

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Dpto. de INGENIERÍA MECÁNICA



INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**“DISEÑO DE UNA BOMBA  
DOSIFICADORA”**

**AUTOR:** D. MANUEL RODRÍGUEZ BORJA  
**TUTOR:** Dra. Dña. BEATRIZ LÓPEZ BOADA



*“Diseño de una bomba dosificadora”.*



## Agradecimientos:

Cuando comienzo a escribir este apartado vienen a mi memoria multitud de recuerdos de mi primer año de carrera, especialmente del curso cero, cuando se daba mi primer contacto universitario y cómo estaba aterrado ante la posibilidad de no poder ser capaz de terminar la carrera Ingeniería Técnica Industrial: Mecánica; llegado este momento, con todas las asignaturas aprobadas gracias al duro trabajo diario y con muchas horas de biblioteca invertidas en su consecución me siento realmente orgulloso de mí mismo.

Primero de todo quiero agradecer a mi tutora Beatriz toda la ayuda que me ha aportado para elaborar el proyecto. Así como la paciencia que ha tenido a lo largo de todo este tiempo que ha transcurrido hasta que lo presenté. Siempre me respondía inmediatamente, tenía completa disponibilidad; e incluso dedicaba sus fines de semana para leerlo. De todo corazón, muchas gracias Beatriz.

Doy gracias a todos los profesores que me han dado clase, cada uno de los cuales de una forma distinta pero con unos objetivos comunes; tratar de inculcarme su sabiduría de una forma dinámica, así como resolverme dudas o cuestiones.

Por supuesto, no me puedo olvidar de mi tutor dentro de la empresa Luis, que me ha guiado y ayudado durante todo este tiempo de realización de proyecto, paralelo de mi incorporación al mundo laboral; algo que siempre suele ser muy difícil pero que gracias a él ha sido un grato tránsito.

Doy gracias a mi familia, por el apoyo que me han dado durante estos años. Apoyo moral, cuando estaba decaído por motivo de exámenes o aspectos referentes a la universidad; y económico, haciendo un duro esfuerzo por financiar mis estudios y todos los gastos que éstos conllevan.

De igual forma, quería agradecer por todo su apoyo a todos mis amigos, cómo me han ayudado a desconectar cuando lo necesitaba. También me gustaría agradecer a Manuel Castillo, mi cuñado; Ingeniero Industrial, licenciado en esta misma universidad; por las largas conversaciones telefónicas dialogando y reconfortándome de una forma excepcional.

Desde aquí quiero animar a todo el mundo que se lo planteé a iniciar una Ingeniería de si podría concluirlo que, si se conciencia y está dispuesto a trabajar día a día con estudio y sacrificio, sin ninguna duda será capaz de “llevarla a buen puerto”.

Por último, desear un cambio tremendo en cuanto al nivel de desempleo que convive en nuestro país a día de hoy, ya que es incomprensible que un joven de “veinti-pocos” años termine una carrera, bastante laboriosa (y con bastante salida, a priori), y que no pueda encontrar un empleo que se asemeje cuanto más a su formación; o, al menos, un empleo. Espero y deseo que esto cambie ya que como todos sabemos *los jóvenes somos el futuro de nuestro país.*



## Índice

Agradecimientos: .....	3
Capítulo 1: Introducción .....	8
1.1 Objetivos.....	12
1.2 Estructura del proyecto.....	12
Capítulo 2: Estado del arte .....	13
2.1 Dosificadores volumétricos neumáticos.....	13
2.2 Dosificadores por bomba rotatoria.....	13
2.3 Bombas peristálticas.....	13
Capítulo 3: Generalidades del proyecto .....	15
3.1 Aspectos del proyecto.....	15
3.2 Mejoras de la bomba dosificadora .....	17
3.2.1 Bandeja receptora de fluido .....	18
3.2.2 Cuerpo dosificador .....	18
3.2.3 Soporte del cuerpo dosificador.....	19
3.2.4 Soporte del cilindro neumático del grifo .....	19
3.2.5 Altura de los elementos de la bomba.....	20
3.2.6 Pistón dosificador .....	20
3.2.7 Sistema de alimentación .....	21
3.2.8 Palanca de giro neumático .....	21
3.2.9 Taco empujador.....	22
3.2.10 Cilindro regulador.....	22
Capítulo 4: Materiales .....	23
4.1 Materiales y compatibilidades .....	23
4.1.1 Corrosión inter-granular .....	25
4.1.2 Corrosión galvánica .....	25
4.1.3 Corrosión por contacto.....	26
4.1.4 Picado .....	26
4.1.5 Corrosión por fatiga.....	26
4.2 Soldadura sanitaria .....	26
4.2.1 La soldadura TIG.....	28
4.2.2 Soldadura orbital .....	28
4.3 Estudio del problema del eje dosificador picado superficialmente.....	29
4.3.1 Opción de sendos elementos con acabados superficiales sin Cromo .....	30
4.3.2 Con juntas estanqueizantes tipo PTFE para el eje dosificador .....	30
4.3.1 Utilización de válvulas neumáticas de 3 vías en lugar del cilindro y el eje dosificador .....	33



4.3.1 Utilización de material cerámico tanto en el eje como en el cuerpo dosificador .....	35
4.4 Estudio mecánico de una tórica .....	37
4.4.1 Visionado de fuerzas.....	37
4.4.2 Problemas del método descrito .....	38
4.4.3 Almacenamiento de juntas tóricas.....	40
4.5 Problema de las camisas de los cilindros.....	40
4.5.1 Rascadores del vástago .....	40
Capítulo 5: Cálculos.....	42
5.1 Fuerza del émbolo en el avance .....	42
5.1.1 Cilindro neumático pequeño .....	43
5.1.2 Cilindro neumático grande.....	44
5.2 Cálculos de pandeo.....	47
5.3 Cálculo del consumo de aire .....	49
5.3.1 Cilindro neumático pequeño .....	50
5.3.2 Cilindro neumático grande .....	51
5.4 Cálculo del consumo de aire 2 .....	54
5.4.1 Conducto largo que va desde la placa base (conjunto de válvulas) al cilindro neumático pequeño (Ø 40 mm).....	56
5.4.2 Conducto corto que va desde la placa base (conjunto de válvulas) al cilindro neumático mayor (Ø 80 mm).....	57
5.5 Selección del compresor y del depósito acumulador .....	57
Capítulo 6: Importancia del guiado .....	60
6.1 Cilindro regulador .....	60
6.2 Tapa de la camisa y pistón.....	60
6.3 Columnas .....	60
6.4 Eje y cuerpo dosificador .....	60
6.5 Brida del cilindro neumático dosificador .....	61
Capítulo 7: Morfología de la bomba.....	62
7.1 Cilindro regulador .....	62
7.2 Soporte y válvulas .....	65
7.3 Taco empujador y columnas .....	68
7.4 Cilindro dosificador.....	69
7.5 Cuerpo dosificador y soportes .....	72
7.6 Eje dosificador, tapa y pieza giro .....	73
7.7 Cilindro neumático dosificador.....	75
7.8 Bandeja y placa base .....	77
7.9 Alimentación.....	79



Capítulo 8: Montaje de la bomba.....	84
Capítulo 9: Situación en la máquina .....	88
Capítulo 10: Desmontaje de la bomba para limpieza manual .....	90
Capítulo 11: Funcionamiento de la bomba dosificadora .....	92
Capítulo 12: Fotografías generales de la bomba dosificadora.....	93
Capítulo 13: Accionamientos .....	95
13.1 Accionamiento neumático .....	95
13.2 Accionamiento servomotor.....	98
13.2.1 Inversores .....	99
13.2.2 Vectores .....	99
13.3 Servos .....	102
13.4 Comparación entre accionamientos.....	103
Capítulo 14: Análisis del aire comprimido .....	104
14.1 Partículas.....	104
14.2 Humedad residual.....	105
14.3 Aceites residuales .....	105
14.4 Ahorro de energía neumática .....	105
Capítulo 15: Limpieza <i>CIP</i> .....	109
15.1 Clasificación de métodos de limpieza .....	109
MANUAL.....	110
15.2 Clasificación de detergentes .....	111
15.2.1 Alcalinos .....	111
15.2.2 Ácidos .....	111
15.2.3 Surfactantes .....	111
15.2.4 Secuestrantes .....	112
15.3 Limpieza de la bomba.....	112
15.4 Factores a tener en cuenta .....	113
15.5 Defectos posibles y soluciones .....	114
15.6 Limpieza de tolva .....	115
15.6.1 Limpieza estática con bochas de limpieza o <i>sprayballs</i> .....	115
15.6.2 Limpieza rotativa.....	116
15.6.3 Limpieza orbital.....	116
Capítulo 16: Normativa aplicable .....	117
16.1 FDA ( <i>Food and Drugs Administration</i> , administración de alimentos y fármacos estadounidense).....	117
16.2 Conformidad 3-A .....	118
16.3 EHEDG ( <i>European Hygienic Engineering &amp; Design Group</i> ).....	118



16.4	Marcado CE.....	118
16.5	Las UNE (Una Norma Española).....	119
16.6	La Organización Internacional de Normalización o ISO .....	119
16.7	Normativa propia.....	120
	Capítulo 17: Datos técnicos.....	121
	Capítulo 18: Indicaciones de seguridad .....	122
	Capítulo 19: Presupuesto.....	124
	Capítulo 20: Conclusiones.....	126
	Capítulo 21: Trabajos futuros.....	127
	Capítulo 22: Bibliografía y referencias .....	128
	22.1 Recursos electrónicos .....	128
	22.2 Referencias.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## Índice de figuras

Figura 1. Dosificador volumétrico neumático.....	13
Figura 2. Bomba peristáltica.....	14
Figura 3. Bomba con cañón de cebado. ....	15
Figura 4. Conjunto del pistón en Solid Edge de la anterior bomba dosificadora.....	17
Figura 5. Bandeja.....	18
Figura 6. Cuerpo dosificador, vista frontal.....	19
Figura 7. Cuerpo dosificador, vista superior.                      Figura 8. Cuerpo dosificador, vista de los Clamps. ....	19
Figura 9. Cilindro neumático con sus soportes.....	20
Figura 10. Pistones dosificadores. ....	20
Figura 11. Tubo de alimentación.....	21
Figura 12. Sistema giro neumático. ....	21
Figura 13. Taco empujador. ....	22
Figura 14. Cilindro regulador.....	22
Figura 15. Ejemplo de soldadura sanitaria en la tolva. ....	29
Figura 16. Válvula de doble asiento. ....	34
Figura 17. Ejemplo de elementos cerámico.                      Figura 18. Ejemplo de cuerpo dosificador cerámico.....	35
Figura 19. Esquema de una tórica aprisionada.....	37
Figura 20. Esquema de una tórica con fuerzas y presiones.....	38
Figura 21. Esquema de una tórica con fuerzas y presiones (bis).....	38
Figura 22. Esquema de nuestra junta rotativa. ....	39
Figura 23. Esquema del vaciado del cuerpo dosificador.....	39
Figura 24. Diseño de la junta rascadora.....	41
Figura 25. Diagrama Presión-Fuerza.....	46
Figura 26. Diagrama de pandeo.....	49
Figura 27. Fuerza transversal $F_q$ máx.....	52
Figura 28. Gráfica para cilindro $\Phi = 40$ mm de Festo. En función de la carrera l y de la palanca s.....	53
Figura 29. Gráfica para cilindro $\Phi = 80$ mm de Festo. En función de la carrera l y de la palanca s.....	53
Figura 30. Número de Reynolds.....	55
Figura 31. Distintos rasgos de comportamiento de compresores de aire.....	58
Figura 32. Conjunto en Solid Edge del cilindro regulador. ....	62
Figura 33. Conjunto del cilindro regulador.....	62
Figura 34. Conjunto del cilindro neumático Festo en Solid Edge.....	63
Figura 35. Primera parte del cilindro regulador en Solid Edge.....	63
Figura 36. Indicador gravitacional en Solid Edge.                      Figura 37. Segunda parte del cilindro regulador.....	64
Figura 38. Pomo grafilado en Solid Edge.....	64
Figura 39. Tercera parte del cilindro regulador en Solid Edge.....	65
Figura 40. Capuchón del vástago en Solid Edge.....	65
Figura 41. Soporte del cilindro regulador.....	66
Figura 42. Soporte del cilindro en Solid Edge                      .                      Figura 43. Plaquita porta-válvulas en Solid Edge.....	66
Figura 44. Placa base Festo en Solid Edge.....	66
Figura 45. Silenciador Festo en Solid Edge.....	67



Figura 46. Conjunto de válvulas y silenciadores sin tubos. ....	Figura 47. Conjunto con tubos. ....	67
Figura 48. Válvula Festo en Solid Edge. ....	Figura 49. Eválvula Festo en Solid Edge. ....	67
Figura 50. Columna en Solid Edge. ....	Figura 51. Columnas de la bomba. ....	68
Figura 52. Taco empujador en Solid Edge. ....	Figura 53. Taco empujador de la bomba. ....	68
Figura 54. Guías de las columnas en Solid Edge. ....	Figura 55. Guías de las columnas de la bomba. ....	69
Figura 56. Conjunto del pistón dosificador en Solid Edge. ....		69
Figura 57. Visión inferior de los pistones dosificadores. ....		70
Figura 58. Camisa del pistón en Solid Edge. ....		70
Figura 59. Tapa de las camisas en Solid Edge. ....	Figura 60. Tapas de las camisas. ....	71
Figura 61. Vástago en Solid Edge. ....		71
Figura 62. Parte 1ª del pistón en Solid Edge. Parte 2ª del pistón. Parte 3ª del pistón. ....		72
Figura 63. Cierre Clamp DN-20 en Solid Edge. ....		72
Figura 64. Cuerpo dosificador en Solid Edge. ....	Figura 65. Cuerpo dosificador. ....	73
Figura 66. Pie del cuerpo dosificador. ....	Figura 67. Soporte del cuerpo dosificador en Solid Edge. ....	73
Figura 68. Eje dosificador en Solid Edge. ....		74
Figura 69. Tapa del eje dosificador en Solid Edge. ....	Figura 70. Tapa del eje dosificador. ....	74
Figura 71. Sistema de giro del eje. ....		75
Figura 72. 1ª pieza que otorga el giro al eje en Solid Edge. ....	Figura 73. 2ª pieza que otorga el giro al eje. ....	75
Figura 74. Cilindro neumático pequeño, encargado del giro del eje. ....		76
Figura 75. Rótula Festo en Solid Edge. ....		76
Figura 76. Sujeción posterior del cilindro Festo en Solid Edge. ....	Figura 77. Cilindro neumático Festo. ....	77
Figura 78. Soporte del cilindro neumático Festo en Solid Edge. ....		77
Figura 79. Placa y bandeja de la bomba dosificadora. ....		78
Figura 80. Placa base de la bomba en Solid Edge. ....		78
Figura 81. Bandeja de la bomba en Solid Edge. ....		79
Figura 82. Tolva en Solid Edge. ....		79
Figura 83. Tolva dosificadora. ....		80
Figura 84. Conjunto de alimentación en Solid Edge. ....		80
Figura 85. Conjunto sistema de alimentación. ....		81
Figura 86. Bomba dosificadora, vista isométrica, en Solid Edge. ....		81
Figura 87. Bomba dosificadora, vista superior, en Solid Edge. ....		82
Figura 88. Bomba dosificadora, vista frontal, en Solid Edge. ....		82
Figura 89. Bomba dosificadora, vista lateral, en Solid Edge. ....		83
Figura 90. Altura del cuerpo dosificador. ....		84
Figura 91. Latiguillos de la bomba dosificadora. ....		84
Figura 92. Soportes del cilindro neumático menor. ....		85
Figura 93. Tolva. ....		86
Figura 94. Conjunto de válvulas y racores. ....		86



Figura 95. Parte superior de los pistones con sus respectivas tapas. ....	87
Figura 96. Taco empujador. ....	87
Figura 97. Situación de la bomba, vista frontal. ....	88
Figura 98. Situación de la bomba, vista lateral. ....	89
Figura 99. Situación de la bomba, vista trasera. ....	89
Figura 100. Afloje de las abrazaderas Clamp. ....	90
Figura 101. Extracción de los pistones dosificadores. ....	91
Figura 102. Giro del eje dosificador. ....	91
Figura 103. Bomba dosificadora, vista isométrica-trasera. ....	93
Figura 104. Bomba dosificadora, vista isométrica-trasera. ....	93
Figura 105. Bomba dosificadora, vista lateral. ....	94
Figura 106. Bomba dosificadora, vista anterior. ....	94
Figura 107. Unidad de regulación neumática. ....	95
Figura 108. Esquema de un cilindro neumático. ....	96
Figura 109. Esquema de un cilindro neumático. ....	96
Figura 110. Esquema de un cilindro tándem neumático. ....	97
Figura 111. Esquema de la sujeción del cilindro neumático. ....	97
Figura 112. Cilindro neumático con tubos. ....	97
Figura 113. Esquema de un cilindro neumático. ....	98
Figura 114. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge. ....	100
Figura 115. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge, vista lateral. ....	100
Figura 116. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge, vista frontal. ....	101
Figura 117. Accionamiento servomotor en Solid Edge, vista isométrica. ....	101
Figura 118. Accionamiento servo, vista lateral. ....	102
Figura 119. Accionamiento servo, vista lateral. ....	102
Figura 120. Partículas de óxido. ....	104
Figura 121. Humedad residual. ....	105
Figura 122. Resto de aceites. ....	105
Figura 123. Entramado de tubos de aire comprimido. ....	106
Figura 124. Gráfico de importancia en un diseño neumático. ....	107
Figura 125. Grafico distribución del uso del aire. ....	108
Figura 126. Distribución de gastos en el uso de aire. ....	108
Figura 127. Distintos flujos. ....	114
Figura 128. Sprayballs. ....	116
Figura 129. Ejemplo de limpieza rotativa. ....	116
Figura 130. Ejemplos de limpieza rotativa. ....	116
Figura 131. Distintos logotipos. ....	117
Figura 132. Marcado CE. ....	119
Figura 133. Fotografía de la bomba dosificadora. ....	121
Figura 134. Protecciones auriculares. ....	122
Figura 135. Ejemplo de error en caso de estar funcionando. ....	123



## Índice de tablas

Tabla 1. Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables austeníticos y Aleaciones de Níquel. ....	24
Tabla 2. Materiales de aporte sugeridos para la soldadura del acero inoxidable. ....	27
Tabla 3. Elección de la materia prima idónea. ....	31
Tabla 4. Distintas propiedades con posibles materiales. ....	33
Tabla 5. Tablas de llenado de las cámaras. ....	51
Tabla 6. Densidad del aire en función de la densidad y la temperatura. ....	54
Tabla 7. Clases de calidad del aire comprimido según DIN ISO 8573. ....	106
Tabla 8. Consumo por minuto y nivel de fugas. ....	107
Tabla 9. Limpiezas y sus acciones. ....	110
Tabla 10. Propiedades importantes de los componentes principales de las formulaciones de detergentes. ....	112
Tabla 11. Distintas suciedades. ....	112
Tabla 12. Distintos defectos. ....	115



## Capítulo 1: Introducción

### 1.1 Objetivos

Una bomba dosificadora de líquidos pastosos es un dispositivo que facilita el llenado del mencionado producto que no alcanza la solidez en el envase elegido. Su utilización es clave en el proceso de paquetización debido a la difícil tarea de manipular ciertos elementos por el problema con sus densidades y composiciones.

