
Construido por	Felguera Construcciones Mecánicas S.A. – España
Equipo	CCN050XX34-201
Servicio	Regulador de velocidad, tanque de aire
Orden n°	39.002.00
Año	2002
Presión de diseño	1351.74 Psi
Temperatura de diseño	50 °C
Presión externa	0 Psi a 0°F
MDMT	5 °C
Presión de PH	2027.51 Psi
Margen de corrosión	0 mm
Radiografiado	ASME VIII DIV. 1
Tratamiento térmico	No
Capacidad	400 dm ³

<i>Peso total vacío</i>	1170 Kg
<i>Código</i>	ASME VIII DIV. 1 ED. 2001

4.1.3 Operación del sistema (alimentación al tanque de presión aire-aceite del sistema de regulación).

En este documento supondremos que se ha seleccionado al compresor (711 CO) como prioritario. La estación de aire comprimido de regulación a la presión nominal de 72 bar (7.2 MPa) permite la generación de aire a presión a la estación de aceite de regulación. El sistema de aire de regulación cuenta un tanque SPR001AQ, dos moto-compresores 711CO y 712CO uno para servicio el otro para respaldo. El tanque SPR001AQ cuenta con las válvulas 701VQ, 711VA, 713VA, 714VA y 715VA. La válvula 701VQ es de seguridad, la 711VA sirve para purgar el aire, las últimas válvulas sirven como aislamiento del tanque a presión. El aire es alimentado hacia el tanque GRE001AQ a través de la válvula 103VA normalmente abierta y la electroválvula 110EM.

La orden de arranque del compresor seleccionado es dada por el interruptor del transmisor de presión 701MP cuando el transmisor 701MP detecta por la desactivación de su contacto 3 que la presión ha bajado fuera de lo normal esto provoca el arranque del moto compresor 711CO, cuando se alcanza la presión normal se activa el contacto 4 del transmisor 701MP lo que detiene al moto compresor 711CO. Si por alguna razón la presión en el tanque sigue descendiendo y se desactiva el contacto 2 del 701MP se manda a arrancar el moto compresor de respaldo 712CO, cuando la presión se restablece y activa el contacto 4 se manda a parar el moto-compresor de respaldo.

En caso de una alta presión en el tanque de aire de regulación el contacto 5 es activado esto da la orden de parar ambos moto-compresores 711CO y 712CO, además da una señalización de falla. Si por alguna razón fallan las indicaciones anteriores la válvula 701VQ actuara para aliviar la presión en el tanque de aire.

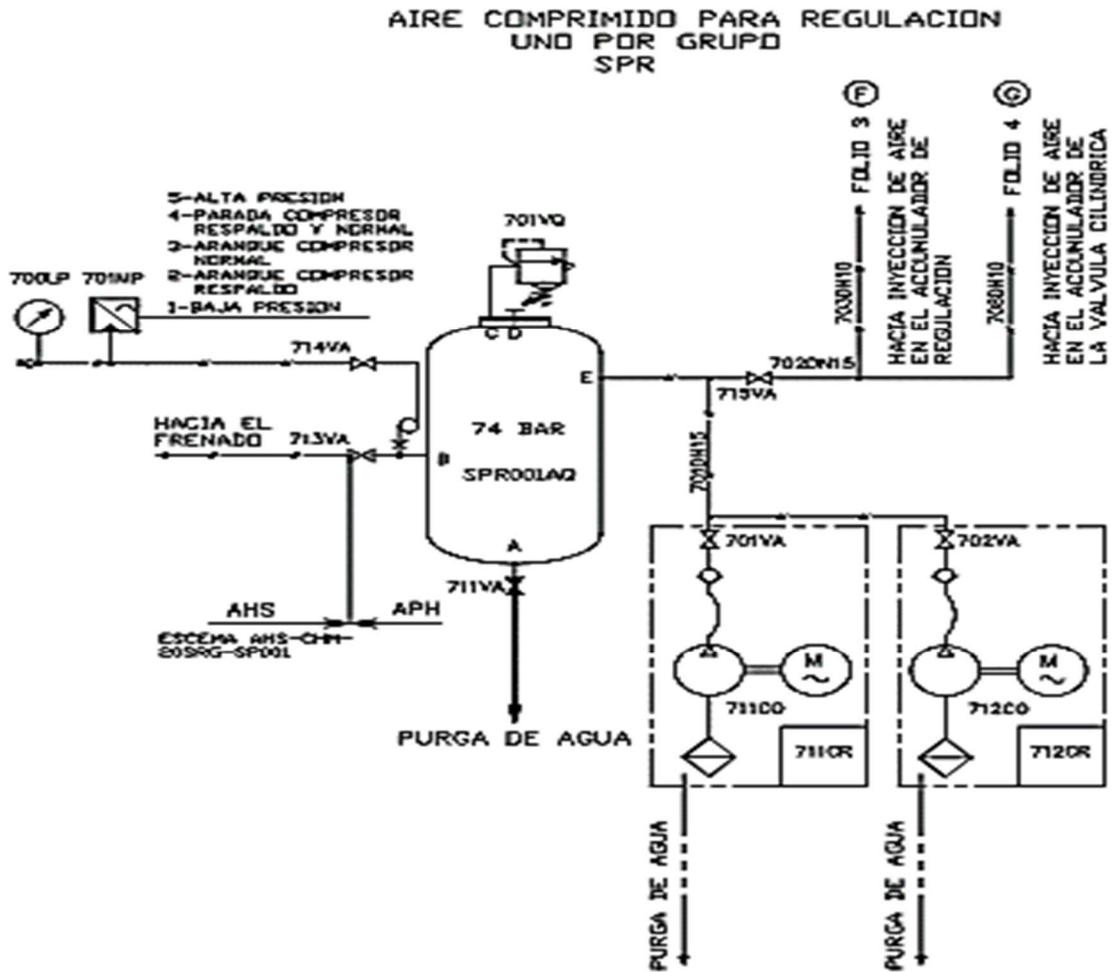


Figura 50. Diagrama esquemático del sistema de aire de regulación 2° etapa (tanque intermedio).

4.1.4 Diagramas neumáticos de la conexión e interconexión de aire comprimido

Como se observa, actualmente cada tanque intermedio cuenta con dos compresores de alta presión para el sistema de regulación

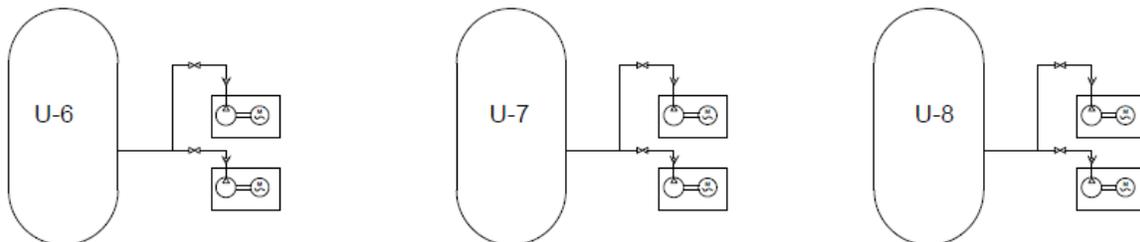


Figura 51. Diagrama neumático original de la conexión de aire comprimido, compresor – tanque intermedio.

En el diagrama mostrado por la figura 52, se observa el sistema interconectado, el cual servirá para alimentar el tanque intermedio de cualquier unidad de la segunda etapa, a través de las otras dos unidades, aumentando la confiabilidad de las unidades generadoras.

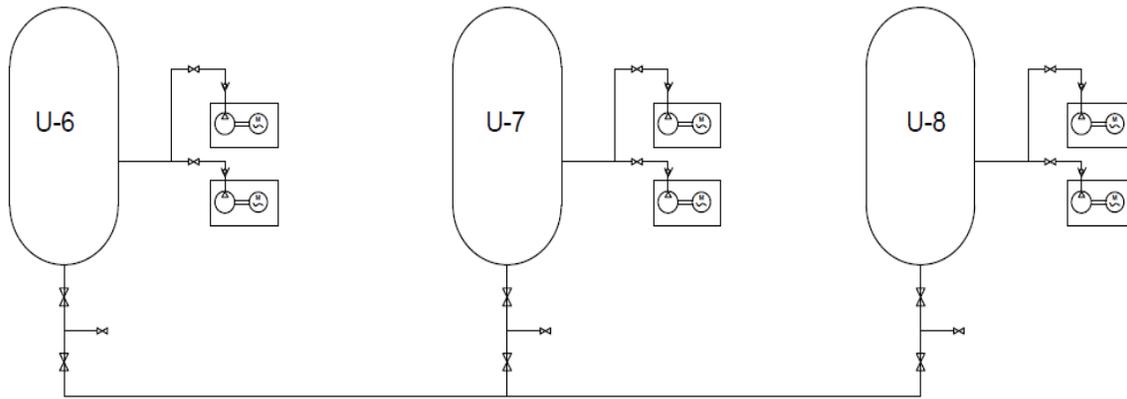


Figura 52. Diagrama neumático modificado.

El arreglo de válvulas propuesto, está planteado con la finalidad de permitir aislar una de las unidades que no sea requerida en las maniobras de presurización, como también el permitir un drenado para la tubería de la interconexión, la cual debe permanecer despresurizada cuando no se encuentre en servicio. Las válvulas deben permanecer normalmente cerradas en el sistema.

Después de realizadas mediciones en el sistema de aire comprimido tanque intermedio – compresores, se obtuvieron las siguientes dimensiones mostradas en la figura 53, para el diseño de la interconexión.

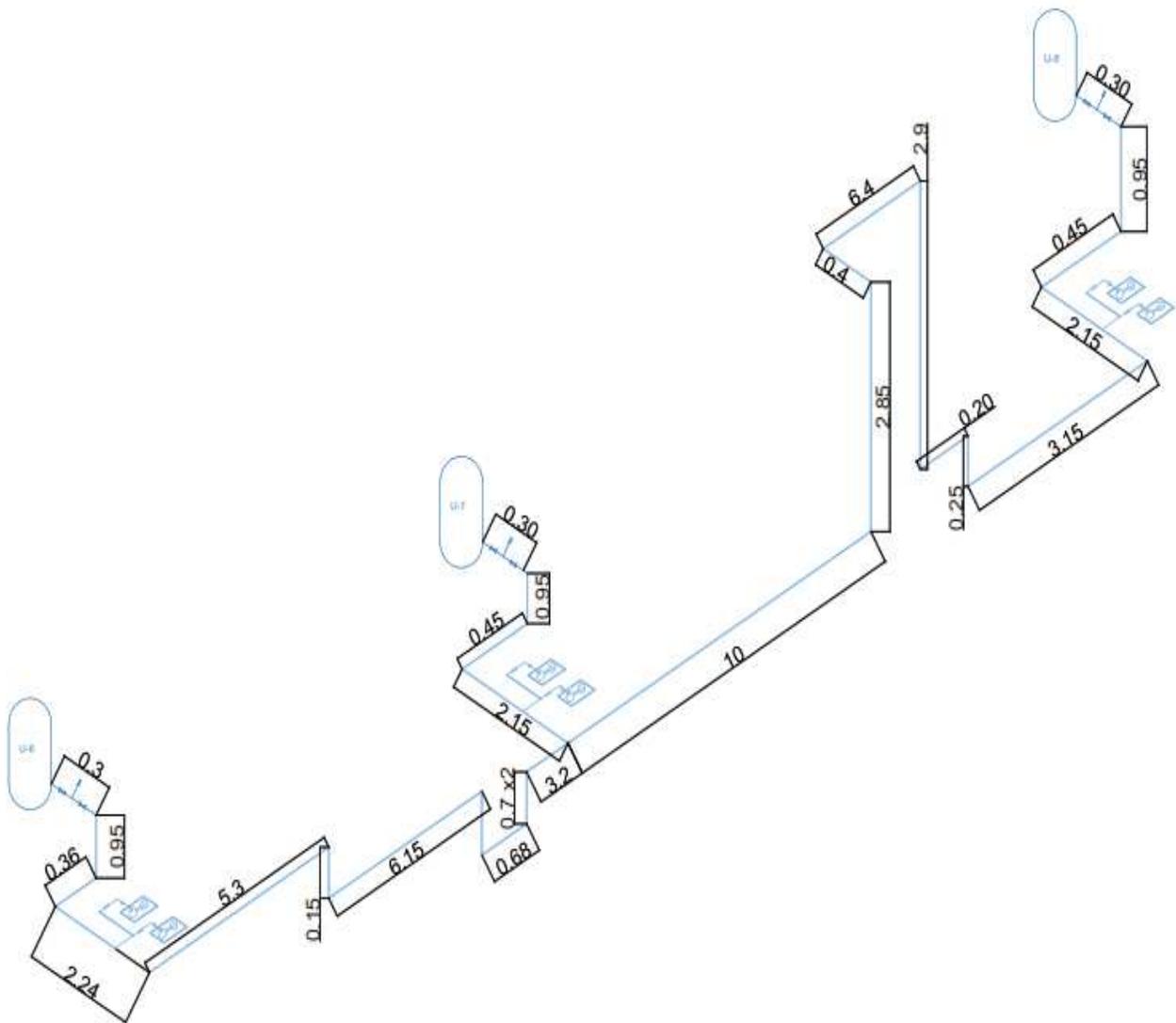


Figura 53. Isométrico de la interconexión de aire comprimido.

4.2 Definición de parámetros de operación y diseño

4.2.1 Determinación de elementos y/o accesorios en la tubería de la interconexión

En el sistema de interconexión de aire comprimido, se implementarán una serie de elementos y accesorios que tienen por objetivo garantizar el funcionamiento óptimo, reducir los riesgos y facilitar la operación del mismo.

Selección del tipo de válvulas

Se emplearán tres válvulas para cada tanque intermedio de la interconexión, es decir, tres válvulas por unidad generadora, estas válvulas serán de tipo aguja, las

cuales sustituirán a las válvulas de bola que se encuentran actualmente instaladas en cada unidad.

Las válvulas de bola instaladas actualmente cumplen con la función de apertura y cierre del flujo en el sistema, pero en cuestiones de operación del personal para pasar de una posición a otra, resulta complicado y peligroso debido a la alta presión que se emplea. En las maniobras de presurización y despresurización para el sistema de regulación se requiere una válvula que no solamente cumpla la función de apertura y cierre, sino que además proporcione seguridad y facilidad de operación, considerando el caso de una situación imprevista que ponga en riesgo al personal y/o equipo de la central hidroeléctrica, debe realizarse una maniobra de cierre o apertura rápidamente.

Entonces se han seleccionado válvulas de aguja, Son válvulas tipo globo, donde el macho fabricado en forma de aguja (cónico) se apoya en el asiento también cónico. Permite una regulación precisa del flujo, debido al orificio que se forma entre el macho y el asiento. Son utilizadas en instrumentos de medición, el cuerpo puede ser convencional o en ángulo. Se emplean para realizar regulación de fluido con un estrangulamiento del mismo de manera muy precisa o fina y sus aplicaciones incluyen las altas presiones y grandes temperaturas.

En centrales hidráulicas se utilizan las válvulas de aguja como bypass a la válvula de mariposa o esférica de entrada a las turbinas. Primero se opera con la válvula de aguja, que puede trabajar mejor que la principal a grandes diferencias de presión sin cavitación, y una vez que la válvula principal está a presiones equilibradas se realiza su obertura evitando un golpe de ariete de la instalación.

Ventajas de la válvula de aguja:

- Gran rapidez de accionamiento
- Hermetismo
- En posición abierta es muy pequeña la pérdida de carga
- Poco desgaste

Las válvulas de aguja serán de una presión de trabajo de 70 bar con cuerpo y vástago de acero inoxidable T-316. Entre las opciones tenemos las válvulas de la serie 1700, a continuación se muestran las especificaciones técnicas obtenidas del catalogo del fabricante:

Serie 1700

Válvulas de aguja con bonete integral y cuerpo forjado

Estas válvulas de precio competitivo son adecuadas para una amplia variedad de aplicaciones de control de procesos. Tanto los vástagos de acero inoxidable con punta no giratoria como los provistos de obturador reemplazable de PCTFE reducen el desgaste por fricción. El empaque Dyna-Pak® ubicado por debajo de la rosca del vástago previene las fugas a la atmósfera.



Aplicaciones típicas

- Válvulas para cilindros
- Tableros de instrumentación
- Válvulas para manómetros
- Sistemas de toma de muestras
- Laboratorios de investigación
- Aplicaciones con oxígeno
- Aplicaciones con fluidos corrosivos o con alta presión

Datos técnicos

CUERPO*	Acero inoxidable 316, Monel®
PRESIÓN MÁXIMA DE OPERACIÓN	6000 psig a 70° F (414 bar a 21° C)
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	Vástago con punta metálica -65° a +450° F (-54° a +232° C) Vástago con punta de PCTFE -20° a +250° F (-29° a +121° C)
ORIFICIO	0.187" (4.8 mm)
COEFICIENTE Cv	0.31

* Consulte en fábrica por otros materiales.

Características y beneficios

Seguridad

- La contratuerca asegura la tuerca del empaque y evita que se desprenda accidentalmente.

Largo ciclo de vida

- El empaque debajo de la rosca del vástago impide que el fluido del proceso entre en contacto con la rosca.
- Los vástagos con punta no giratoria de acero inoxidable 17-4PH endurecido o Monel®, y los provistos con punta obturadora de PCTFE reemplazable, combinados con una tuerca del empaque con rosca de acero inoxidable 450 endurecida o Monel® reducen el desgaste por fricción.

Ayudan a eliminar las fugas a la atmósfera

- El empaque Dyna-Pak® proporciona un sello hermético con un par de accionamiento reducido.

Confiabilidad

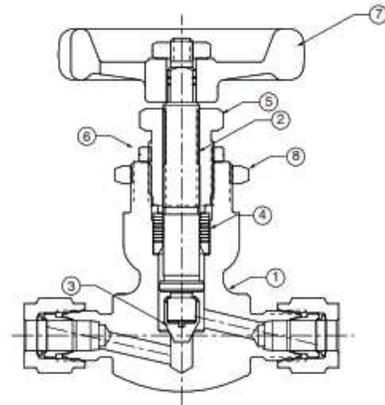
- Todas las válvulas son sometidas a una prueba de fuga de burbujas, tanto en el asiento como en el empaque.

Figura 54. Especificaciones técnicas válvulas de aguja serie 1700.