Diseñar una bomba dosificadora de líquidos pastosos; se trata de la labor a realizar en el proyecto. El diseño se ha realizado por completo en una empresa dedicada al diseño de máquinas envasadoras de envoltorio flexible y surge por la necesidad de reemplazar las bombas antiguas (compradas completamente montadas, a falta del montaje de los conductos de aire comprimido), debido a su mal funcionamiento y alto precio.

Por lo que el objetivo del proyecto es paliar los problemas existentes con la bomba, así como abaratar el precio de su fabricación y montaje.

### 1.2 Estructura del proyecto

En cuanto a la estructura del proyecto; se comenzará con un estudio del estado del arte, donde se incluyen aspectos generales acerca del proyecto, desde la explicación de los problemas mencionados anteriormente con las bombas hasta mejoras que se instalan en la bomba nueva. Los materiales y sus compatibilidades es el tema abordado a continuación, importante a la hora de abaratar en materiales y clave para evitar problemas de corrosión o compatibilidades en general de materiales. Acto seguido se pasa al apartado de cálculos, donde se dan datos válidos para comprender el funcionamiento de la bomba. Para continuar con un capítulo de vital importancia, el guiado, que ha de ser prácticamente perfecto para garantizar el buen funcionamiento del conjunto.

En el siguiente bloque se aborda la morfología de la bomba, con múltiples fotografías reales y en dibujo 3D del diseño; el montaje-desmontaje y situación en la máquina, sin olvidar el capítulo dedicado al funcionamiento de la bomba, donde se comprende de forma clara su forma de actuar. A continuación, se aprecian fotografías completas de la bomba y aspectos relacionados con los accionamientos posibles de la bomba; sin olvidar un capítulo dedicado al análisis del aire comprimido.

La limpieza *CIP* y sus peculiaridades será el siguiente capítulo, se entenderá este tipo de limpieza, todas y cada una de sus partes, divisiones y clasificaciones.

En los últimos capítulos del proyecto se habla de normativa, datos técnicos e indicaciones de seguridad; los títulos explican de forma perfecta el contenido de los bloques. Por último, se da un presupuesto, una redacción acerca de posibles trabajos futuros y las conclusiones que se extraen del proyecto; sin dejar a un lado los anexos y las referencias utilizadas para la redacción.

## Capítulo 2: Estado del arte

Los sistemas de dosificación son muy variados y su diseño depende de la aplicación que se les dé, no se utilizará el mismo diseño para dosificar cualquier crema (para introducirlas en bolsas de muestreo) que para dosificar este mismo producto a botellas mayores de 300 ml. Pese a ello, se puede anunciar que toda cadena de dosificación tiene un dispositivo codificador, un elemento para el accionamiento del dosificador, un dispositivo para la introducción de datos y una unidad para el cálculo del desplazamiento de dosificación.

A continuación se describen algunos de los dosificadores más utilizados que hay en el mercado actualmente.

### 2.1 Dosificadores volumétricos neumáticos

En los dosificadores volumétricos neumáticos la dosificación es rápida y exacta, la dosis se produce por desplazamiento del pistón y el volumen de éste; en la figura 1 se observa el mencionado pistón junto con un mecanismo de dosificación simple utilizado en la industria lechera.



Figura 1. Dosificador volumétrico neumático.

### 2.2 Dosificadores por bomba rotatoria

Los dosificadores por bomba rotatoria son sistemas que mediante el giro de engranajes generan las dosis por volumen y su *set-up* (tiempo de ajuste de la máquina) es asociado al número de engranajes; los cuales son movidos con motores servos con gran velocidad y exactitud.

### 2.3 Bombas peristálticas

Las bombas peristálticas son utilizadas para dosis menores, apenas realizan ruido y son de fácil manejo. Se trata de bombas con dosificador externo con unos rangos de fluidos muy bajos y velocidades reversibles también bajas. Poseen un *display* de LCD que visualiza el menú con los parámetros y el estado. La función de dosificado la hace el

*dispenser* externo que establece el tiempo de pausa para realizarla, el tiempo de llenado y la cantidad de la dosis.



Figura 2. Bomba peristáltica.

En la figura 2 se puede ver un ejemplo simple de bomba peristáltica. Las bombas de este tipo sólo permiten envasar un envase a la vez, posee regulación mecánica para controlar el volumen, tiene activación neumática por válvulas de pedal para el accionamiento del dosificador y de la selladora. Además, tienen una fácil regulación del soporte según la altura del envase o la funda, suelen llevar instalados una termocupla para controlar la temperatura (se trata de uno de los sensores de temperatura más utilizados, consiste en la unión soldada de dos cables de diferentes materiales, la cual se verá sometida a una determinada temperatura, la respuesta en forma de milivoltios será la respuesta al valor de temperatura al que está sometido, de acuerdo con el “efecto Seebeck”). Son utilizados tanto en la industria farmacéutica como en la alimentaria.

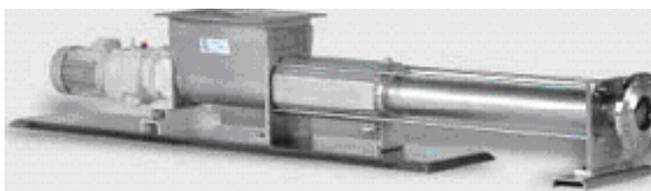
## Capítulo 3: Generalidades del proyecto

En este capítulo se abordan aspectos generales del proyecto, de igual modo se detallan mejoras en la bomba dosificadora.

### 3.1 Aspectos del proyecto

Se particularizará en bombas cuyo fluido es pastoso, ya que si este fuera líquido no sería necesaria la incorporación de una bomba dosificadora a la máquina ya que el fluido caería directamente al grifo dosificador y de éste a los inyectores gracias a la gravedad. En caso de ser pastoso se requiere una “ayuda” extra a la hora de bombear el fluido, porque debido a su alta densidad la gravedad no lo atrae con la suficiente fuerza como para inyectarlo. Tal bombeo se realiza por el llamado vulgarmente sistema “a jeringa” por lo general, y el movimiento de dicho pistón es lo que varía de unas bombas a otras; siendo en la gran mayoría utilizado el accionamiento neumático para conseguirlo.

Cuando se tienen fluidos altamente densos, viscosos y heterogéneos se utilizan bombas que se encuentran en el mercado con los llamados tornillos y cañones de cebado, que favorecen el fluir y un mejor cebado de los productos a lo largo de su recorrido en la bomba.



*Figura 3. Bomba con cañón de cebado.*

En la figura 3 se aprecia que el movimiento de los sistemas de cebado es creado a partir de un motor con reductor (en la parte izquierda de la figura).

En cuanto a la consecución del giro del eje dosificador en todos los casos se consigue con un pequeño cilindro neumático, cuya carrera se ajusta perfectamente al giro de 90° necesario por el grifo como se explica anteriormente.

Actualmente, las bombas dosificadoras de líquidos pastosos siguen un mismo patrón, los movimientos se consiguen, de forma neumática en su mayoría, con una particularidad común en gran parte de los fabricantes de máquinas del sector, suelen individualizar cada una de las pistas, con un solo cilindro neumático, un grifo individual para cada línea con su correspondiente cilindro neumático, encareciendo en gran medida el precio, el peso y el aspecto ostentoso y pesado de la máquina.

Esta práctica no es muy recomendable, además de por los aspectos mencionados porque reduce la posibilidad de realizar máquinas con muchas líneas de trabajo o pistas, ya que se multiplicarían los problemas expuestos de forma exponencial.



Se pasa a concretar en aspectos relacionados con el proyecto de forma práctica, coleccionados por la corta experiencia del autor en cuanto a bombas dosificadoras.

La empresa donde se realizó la mayor parte del estudio compraba bombas dosificadoras completas a fabricantes externos (como se ha comentado antes), para directamente pasar a montar en ellas los sistemas de cableado o neumática pertinentes y comenzar a funcionar de inmediato. Tales bombas venían montadas por completo y funcionaban perfectamente hasta que a los pocos meses e incluso a las pocas semanas de trabajo comenzaban a dar problemas de varios tipos entre los cuales destacaban:

- Un grave problema de picado superficial o *pitting* en el eje dosificador, que se apreciaba con una erupción en forma de puntos en la capa superior pasiva; tales agujeros servían como superficies anódicas mientras que el material hacía las veces de cátodo. Particularizando aún más, uno de los fabricantes que sufrió este problema envió algunas fotos de su eje dosificador, donde perfectamente se apreciaban los agujeros con el fluido rojizo que habían estado funcionando adherido en sus paredes (kétchup en concreto). El gravísimo resultado eran bolsas contaminadas, por la mezcla de componentes del acero con el fluido utilizado. Tras un riguroso estudio se llegó a la conclusión de que tal fenómeno se daba por un mal guiado del eje con respecto del cuerpo y una ranura de extrusión demasiado grande. El eje no tenía rodamiento en sendos extremos, ni juntas que lo guiaran; por lo que el fluido se desplazaba a lo largo de todo el eje, entre pistas, de forma constante; consiguiendo el picado de la superficie.
- Otro problema importante se daba en la palanca que transmite el movimiento del pistón del cilindro neumático al eje dosificador, el que transmite el giro de 90°, se explica con anterioridad. Tal pieza es sometida a una deformación considerable, debido al constante movimiento, así como a la excesiva holgura que disponía. Llegaba un punto en el que el cuadrado que albergaba el extremo del eje se convertía en una circunferencia mal trazada. Tal pieza debía de ser cambiada cada muy pocas horas de trabajo.
- Diseño del pistón empujador de fluido con bastantes errores, se examinó tal pistón, percatándose que una tuerca con su correspondiente ranura de extrusión y su rosca, se encontraba en contacto constante con el fluido; algo evitable con un diseño distinto y, desde luego, altamente necesario. En la figura 4 se puede apreciar en la parte superior la tuerca en cuestión.

El primero de estos problemas podría haberse paliado, o al menos aplazado, si se hubiera realizado una limpieza completa a diario, pero tal tarea se convierte en una ardua tarea debido a la cantidad de horas necesarias para realizar esa correcta limpieza del producto, debido al complejo desmontaje de ciertas partes de la bomba.



Figura 4. Conjunto del pistón en Solid Edge de la anterior bomba dosificadora.

A parte de estos problemas concretos, se encontraba un problema global muy importante, dicho problema era el tema de la limpieza “in situ” o como es llamada en la jerga propia del sector: *CIP* (*clean in place*). Tal sistema ha sido el culpable de muchas horas de estudio y reflexión.

Todos los fabricantes de bombas tienen como objetivo primordial en sus investigaciones tal limpieza y nadie ha conseguido certificarla al 100% sin utilizar presupuestos totalmente fuera de lugar e ingentes para proyectos de este tipo. La limpieza *CIP* consiste en la limpieza total y absoluta de todas y cada una de las partes de la máquina sin necesidad de desmontar ninguna pieza, a priori puede llegar a parecer una labor bastante sencilla, pero se trata de algo realmente complejo. En el diseño de la bomba se tratará de facilitar por todos los medios la limpieza in situ, pero no la limpieza *CIP* total (sin desmontaje alguno), se ha de pormenorizar las horas de limpieza, ahorrando multitud de horas de un operario medianamente cualificado, ya que tal persona ha de conocer perfectamente la máquina, así como las zonas de peligro.

La limpieza es uno de los temas más estudiados y en el proyecto se hará un constante hincapié en ella, ya que al conseguir el *CIP*, o facilitarlo en gran medida, estamos logrando el de todo el conjunto de la máquina, ya que en el sistema de dosificación es donde en mayor medida se trabaja con el fluido.

A lo largo del tiempo las bombas dosificadoras han evolucionado considerablemente, con mejoras continuas de sus componentes, mejores acabados de éstos y materiales con propiedades extraordinarias de durabilidad y de dureza.

### 3.2 Mejoras de la bomba dosificadora

A continuación, se explican una a una cada una de las mejoras de la bomba dosificadora.

### 3.2.1 Bandeja receptora de fluido

Una bandeja anclada a la propia placa base del conjunto es instalada (como se puede observar en la figura 5), que sea una ayuda a la hora de llenar la bomba de producto o a la hora de limpiarla sin problema alguno de manchar o mojar partes innecesarias de la máquina que se sitúan por debajo de la propia bomba.

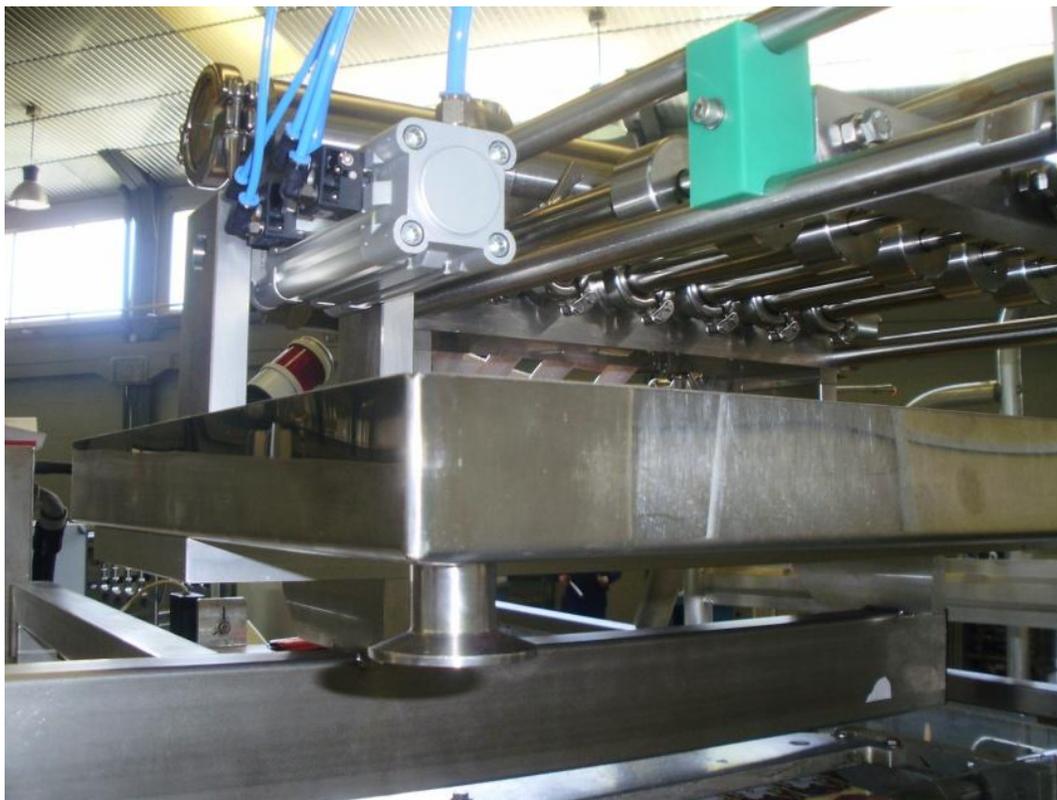


Figura 5. Bandeja.

### 3.2.2 Cuerpo dosificador

Las mejoras en el cuerpo dosificador se detallan en otro apartado minuciosamente, el objetivo es que sea un cuerpo dosificador *CIP* (*clean in place*) completamente; mediante el uso de juntas rotativas, buenos acabados mecanizando y *Clamps*. Se aprecia en la figura 6 una vista frontal del cuerpo en un banco de pruebas; en la figura 7 se ve los mecanizados para albergar las juntas *clamp* en la parte superior y en la figura 8 se observan al detalle los propios *Clamps*.

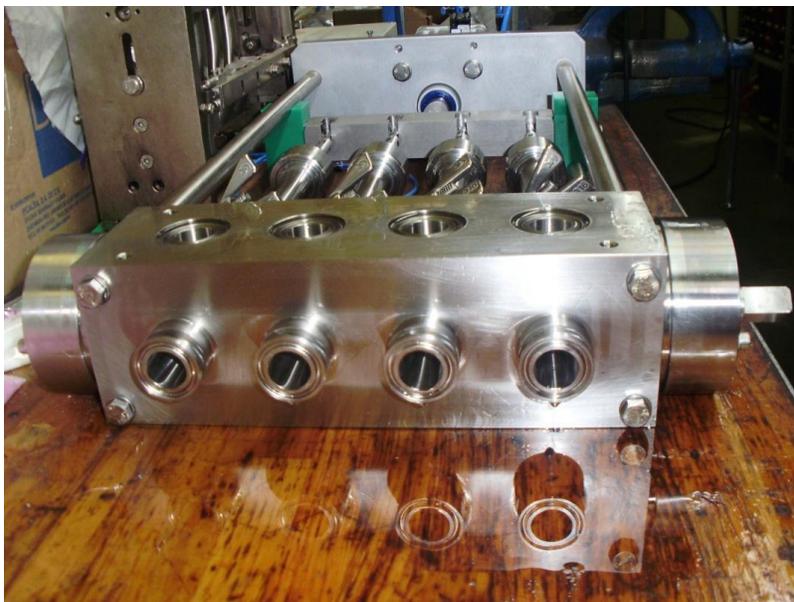


Figura 6. Cuerpo dosificador, vista frontal.