Serie 1700

Materiales utilizados

DESCRIPCIÓN	ACERO INOXIDABLE 316	MONEL®
1 Cuerpo	Acero inoxidable 316	Monel®
2 Vástago	Acero inoxidable 316	Monel®
3 Punta del vástago		
Blanda	PCTFE	PCTFE
Dura	Acero inoxidable 17-4PH	Monel®
4 Empaque del vástago	Obleas TFE / AISI-316	Obleas TFE/Monel®
5 Tuerca del empaque	Acero inoxidable 450	Monel®
6 Contratuerca	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316
7 Manija		
Serie 1711	Aluminio	Aluminio
Serie 1751	ABS	ABS
8 Tuerca para montaje en panel	Latón con recubrimiento de níquel	Latón con recubrimiento de níquel



Dimensiones

Serie 1700 con paso de caudal recto

ENTRADA A	SALIDA B		D	E	F	H	H ¹
GYROLOK® 1/4"	GYROLOK® 1/4"	pulgada	3	2 1/16	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	52	54	13	27
Macho NPT 1/4"	Macho NPT 1/4"	pulgada	3	2 1/16	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	56	54	13	27
Macho NPT 1/4"	Hembra NPT 1/4"	pulgada	3	2 1/8	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	54	54	13	27
Hembra NPT 1/4"	Hembra NPT 1/4"	pulgada	3	2 1/16	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	52	54	13	27
GYROLOK® 3/8"	GYROLOK® 3/8"	pulgada	3	2 1/8	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	54	54	13	27
GYROLOK® 8 mm	GYROLOK® 8 mm	pulgada	3	2 1/16	2 1/8	1/2	1 1/16
		mm	76	68	54	13	27

Las dimensiones solo son a título de referencia y están sujetas a cambios.

Dimensiones del panel de montaje

Orificio en el panel = 5/64" (2.6 mm) de diámetro
Espesor máximo del panel = 1/4" (6.4 mm)

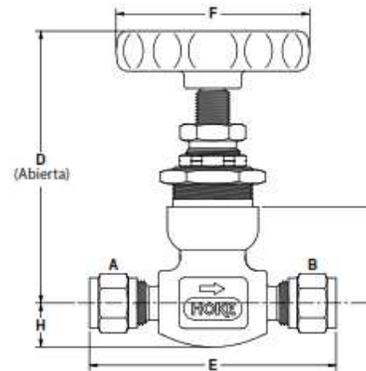


Figura 55. Materiales utilizados en las válvulas de aguja.

Selección del acondicionamiento de aire comprimido

Secador de aire comprimido

Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos adaptamos la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad de aire se realiza siguiendo los parámetros de la norma ISO 8573-1.

Esta normativa regula el nivel máximo de contaminantes en el aire comprimido, en lo referido a la cantidad de humedad, partículas y residual de aceite.

Tabla 27. Norma ISO 8573-1.

ISO 8573-1: 2010  CLASE	Partículas sólidas				Agua		Aceite
	Máximo número de partículas por m ³			Concentración mg/m ³	Punto de rocío a presión	Condensado líquido g/m ³	Concentración total (líquido, aerosol y vapor)
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				mg/m ³
0	Sujeto al acuerdo específico entre usuario y proveedor pero en valores más estrictos que la Clase 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Ahora aplicando esto al presente proyecto tenemos que, debido a longitudes relativamente extensas, el aire comprimido puede recoger humedad en el recorrido de la instalación. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que un punto del sistema de regulación el aire se encuentra almacenado en un tanque hidroneumático, donde el fluido agregado es aceite; por lo tanto, la aplicación de una unidad de mantenimiento FRL (filtro - regulador – lubricador) sería un excedente para la instalación, es decir, no es necesaria su instalación en el sistema debido a que el aire se lubrica con el aceite acumulado en el tanque regulador (hidroneumático), además que el recorrido el aire comprimido del tanque intermedio al tanque regulador es mínimo.

Considerando lo anterior, se empleará un filtro separador de humedad de tipo centrifugo con puertos de ¾ de pulgada. Los separadores centrifugos son utilizados para eliminar la humedad de líneas de vapor o aire comprimido. El aire comprimido que pasa por el separador y como resultado de las fuerzas centrifugas, el impacto y los efectos de turbulencia, logra separar las partículas más pesadas como gotas de agua o de aceite, la humedad en suspensión y la suciedad.

El condensado recogido en la parte inferior del separador, debe ser drenado automáticamente por una trampa de aire adecuada. Las conexiones son roscadas o bridadas desde 1/2" hasta 8".

Los secadores de aire comprimido ayudan a asegurar que hay poca o ninguna humedad aguas abajo, lo que ayuda a mejorar el rendimiento, la productividad y reduce los costes de mantenimiento



Figura 56 Separador de humedad.

Es altamente recomendado que el aire comprimido sea tratado previamente a su entrada en el sistema de distribución, así como antes de su utilización en el punto de uso. Por lo tanto, se ubicará el filtro a la entrada de cada uno de los tanques intermedios participantes en la interconexión.

Longitud equivalente para accesorios en la interconexión

En cuanto a accesorios que representen longitudes equivalentes en el tendido de la tubería de interconexión, se consideraron los accesorios partiendo del plano isométrico de la interconexión, con longitudes tomadas en el sitio de aplicación del proyecto. (véase figura 53)

Tabla 28. Accesorios en la interconexión.

Accesorio	Cantidad
Válvula de aguja	9
Codos 90°	24
Unión en te	10
Unión recta	2

Ya que regularmente los tramos de la tubería a emplear se comercializan en tramos de 6.10 metros, se ocuparán conexiones de unión en los tramos mayores a 6 metros de longitud.

4.2.3 Longitud equivalente de la tubería para la interconexión.

Para poder determinar la pérdida de presión que existirá en el sistema, un valor requerido es el de la longitud equivalente por accesorios empleados en la red neumática, por lo tanto, utilizando los datos de la tabla 29 y una de las tablas para longitudes equivalentes del anexo C, obtendremos lo siguiente:

Accesorio	Cantidad	L. equivalente en m.	L. acumulada en m
Válvula de aguja	9	7.5	67.5
Codos 90°	24	1.5	36
Unión en te	10	0.3	3
Unión recta	2	0.3	3
L. equivalente total:			109.5 metros

Debido a que no se conoce el diámetro de la tubería, se supuso un valor de 25 mm para el diámetro, ya que se espera el diámetro de la tubería sea menor a 1 pulgada, y este valor es el más próximo manejado en las tablas de fabricantes; también se consideró a las válvulas de aguja como válvulas de globo para la longitud equivalente, en el entendido que son una variación de las válvulas de globo.

También se determinó el valor de la tubería equivalente utilizando una herramienta en línea, de la página web de una marca reconocida (figura 57). Aunque aquí se ajustaron algunos accesorios debido a que no están presentes como tal en la herramienta, los cuales fueron:

- Unión recta: sustituida por unión tipo t libre de paso, ya que el valor de la longitud equivalente es similar al de la unión recta.
- Válvula de aguja: sustituida por válvula de asiento, ya que la marca engloba varios tipos de válvulas en esta selección, además de que el valor es el más próximo al utilizado por la tabla del anexo C.

Y es así como se obtuvo el siguiente resultado:

Longitud equivalente determinada por el toolbox del proveedor = 87 metros. (Kaeser Compresores S.L, 2017)

Entonces tendremos dos valores para la longitud equivalente, pero se tomará como valor real el de mayor longitud, ya que, en cuestiones de diseño, para determinar la pérdida de presión y el diámetro de la tubería debe considerarse el escenario más desfavorable, o que pueda repercutir más en el funcionamiento de la interconexión.

Por lo tanto, la longitud equivalente por accesorios será de 109.5 metros.

Cálculo de la Longitud de tubería equivalente

SI - Units
 US - Units

Diámetro de la tubería: DN 25

		Longitud equivalente [m]	Número
Codo		1.5	24
Codo R=2d		0.3	0
Codo R=d		0.4	0
Racor en T sentido libre de paso		0.5	12
Racor en T sentido de desviación		1.5	0
Válvula de asiento		5	9
Válvula de cierre / válvula de bola		0.3	0
Válvula de retención		2	0
Reducción a DN: 20		0.5	0
Longitud de tubería equivalente de todos los accesorios montados :			87 m

Figura 57. Cálculo de la longitud equivalente, toolbox Kaeser Compresores.

Ahora bien, para determinar la longitud equivalente de tubería para la interconexión en general, se sumará la longitud equivalente por accesorios con la longitud de tubería recta, la cual se obtendrá del plano isométrico del proyecto.

Realizando la suma de longitudes partiendo de la ecuación 21, tendremos:

$$\text{Longitud equivalente} = L. \text{ de tubería recta} + L. \text{ por accesorios}$$

$$109.5 \text{ m (accesorios)} + 54.58 \text{ m (tubería recta)} = 164.08 \text{ m}$$

4.2.4 Determinación del caudal total requerido

Para determinar el caudal total que se distribuirá en la interconexión de aire comprimido se empleará la ecuación 20, adecuándola a los factores conocidos, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q_T = Q_S + Q_S \cdot C_{MF} + Q_S \cdot C_{MA} \quad (\text{Ec. 20.1})$$

Tomando en cuenta el valor para $Q_S = 12.9 \text{ m}^3/\text{h}$, que corresponde al caudal suministrado por los compresores, para C_{MF} (coeficiente de mayoración por fugas)

y C_{MA} (coeficiente de mayoración por futuras ampliaciones), los valores de 5% y 15% respectivamente. En el valor del C_{MA} , se ha tomado en cuenta un porcentaje del 5% debido a los secadores implementados para cada tanque intermedio.