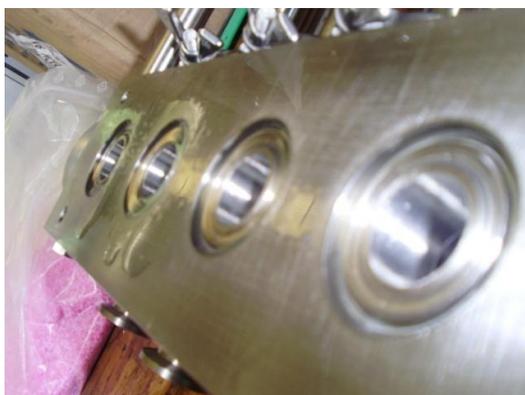


Figura 7. Cuerpo dosificador, vista superior.



Figura 8. Cuerpo dosificador, vista de los Clamps.

### 3.2.3 Soporte del cuerpo dosificador

El soporte del cuerpo dosificador se atornilla mediante una pieza en forma de pie, tal pieza unida ira sujeta a un soporte, anclado en la placa base de la bomba, mediante un tornillo fácilmente desatornillable para facilitar enormemente el desmontaje de la bomba y de esta forma su limpieza.

### 3.2.4 Soporte del cilindro neumático del grifo

La sujeción del cilindro que permite al eje dosificador realizar el giro de 90° es otra mejora a mencionar, se sostendrá mediante una brida basculante, ésta estará unida al soporte que lo fija a la placa base mediante unos cojinetes, llamados *selfoil*, que serán clave para el soporte y tolerancia perfecta del continuo vaivén del movimiento neumático. Se observa en la figura 9 el cilindro sin los correspondientes tubos de alimentación neumáticos.



Figura 9. Cilindro neumático con sus soportes.

### 3.2.5 Altura de los elementos de la bomba

La altura de todos los soportes que dan fijación a la bandeja y a la placa base se debe a una razón bastante útil a la hora de limpiar, para dar cabida perfecta a la mano de la persona que realizara tal limpieza, la altura para que quepa la mano humana realizando el movimiento está determinada por una norma y se revisó para seleccionar la medida de las piezas.

### 3.2.6 Pistón dosificador

El pistón dosificador es uno de los conjuntos que más se ha mejorado, en puntos posteriores se aborda un estudio más detallado de todas las piezas que lo conforman. El vástago entrara roscado en un pieza que, junto con otras dos piezas, juntas rascadoras y guías, formaran el conjunto. Se observa en la figura 10 los cuatro pistones ya instalados y amarrados con los *Clamps* al cuerpo dosificador.



Figura 10. Pistones dosificadores.

### 3.2.7 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación ha sido diseñado con extrema sencillez, un tubo con *Clamps* en los extremos (como se aprecia en la figura 11), es un conjunto alimentador limpio y sencillo. En puntos próximos se hablará de otras posibilidades a la hora de alimentar la bomba (tolvas o similares).



Figura 11. Tubo de alimentación.

### 3.2.8 Palanca de giro neumático

La palanca era un elemento crítico en otras bombas ya que se gripaba y deformaba con extrema facilidad; la mejora en materiales y nuevo diseño ha hecho evolucionar este aspecto considerablemente. La pieza que proporciona el giro al eje se dividirá en dos partes unidas por dos tornillos, en la figura 12 se sitúa la palanca en posición de llenado.

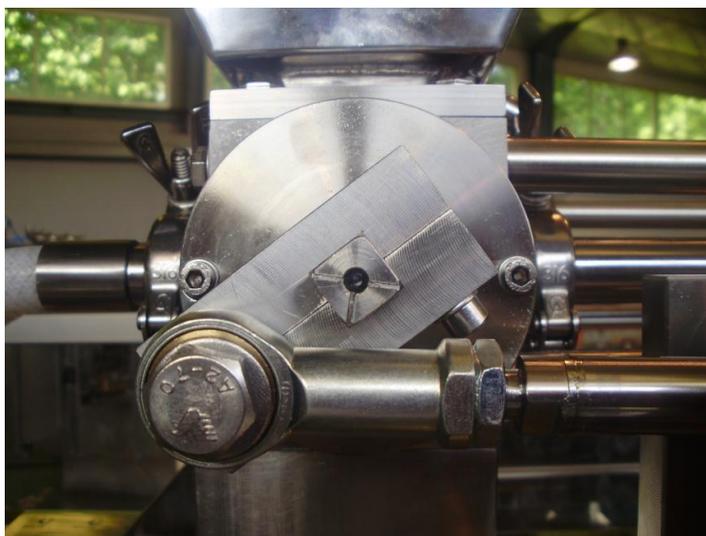


Figura 12. Sistema giro neumático.

### 3.2.9 Taco empujador

El taco empujador es mejorado para facilitar el desmontaje de cada uno de los pistones con sus respectivas camisas; de forma que tirando de ellos hacia arriba, una vez quitada la abrazadera, se muevan con facilidad de forma manejable para poder limpiarlos uno a uno de forma sencilla. Se observa en la zona central de la figura 13 el vaciado del taco que permite esta funcionalidad.

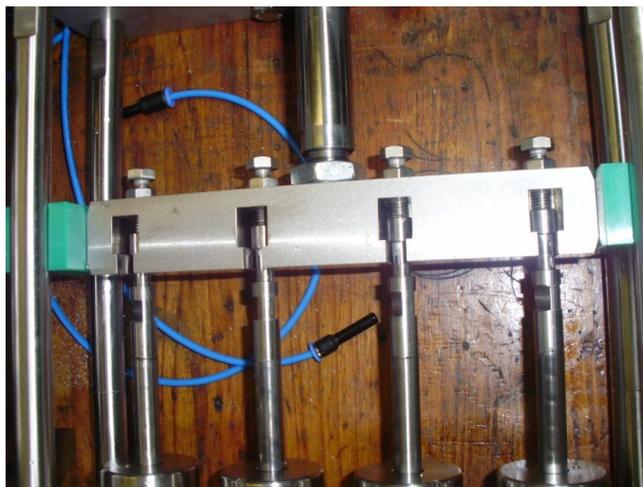


Figura 13. Taco empujador.

### 3.2.10 Cilindro regulador

El diseño del sistema de camisas del cilindro regulador es sencillo (como se aprecia en la figura 14) y efectivo a la par de económico. Se dan detalles y fotografías de las piezas en el capítulo 7.



Figura 14. Cilindro regulador.



## Capítulo 4: Materiales

En este capítulo se realiza un análisis de todos los materiales que componen la bomba dosificadora.

### 4.1 Materiales y compatibilidades

El control de la corrosión es sólo uno de los muchos factores que intervienen en la selección de un material, el diseñador ha de tener en cuenta algunos factores como propiedades físicas y mecánicas del material, la resistencia a la corrosión y la disponibilidad; sin olvidarse del importante aspecto económico.

La selección debería realizarse en base al material más barato y que ofrezca unas propiedades suficientes para el trabajo y los esfuerzos necesarios para el diseño.

El tema económico, por los tiempos que corren, es muy importante, pero también lo es el tiempo de vida. Por lo que no se trata de usar el material más resistente a la corrosión, ya que suele ser más caro y su tiempo de vida puede ser incluso superior al de todo el equipo. Tanto el diseño como el mantenimiento debe ser tenido en cuenta la hora de realizar una correcta selección del material con vistas a un buen control de la corrosión.

Los aceros inoxidables austeníticos no son magnéticos y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico, son muy dúctiles y presenta una muy buena soldabilidad. El acero 304 es el más utilizado en la industria química, farmacéutica, naval, de transporte etc. el problema es que este acero es propenso a formar una corrosión llamada “corrosión por picado”. En algunos puntos del material el medio agresivo penetra en la película pasiva, hasta llegar a profundidades considerables, que pueden hacer que la pieza en cuestión no sirva para su función.

El acero 304 acepta los siguientes tratamientos: forja (1100/950 °C), recocido (hipertemple) para obtener dureza máxima y mínima resistencia a la corrosión: calentamiento a 1100° C y enfriamiento al agua o, en caso de ser espesores muy pequeños, al aire.

Al acero se introduce molibdeno para paliar esta corrosión, por lo que se utilizan aceros 316 o 317 que poseen una alta cantidad de este elemento. Para soldarlos sin problemas se utilizan aceros con bajos contenidos de carbono, cuya denominación es una L tras el número de cada acero. Los tratamientos son exactamente los mismos que tolera el acero 304.

Como curiosidad se dice que los aceros inoxidables también se oxidan, pero en lugar de formarse óxido común, se forma en la superficie una película de óxido de cromo muy densa que constituye una coraza contra los ataques de corrosión.

Se ha de tener especial cuidado con cinco problemas: corrosión intergranular, por efecto galvánico, por contacto, en forma de picado y por fatiga. A continuación se describirá brevemente cada una de ellas.



Todos los problemas debidos a la corrosión pueden ser frecuentemente solucionados gracias a una mejora en el diseño de la pieza en cuestión, sin ser necesario modificar el tipo de acero. La forma de juntas, la continuidad de las superficies y la concentración de las tensiones han de ser tomadas en consideración. Sin olvidar la limpieza de todas y cada una de las superficies, evitando polvo de hierro, óxidos, partículas de alguna herramienta o suciedades y sustancias orgánicas.

La bomba dosificadora ha sido diseñada prácticamente en su totalidad con aceros 304 y 316L, en el apartado de morfología se especificará qué piezas están mecanizadas en un material y cuales en el homólogo. Se han utilizado piezas o elementos comerciales de otros materiales, como por ejemplo las juntas o guías, todas y cada una de ellas han sido elegidas debido a que sus materiales son compatibles, primero con los demás materiales elegidos de otros componentes; y segundo, por ser compatibles con los fluidos que se pueden utilizar para dosificar. En la tabla 1 se ve la composición de los distintos aceros.

GRADO	304	304L	316	316L	317	317L	321	400	825	625	C-276	DUPLEX 2205
Designación UNS	S30400	S30403	S31600	S31603	S31700	S31703	S32100	N04400	N08825	N06625	N10276	S31803
CARBONO (C) max.	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.035*	0.08	0.30	0.05	0.10	0.02	0.03
MANGANESO (Mn) max.	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.50	1.00	2.00
FOSFORO (P) max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	----	----	0.015	0.04	0.03
AZUFRE (S) max.	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.024	0.03	0.015	0.03	0.02
SILICIO (Si) max.	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.50	0.50	0.08	1.00
CROMO (Cr) max.	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	16.0 a 18.0	16.0 a 18.0	18.0 a 20.0	18.0 a 20.0	17.0 a 20.0	----	19.5 a 23.5	20.0 a 23.0	14.5 a 16.5	21.0 a 23.0
NIQUEL (Ni)	8.0 a 11.0	8.0 a 13.0	10.0 a 14.0	10.0 a 15.0	11.0 a 14.0	11.0 a 15.0	9.0 a 13.0	63.0 a 70.0	38.0 a 46.0	Balance	Balance	4.5 a 6.5
MOLIBDENO (Mo)	----	----	2.0 a 3.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	3.0 a 4.0	----	----	2.5 a 3.5	8.0 a 10.0	15.0 a 17.0	2.5 a 3.5
OTROS ELEMENTOS	----	----	----	----	----	----	Ti = 5xC min. y 0.70 max.	Cu=Bal. Fe = 2.50 max.	Fe=Bal. Cu = 1.5 a 3.0 Al = 0.2 max. Ti = 0.6 a 1.2	Fe = 5.0 max. Al = 0.40 max. Ti = 0.40 max. Cb+Ta = 3.15 a 4.15 Co = 1.0 max.	Co = 2.50 max. W = 3.00 a 4.50 Fe = 4.00 a 7.00 V = 0.35 max.	N = 0.08 a 0.20

Tabla 1. Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables austeníticos y Aleaciones de Níquel.



### 4.1.1 Corrosión inter-granular

La corrosión inter-granular es sufrida por aquel material que tenga una red de carburos, debido a tratamientos térmicos inadecuados, siendo causa del fracaso en condiciones muy corrosivas y reducir su duración útil. Los procedimientos habituales de soldadura pueden ser el inicio de estos problemas de precipitación de carburos. Ésta puede ser erradicada por tres caminos:

- Recocido: tras haber realizado las operaciones de mecanizado o soldadura correspondientes el acero ha de ser calentado hasta una temperatura tan alta como para disolver los carburos sobrantes (en torno a los 1100°C), tras ello ha de ser enfriado de forma rápida para que no se vuelva a precipitar el carburo. Se recomienda recalentar toda la pieza para obtener resultados aceptables.
- Otra opción sería utilizar acero que tenga menos de 0,03 %, como se ha utilizado acero 316L (*low carbon steel*).
- O utilizando acero estabilizado con titanio o columbio, que combinados con carbono, forman una buena defensa contra estas precipitaciones perjudiciales.

### 4.1.2 Corrosión galvánica

La corrosión galvánica ejerce una acción localizada que puede ocurrir cuando una junta que, por ejemplo, separa dos metales y está sumergida en un fluido puede actuar como electrolito.

En un medio corrosivo, como puede ser la bomba trabajando con ketchup, los dos metales distintos forman unos electrodos cortocircuitados que a su vez elaboran una celda electroquímica, resultando una disolución del electrodo anódico, mientras el cátodo permanece sin alterarse; de esta forma el potencial variará dependiendo de la posición de los metales. Existen factores que ayudan a que se dé esta reacción:

- Conductividad del circuito: el ataque galvánico se dará cuando dos metales distintos entren en contacto en una disolución buena conductora.
- Potencial ánodo y cátodo: el sitio que ocupa cada metal en la llamada serie galvánica nos dará el potencial y la dirección del flujo de corriente cuando se está formando la celda. El metal más alto en la tabla será el cátodo y el otro el ánodo, siendo el atacado por corrosión. Los aceros inoxidables en estado pasivo, como vemos en la tabla, están después de metales “de la talla” de oro, plata o grafito.
- Polarización: producido sobre los electrodos de una celda galvánica por el depósito de gases liberados por la corriente.
- Áreas relativas del cátodo y ánodo: crea un efecto pronunciado en el daño producido por la acción galvánica. Han de evitarse las pequeñas áreas de metal menos noble.



- Relación geométrica entre superficies de distintos metales: bordes o esquinas de metales menos nobles no deben estar en contacto de grandes superficies del metal que en supuesto de darse la celda galvánica sea el cátodo.

### **4.1.3 Corrosión por contacto**

Una partícula de óxido o de acero puede ser suficiente para eliminar la pasividad en el punto de contacto. De la misma forma que el punto anterior el ataque comienza formándose una celda galvánica con la partícula de material extraño como ánodo. La acción puede llevarse a cabo incluso al haberse eliminado la partícula. Las superficies han de estar limpias de todo tipo de partículas, elementos o incluso de restos de material de herramientas utilizadas en su diseño o adecuación al equipo.

### **4.1.4 Picado**

Los cloruros podrían atacar por una acción de picado, y en cada una de estas picaduras lo normal es que se desarrollaran celdas galvánicas. En la mayoría de los problemas de corrosión está presente el ion cloruro en gran medida.

### **4.1.5 Corrosión por fatiga**

Los aceros pueden fallar al agrietarse debido a corrosión por fatiga; si mezclamos un medio agresivo con tensiones residuales o esfuerzos aplicados. El mecanismo causante es principalmente trans-granular y suele ir acompañado de ataques de picado. Siendo propensas a ello aquellas piezas que han estado sometidas a un fuerte trabajo en frío, ya que es más fácil que este agrietamiento se dé en soluciones calientes que en frías. Por ejemplo, las grietas que parten de los taladrados son frecuentes del agrietamiento por la corrosión por fatiga. Recocer las piezas con un posterior enfriamiento rápido, es una buena solución para evitar estos problemas.

Algunas precauciones para evitar la corrosión por fatiga son:

- Cerciorarse de la no acumulación de sales corrosivas.
- Evitar vaciados donde se puedan guarecer sales perjudiciales.
- Tratar las piezas con el descrito recocido para evitar tensiones interiores.
- Esquivar en el diseño zonas de acumulación de tensiones innecesarias y uniones por soldadura de metales con coeficientes de dilatación distintos.

## **4.2 Soldadura sanitaria**

La soldadura sanitaria debe ser elaborada por método de soldadura TIG bajo atmósfera inerte de Argón, con pulido mecánico o electrolítico para dejar una rugosidad superficial menor a 1 micros. Debido a este procedimiento se asegurará la resistencia adecuada a los ataques corrosivos de productos como el vinagre u otros productos



similares que pueden contener los productos que se dosificarán. También facilita la limpieza posterior, garantizando la esterilización absoluta de la zona.

Para elegir la soldadura correcta se estudiarán algunos factores, desde la elección del material hasta el método de realizarla. Para lograr unos resultados más que aceptables las soldaduras han de estar al tope, sin dejar rendijas que puedan dar cobijo a la corrosión. La superficie tiene que estar libre de óxido superficial.

Otros aspectos negativos a la hora de conseguir una buena soldadura son: las marcas de encendido del arco que dañan la capa protectora de acero inoxidable creando imperfecciones como rendijas, los puntos de parada también pueden crear dichos defectos; su solución es un pulido ligero con abrasivos de grano fino.

Las salpicaduras de soldadura crean pequeñas marcas donde el metal fundido toca la superficie y se adhiere, la capa protectora es penetrada; estas salpicaduras se pueden eliminar aplicando una pasta a ambos lados de la soldadura que previene este problema. El último aspecto negativo es la escoria (en la soldadura que nos atañe no existe, pero la nombro ya que es un problema en otros tipos de soldadura), si aparece tras usar electrodos revestidos es difícil de eliminar del todo; pequeñas partículas soportan la limpieza y se esconden en hendiduras u otras irregularidades, se eliminarán con un cepillado contundente, un ligero pulido o un blastinado con materiales libres de hierro.

Antes de comenzar a soldar la superficie tiene que ser preparada, limpiada de forma eficiente, eliminando elementos y compuestos de la superficie que pueden causar fisuras, defectos de soldadura o disminución de las propiedades de tolerancia a la corrosión.

Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común	Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común
AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)	AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)
304 (S30400)	E 308 <sup>(1)</sup> (W30810)	ER 308 <sup>(1)</sup> (S30880)	20 MO-6 <sup>(2)</sup> (N08026)	(3)	(3)
304L (S30403)	E 308L (W30813)	ER 308L (S30883)	20Cb-3 <sup>(2)</sup> (N08020)	E 320LR (W88022)	ER 320LR (N08022)
309 (S30900)	E 309 <sup>(1)</sup> (W30910)	ER 309 <sup>(1)</sup> (S30980)	<b>FUNDICIONES</b>		
310 (S31000)	E 310 (W31010)	ER 310 (S31080)	<b>TIPO ACI (UNS)</b>	<b>AWS A 5.4 (UNS)</b>	<b>AWS A5.9 (UNS)</b>
316 (S31600)	E 316 <sup>(1)</sup> (W31610)	ER 316 <sup>(1)</sup> (S31680)	CF-8 (J92600)	E 308 <sup>(1)</sup> (W30810)	ER 308 <sup>(1)</sup> (S30880)
316L (S31603)	E 316L (W31613)	ER 316L (S31683)	CF-3 (J92500)	E 308L (W30813)	ER 308L (S30883)

Tabla 2. Materiales de aporte sugeridos para la soldadura del acero inoxidable.



### 4.2.1 La soldadura TIG

Se explicará brevemente en qué consiste la soldadura que se realiza en el proyecto: la soldadura TIG (*tungsten inert gas*). Se usa en muchos menesteres y es adecuada para soldar acero inoxidable, normalmente se utiliza Argón para proteger del aire (y su oxígeno) al metal fundido de la soldadura; si es necesario se aporta metal en forma de varillas de poco diámetro dentro del arco. Se pueden soldar desde algunas centésimas hasta espesores grandes. En la tabla 2 se muestran los materiales de aporte sugeridos para la soldadura del acero inoxidable.

Las ventajas que se pueden anunciar de este tipo de soldadura son: no existe escoria, luego no hay que perder el tiempo limpiándola; se puede usar en casi todas las posiciones, por lo que se recomienda para soldar cañerías o elementos de difícil acceso; tampoco hay salpicaduras de soldadura que limpiar.

En cuanto a la instrumentación, lo normal es utilizar corriente continua, con electrodo negativo (corriente pulsante es utilizada para soldar materiales finos y para juntas mal alineadas). Las fuentes de potencia cuentan con un sistema de encendido de alta frecuencia para comenzar a trabajar sin que se tenga que tocar la superficie, evitando posibles focos de contaminación.

En líneas generales los aceros inoxidables son fáciles de soldar con el proceso TIG, por poner un pero a tal se puede decir que se ha de ser especialmente cuidadoso eligiendo el metal de aporte, ya que una soldadura puede tener un aspecto realmente bueno pero tener un metal de aporte inadecuado, lo que la convierte en una soldadura verdaderamente mala (normalmente cóncava, convexa en soldaduras buenas), pudiéndose rajar, desde el centro habitualmente. Cuando están sometidas a ambientes corrosivos muy agresivos, como es el caso, es necesario que la aleación de las soldaduras sea de un grado más alto que la del material de base para alcanzar una resistencia a la corrosión similar, aportando generosamente material de aporte, poco más o menos se puede decir que el 50% del metal de la soldadura debiera provenir del metal de aporte, dicha mezcla se debe realizar antes de que la soldadura de solidifique, ya que si no encontraríamos zonas de alta y baja aleación, donde se producirían focos de corrosión temibles.

Se puede decir que existen cuatro formas higiénicas de unir tuberías: uniones *Clamp*, uniones DIN y otras uniones con rosca sanitarias, uniones con bridas higiénicas y la descrita en este punto: la unión soldada.

### 4.2.2 Soldadura orbital

Cada día se utiliza más la soldadura orbital en esta industria (copiada de la industria farmacéutica), ya que elimina juntas y mejora considerablemente los fundamentos higiénicos. Pero han de realizarse con equipos apropiados y personal enseñado (en la figura 15 se observa un ejemplo de soldadura sanitaria ejecutada de una forma correcta). Dicha soldadura ha resultado igual o mejor que cualquier unión de tubería, con condiciones sanitarias perfectas. Siempre el diseño del equipo que se fabrica ha de estar supervisado por ingenieros experimentados para realizar una buena utilización de reducciones de diámetro, accesorios adecuados; así como evitar zonas de difícil limpieza.

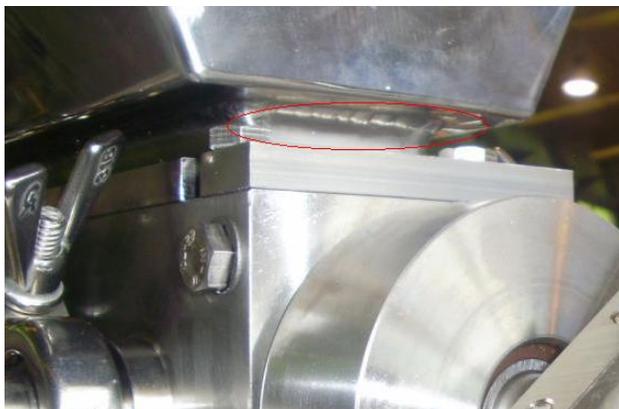


Figura 15. Ejemplo de soldadura sanitaria en la tolva.

### 4.3 Estudio del problema del eje dosificador picado superficialmente

Los problemas que se han sufrido con el eje dosificador por picado superficial han impulsado a pensar en métodos alternativos a la opción que se venía ejecutando hasta ahora. Dicha opción se fundamentaba en el movimiento libre rotativo del eje respecto al cuerpo fabricados en acero 316L con la diferencia que el eje tenía un recubrimiento de Cromo. Aquí es donde aparecía el problema en algunos equipos, ya que dicho Cromo era atacado por las sustancias que lo recorrían hasta tal punto de picar totalmente la superficie.

Si se observaba con detenimiento el eje se distinguía una sustancia rojiza entre los cráteres de picado, se trataba de una sustancia pastosa muy conocida por todos, “ketchup”, el ácido acético que lo compone había sido el causante del mencionado problema superficial, atacando de forma apabullante al acero cromado. Los agujeros sirven como superficies anódicas mientras que el fluido en cuestión realiza las veces de cátodo.

Se ha de añadir otra necesidad fundamental en el diseño de un sistema utilizable y competente: se trata de que cumpla con las exigencias del sistema *CIP*, se tiene que limpiar a la perfección sin la necesidad de desmontar ninguna pieza de la máquina (o el desmontaje del menor número de piezas, con su necesaria facilidad).

Teniendo en cuenta todas estas exigencias se llega a la conclusión de que el sistema utilizado hasta ahora no se puede considerar como *CIP*, ya que quedan restos de las sustancias utilizadas adheridas en el eje dosificador hasta tal punto que lo atacan y pican.

Los fracasos en diseños debidos a la corrosión pueden ser frecuentemente eliminados modificando apropiadamente dicho diseño sin necesidad de modificar el tipo de acero o de material; la forma de las juntas, la continuidad de la superficie y la concentración de las tensiones serán tomadas en consideración. Por otro lado el diseño apropiado para limpieza *CIP* limita también bastante las distintas opciones por lo que se ha de buscar un diseño que alcance un equilibrio satisfactorio entre sendas premisas.



A continuación se analiza cada una de las posibilidades que existían para solucionar este problema.

### **4.3.1 Opción de sendos elementos con acabados superficiales sin Cromo**

La opción inmediata para paliar dichos problemas de picado en la superficie fue que sendos elementos, cuerpo y eje dosificador, estén fabricados en el mismo material con un aumento del Molibdeno en sus composiciones y por supuesto sin un acabado de cromado en su superficie.

El principal problema de esta solución fue que al entrar en contacto dos superficies del mismo material se produce un desplazamiento superficial del material de un elemento con respecto del otro, deformándose cuantiosamente hasta que llega un instante en que no se puede continuar realizando la rotación del eje debido a la acumulación de material desplazado del lugar inicial y eliminando el perfecto acabado del mandrilado perteneciente al cuerpo dosificador.

Por lo que la desbanca a un segundo plano, ya que se puede decir que acrecenta el problema en sí. Dicha opción lleva a pensar en la instalación de juntas, de la forma en que se definirá en los siguientes párrafos.

### **4.3.2 Con juntas estanqueizantes tipo PTFE para el eje dosificador**

Se trata de instalar dos juntas adaptadas para movimiento rotativo para paliar el problema anteriormente definido, situadas en sendos laterales de cada uno de los agujeros dosificadores del eje. Se debe ajustar lo máximo posible dichas juntas al agujero en cuestión, valorando en todo momento el equilibrio justo entre la precisión que se ha de conseguir entre las tolerancia axiales (cercanía al orificio) y radiales (tolerancia con el cuerpo dosificador).

Son juntas de baja fricción, principal característica, ya que para la función del eje difusor se ha de tener cuanto menos rozamiento mejor, debido al giro continuo al que se encuentra sometido respecto al cuerpo dosificador:

- Su función es estanqueizar el movimiento rotativo estando presente el fluido en cuestión. Además de servir de guía al eje dosificador y ayudar a que se centre, evitando la consiguiente pérdida de fluido.
- Se consigue el mencionado rozamiento muy bajo, una muy buena resistencia a la extrusión y una larga duración.
- A la hora de seleccionar una tórica se ha de valorar los parámetros de funcionamiento que ésta sufrirá; una vez claro este aspecto se procederá a la elección de dos parámetros fundamentales, las dimensiones y el material.



- Las dimensiones son relativamente fáciles de determinar, ya que la cavidad tanto del ranurado como del eje y cuerpo dosificador las proporcionará sencillamente.
- Mientras que para la selección del material se ha de tener en cuenta algunos factores:
  - Agresividad química del fluido.
  - Temperatura de trabajo.
  - Presión máxima y mínima.
  - Nivel de abrasión de las superficies.
  - Nivel de lubricación de las superficies.

### 4.3.2.1 Materiales de las juntas

Se observa la tabla 3, tabla de elección de juntas con los materiales más utilizados y sus principales características mecánicas y químicas.

	<b>EPDM</b>	<b>CR</b>	<b>NBR</b>	<b>VMQ</b>	<b>HNBR</b>	<b>FPM</b>
Dureza Shore A	30-80°	30-90°	40-90°	40-80°	50-95°	50-95°
Color	Gama limitada	Negro	Gama Limitada	Gama Limitada	Gama Limitada	Gama Limitada
Resistencia al Calor (°C)						
Continuo max.	130°C	95°C	100°C	180°C <sup>200 especial</sup>	125°C	205°C
Punta max.	150°C	125°C	130°C	220°C <sup>300 especial</sup>	160°C	300°C
Resistencia a las Temperaturas	-50°C	-50°C	-20°C	-60°C	-30°C	-20°C
Resistencia a:						
Oxidación	Excelente	Muy Buena	Buena	Excelente	Excelente	Excelente
Ozono/agentes atmosféricos	Excelente	Muy Buena	Aceptable	Excelente	Muy Buena	Excelente
Envejecimiento en Aceite						
Aceite ASTM N°1 a 20°C	Aceptable	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
a 100°C	Insatisfactorio	Buena	Buena	Buena	Excelente	150°C excelente
Aceite ASTM N°3 a 20°C	Insatisfactorio	Buena	Excelente	Buena	Excelente	Excelente
a 100°C	Insatisfactorio	Aceptable	Buena	Aceptable	Excelente	150°C excelente
Resistencia Carburante						
ASTM "B" a 40°C	Insatisfactorio	Pobre	Aceptable	Inadecuado	-	Excelente
Resistencia a los Solventes a 20°C						
alcohol	Buena	Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena
acetona	Buena	Aceptable	Insatisfactorio	Aceptable	Buena	Inadecuado
benzeno	Insatisfactorio	Insatisfactorio	Insatisfactorio	Insatisfactorio	Aceptable	Buena
Resistencia a los Productos Químicos						
ácidos	Buena	Buena	Buena	Aceptable	Buena	Excelente
bases	Buena	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Buena	Buena
Fuerza Física	Buena	Buena	Buena	Pobre	Buena	Buena
Compression SET	Buena	Aceptable - Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Resistencia al Desgarro y la Abrasión	Buena	Buena	Buena	Pobre	Muy Buena	Buena
Rebote	Muy Buena	Muy Buena	Buena	Buena	Aceptable	Aceptable
Permeabilidad al Gas	Muy Baja	Baja	Baja	Muy Baja	Buena	Muy Baja
Fuerza Eléctrica	Excelente	Buena	Pobre	Excelente	Pobre	Buena
Resistencia a la Llama	Pobre	Autoestinguible	Pobre	Buena	Pobre	Autoestinguible
Resistencia al Agua	Excelente	Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Buena

Tabla 3. Elección de la materia prima idónea.



Se realizará un escueto análisis de cada uno de los materiales enunciados en la Tabla 3:

- **EPDM:** resiste muy bien tanto agua caliente como al envejecimiento y al ozono, así como las temperaturas bajas; sumada a una perfecta tolerancia con aceites, lubricantes y productos químicos en general (-50 °C a +150 °C).
- **NBR:** posee una resistencia a los aceites minerales excelente, así como una resistencia al envejecimiento, al ozono, a los ácidos y a la álcalis (óxidos, hidróxidos y carbonatos de los metales alcalinos; pueden llegar a ser más destructivos que algunos ácidos).
- **CR:** se trata de un material bastante parecido al NBR pero con una resistencia a los aceites minerales algo más baja.
- **FPM:** tiene una extraordinaria resistencia a los aceites minerales, los hidrocarbonatos alifáticos y aromáticos, a los ácidos concentrados y diluidos y al álcalis (débil). Se trata de un material por encima de la mayoría de sus competidores, debido a sus buenas propiedades mecánicas y su resistencia a la temperatura superior a +205 °C. Como dato importante en cuanto a su calidad hemos de nombrar sus resultados satisfactorios del ensayo “Compresión-Set” (ensayo que determina la capacidad del material de volver a recuperar su posición de partida después de haber estado sometido a una determinada deformación, concediéndonos una medida de la capacidad de la junta de seguir cumpliendo su función en el tiempo).
- **FFPM:** se trata de un excelente material que combina las propiedades del FPM con la resistencia química y térmica del PTFE. Posee una resistencia química universal y una amplia gama de temperaturas (-15 °C a +310 °C). Con una amplia gama de durezas de 50 a 90 A “Shore” (Shore es un ensayo que se basa en la reacción elástica de un material cuando dejamos caer sobre él un material más duro; es el único ensayo no destructivo que permite calcular la dureza de un material). Se trata de un material que se adapta a los problemas a solucionar con especial facilidad, especialmente a los relacionados con la estanqueidad.
- **HNBR:** son altamente resistentes a aceites con aditivos pero tienen una baja permeabilidad al vapor y al gas; poseen una buena resistencia al ozono y alta resistencia a la abrasión, soportan temperaturas hasta de +160 °C.
- **NBR:** es muy eficaz frente a aceites hidráulicos y lubricantes, alifáticos, ácidos y álcalis. Tiene buenas características como la resistencia al desgaste y a la ruptura, así como una amplia gama de temperaturas soportadas.
- **VMQ:** soportan muy bien las temperaturas (-60 °C a +220 °C), pero no podemos utilizarlo con agua caliente o vapor (por lo que este material será descartado para nuestra aplicación).
- **PTFE:** se trata de material seleccionado para nuestras juntas, posee una resistencia universal excepto con los metales alcalinos líquidos y el gas fluorado bajo presión. Posee propiedades de baja fricción y poco desgaste que lo hacen aun más atractivo para nuestra función. Soporta temperaturas entre -200 °C a



+260 °C y posee una dureza considerable (95 A “Shore”), se recomienda que se monten las juntas tóricas de este material en cajas abiertas.

- **Poliuretano:** tienen unas muy buenas propiedades mecánicas de resistencia al desgarramiento y al desgaste, elasticidad de rebote y poca permeabilidad con el gas. Especial tolerancia a aceites con contenidos aromáticos. Soporta de -50 °C a +140 °C, posee una buena resistencia al oxígeno consiguiendo así una larga vida.

Propiedades	Buta-Nitrilo	EPDM	Silicona	Vitón	PTFE	SilverClamp	Bio-Pharma
Tracción	Bien	Buena-Excelente	Buena	Buena-Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Propiedades Eléctricas	Mal	Excelente	Excelente	Buenas	Excelente	Excelente	Excelente
Intemperie	Buena	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Ozono	Mal	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Calor	Bien	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Frío	Bien	Bien-Excelente	Excelente	Bien	Bien	Bien	Excelente
Vapor	Bien	Bien	Bien	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Resistencia Rotura	Bien	Bien	Bien	Bien	Excelente	Excelente	Bien
Abrasión	Bien	Bien-Excelente	Bien-Excelente	Bien	Excelente	Excelente	Bien
Ácidos	Normal	Bien-Excelente	Bien	Bien	Excelente	Excelente	Excelente
Derivados petróleo	Excelente	Mal	Bien	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Llama	Mal	Mal	Mal	Bien	Excelente	Excelente	Excelente
Aceites vegetales	Excelente	Bien	Bien	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Temp. de trabajo	-40°C / 120°C	-40°C / 150°C	-62°C / 232°C	-30°C / 200°C	-100°C / 205°C	-30°C / 230°C	-210°C / 260°C

Tabla 4. Distintas propiedades con posibles materiales.

Al hilo de todos los datos expuestos en la tabla 4, se decide elegir la junta estancante tipo PTFE; estarán formadas por un anillo dinámico fabricado en PTFE con distintos aditivos y una junta tórica, que es el elemento que le entregará resistencia, a modo de energizador. Los valores máximos de presión y velocidad admitidos por estas piezas son 400 bar y 1 m/s respectivamente.

Como se sabe el alojamiento necesario es bastante sencillo de mecanizar. Las juntas se instalarán en el cuerpo dosificador para facilitar su extracción a la hora de limpiar tanto el eje como el cuerpo, concretamente en ambos extremos.

No se puede olvidar que son compatibles con todos los productos que podrían entrar en contacto con ellas.