Por lo tanto, tenemos:

$$Q_T = (12.9 \text{ m}^3/\text{h}) + (12.9 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0.05) + (12.9 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0.15)$$

$$Q_T = 15.48 \text{ m}^3/\text{h}$$

4.2.5 Calculo de la pérdida de presión

Para poder determinar la caída (pérdida) de presión en el sistema se empleará la ecuación 17:

$$\Delta P = \frac{1.6 \times 10^3 \times Q^{1.85} \times L}{d^5 P_1}$$

en dónde: ΔP = caída en la presión, en Pa

L = longitud de la tubería, en m

Q = volumen del aire libre, en m^3/s

d = diámetro interior del tubo, en m

P_1 = presión absoluta del aire a la entrada del tubo, en Pa

Usando los siguientes datos:

$$L = 164.08 \text{ m}$$

$Q = 15.48 \text{ m}^3/\text{h}$ convirtiendo este a valor a m^3/s , tenemos:

$$15.48 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 0.0043 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$d = 3/4"$ (tomando como referencia la tubería de salida del compresor).

Convirtiendo a metros usando el siguiente factor de conversión tenemos:

$$1 \text{ pulgada} = 2.54 \cdot 10^{-2} \text{ metros} \therefore$$

$$(0.75 \text{ pulgada}) \frac{(2.54 \cdot 10^{-2} \text{ metros})}{1 \text{ pulgada}} = 0.01905 \text{ metros}$$

$P_1 = 70 \text{ bar}$ (tomando como presión absoluta del aire la presión recibida del compresor). Convirtiendo a Pa usando el siguiente factor de conversión tenemos:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \therefore$$

$$(72 \text{ bar}) \frac{(10^5 \text{ Pa})}{1 \text{ bar}} = 7,200,000 \text{ Pa} = 7.2 \text{ MPa}$$

Sustituyendo valores en la ecuación de pérdida de presión:

$$\Delta P = \frac{1.6 \times 10^3 \times 0.0043^{1.85} \times 164.08}{(0.01905)^5 \times (7.2 \cdot 10^6)}$$

$$\therefore \Delta P = 608.534 \text{ Pa} = 0.608534 \text{ KPa} = 0.00608534 \text{ bar}$$

Determinando la pérdida de presión mediante la ecuación 18, se tendrá:

$$\Delta P = \frac{\beta}{RT} \frac{v^2}{d} \cdot L \cdot p$$

en donde ΔP = caída en la presión, en bar

p = presión del aire, en bar (absoluta) = 72 bar

R = constante de los gases; para el aire = 29.27

T = temperatura absoluta (273 + t), K = 273 + 20 = 293 K

t = temperatura del aire, en °C = 20 °C

d = diámetro interior del tubo, en mm = 19.05 mm

L = longitud total del tubo, en m = 164.08 m

v = velocidad del aire en el tubo =

$$\frac{m^3/min}{60 p} \frac{1000}{cm^2 \text{ sección tub.}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Calculando la velocidad del aire, mediante la ecuación 24:

$$v = \frac{0.258}{60 \times 72} \times \frac{1000}{\left(\frac{\left(\frac{19.05}{10} \right)^2 \times \pi}{4} \right)} = 0.209535 \text{ m/s}$$

β = coeficiente de resistencia, es una función variable con G

G = es la cantidad de aire suministrado, $G = 1.3 \times Q$ (m^3/min) $\times 60$ (kg/m).

Determinando el valor de G para encontrar al coeficiente de resistencia:

$$G = 1.3 \times 0.258 \times 60 = 20.124$$

De la tabla 19 se encontrará el valor de β en función del valor de G:

G	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650
β	2.03	1.92	1.78	1.66	1.54	1.45	1.36	1.26	1.18	1.10

Se tomará el valor de 1.78 para el coeficiente de fricción β , ya que el valor obtenido para G es de 20.124, el valor más aproximado corresponde a 25 en la tabla.

Ahora sustituyendo valores en la ecuación 18:

$$\Delta P = \frac{1.78}{29.27 \times 293} \frac{0.209535^2}{19.05} \cdot 164.08 \cdot 72 = 0.005651 \text{ bar}$$

Por lo tanto, tendremos dos valores para la caída de presión en el sistema, tomando como el principal el de menor pérdida generada, debido a que en el sistema se requiere que la caída de presión sea mínima, el cual será de:

$$\Delta P = 0.005651 \text{ bar} = 565.113 \text{ Pa}$$

4.3 Dimensionamiento de la red de aire

4.3.1 Presión de operación

Se fijará la presión de operación del sistema en la presión de aire requerida en el sistema de regulación. Por ello se desea que la presión de servicio de la instalación (presión en el depósito) esté comprendida entre 60 y 64 bar para el tanque de acumulador de la 2 etapa. Pero tomando en cuenta que el depósito inmediato en la interconexión es el tanque intermedio, se tomara la presión de este, como la presión de servicio deseada, la cual es de 70 bar. Se asumirá que la presión atmosférica es de 1 bar (absoluta) y la temperatura 20°C.

4.3.2 Factores de dimensionamiento

Coeficiente de mayoración por fugas (C_{MF})

En cualquier instalación de aire comprimido, aun siendo de la mejor calidad en materiales, o siendo instalada por profesionales en el área, sufrirá fugas eventuales o recurrentes, que es preciso considerar en el diseño del sistema. Debido a que estas fugas dependerán del número y tipo de conexiones instaladas, la calidad de la instalación, el tiempo de existencia de la misma y la presión de servicio empleada, Por lo tanto, es complicado determinar una cifra esperada de fugas en la instalación, como una condición repetitiva en sistemas de aire comprimido, es de esperar que muchos puntos de consumo con necesidades bajas tendrán mayor número de fugas con respecto a pocos puntos de consumo con necesidades de caudales altos. Instalaciones en óptimas condiciones presentan fugas que rondan entre el 2% y 5%. En el caso de instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a alcanzar fugas del 10%. Ahora bien, si las condiciones de mantenimiento son deficientes, estas fugas pueden llegar a alcanzar valores del 25%.

Considerando que el montaje de la interconexión de aire comprimido será realizado por personal técnico del departamento mecánico de la C.H. “Manuel Moreno Torres”, el cual está altamente capacitado, y los materiales a emplear son de buena calidad, así como adecuados al trabajo que serán sometidos, se tomará un factor de 5%.

Coefficiente de mayoración para futuras ampliaciones (C_{MA})

Un factor importante que se debe considerar al momento de diseñar una instalación de aire comprimido, es la probabilidad de una ampliación en el sistema a corto o mediano plazo, para fines de este diseño se considerara un factor de 15% debido a la función que cumple el sistema.

4.3.3 Dimensionamiento de la tubería de la interconexión

Para poder determinar el diámetro de la tubería a emplear en la interconexión, debe considerarse una suposición del consumo de aire más desfavorable respecto a las pérdidas de carga que se puedan producir en el sistema.

Los diámetros de las tuberías se dimensionan por el criterio de la velocidad en la cual se recibe el aire de los compresores. Algunos diámetros nominales y reales de las tuberías de acero se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Diámetros de tuberías comerciales según norma DIN 2441.

Diámetro nominal	Diámetro exterior	Diámetro interior
Pulgadas	mm	Mm
1/8	10.2	4.9
1/4	13.5	7.7
3/8	17.2	11.4
1/2	21.3	14.8
3/4	26.9	20.4
1	33.7	25.6
1 ¼	42.4	34.3
1 ½	48.3	40.2
2	60.3	51.3
2 ½	76.1	67.1
3	88.9	79.2
4	114.3	103.5
5	146.0	128.9
6	165.1	154.3

4.3.4 Calculo del diámetro de la tubería

El cálculo del diámetro de la tubería es uno de los valores más importantes a considerar en la interconexión, debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando se transporta en ella, están directamente relacionadas con su diámetro.

Calculando el diámetro de la tubería mediante la ecuación 22, se obtiene:

$$D = \sqrt[5]{\frac{1.6 \cdot 10^3 \cdot L \cdot Q^{1.85}}{P \cdot \Delta P}}$$

Dónde: Q = caudal en $m^3/s = 0.0043 \frac{m^3}{s}$

P = presión en Pa = 7.2 MPa

L = longitud de la tubería en m = 164.08 m

ΔP = caída de presión en Pa = 565.113 Pa

Sustituyendo valores y resolviendo:

$$D = \sqrt[5]{\frac{1.6 \cdot 10^3 \times 109.5 \times 0.0043^{1.85}}{7.2 \cdot 10^6 \times 565.113}}$$

$$D = 0.019334 \text{ m} = 19.334 \text{ mm}$$

Ahora haciendo el cálculo mediante la ecuación 23, se obtiene:

$$d = \sqrt[5]{450 \times \frac{q_c^{1.85} \times L}{p \times \Delta p}}$$

Dónde: p = presión inicial en bar absolutos = 72

Δp = pérdida de presión en bar = 0.00565113 bar

L_t = largo total (incluyendo longitudes equivalentes) en m. = 164.08 m

q_c = cauda normal en l/s = $0.0043 \frac{m^3}{s} \left(1000 \frac{l}{m^3}\right) = 4.3 \text{ l/s}$

d = diámetro interior del tubo en milímetros

Sustituyendo valores y resolviendo:

$$d = \sqrt[5]{450 \times \frac{4.3^{1.85} \times 109.5}{72 \times 0.00565113}} \therefore$$

$$d = 19.3261 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro de la tubería se encuentra entre los valores de 19.3261 a 19.334 milímetros, ya que no hay un diámetro comercial con esas dimensiones, se

tomara uno que aproxime al valor obtenido, de la tabla 32 de diámetros para tuberías comerciales, se tomara el diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada, ya que el valor del orificio es de 20.4 mm, siendo el más cercano al resultado.

4.4 Selección del material y tipo de unión para la tubería de aire comprimido de la interconexión.

4.4.1 Selección del material para la tubería

La presión y el caudal manejado en la interconexión son los principales parámetros de referencia para determinar el tipo de material, aunque se tomaran en cuenta también condiciones ambientales.

Debido a que se manejara una presión alta en el sistema (aproximadamente entre 74 - 70 bar) y el caudal es de 12.9 m³/h, se necesita un material capaz de resistir estos rangos de presión de trabajo, así como causar la menor oposición posible (fricción) al flujo de aire comprimido. Dentro de las condiciones de operación de la tubería, se debe tomar en cuenta que el aire comprimido tiene un porcentaje de oxígeno de 20.9%, lo cual propicia una corrosión dentro del sistema. Por lo tanto, es altamente recomendable el empleo de tuberías de acero inoxidable. Tomando en cuenta lo anterior, se propone el uso de una tubería de acero inoxidable tipo 316. En el siguiente párrafo se da una referencia de las características de este material.

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo.

Los aceros inoxidables que contienen más de un 7% de níquel, se llaman "austeníticos", ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido. No son magnéticos en estado recocido, y por tanto no son atraídos por un imán. Estos aceros austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener "martensita". En esta situación se convierten en parcialmente magnéticos. Los aceros inoxidables austeníticos, son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de cromo varía de 16 a 28%, el de níquel de 3.5 a 22% y el de molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.

Serie 300

Tipo: austenítico tipo 16-10 con molibdeno.

Formas y acabados: Barra redonda, cuadrada, solera y hexagonal; lámina y placa. tubo y piezas forjadas.

Características: es un acero más resistente a la corrosión que otros aceros al cromo-níquel cuando se expone a muchos tipos de corrosiones químicas y atmósferas marinas. Maquinabilidad: 45% del 1212; velocidad de 4060 pies/min.

Soldabilidad: adecuado para todos los métodos; utilizar electrodos tipo 316.

Aleación T-316

La aleación 316 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros. El bajo contenido en carbono de la aleación 316L otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas. (GoodFellow, s.f.)

Procesamiento: los Tipos 316 y 316L no pueden endurecerse mediante tratamiento térmico. Recocido: Calentar a 1900 a 2100 °F (1038 a 1149 °C), luego moldear y sumergir rápidamente: Los Tipos 316 y 316L pueden moldearse y extraerse rápidamente.

Soldadura: generalmente se considera que estas aleaciones tienen una menor capacidad de soldadura que los Tipos 304 y 304L. Una diferencia importante es el mayor contenido de níquel en estas aleaciones, que requiere una velocidad más lenta de soldadura por arco y más precaución para evitar el agrietamiento por calor. Cuando sea necesario un relleno, AWS E/ER 316L y 16-8-2 son los especificados con más frecuencia. (National Kwikmetal Service, 2017)

Corrosión: los aceros inoxidables Tipos 316 y 316L exhiben mejor resistencia a la corrosión que el Tipo 304. Proporcionan excelente resistencia a las picaduras y buena resistencia a la mayoría de los químicos implicados en las industrias de papel, textil y fotográfica.

Principal característica del AISI 316

El material 316 resiste a la corrosión más que el 304, no de una manera general, si no especialmente cuando se trata de una corrosión por picaduras. Los elementos que producen este tipo de corrosión son: flúor, cloro, bromo, y yodo, los cuales se denominan en términos químicos halógenos. El elemento más conocido de ellos es el cloro, presente en el mar, en ambientes marinos y en agua potable.

Para proteger al acero inoxidable de las acciones del cloro (cloruros, ion cl.) se introduce en la aleación el elemento molibdeno (MO) en una proporción del 2% al

3%. El molibdeno dentro del acero inoxidable forma compuestos químicos que protegen al material de la corrosión por picaduras. (Edwin Gamboa Poveda, 2011)

Tabla 30. Ficha técnica del acero inoxidable serie 300.

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	304	316	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm ³)	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
INTERVALO DE FUSIÓN (C)	1398/1454	1371/1398		
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm ²)	210 / 230	205410 / -	
	ÉLONGACIÓN (A ₅) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCU / KVL (J/cm ²)	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm ²)	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ1/10 ⁵ /ft (N/mm ²)	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA	

* Son aceptables tolerancias de un 1%

Después de lo expuesto anteriormente, se determina el uso de tubería tipo “tubing” de acero inoxidable austenítico T316 sin costura, para la interconexión de aire comprimido.

4.4.3 Selección del calibre de la tubería para la interconexión.

Las láminas de acero se pueden elaborar a partir de acero rolado en frío, acero galvanizado o acero inoxidable. La lámina de acero estándar viene en varios grosores, los cuales son clasificados en calibres. Cada calibre tiene un rango de tolerancia, que permite pequeñas variaciones de grosor. Un calibre más alto significa que el material será más delgado; un calibre más bajo significa una pieza más gruesa. Todas las presiones son calculadas a partir de las ecuaciones del Código ASME B31.3 para tuberías de proceso. Por lo tanto, para el calibre de la tubería a utilizar en la interconexión de aire comprimido, se seleccionará de las tablas de acuerdo a la presión de trabajo de 72 bar.

Entonces se convertirá la presión de 72 bar a unidades del sistema inglés (psi) para coincidir con los valores de la tabla para tubo de acero sin soldadura.

$$1 \text{ bar} = 14.5038 \text{ psi} \quad \therefore 72 \text{ bar} = 72 \text{ bar} \left(\frac{14.5038 \text{ psi}}{1 \text{ bar}} \right)$$

$$P_{\text{sistema}} = 1044.27 \text{ psi}$$

Ahora teniendo los valores del diámetro y la presión del sistema respectivamente, conociendo que el material de la tubería será un acero inoxidable austenítico tipo 316 con molibdeno, se buscará un calibre que cumpla estas especificaciones:

$$P_{\text{sistema}} = 1044.27 \text{ psi}$$

$$D_{\text{nominal}} = \frac{3}{4} \text{ pulgada}$$

Tabla 31. Tubo de acero inoxidable sin soldadura fraccional.

Ø ext. del tubo pulg	Espesor de pared del tubo, pulg															Serie del racor Swagelok	
	0,010	0,012	0,014	0,016	0,020	0,028	0,035	0,049	0,065	0,083	0,095	0,109	0,120	0,134	0,156		0,188
	Presión de servicio, psig Nota: Para servicio de gases, seleccione un espesor de pared del tubo fuera de la zona sombreada. (Vea Servicio de gases en la página 2.)																
1/16	5600	6800	8100	9400	12 000												100
1/8						8500	10 900										200
3/16						5400	7 000	10 200									300
1/4						4000	5 100	7 500	10 200 ¹⁾								400
5/16							4 000	5 800	8 000								500
3/8							3 300	4 800	6 500	7500 ¹⁾²⁾							600
1/2							2 600	3 700	5 100	6700							810
5/8								2 900	4 000	5200	6000						1010
3/4								2 400	3 300	4200	4900	5800					1210
7/8								2 000	2 800	3600	4200	4800					1410
1									2 400	3100	3600	4200	4700				1610
1 1/4										2400	2800	3300	3600	4100	4900		2000
1 1/2											2300	2700	3000	3400	4000	4900	2400
2												2000	2200	2500	2900	3600	3200

Tabla 32. Referencia para solicitar Tubing.

Tubing OD (in)	Espesor de pared (in)	Calibre	Número de Parte	Peso (Lb/ft)
1/8"	0.035"	20	316L-0125X0350-S	0.0330
3/16"	0.035"	20	316L-0187X0350-S	0.0570
	0.049"	18	316L-0187X0490-S	0.0727
1/4"	0.035"	20	316L-0250X0350-S	0.0840
	0.049"	18	316L-0250X0490-S	0.1052
	0.065"	16	316L-0250X0650-S	0.1284
5/16"	0.035"	20	316L-0312X0350-S	0.1037
	0.049"	18	316L-0312X0490-S	0.1441
	0.065"	16	316L-0312X0650-S	0.1720
3/8"	0.035"	20	316L-0375X0350-S	0.1271
	0.049"	18	316L-0375X0490-S	0.1706
	0.065"	16	316L-0375X0650-S	0.2152
1/2"	0.035"	20	316L-0500X0350-S	0.1738
	0.049"	18	316L-0500X0490-S	0.2360
	0.065"	16	316L-0500X0650-S	0.3020
5/8"	0.035"	20	316L-0625X0350-S	0.2205
	0.049"	18	316L-0625X0490-S	0.3014
	0.065"	16	316L-0625X0650-S	0.3888
3/4"	0.035"	20	316L-0750X0350-S	0.2673
	0.049"	18	316L-0750X0490-S	0.3668
	0.065"	16	316L-0750X0650-S	0.4755
	0.083"	14	316L-0750X0650-S	0.5913
	0.095"	13	316L-0750X0650-S	0.6646
1"	0.035"	20	316L-1000X0350-S	0.3607
	0.049"	18	316L-1000X0490-S	0.4977
	0.065"	16	316L-1000X0650-S	0.6491
	0.083"	14	316L-1000X0650-S	0.8129
	0.095"	13	316L-1000X0650-S	0.9182
8mm	1mm	20	316L-8MMX1MM-S	0.1170
	2mm	18	316L-8MMX2MM-S	0.1630
10mm	1mm	20	316L-10MMX1MM-S	0.1500
	2mm	18	316L-10MMX2MM-S	0.2670
12mm	1mm	20	316L-12MMX1MM-S	0.1830
	2mm	18	316L-12MMX2MM-S	0.3340

Opciones:

Designador de Materiales

* 316L /316	316L
* 304L /304	304L
* Monel 400	Mone

Tipo de Fusión

* Con Costura (welded)	-W
* Sin Costura (Seamless)	-S

Presentación

* En tramos 6.1 metros (20Fts)	estandar
* En rollo (long. +15% / -5%)	-C

Por lo tanto, tendremos que el material, diámetro nominal y calibre de la tubería de la interconexión de aire comprimido será definidos como:

Tubo de acero inoxidable (tubing) T316, $\varnothing = \frac{3}{4}$ de pulgada, calibre 18.