### 4.3.1 Utilización de válvulas neumáticas de 3 vías en lugar del cilindro y el eje dosificador

En esta tercera opción se plantea la instalación de válvulas en lugar del eje y cuerpo dosificadores. Se instalan válvulas de 3 vías debido a la necesidad de mover el fluido en

distintas direcciones. Se elige una válvula de doble asiento como la que aparece en la figura 16.



Figura 16. Válvula de doble asiento.

Por un lado se tiene el fluido que entra directamente de un depósito o tolva a la válvula, una vez allí se le redirecciona en un primer lugar hacia los cilindros dosificadores, donde se alberga el fluido hasta que la máquina determine que es el momento de dosificar, donde se redireccionará el líquido pastoso de nuevo hacia la válvula para que ésta haga las bases de intermediario y circule finalmente el fluido hacia las tuberías dosificadoras.

Los principales componentes de una válvula son cuerpo, pistón, cierre y actuador; sus materiales son detallados a continuación:

- El cuerpo de la válvula será de acero inoxidable AISI 316L y se puede orientar 360°.
- El pistón es fabricado también en acero inoxidable AISI 316L con asiento de teflón.
- El cierre es de doble labio fabricado en silicona con un cuerpo interior de acero inoxidable para evitar deformaciones por la presión de trabajo.
- Actuador, es el elemento que permite el accionamiento remoto de la válvula, está fabricado en acero inoxidable y utilizaremos un actuador de doble efecto (necesitamos aire tanto para cerrar como para abrir la válvula; en caso de ser de simple efecto, solo se necesitaría aire para abrirla ya que para cerrarla se utilizaría un resorte).

La válvula es un mecanismo fácilmente esterilizable y por consiguiente perfectamente dispuesta para la utilización del sistema *CIP* de limpieza y *SIP* de esterilización. Su diseño esférico interno de la válvula y el pulido de las partes internas de la misma garantizan un completo autodrenaje que favorece de manera ingente la limpieza “in situ”.

Se analizan algunos de los problemas que aparecen en relación a la instalación de válvulas de doble asiento:

- Para la aplicación se necesita una válvula de tres vías, por consiguiente de doble asiento; la opción que sea de dos vías y de simple efecto es desbancada por la imposibilidad de la funcionalidad de la máquina. Como se sabe la fuerza de desequilibrio desarrollada por la presión diferencial a través del obturador es

mucho menor que en una válvula de simple asiento, por lo que se suelen emplear en válvulas de gran tamaño o bien cuando hemos de trabajar con una alta precisión diferencial. La aplicación del proyecto no se adapta a ninguna de las dos opciones por lo que es muy difícil encontrar válvulas adaptadas para esta función, en especial en el aspecto de tamaño.

- En consecuencia con el primer problema descrito se deduce que en el caso de conseguir encontrar unas válvulas que, medianamente, se adaptan a los requerimientos, tienen un precio que encarecería de manera desorbitada el precio del conjunto de la máquina.
- La apariencia estética es un factor que el ingeniero no debe dar de lado al cien por cien cuando diseña una determinada máquina. Y el diseño exterior en el caso de elegir esta opción, teniendo en cuenta que hemos de instalar una válvula por cada una de las pistas disponibles en la bomba; es muy exagerado, aparenta una dificultad que no es real y empeora la maniobrabilidad de los operarios tanto en el montaje de la misma máquina como en las posteriores limpiezas manuales.

#### 4.3.1 Utilización de material cerámico tanto en el eje como en el cuerpo dosificador

Para explicar la utilización de material cerámico tanto en el eje como en el cuerpo dosificador partimos de la base que la cerámica es un material muy difícil de modificar ya que poseen una elevada porosidad, lo que hace que sus propiedades mecánicas y su conductividad se reduzcan de forma drástica. Existen escasas formas de mecanizarla, las tres más comunes serán expuestas a continuación; tras las figuras 17 y 18 donde se muestran ejemplos de elementos cerámicos.



Figura 17. Ejemplo de elementos cerámicos.

Figura 18. Ejemplo de cuerpo dosificador cerámico.

##### 4.3.1.1 Mecanizado convencional con herramientas de diamante

El mecanizado convencional con herramientas de diamante depende de distintos factores, como el tamaño de la partícula del material sinterizado, porosidad de la pieza y método de compactación utilizado. Los parámetros de mecanizado pueden ser alterados por medio de cambios en el proceso de fabricación de las piezas (en cuanto a



composición química, proporcionando aditivos que permitan aumentar las velocidades de mecanizado o aplicación de resinas para facilitar el mecanizado).

El efecto de la porosidad provoca un contacto no continuo entre la pieza y la herramienta provocando continuas oscilaciones en las fuerzas de corte, micro choques y vibraciones.

Se suma el efecto de la escasa conductividad térmica, que hace que el calor se acumule en la zona de corte, siendo muy difícil su difusión y provocando un tremendo aumento de la temperatura en esa zona. Desgastando por efecto térmico un gran tanto por ciento.

Para torneados utilizamos herramientas de lidia (recubiertas y sin recubrir), cermets (recomendables para cortes interrumpidos porque previenen la aparición de entallas) y materiales cerámicos. Para materiales con baja porosidad se usan herramientas de carburo de boro cúbico (CBN).

#### **4.3.1.2 Mecanizado en verde**

El mecanizado en verde se emplea con frecuencia para mecanizar materiales como el metal duro o lidia. Es una buena alternativa al uso de herramientas de diamante por lo que comienza a utilizarse para mecanizar cerámicas; las herramientas han de estar perfectamente afiladas y han de tener gran precisión.

Lo normal es evitar el uso de herramientas de diamante por su carestía. Se pueden usar las de metal duro o carburos cerámicos. Aunque no se ha de olvidar que la vida de la herramienta será inferior a la de diamante, por lo que una solución intermedia sería emplear recubrimientos de PVD y CVD.

El objetivo es mecanizar el material “en verde”, sin sinterizar y en consecuencia, sin que haya alcanzado la dureza propia de estos materiales. Posterior al mecanizado se realizará el tratamiento de sinterizado.

El mayor problema radica en que una vez se tiene la forma final del mecanizado, el posterior tratamiento de sinterizado puede alterar geoméricamente la pieza por lo que sería necesario un rectificado, se ha de tener un correcto control del sinterizado para evitarlo.

La sujeción es un tema problemático ya que la pieza en ocasiones no tiene la consistencia necesaria ni siquiera para sujetarla con aprietes firmes. Una solución sería la inmovilización total de la pieza con amarres en vacío o pegamento con otras piezas; así como amarrar las piezas por aquellos puntos donde haya una compactación en la pieza y no esfuerzos de tracción o torsión. Así como evitar vibraciones e impactos de la herramienta en la pieza.

Un nuevo método que se está llevando a cabo en los últimos años es el presintetizado, donde la dureza que adquiere el material se encuentra entre la dureza final y la pieza “en verde”.

#### **4.3.1.3 Mecanizado por electroerosión**

El mecanizado por electroerosión se basa en la erosión por descarga eléctrica. Su ventaja principal es que no depende de la dureza del material a mecanizar en cuestión sino que depende de la tolerancia a la conducción de la electricidad del mismo. Se

necesitan tres componentes: dos electrodos y el fluido dieléctrico; así como dos tipos distintos de electroerosión: por penetración y por hilo:

- En el mecanizado por penetración la pieza es el cátodo y la herramienta, que suele ser de cobre o grafito, tiene la geometría a mecanizar y es el ánodo. La máquina de penetración se usa para realizar agujeros, mecanizados helicoidales y para cortar y penetrar formas muy complicadas.
- En el mecanizado por hilo se utiliza un hilo conductor delgado sometido a tensión para cortar como una sierra. La fractura del hilo, que debido a su problema de erosión, se convierte en un problema económico importante.
- En el mecanizado por electroerosión el dieléctrico usual es el agua que contiene impurezas sólidas ultrafinas.

Para poder aplicar este método de mecanización se exige al material que la conductividad térmica este en torno a 0,01-0,1 S/cm. Muchas cerámicas se encuentran fuera de este rango ( $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$  y  $ZrO_2$ ) por lo que se requiere de la inclusión en su fase de fabricación de algunas sustancias (TiC, Si, TiN y  $TiB_2$ ) para mejorar sus propiedades conductoras. Se ha de decir que también existen cerámicas que muestran de forma natural una buena conductividad térmica ( $B_4C$  y  $TiB_2$ ).

A modo de dato curioso, es que debido al bajo peso y a la extrema dureza del  $B_4C$ , le han llevado a la industria del armamento, es considerado un gran material para un tremendo campo de aplicaciones, como por ejemplo en el tema de los blindajes.

#### 4.4 Estudio mecánico de una tórica

En los siguientes párrafos se realiza un análisis de las juntas tóricas.

##### 4.4.1 Visionado de fuerzas

La junta tórica se trata de un elemento de simple o de doble efecto, que normalmente se sitúa aprisionada, como se puede ver en la figura 19.

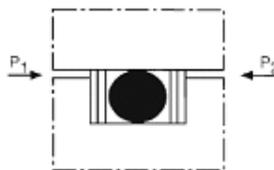


Figura 19. Esquema de una tórica aprisionada.

Tal presión está determinada por una fuerza radial de reacción “F” que resulta de dos componentes:

- Fuerza radial, “F”, debida al aplastamiento de la sección de la junta en el alojamiento como se observa en la figura 20.

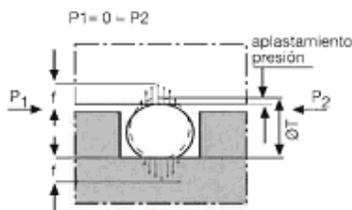


Figura 20. Esquema de una tórica con fuerzas y presiones.

- Fuerza radial derivada de la activación de la presión del fluido que hay que retener.

Por lo que la fuerza “F” dependerá de la sección de la junta tórica, del grado de compresión al que se encuentre sometida, de la dureza del elastómero y del valor de la presión del fluido que debe retener.

Finalmente se afirma que la fuerza “F”, ver la figura 21, decrecerá en el tiempo en función de la deformación permanente dependiendo de las propiedades del material del que esté conformada la junta, siendo esta elección clave a la hora de obtener buenos resultados de duración y resistencia.

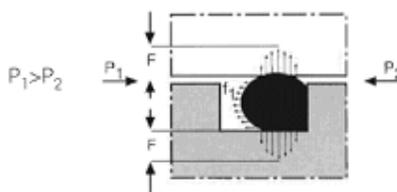


Figura 21. Esquema de una tórica con fuerzas y presiones (bis).

La forma de instalar la junta es sencilla, se aplicará calor para conseguir dilatarlas y situarlas en su emplazamiento exacto, donde se enfriarán y se adaptarán a la perfección en el alojamiento.

#### 4.4.2 Problemas del método descrito

Por lo general parece un método que eliminaría que el fluido estuviera en contacto con gran parte del eje dosificador, logrando que su superficie no sufriera el ya tan mencionado picado superficial, pero surgen otros problemas derivados:

- El alojamiento tendrá forma rectangular, mientras que la junta es de sección circular, por lo que hay un espacio no rellenado donde podrá acceder el fluido (como vemos en la figura, coloreado de color rojo), siendo esta zona realmente muy difícil de acceder a la hora de realizar la limpieza CIP por los productos. Se observa en la figura 22 que en la parte de la derecha se encuentra uno de los agujeros dosificadores del eje, se recuerda que la junta ha de estar cuanto más

cerca al agujero, todo lo que el mecanizado de la pieza le permita para así ser menor la superficie del eje que entra en contacto con el fluido,

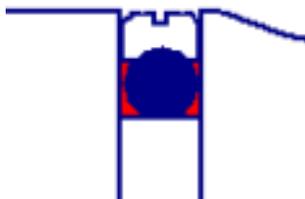


Figura 22. Esquema de nuestra junta rotativa.

- Partiendo de lo explicado en el primer punto se menciona una consecuencia de ello; como se comentó, el fluido se alojara en la zona en cuestión, haciendo de su limpieza algo realmente complicado, por lo que el término limpieza *CIP*, una de las premisas principales a la hora de fabricar una bomba competente, parece pasar a un segundo plano, hasta tal punto que no se cumple. Para garantizar la limpieza de la zona se desmontarán todas y cada una de las juntas tóricas (dos por cada pista), siendo esto una labor en la que se emplea mucho tiempo ya que se ha de hacer la operación de montaje de las mismas a la inversa; se aplicará calor para así poder descentrarlas de su acoplamiento y poder desplazarlas hasta el final del eje, para así limpiar tal alojamiento manualmente. A esta laboriosa tarea se añade otro precedente, las juntas no han sido diseñadas para el constante movimiento de montaje-desmontaje (cada vez que se quiera cambiar de fluido), por lo que perderán sus propiedades mecánicas mucho más rápidamente que si la dejamos trabajar en su sitio sin moverla.
- Otro tema con el que hay que tener especial cuidado es con las aristas vivas (se muestran ensalzadas en la figura 23), se encuentran en los límites de los alojamientos de cada junta y son una zona evitable en toda pieza mecanizada, debido a la acumulación de tensiones y otros problemas que acarrearán. Para la aplicación serán necesarias, ya que cuanto menos fluido circule hacia la tórica mucho más fácil se limpiara en el futuro.

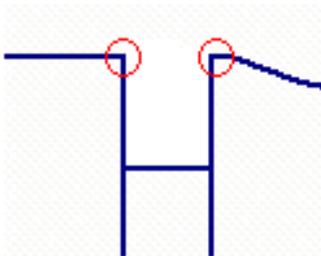


Figura 23. Esquema del vaciado del cuerpo dosificador.

- La selección de los materiales que conformen las juntas serán clave debido a que ciertas conjunciones de materiales resultan altamente contaminantes (claro ejemplo de ello es la unión de Teflón-Bronce).



### 4.4.3 Almacenamiento de juntas tóricas

Normalmente las juntas tóricas poseen aditivos que permiten que no envejecan con extremada rapidez, por lo que en caso de almacenamiento de alta duración no se deberá en ningún momento de alterar las características y propiedades de las juntas.

Las radiaciones solares y otros agentes atmosféricos pueden alterar el estado de algunos elastómeros, formando en ellos micro-fisuras, que limitaran su duración considerablemente. Conviene seguir algunos consejos para la correcta conservación de las juntas:

- Se recomienda conservar las juntas en el embalaje de origen, así como protegerlas de la luz y del aire; evitar la cercanía de aparatos que produzcan ozono o rayos ultravioletas y eliminar el contacto con sustancias ajenas.
- Procurar mantener una temperatura entre 10 °C y 20 °C.
- A la hora de limpiar las juntas se ha de utilizar algo tan simple como agua y jabón, evitando la utilización de sustancias y herramientas abrasivas.
- Se ha de evitar que estén aplastadas, estiradas o pegadas inútilmente; garantizando así su perfecto estado cuando llegue el momento de su uso.

### 4.5 Problema de las camisas de los cilindros

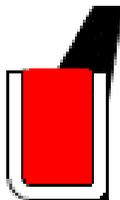
En este apartado se describe el problema de filtrado de producto hacia el interior o parte superior de la camisa del cilindro.

#### 4.5.1 Rascadores del vástago

Otro de los problemas abordados tiene que ver con los cilindros dosificadores; en concreto, con el empujador que oprime el fluido gracias al aire comprimido hacia el sistema cuerpo-eje dosificador. Se trata de las juntas encargadas de no permitir al fluido continuar hacia la parte posterior del cilindro, llamadas “rascadores”, ya que rascan las paredes interiores del cilindro inyectando el fluido a presión en el mencionado conjunto cuerpo-eje dosificador. Su función es evitar la entrada de fluido hacia el interior de los cilindros neumáticos.

Son piezas elastoméricas que pueden o no pueden tener refuerzo metálico, con un labio muy pronunciado que ejerce una interferencia muy elevada en el vástago impidiendo la entrada del producto en el interior. En la aplicación se requiere que la junta rascadora contenga un refuerzo metálico para proporcionarla resistencia al constante esfuerzo axial que sufrirá, así como para mantener el rascador con la misma apertura que el primer día durante más tiempo, para que su función rascadora no se vea afectada con el paso de los ciclos.

El rascador está formado en mayor grado de caucho NBR (zona de color negro en la figura), el refuerzo es de acero (de color blanco) y la cuna creada con estos componentes está rellena de silicona (de color rojo). En la figura 24 se encuentra el labio exagerado para ver más claramente la forma de la pieza.



*Figura 24. Diseño de la junta rascadora.*

El problema se representa en la junta en cuestión. Se observa con el paso de los ciclos de trabajo de una máquina que la junta pierde parte de la silicona, pudiendo ser el foco de un grave problema de contaminación.

Se han tenido problemas con estas juntas trabajando con un líquido pastoso en concreto, la mostaza; lo que nos llevó a la conclusión de que muy posiblemente los granos de mostaza no estaban bien molidos, actuando como verdaderos proyectiles contra la silicona.



## Capítulo 5: Cálculos

### 5.1 Fuerza del émbolo en el avance

La fuerza ejercida por el cilindro depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. Se calculará la fuerza teórica del émbolo de la siguiente forma:

Donde:

$$F_{teór} = \text{Fuerza teórica del émbolo (N)}.$$

$$A = \text{superficie útil del émbolo (cm}^2\text{)}$$

Que se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

Donde:

$$D = \text{Diámetro del émbolo (cm)}$$

$$\pi = \text{número pi}$$

$$P = \text{presión de trabajo (bar)}.$$

Se usaría la ecuación:

$$F_{teór} = A \cdot P$$

Pero en la práctica se necesita conocer la fuerza real, determinada teniendo en cuenta los distintos rozamientos; supuestas entre un 3% y un 20% de la fuerza calculada (para los cálculos se supondrán un 8% de rozamiento). Se realizará el estudio en los cilindros, ambos de doble efecto:

Donde:

$$F_{real} = \text{fuerza efectiva o real del émbolo (N)}.$$

$$A' = \text{superficie útil del anillo de émbolo (cm}^2\text{)}$$

Que se calcula con la siguiente ecuación:

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

Donde:

$$D = \text{diámetro del émbolo (cm)}. \quad d = \text{diámetro del vástago (cm)}.$$

$$F_R = \text{fuerza de rozamiento (N)}.$$



$P =$  presión de trabajo (bar).