4.4.2 Selección del tipo de unión de los elementos de la interconexión.

En una línea o red de aire comprimido generalmente se emplean uniones de tipo roscado para los elementos y/o accesorios de la misma, debido a que las presiones de trabajo, son presiones bajas que normalmente en las líneas de servicio se mantienen en un rango de 700 - 1000 kPa (7 a 10 bar). Debido a que, en el sistema de aire comprimido, donde se realizara la interconexión, la presión se encuentra en un rango de 70 -74 bar, se determinó el uso de conexiones roscadas para tubing con férulas de ajuste, las cuales permitirán el montaje y desmontaje de la tubería con mayor facilidad, así como una reducción en las probabilidades de fugas en el sistema.

Este tipo de unión ofrece las siguientes ventajas:

- Excelente integridad de sellado libre de fugas en materiales pesados vibración, vacío e impulso.
- Trazabilidad del código de calor
- Sin par de transferencia a la tubería conectiva durante instalación.

El accesorio de unión para el tubo consiste en cuerpo, férula delantera, férula trasera y tuerca de ajuste.

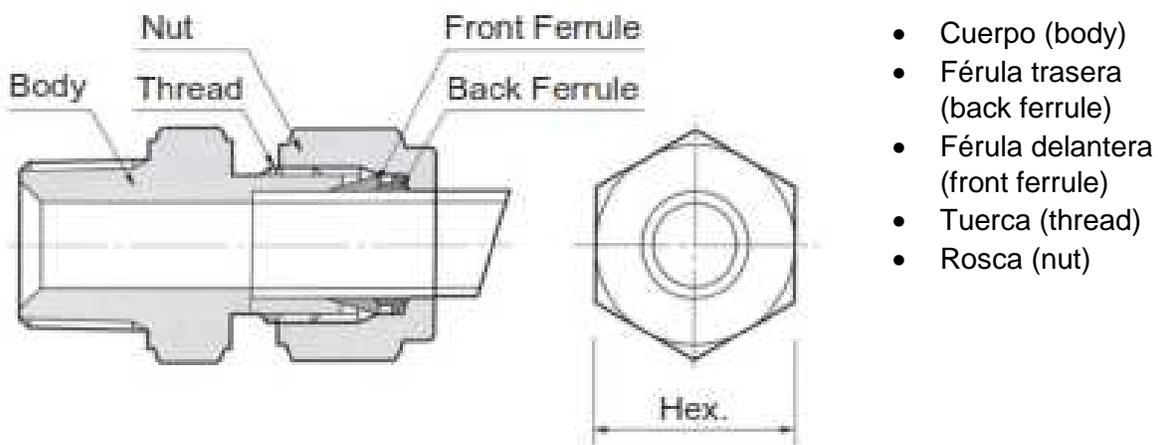


Figura 58. Estructura y elementos de la unión por férulas de ajuste.

Capítulo 5. Análisis de resultados.

5.1 Análisis de los valores de diseño determinado.

5.1.1 Caída o pérdida de presión en el sistema

La caída de presión representa uno de los valores más importantes a considerar en un sistema neumático, debido a que este valor determinara la eficiencia del sistema, de los dos valores obtenidos para la perdida de presión en el sistema siendo 0.00608534 bar y 0.005651 bar respectivamente, se definió al valor de 0.005651 bar como el indicado para el desarrollo del proyecto, tomando en consideración que dentro de un sistema neumático y/o hidráulico la perdida de presión en él debe ser la mínima para garantizar el correcto desarrollo del mismo. Y para el sistema de regulación la conexión de los compresores a los tanques intermedios, representa únicamente el paso inicial, es decir, la perdida en esta etapa debe ser la menor posible, ya que existe un gran recorrido en todo el sistema de regulación, en el cuál por elementos de la tubería y/o actuadores es posible encontrar pérdidas de presión, que sumadas a esta etapa podría propiciar un deficiente funcionamiento del sistema.

5.1.2 Selección del diámetro y espesor de la tubería

Para determinar el diámetro y espesor de la tubería se tomaron en consideración dos factores de gran importancia en el transporte del fluido a través de un tubo, como lo son el caudal y la presión del mismo, todo esto debido a que la tubería debe permitir el flujo constante del aire y soportar la presión a la que el fluido trabaja. De no considerarse estos factores, la instalación de una red de tuberías para transportar un fluido de potencia, resulta ser un riesgo para el personal operacional y de mantenimiento, ya que en cualquier momento la tubería cederá a una presión mayor de trabajo que la especificada; otra posible situación a presentarse de no seleccionarse el diámetro adecuado, es restar la presión de trabajo al tener un diámetro excedente al requerido, así como una baja a la velocidad del flujo, lo cual haría un proceso lento para el llenado de los tanques intermedios. Una vez obtenido el rango para la magnitud del diámetro (19.3261 a 19.334 mm), se seleccionó un diámetro comercial aproximado a estos valores, ya que el ocupar las dimensiones originales provocaría un aumento en costos de fabricación, debido que, al no ser una dimensión comercial, comúnmente los proveedores cobran un valor agregado por manufactura especializada.

5.2 Análisis de las pérdidas de ingreso percibido.

Si tomamos en consideración que en caso de una falla donde se requiera despresurizar el sistema de regulación, el tiempo para presurizar los tanques es de 8 horas. Con los tanques interconectados el tiempo de presurización se reduce a 2 horas. Todos estos datos se obtuvieron mediante métodos prácticos, determinados durante la ejecución de mantenimientos menores realizados en el periodo de estadía en la central hidroeléctrica, y a experiencias compartidas por el personal técnico de la empresa.

Cada hora con la unidad indisponible es un ingreso no percibido de:

$300 \text{ MW} \times 1 \text{ Hrs.} \times 0.33 \text{ (factor de planta)} = 99 \text{ MWH.}$

Energía no generada en 1 Hrs. $99 \text{ MWH} \times \$1,286.00 \text{ (\$/MWH)} = \$127,314.00 \text{ MXN}$

Esto quiere decir que en 6 horas la pérdida económica es de:

$$\$127,314.00 \times 6 = \$763,886.00 \text{ MXN}$$

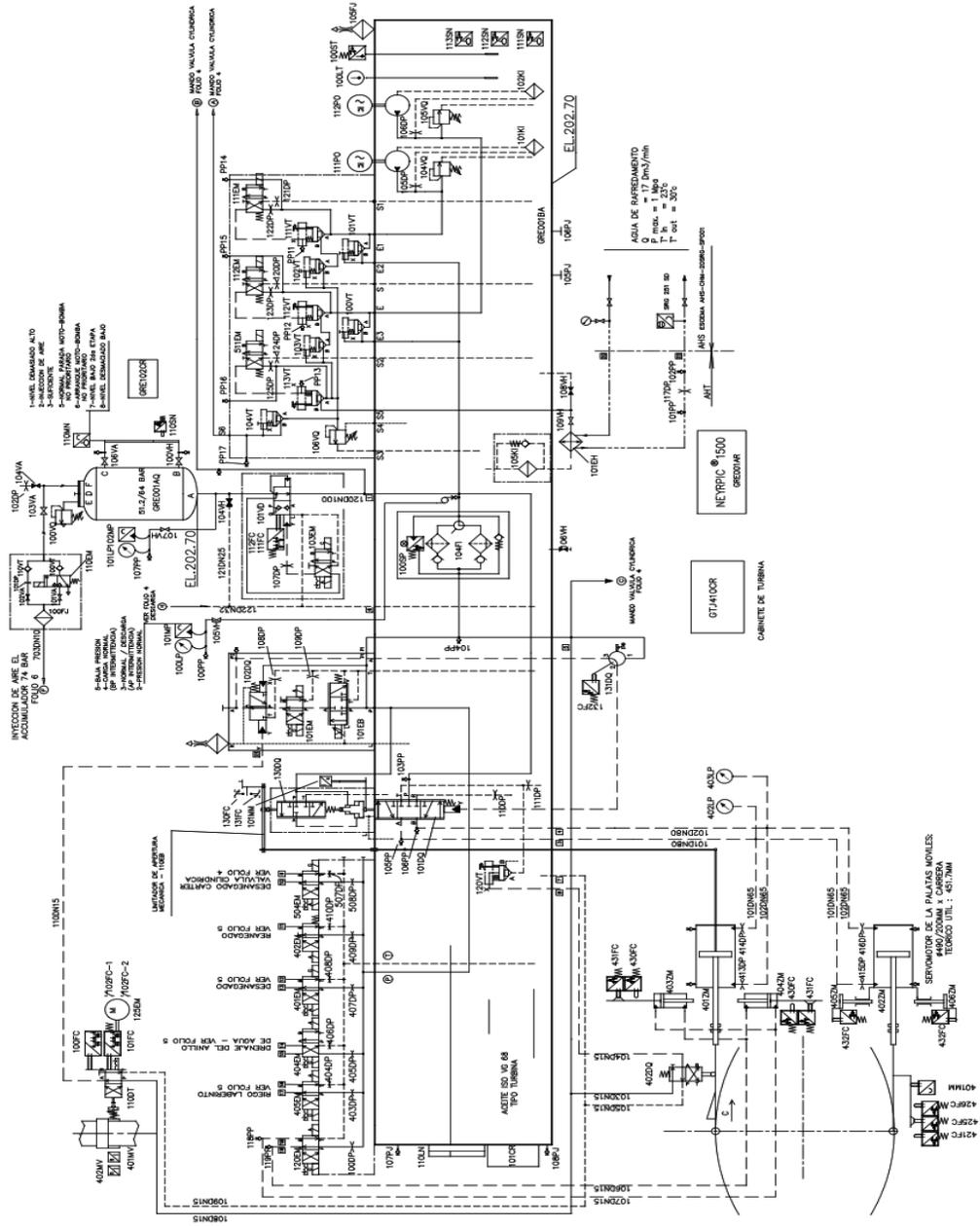
5.3 Conclusión

El sistema de regulación de las unidades de la segunda etapa, es imprescindible para el correcto funcionamiento de las unidades generadoras, con el cual se garantiza la generación eficiente de energía, así como preservar la vida útil de los elementos asociados a este sistema y a las unidades generadoras. Por lo tanto la implementación del presente proyecto proporciona una solución viable a las problemáticas anteriormente expuestas, ya que, en caso de maniobras de mantenimiento en el que se requiera despresurizar al sistema de regulación por trabajos inherentes al mismo, el proceso de presurización después de los trabajos se haría de una forma más rápida, al tener 6 compresores disponibles para esta maniobra y no solo dos como actualmente se tiene, es decir, se reduce los tiempos de carga de los tanques acumuladores, además de tener una confiabilidad adicional en la operación de las unidades, debido a que en caso de daño o indisponibilidad de un compresor de regulación, se pueda suministrar aire de cualquier otro compresor de las demás unidades generadoras de la segunda etapa, sin importar si alguna de ellas quedara sin compresores de regulación.

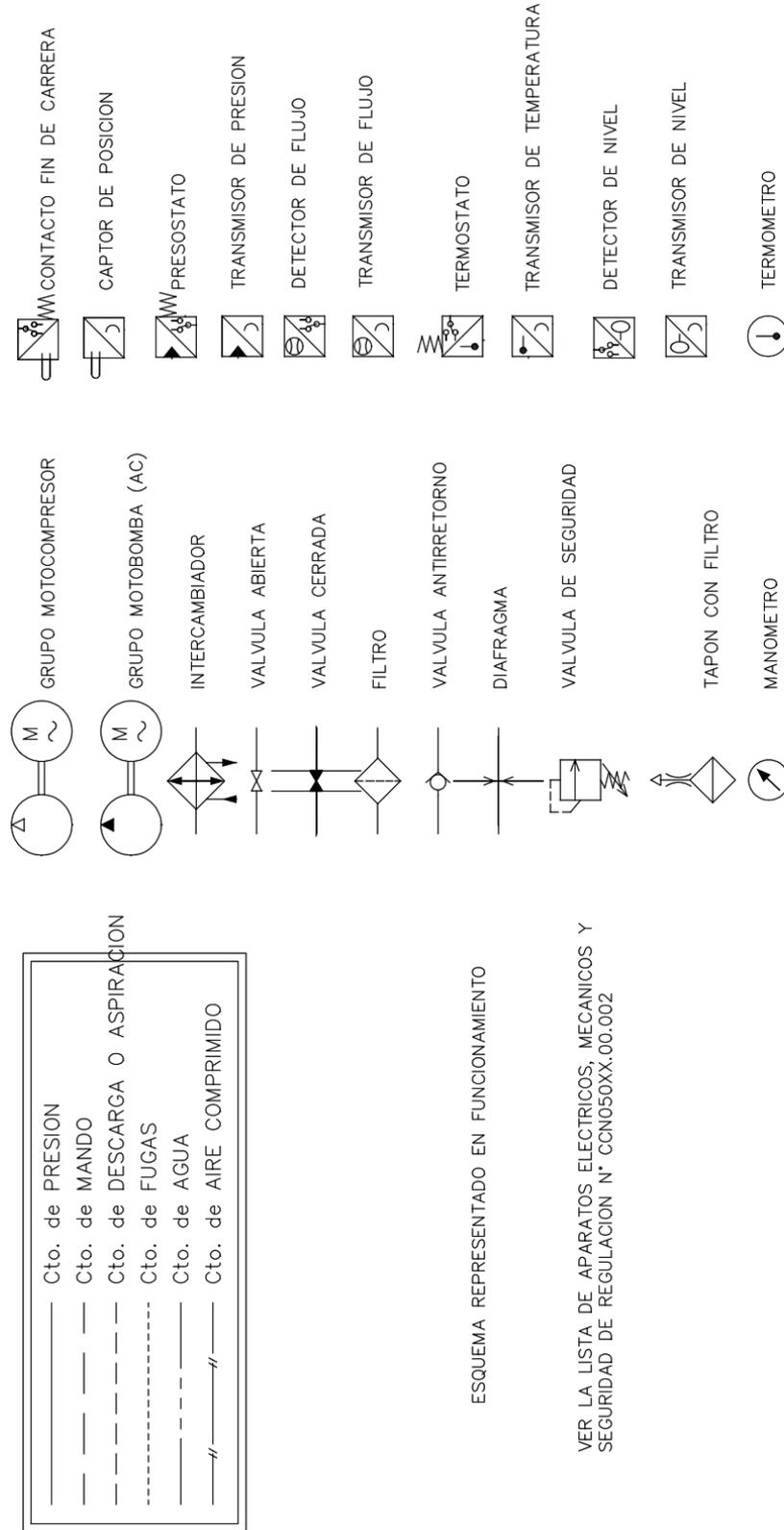
Referencias

- Arredondo, H. I. (2000). Principios basicos para el diseño de lineas de vapor. Medellín , Colombia: Universidad nacional de Colombia.
- Atlas Copco. (2007). *Guía de bolsillo para la distribución de aire comprimido*. Obtenido de www.atlascopco.com
- Central escuela de Celaya, CFE. (1987). *Introducción a centrales hidroelectricas*. Celaya: C. E. C.
- Comisión Federal de Electricidad. (1985). Comportamiento de Presas construidas en México. *Comisión Federal de Electricidad, VII*.
- Comision Federal de Electricidad. (2009). *Subdirección de Generación*. Obtenido de <http://www.cfe.gob.mx>
- Dea Ingeniería. (2015). Manual técnico de aire comprimido. España: Junta de Castilla y León.
- Edwin Gamboa Poveda, R. A. (2011). Acero inoxidable 316 y 316 L propiedades y características. *Materiales de ingeniería*. Fundacion Univeristaria Los Libertadores.
- Fluidos, Á. d. (Abril de 2006). Instalación de aire comprimido. *Seminarios de instalaciones de fluidos*. Recuperado el 2017
- GoodFellow. (s.f.). *GoodFellow50*. Recuperado el Septiembre de 2017, de <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-316.html>
- Kaeser Compresores S.L. (Noviembre de 2017). *Kaeser Toolbox*. Obtenido de http://www.kaeser.es/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/default.asp
- Kaeser Compresores. (2010). Técnica de aire comprimido. Fundamentos y consejos prácticos. *-Revista técnica Kaeser Compresores*.
- Londoño, C. N. (s.f.). *Ministerio de energía y minas*. (K. S. Farid Chejne Janna, Ed.) Recuperado el 2017, de República de Colombia: <http://www.si3ea.gov.co/eure/7/inicio.html>
- Majumdar, S. R. (1998). *Sistemas neumáticos. Principios y mantenimiento*. (J. H. Pérez, Trad.) México: McGraw-Hill Interamericana Editores S. A. de C. V.
- National Kwikmetal Service. (2017). *NKS de México*. (N. K. Service, Productor) Recuperado el Noviembre de 2017, de <http://www.nks.com>
- Peidró, J. B. (Octubre de 2010). Instalación de aire comprimido. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Serrano, A. N. (2009). *Neumática práctica (1º edición ed.)*. Madrid, España: Paraninfo.
- Subdirección de programación. Gerencia de programación de sistemas eléctricos. (2016). Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 2007 - 2016. *Comisión Federal de Electricidad*, 196.
- Viloria, J. R. (2006). *Neumática hidráulica y electricidad aplicada*. México: Paraninfo.