Se usa la ecuación:

$$F_{real} = A' \cdot P - F_R$$

### 5.1.1 Cilindro neumático pequeño

Con la ecuación explicada en el anterior apartado se pasa a aplicarlo al cilindro neumático de menor diámetro.

$$D = 4 \text{ cm} \quad d = 1.6 \text{ cm} \quad P = 6 \text{ bar} \quad F_R = 8 \% \text{ de } F$$

Superficie del émbolo:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{4^2 \cdot \pi}{4} = 12.57 \text{ cm}^2$$

Superficie anular del émbolo:

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$A' = (4^2 - 1.6^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 10.56 \text{ cm}^2$$

Fuerza teórica de empuje en el avance:

$$F_{real} = A' \cdot P$$

$$F_{teór} = 12.57 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 754.2 \text{ N}$$

Resistencia en el avance es el 8% de F:  $F_R = 60.34 \text{ N}$

Fuerza real de empuje del émbolo en el avance:

$$F_{real} = A' \cdot P - F_R$$

$$F_{real} = 12.57 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - 60.34 = 693.86 \text{ N}$$

Fuerza teórica de tracción del émbolo en el retorno:

$$F_{real} = A' \cdot P$$

$$F_{teór} = 10.56 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 633.6 \text{ N}$$



Resistencia de rozamiento es el 8% de F:  $F_R = 50.69 N$

Fuerza real de empuje del émbolo en el retorno:

$$F_{real} = A' \cdot P - F_R$$

$$F_{real} = 10.56 \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} - 50.69 = 582.91 N$$

### 5.1.2 Cilindro neumático grande

Con la ecuación explicada en el anterior apartado se pasa a aplicarlo al cilindro neumático de mayor diámetro.

$$D = 8 \text{ cm} \quad d = 2.5 \text{ cm} \quad P = 6 \text{ bar} \quad F_R = 8 \% \text{ de } F$$

Superficie del émbolo:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{8^2 \cdot \pi}{4} = 50.26 \text{ cm}^2$$

Superficie anular del émbolo:

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$A' = (8^2 - 2.5^2) \frac{\pi}{4} = 45.36 \text{ cm}^2$$

Fuerza teórica de empuje en el avance:

$$F_{real} = A' \cdot P$$

$$F_{teór} = 50.26 \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} = 3015.6 N$$

Resistencia en el avance es el 8% de F:  $F_R = 241.25 N$

Fuerza real de empuje del émbolo en el avance:

$$F_{real} = A' \cdot P - F_R$$

$$F_{real} = 50.26 \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} - 241.25 = 2774.35 N$$

Fuerza teórica de tracción del embolo en el retorno:

$$F_{real} = A' \cdot P$$



$$F_{teór} = 50.26 \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} = 3015.6 N$$

Resistencia de rozamiento es el 8% de F:  $F_R = 241.25 N$

Fuerza real de empuje del émbolo en el retorno:

$$F_{real} = A' \cdot P - F_R$$

$$F_{real} = 45.36 \cdot 10^{-4} \cdot m^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} - 217.73 = 2774.35 N$$

Se recuerda que en los cilindros de doble vástago la fuerza es igual en ambos sentidos:

Fuerza de avance = Fuerza de retorno

Velocidad de avance = Velocidad de retorno

Se pueden comparar los resultados con las tablas dispuestas a continuación.

En la figura 25 se ve que la fuerza estimada ha de estar entre 600 y 700 N para el cilindro pequeño; y 2000 y 3000 N para el cilindro mayor. Por lo que los resultados obtenidos son aceptables.

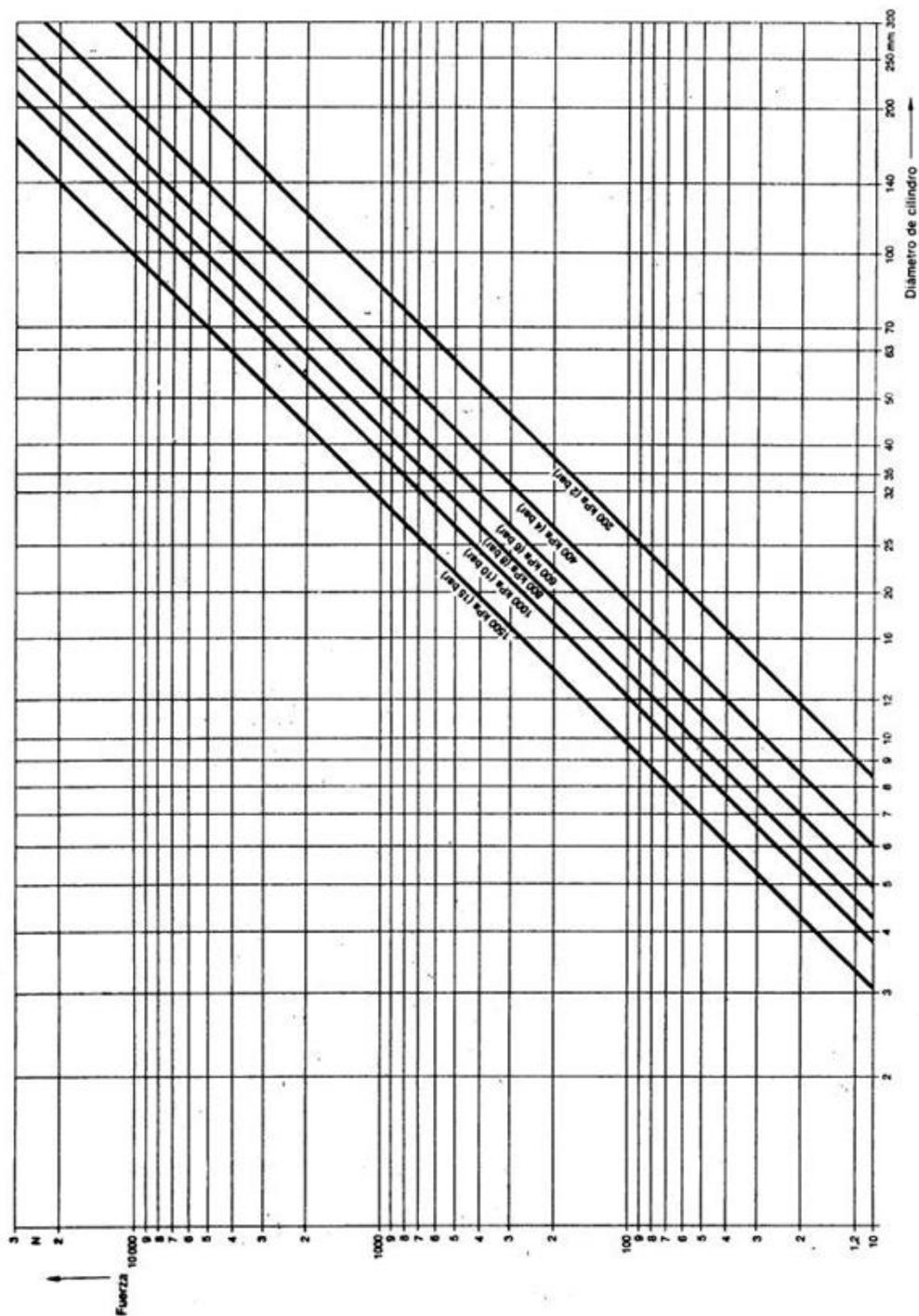


Figura 25. Diagrama Presión-Fuerza.



## 5.2 Cálculos de pandeo

Para realizar los cálculos de pandeo se usa la “Fórmula de Euler para pandeo”:

Donde:

$L_p = \text{longitud libre de pandeo} = \text{carrera del cilindro.}$

$E = \text{constante} = 210.10^9 Pa$

$I = \text{Momento de inercia de sección circular}$

Que se calcula con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Donde:

$d = \text{diámetro del vástago.}$

La ecuación usada es:

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2}$$

Cuando una fuerza  $F=F_p$  se producirá pandeo, por lo que la fuerza de servicio deberá ser menor que  $F_p$ . Se tomará el coeficiente de seguridad más común en estos cálculos: 3.5.

El caso más problemático se dará cuando el vástago llega a final de carrera. En este caso la fuerza será la calculada en el apartado anterior, resultado de multiplicar la presión por el área del émbolo.

Se utilizarán las siguientes fórmulas despejadas de las expuestas anteriormente:

Donde:

$L_p = \text{longitud libre de pandeo} = \text{carrera del cilindro.}$

$E = \text{constante} = 210.10^9 Pa$

$I = \text{Momento de inercia de sección circular}$

$F_p = \text{Fuerza de pandeo (N)}$

Que se calcula con la siguiente ecuación:



$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Donde:

$d$  = diámetro del vástago.

Las ecuaciones usadas son:

$$I = \frac{F_P \cdot L_P^2}{\pi^2 \cdot E} \quad d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

Cálculos de pandeo del vástago del cilindro neumático de  $\Phi 40$  mm aplicando las ecuaciones explicadas anteriormente:

$$F_P = 693.86 \text{ N} \quad L_P = 0.05 \text{ m} \quad E = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$I = \frac{F_P \cdot L_P^2}{\pi^2 \cdot E} \quad d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

$$I = \frac{(693.86) \cdot (0.05)^2}{\pi^2 \cdot (210 \cdot 10^9)} = 8.37 \cdot 10^{-13} \text{ m}^4$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot (8.37 \cdot 10^{-13})}{\pi}} = 0.00203 \text{ m} = 2.03 \text{ mm}$$

Por lo que el vástago no pandeará ya que su diseño tiene un diámetro mayor (16 mm).

Cálculos de pandeo del vástago del cilindro neumático de  $\Phi 80$  mm:

$$F_P = 2774.35 \text{ N} \quad L_P = 0.125 \text{ m} \quad E = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$I = \frac{F_P \cdot L_P^2}{\pi^2 \cdot E} \quad d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot I}{\pi}}$$

$$I = \frac{(2774.35) \cdot (0.125)^2}{\pi^2 \cdot (210 \cdot 10^9)} = 2.091 \cdot 10^{-11} \text{ m}^4$$

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot (2.091 \cdot 10^{-11})}{\pi}} = 0.00454 \text{ m} = 4.54 \text{ mm}$$

Por lo que el vástago no pandeará ya que su diseño tiene un diámetro mayor (25 mm).

Se ve en la figura 26 que en los casos que se explicaban no afecta el pandeo.

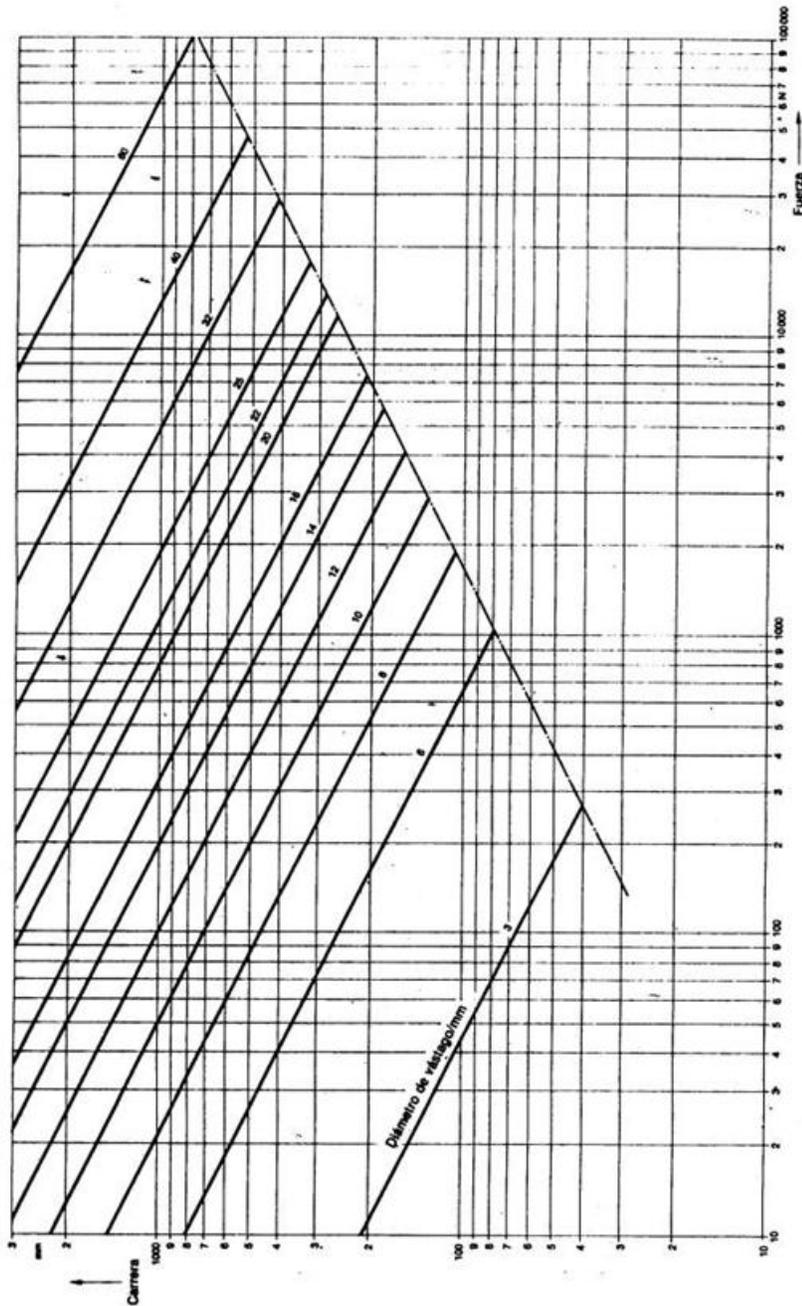


Figura 26. Diagrama de pandeo.

### 5.3 Cálculo del consumo de aire

A continuación, se determinará el consumo de aire de nuestros cilindros neumáticos. Se comienza calculando la relación de compresión, común en ambos cilindros, de la siguiente forma:

Donde:

101.3 es una constante de trabajo para calcular la relación de compresión.



Presión de trabajo es igual a 600 kPa.

$$\frac{101.3 + \text{Presión de trabajo}}{101.3} \text{ en kPa (referida al nivel del mar)}$$

$$\frac{101.3 + 600 \text{ kPa}}{101.3 \text{ kPa}} = 6.9$$

A continuación, se calcula la cantidad de aire necesaria medida en l/min y denominada con una V.

Donde:

$s = \text{longitud de la carrera (cm)}$

$n = \text{ciclos por minuto.}$

$V = \text{cantidad de aire necesaria l/min.}$

$D = \text{Diámetro del émbolo (cm)}$

$d = \text{Diámetro del vástago (cm)}$

$\pi = \text{número pi}$

$$V = \left[ s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot \text{Relación de compresión}$$

Se supone un régimen de trabajo de 30 ciclos/minuto.

### 5.3.1 Cilindro neumático pequeño

Se procede a calcular el caudal del cilindro menor.

$$D = 4 \text{ cm} \quad d = 1.6 \text{ cm} \quad s = 5 \text{ cm} \quad n = 30 \text{ ciclos/min} \quad \text{Relación} = 6.9$$

$$V = \left[ s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot \text{Relación de compresión}$$

$$V = \left[ 5 \cdot \frac{4^2 \cdot \pi}{4} + 5 \cdot \frac{(4^2 - 1.6^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot 30 \cdot (6.9) = 23931.39 \text{ cm}^3/\text{min} = 23.93 \text{ l/min}$$



### 5.3.2 Cilindro neumático grande

Se procede a calcular el caudal del cilindro mayor.

$$D = 8 \text{ cm} \quad d = 2.5 \text{ cm} \quad s = 12.5 \text{ cm} \quad n = 30 \frac{\text{ciclos}}{\text{min}} \quad \text{Relación} = 6.9$$

$$V = \left[ s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot \text{Relación de compresión}$$

$$V = \left[ (12.5) \cdot \frac{8^2 \cdot \pi}{4} + (12.5) \cdot \frac{(8^2 - 2.5^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot 30 \cdot (6.9)$$

$$= 247422.65 \text{ cm}^3/\text{min} = 247.42 \text{ l/min}$$

En los cálculos anteriores se ha de tener en cuenta el llenado de las cámaras secundarias en cada carrera. Se verá en las siguientes tablas (figura 31) proporcionadas por Festo.

Figura 73: Tabla (cámara muerta)

Diámetro de émbolo mm	Lado anterior (tapa) en cm <sup>3</sup>	Lado posterior (fondo) en cm <sup>3</sup>	Diámetro de émbolo mm	Lado anterior (tapa) en cm <sup>3</sup>	Lado posterior (fondo) en cm <sup>3</sup>
12	1	0,5	70	27	31
16	1	1,2	100	80	88
25	5	6	140	128	150
35	10	13	200	425	448
50	18	19	250	2.005	2.337

1.000 cm<sup>3</sup> = 1 litro

Tabla 5. Tablas de llenado de las cámaras.

De la tabla 5 proporcionada por Festo se obtiene que la fuerza transversal para el cilindro pequeño es  $F_q = 150 \text{ N}$  (conociendo la carrera, 50 mm). Mientras que para el cilindro mayor es  $F_q = 500 \text{ N}$  (conociendo la carrera, 125 mm).

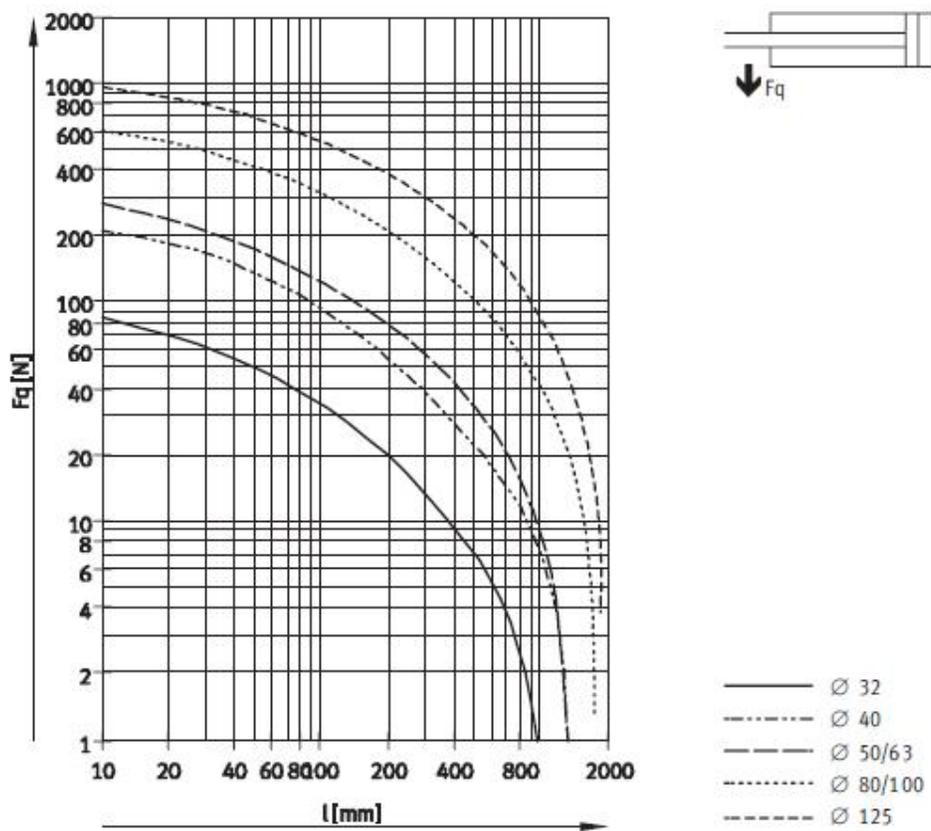


Figura 27. Fuerza transversal  $F_q$  máx.

Aplicando los datos de la figura 27 se obtiene que la  $F_q$ , está situada ligeramente por encima de la línea de  $F_q$  máxima de la figura 28. La palanca  $s=180$  mm.

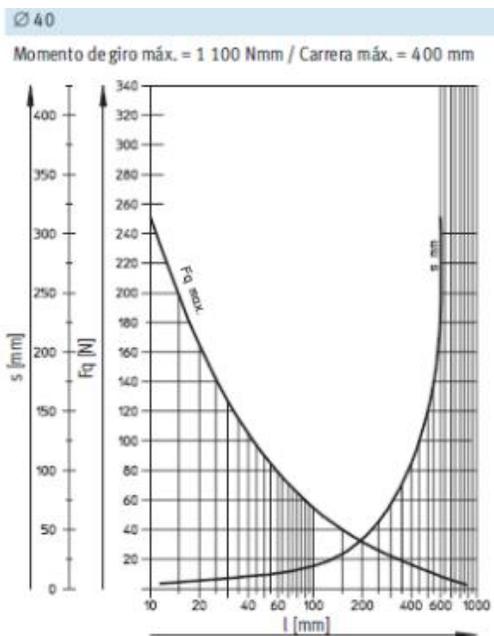


Figura 28. Gráfica para cilindro  $\Phi = 40$  mm de Festo. En función de la carrera  $l$  y de la palanca  $s$ .

Aplicando los datos de la figura 28 se obtiene que la  $F_q$ , está situada ligeramente por encima de la línea de  $F_q$  máxima de la figura 29. La palanca  $s=80$  mm.

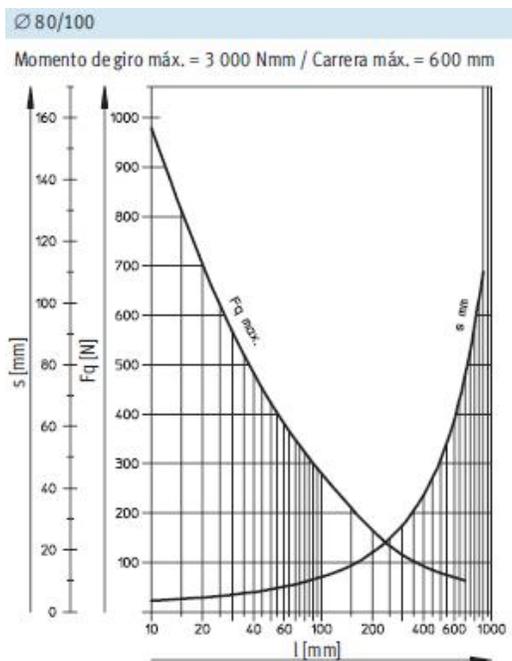


Figura 29. Gráfica para cilindro  $\Phi = 80$  mm de Festo. En función de la carrera  $l$  y de la palanca  $s$ .



### 5.4 Cálculo del consumo de aire 2

Se ha de tener en cuenta que el aire requerido calculado anteriormente se encuentra a una determinada presión, de trata de aire en condiciones normales, se pasará el aire a presión atmosférica con la ecuación de los gases ideales:

Donde:

$P = \text{presión (bar)}$

$V = \text{volumen (m}^3\text{)}$

$n = \text{n}^\circ \text{ de moles}$

$T = \text{temperatura (}^\circ\text{C)}$

$R = \text{constante gases ideales}$

$t = \text{tiempo (seg)}$

$Q = \text{caudal (m}^3\text{/s)}$

Se usa la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot \vartheta = n \cdot R \cdot T \quad P \cdot \frac{\vartheta}{t} = P \cdot Q$$

Temp. del aire °C	Densidad del aire en kilogramos por metro cúbico para las presiones manométricas en bar indicadas (Basado en una presión atmosférica de 1.01325 bar y un peso molecular de 28.97)																		
	0 bar	0.5 bar	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	7 bar	8 bar	9 bar	10 bar	11 bar	12 bar	13 bar	14 bar	15 bar	16 bar	17 bar
0*	1.293	1.930	2.568	3.844	5.12	6.39	7.67	8.95	10.22	11.50	12.77	14.05	15.32	16.60	17.88	19.15	20.43	21.70	22.98
5	1.269	1.896	2.522	3.775	5.03	6.28	7.53	8.78	10.04	11.29	12.54	13.80	15.05	16.30	17.55	18.81	20.06	21.31	22.56
10	1.247	1.862	2.477	3.708	4.93	6.17	7.40	8.63	9.86	11.09	12.32	13.55	14.78	16.01	17.24	18.47	19.71	20.94	22.17
15	1.225	1.830	2.435	3.644	4.85	6.06	7.27	8.48	9.69	10.90	12.11	13.32	14.53	15.74	16.95	18.15	19.36	20.57	21.78
20	1.204	1.799	2.393	3.581	4.77	5.96	7.15	8.34	9.52	10.71	11.90	13.09	14.28	15.47	16.66	17.84	19.03	20.22	21.41
25	1.184	1.768	2.353	3.522	4.69	5.86	7.03	8.20	9.37	10.53	11.70	12.87	14.04	15.21	16.38	17.55	18.71	19.88	21.05
30	1.165	1.739	2.314	3.463	4.61	5.76	6.91	8.06	9.21	10.36	11.51	12.66	13.81	14.96	16.11	17.26	18.41	19.55	20.70
35	1.146	1.711	2.277	3.407	4.54	5.67	6.80	7.93	9.06	10.19	11.32	12.45	13.58	14.72	15.85	16.98	18.11	19.24	20.37
40	1.127	1.684	2.240	3.353	4.47	5.58	6.69	7.80	8.92	10.03	11.14	12.25	13.37	14.48	15.59	16.71	17.82	18.93	20.04
50	1.093	1.632	2.171	3.249	4.33	5.41	6.48	7.56	8.64	9.72	10.80	11.88	12.95	14.03	15.11	16.19	17.27	18.35	19.42
60	1.060	1.583	2.106	3.152	4.20	5.24	6.29	7.33	8.38	9.43	10.47	11.52	12.56	13.61	14.66	15.70	16.75	17.79	18.84
70	1.028	1.537	2.044	3.060	4.08	5.09	6.11	7.12	8.14	9.15	10.17	11.18	12.20	13.21	14.23	15.24	16.26	17.28	18.29
80	1.0	1.493	1.986	2.973	3.960	4.95	5.93	6.92	7.91	8.89	9.88	10.87	11.85	12.84	13.83	14.81	15.80	16.79	17.77
90	0.972	1.452	1.932	2.891	3.851	4.81	5.77	6.73	7.69	8.65	9.61	10.57	11.53	12.49	13.45	14.41	15.36	16.32	17.28
100	0.946	1.413	1.880	2.814	3.748	4.68	5.62	6.55	7.48	8.42	9.35	10.28	11.22	12.15	13.09	14.02	14.95	15.89	16.82
120	0.898	1.342	1.784	2.671	3.557	4.44	5.33	6.21	7.10	7.99	8.87	9.76	10.65	11.53	12.42	13.31	14.19	15.08	15.97
140	0.855	1.276	1.698	2.541	3.385	4.23	5.07	5.91	6.76	7.60	8.45	9.29	10.13	10.97	11.82	12.66	13.51	14.35	15.19
160	0.815	1.217	1.620	2.424	3.229	4.03	4.84	5.64	6.45	7.25	8.06	8.86	9.66	10.47	11.27	12.08	12.88	13.69	14.49
180	0.779	1.164	1.548	2.317	3.086	3.855	4.62	5.39	6.16	6.93	7.70	8.47	9.24	10.01	10.77	11.54	12.31	13.08	13.85
200	0.746	1.114	1.483	2.219	2.955	3.692	4.43	5.16	5.90	6.64	7.37	8.11	8.85	9.58	10.32	11.06	11.79	12.53	13.26
220	0.716	1.069	1.423	2.129	2.836	3.542	4.25	4.96	5.66	6.37	7.08	7.78	8.49	9.20	9.90	10.61	11.31	12.02	12.73
240	0.688	1.027	1.367	2.046	2.725	3.404	4.08	4.76	5.44	6.12	6.80	7.48	8.16	8.84	9.51	10.19	10.87	11.55	12.23
260	0.662	0.989	1.316	1.969	2.623	3.277	3.930	4.58	5.24	5.89	6.54	7.20	7.85	8.51	9.16	9.81	10.47	11.12	11.77
280	0.638	0.953	1.268	1.898	2.528	3.158	3.788	4.42	5.05	5.68	6.31	6.94	7.57	8.20	8.83	9.46	10.09	10.72	11.35
300	0.616	0.920	1.224	1.832	2.440	3.048	3.656	4.26	4.87	5.48	6.09	6.70	7.30	7.91	8.52	9.13	9.74	10.34	10.95

Tabla 6. Densidad del aire en función de la densidad y la temperatura.

De la tabla 6 se obtiene que para 6 bares y 20°C de temperatura:



$$\rho = 8.34 \text{ Kg.m}^3$$

Viscosidad del aire:

$$\mu = (1.8) \cdot 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$$

Se calcula la velocidad de la siguiente forma, se supondrá constante a lo largo del conducto:

Donde:

$$Q = \text{caudal (m}^3\text{/s)}$$

$$S = \text{sección del conducto (m}^2\text{)}$$

$$V = \text{velocidad (m/s)}$$

Se utiliza la ecuación:

$$V = \frac{Q}{S}$$

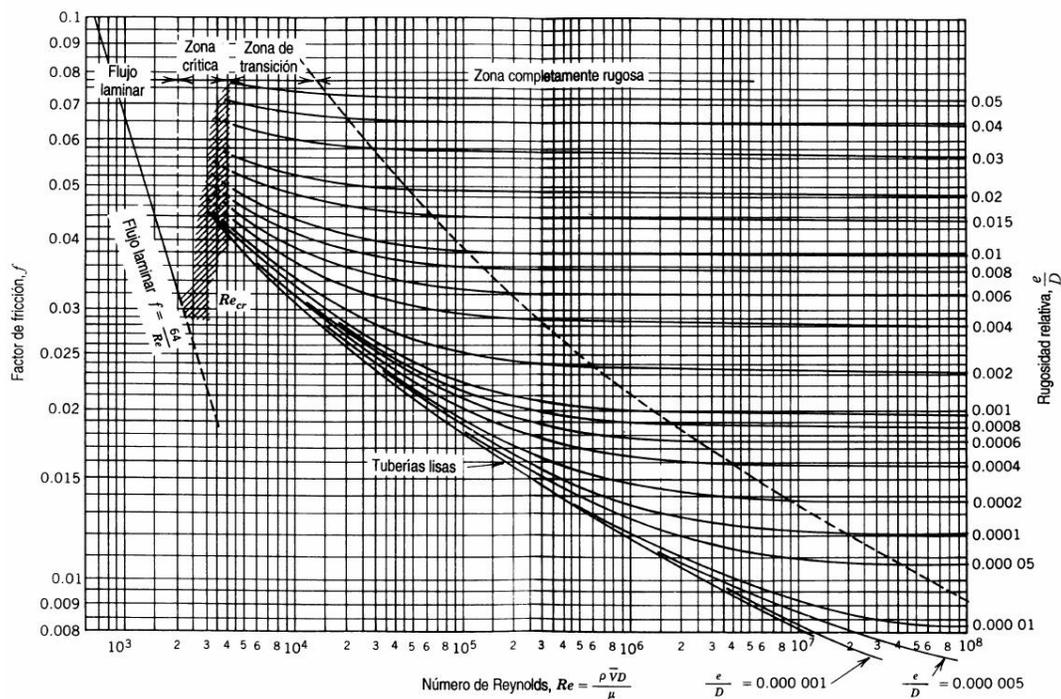


Figura 30. Número de Reynolds.

Gracias a la figura 30 se puede calcular directamente el Reynolds; se calcula de forma teórica en el siguiente párrafo.



Se sabe que el Reynolds para flujos circulares se calcula con la siguiente ecuación:

Donde:

$$V = \text{velocidad (m/s)}$$

$$\rho = \text{densidad (Kg.m}^3\text{)}$$

$$\mu = \text{viscosidad (N.} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}\text{)}$$

$$D = \text{Diámetro del émbolo (m)}$$

Se usa la ecuación:

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

#### 5.4.1 Conducto largo que va desde la placa base (conjunto de válvulas) al cilindro neumático pequeño (Ø 40 mm)

Donde:

$$S = \text{superficie (m}^2\text{)}$$

$$r = \text{radio (m)}$$

Y se calcula con la ecuación:

$$S = \pi \cdot (r)^2$$

La velocidad:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0.0004}{(3.85) \cdot 10^{-5}} = 10.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Del apartado 5.3 se recupera el caudal:

$$Q = 23.93 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 0.0004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$D = 0.007 \text{ m}$$

$$S = \pi \cdot (0.0035)^2 = (3.85) \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{(8.34) \cdot (10.4) \cdot (0.007)}{(1.8) \cdot 10^{-5}} = 33730.67$$



### 5.4.2 Conducto corto que va desde la placa base (conjunto de válvulas) al cilindro neumático mayor (Ø 80 mm)

Donde:

$$S = \text{superficie (m}^2\text{)}$$

$$r = \text{radio (m)}$$

Y se calcula con la ecuación:

$$S = \pi \cdot (r)^2$$

La velocidad:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0.0041}{(3.85) \cdot 10^{-5}} = 106.5 \frac{m}{s}$$

Del apartado 5.3 se recupera el caudal:

$$Q = 247.42 \frac{l}{min} = 0.0041 \frac{m^3}{s}$$

$$S = \pi \cdot (0.0035)^2 = (3.85) \cdot 10^{-5} m^2$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{(8.34) \cdot (106.5) \cdot (0.007)}{(1.8) \cdot 10^{-5}} = 345415$$

Se observa que los Reynolds poseen valores bastante grandes, lo que significa que el fluido es turbulento, algo muy positivo a la hora de hacer maniobras de dosificación.

### 5.5 Selección del compresor y del depósito acumulador

Por último, se elige un criterio para seleccionar el compresor mediante la obtención de la potencia requerida (se supone que el compresor sólo tiene que trabajar para la bomba dosificadora, algo realmente inusual), conociendo los caudales de entrada (1) y salida (2), al ser un fluido compresible ambos caudales no son iguales:

Donde:

$P_2 =$  suma de la presión requerida para realizar un efecto útil más las correspondientes pérdidas de carga = 600021 Pa.

$P_1 =$  habitualmente será la atmosférica (a menos que el compresor aspire el aire de una sala o depósito a presión) = 100004 Pa.

$Q_2 =$  caudal de entrada (usaremos una aproximación) = 0.001 m<sup>3</sup>/s



$Q_1 = \text{caudal de salida (usaremos la suma de ambos necesarios)} = 0.00044 \text{ m}^3/\text{s}$

Se aplica la ecuación:

$$W = P_2 \cdot Q_2 - P_1 \cdot Q_1 = 600021 \cdot (0.001) - 100004 \cdot (0.00044) = 556 \text{ W}$$

Se utilizan las expresiones del flujo compresible, se puede reordenar y obtener:

$$W = P_2 \cdot Q_2 \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} - 1 \right) = 600021 \cdot (0.001) \cdot \frac{1.4}{1.4 - 1} \cdot \left( \left( \frac{600021}{100004} \right)^{\frac{1.4 - 1}{1.4}} - 1 \right) = 1403.91 \text{ W}$$

Donde:

$\gamma = 1.4$  el coeficiente de expansión adiabático para el aire.

Como era de entender la potencia necesaria es relativamente pequeña luego se elige el compresor mínimo para ofrecer tal potencia del catálogo.

Otra opción sería, una vez calculado el consumo diario necesario y conociendo la presión de trabajo, elegir un compresor de la gráfica de la figura 31, proporcionada por el fabricante. En el ejemplo de abajo se ven distintos compresores de desplazamiento positivo con sus mejores zonas de funcionamiento y una línea inclinada que delimita el uso de turbo-máquinas, que es la zona por debajo y hacia la derecha de dicha línea inclinada.