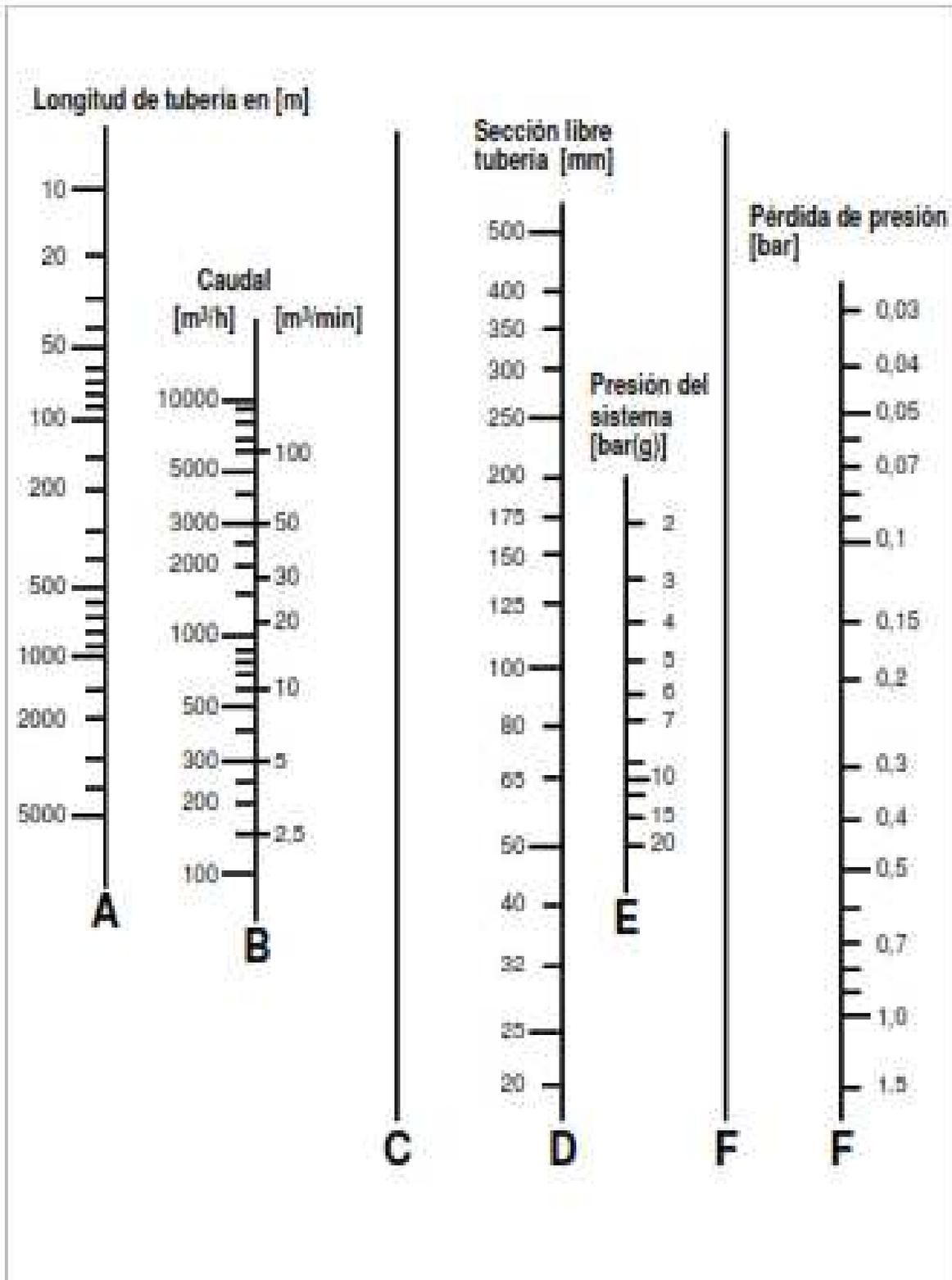
Anexo A. Diagrama del sistema de regulación de las unidades de la 2ª etapa C.H.M.M.T.

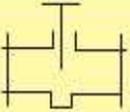
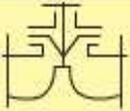
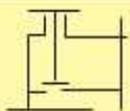
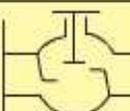
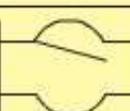
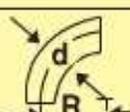
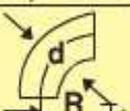
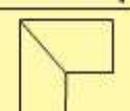
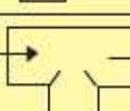
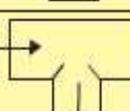
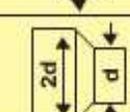


Anexo B. Simbología del sistema de regulación de la 2º etapa C.H.M.M.T.



Anexo C. Nomograma para calcular el diámetro interno de las tuberías y tablas de longitudes equivalentes.

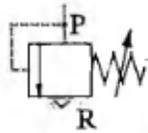


Longitud equivalente en metros												
Componente		Diámetro interior de la tubería en mm (d)										
		25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula de bola totalmente abierta		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula de diafragma totalmente abierta		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula angular totalmente abierta		4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de globo		7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Válvula antirretorno de clapeta		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R = 2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R = d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90°		1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Te, salida en línea		0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
Te, salida angular		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

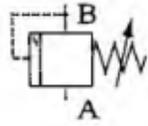
Anexo D. Simbología ISO para circuitos de fluidos

<i>Conversión de la energía</i>		<i>Válvula de control</i>	
	Compresor unidireccional de aire	<i>Válvula de control de dirección</i>	
	Bomba de vacío		Válvula de control de dirección 2/2; normalmente cerrada
	Bomba hidráulica		Válvula de control de dirección 2/2; normalmente abierta
<i>Motor neumático</i>			Válvula C.D. 3/2; normalmente cerrada
	Motor neumático unidireccional		Válvula C.D. 3/2; normalmente abierta
	Motor neumático bidireccional		Válvula C.D. 4/2
	Motor oscilante		Válvula C.D. 4/3; en la posición cero todas las lumbreras están cerradas
<i>Cilindro</i>			Válvula C.D. 4/3; en la posición cero todas las lumbreras están cerradas
	Cilindro de simple acción con retorno por fuerza externa		Válvula C.D. 5/2
	Cilindro de simple acción con retorno por resorte	<i>Válvula de retención</i>	
	Cilindro de doble acción		Válvula sin retorno
	Cilindro de doble acción con varilla pasante		Válvula de lanzadera
	Cilindro DA con amortiguamiento ajustable en ambos extremos		Válvula de control del flujo, sin retorno
	Cilindro con control integrado		Válvula de escape rápido
	Cilindro con válvula de control y válvula hidráulica de retención integradas		Válvula gemela de secuencia de presión
	Intensificador de presión		
	Cambiador del medio de presión		
Nomenclatura Lumbrera de trabajo : A, B, C Neumático: ▲ Lumbrera de presión : P Hidráulico: ▲ Lumbrera de escape : R, S, T Lumbrera de drenaje : L Lumbrera piloto : X, Y, Z			

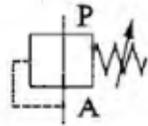
Válvula de control de la presión



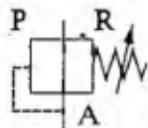
Válvula de alivio de presión



Válvula de secuencia

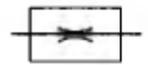


Regulador de presión

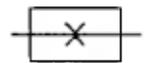


Regulador de presión con autoalivio

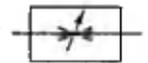
Válvula de flujo



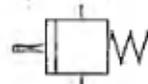
Símbolo general de control del flujo



Control del flujo (influencia insignificante de la viscosidad)



Control ajustable del flujo



Válvula de control del flujo controlada mecánicamente con resorte



Válvula de control del flujo compensada por la presión

Válvula de corte



Válvula de corte

Transmisión de energía



Alimentación principal de presión



Línea de trabajo, de retorno y de alimentación



Línea de control

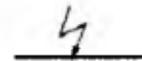


Línea de drenaje

Transmisión de energía



Línea de montaje



Línea eléctrica



Línea flexible



Unión de líneas



Cruce de líneas

Escape



Lumbrera no roscada de escape del aire



Lumbrera roscada de escape del aire



Tanque hidráulico

Toma de fuerza

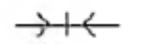


Enchufe

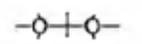


Con línea de toma

Acoplamiento de desenganche rápido



Acoplado sin válvula de retención



Acoplado con válvula de retención



Mitad de acoplamiento de desenganche rápido sin válvula



Mitad de acoplamiento de desenganche rápido con válvula cerrada

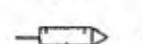
Conexiones rotatorias



Una línea de flujo



Tres líneas de flujo

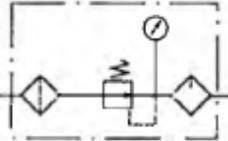
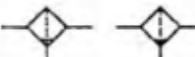


Silenciador

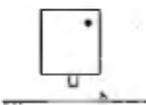


Acumulador

Acondicionamiento

	Filtro		Unidad de acondicionamiento (símbolo detallado)
	Trampa de agua con drenaje manual		
	Trampa de agua; drenaje automático		Unidad de acondicionamiento (símbolo simple)
	Filtro con trampas de agua y drenaje		Enfriador sin líneas de flujo
	Desecador; secado del aire por productos químicos		Enfriador con líneas de flujo
	Lubricador		

Actuaciones

<i>Componentes mecánicos</i>		<i>Métodos de control</i>			
		<i>Control manual</i>	<i>Control mecánico</i>		
	Una dirección o dos direcciones de rotación, respectivamente, de la flecha		Símbolo general		Émbolo buzo
	Fiador		Botón		Rodillo
	Dispositivo de trabamiento		Palanca		Disparador de rodillo
	Dispositivo sobre centro		Pedal		Resorte
1. 	Eslabonamientos: 1. simple 2. con eslabonamientos 3. con fulcro fijo	<i>Control eléctrico</i>		<i>Control de la presión</i>	
2. 			Electroimán		Por aplicación de presión
3. 			Por solenoide y servoválvula		Por liberación de presión
				Por diferencia de presión	