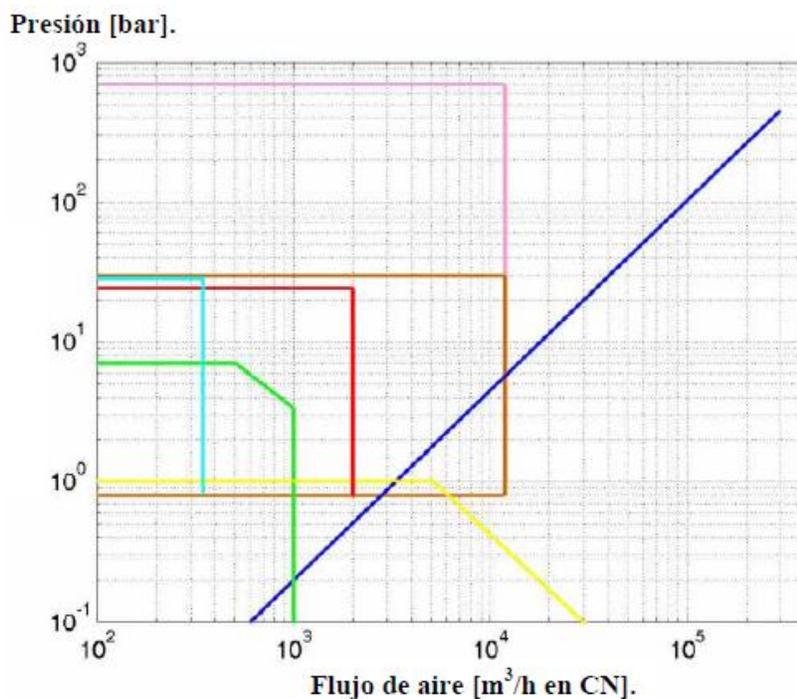


Figura 31. Distintos rasgos de comportamiento de compresores de aire.



Para seleccionar el volumen del depósito acumulador no existe una norma general, dependen de la demanda de caudal y el tamaño y tiempos de funcionamiento del compresor:

Donde:

$C =$  consumo de aire en condiciones normales en metros cúbicos por minuto  $= 0.27 \text{ m}^3/\text{min}$ .

$T =$  tiempo requerido para el llenado del depósito (supuesto)  $= 2 \text{ min}$ .

$P_1 = 6 \text{ bar}$  y  $P_2 = 1 \text{ bar}$  (Presiones máxima y mínima).

$P_0 = 1 \text{ bar}$ .

Se aplica la ecuación:

$$\vartheta = \frac{C \cdot T \cdot P_0}{(P_1 - P_2)} = \frac{(0.27) \cdot 2 \cdot 1}{(6 - 1)} = 0.108 \text{ m}^3$$



## Capítulo 6: Importancia del guiado

El guiado es un aspecto fundamental en el diseño de la bomba ya que de ello depende el correcto y eficiente dosificado de la misma por eso mismo se ha hecho especial énfasis en guiarla.

### 6.1 Cilindro regulador

El guiado ha de comenzar desde el inicio del movimiento para no ir arrastrando errores desde el principio; el sistema del cilindro regulador, además, por supuesto, de tener tolerancias adecuadas para centrar correctamente las camisas, tiene una guía en la tercera parte o segunda camisa, cerca del extremo libre y sobre la cual se presiona con el mando grafilado o pomo, para evitar arañazos sobre la segunda de las camisas, la que tiene la rosca hembra, y que afearía considerablemente su acabado al apretar el pomo contra su exterior.

### 6.2 Tapa de la camisa y pistón

Se comenzará hablando de la tapa de la camisa, primera de las partes desde el punto de vista de donde viene el movimiento neumático, por eso mismo se ha de colocar en este punto el elemento de guiaje, la guía de plástico abierta en este caso.

El pistón es uno de los elementos más importantes en la bomba por lo que tiene un diseño relativamente complicado, dividido en siete partes; el vástago, las tres partes que componen el pistón, la guía abierta central y los dos rascadores que rascaran las paredes interiores de la camisa para no perder prácticamente nada de fluido.

Como se dijo en el párrafo anterior el pistón también tendrá una guía abierta en su parte central que junto a los elementos rascadores conformaran un equipo de guiaje bastante aceptable a la hora de dosificar.

### 6.3 Columnas

Las columnas son el soporte de gran parte de la estructura que conforma la bomba completa, por lo que además de ser lo suficientemente robusta han de estar perfectamente guiadas, por lo que se ha diseñado una pieza especial para ello, que se soporta a ambos extremos del taco empujador y sirve de guía para las columnas permitiendo el deslizamiento a lo largo de ellas para facilitar el movimiento de dosificación.

### 6.4 Eje y cuerpo dosificador

Tanto el eje como el cuerpo dosificador están guiados con juntas rotativas tipo DR115 que están formadas por un anillo de PTFE con aditivos y una junta tórica que actúa como elemento energizador, su función es estanqueizar lo máximo posible el movimiento rotativo que realiza el eje con respecto al cuerpo dosificador. La geometría de la junta, por lo tanto, está diseñada para conseguir una excelente estanqueidad a bajas presiones, un rozamiento ínfimo, una buena resistencia a la extrusión que le permita ser un muy buen elemento de guiado y una duración más que aceptable.



Una característica importante de la junta es que puede utilizarse con presión en ambas caras y con fluidos diferentes, que no es el caso. Puede llegar a soportar presiones de hasta 400 bares y 1 m/seg, además de soportar una amplia gama de temperaturas. El alojamiento requerido es sencillo y su instalación es muy fácil pudiendo ser extraídas manualmente.

El alojamiento se sitúa en el propio cuerpo dosificador, en sendos cuellos en ambos extremos, para denegar el movimiento axial a la junta se colocan las respectivas tapas del cuerpo dosificador, otorgando a la junta el mencionado alojamiento, con las rugosidades óptimas para su correcto funcionamiento con movimiento rotativo.

## **6.5 Brida del cilindro neumático dosificador**

El cilindro neumático que otorga el giro al eje dosificador se sostiene frontalmente mediante una brida, la cual está sujeta a dos pletinas que realizan la función de soporte; pero existe un elemento que realiza la transición del soporte a la brida, guiándole y permitiéndole soportar los continuos giros y vaivenes. Dicho elemento es un elemento conocido como “cojinete *selfoil*”, se tratará de estudiar brevemente dichos elementos ya que tienen unas características realmente interesantes.

Se trata de unos cojinetes realizados en bronce sinterizado, se trata de una técnica bastante moderna de obtención de grandes series de piezas de precisión de una forma efectiva, sin pérdida de material y lo que es más importante en los tiempos actuales, de una forma económica. Se pueden emplear múltiples operaciones de acabado (desde tratamientos térmicos hasta recubrimientos superficiales)

## Capítulo 7: Morfología de la bomba

En este capítulo se explican todas y cada una de las piezas que conforman la bomba dosificadora.

### 7.1 Cilindro regulador

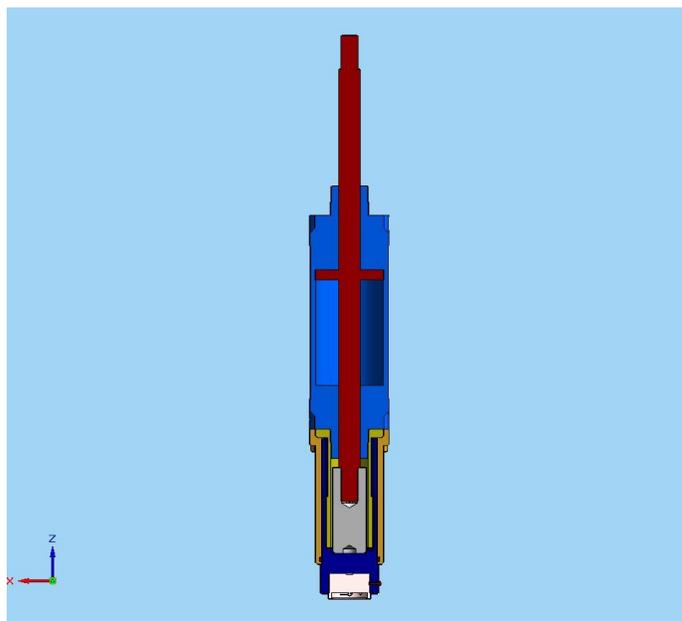


Figura 32. Conjunto en Solid Edge del cilindro regulador.



Figura 33. Conjunto del cilindro regulador.

En la primera figura se ve un plano del alzado cortado para apreciar las distintas partes del cilindro regulador. En la segunda se ve el cilindro en la realidad ya montado en la máquina.

El cilindro regulador está compuesto por:

Un cilindro neumático de doble vástago, en la figura 34, por el lado frontal empujara los distintos pistones mientras que por el lado anterior se le regula la carrera con el vástago que sobresale al realizar la operación llenado de los pistones. Poseen iguales fuerzas de avance y de retroceso.

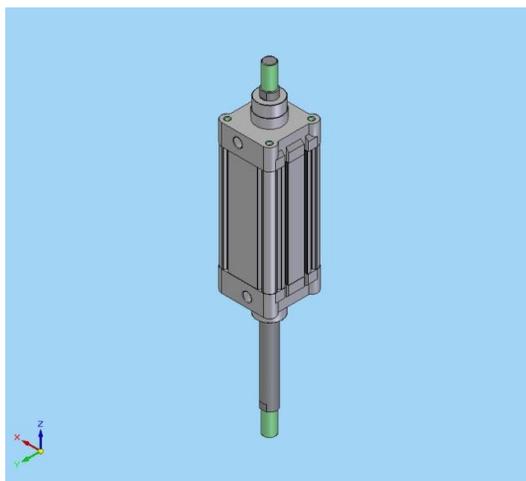


Figura 34. Conjunto del cilindro neumático Festo en Solid Edge.

Tres camisas mecanizadas que hacen las veces de protección del vástago, de guía y de elementos que determina la carrera. La primera parte es la primera camisa, se puede ver en la figura 35, se sujeta mediante un prisionero y tendrá un orificio para que respire el cilindro regulador.

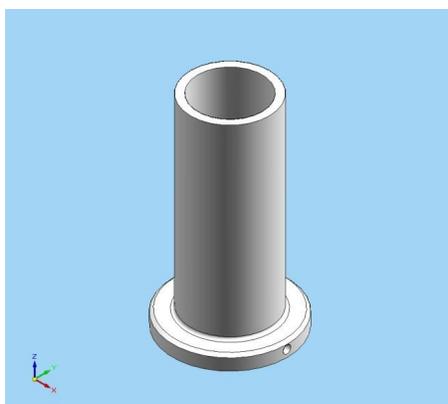


Figura 35. Primera parte del cilindro regulador en Solid Edge.

La segunda parte, o segunda camisa, en la figura 36 se aprecia que tiene la parte superior grafilada para facilitar su manejo y un pequeño orificio para mantener el indicador gravitacional (en la figura 37) en su interior,

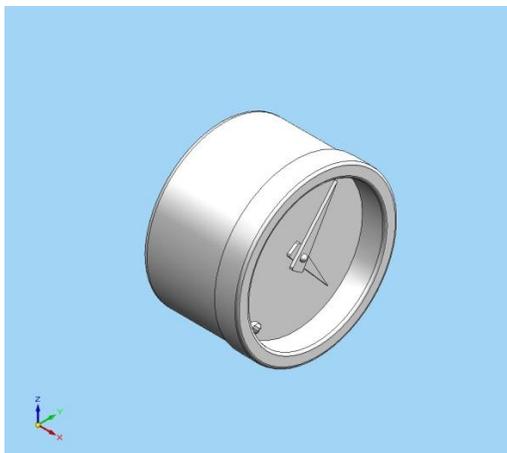


Figura 36. Indicador gravitacional en Solid Edge.

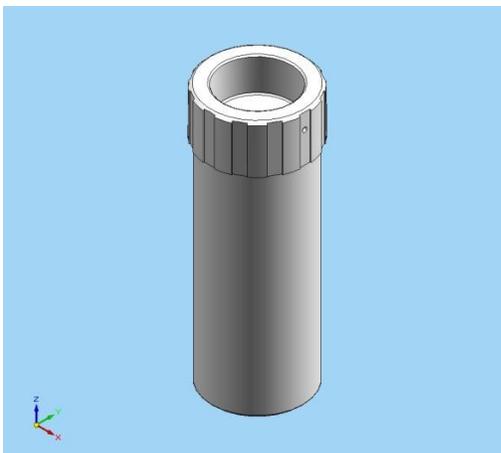


Figura 37. Segunda parte del cilindro regulador.

Sobre esta parte descansa el pomo grafilado de la figura 38 que permitirá trabajar con la carrera elegida sin miedo a modificarse a mitad de ciclo.

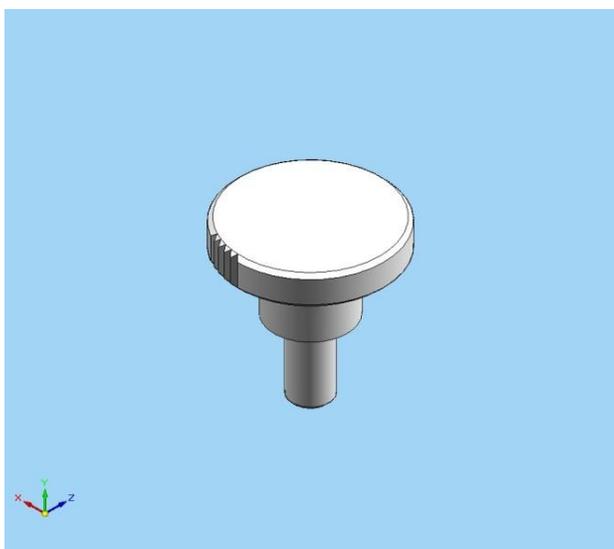


Figura 38. Pomo grafilado en Solid Edge.

La tercera parte sostiene a todas las anteriores ya que es la que va anclada mediante tornillos al propio cilindro neumático, tiene un agujero lateral para dar cabida al pomo grafilado del que se habla anteriormente. Tiene un vaciado para dar asiento a una guía abierta de plástico que se sitúa en la parte superior, véase figura 39, y es clave para el correcto guiado de todo el conjunto regulador, evitando gripados por rozado de las distintas camisas.

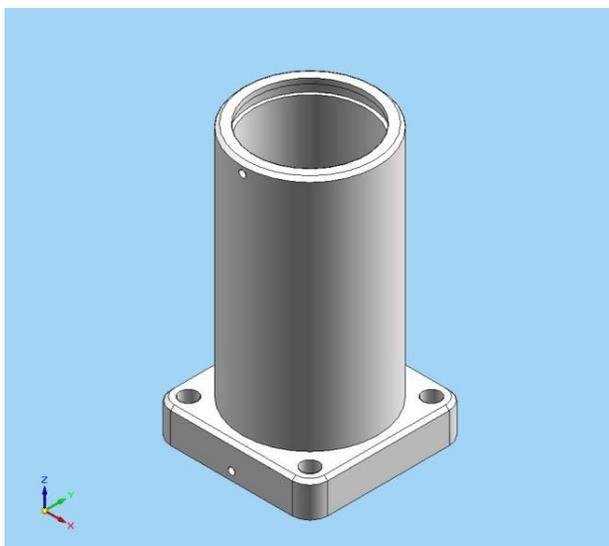


Figura 39. Tercera parte del cilindro regulador en Solid Edge.

La última parte dentro de este apartado de cilindro regulador es el vulgarmente llamado “capuchón”, que hace tope con la segunda camisa y va roscado al propio vástago del cilindro neumático, como se ve en la figura 40.

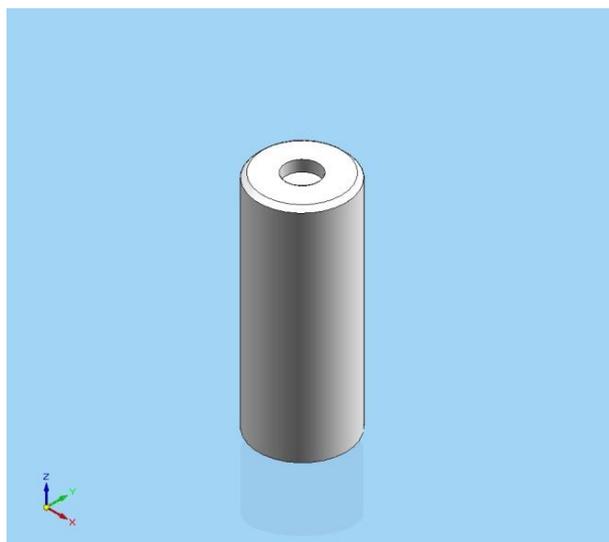


Figura 40. Capuchón del vástago en Solid Edge.

## 7.2 Soporte y válvulas

El soporte y las válvulas se unen al cilindro neumático gracias a una placa donde va sujeta la plaquita donde se sitúan todas las válvulas y sus respectivos elementos.



Figura 41. Soporte del cilindro regulador.

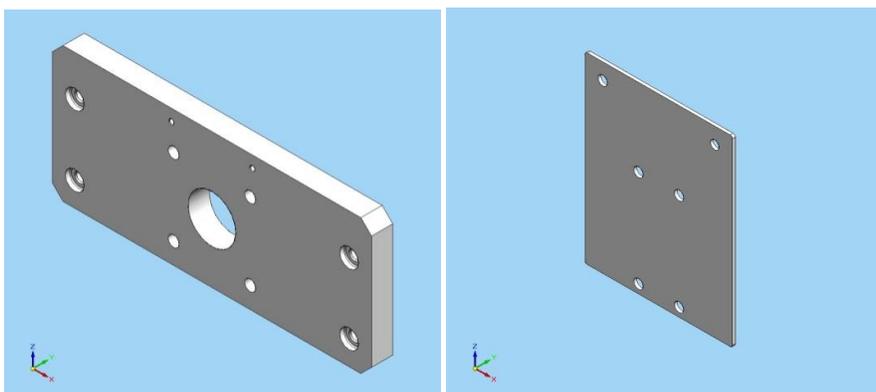


Figura 42. Soporte del cilindro en Solid Edge . Figura 43. Plaquita porta-válvulas en Solid Edge.

La siguiente parte que va sujeta a la plaquita es la placa base, cuyos conductos, gracias a válvulas y racores hacen llegar la alimentación perfectamente a nuestros respectivos cilindros neumáticos. Dicho bloque distribuidor está construido en aluminio anodizado.

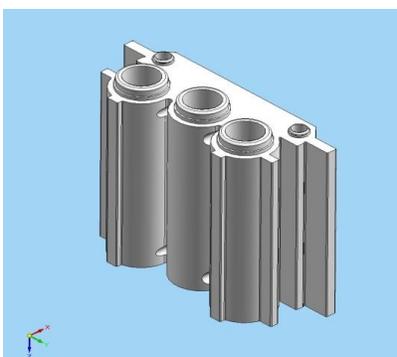


Figura 44. Placa base Festo en Solid Edge.

En la parte superior van colocados dos silenciadores para evitar un extra de ruido que se provocaría permitiendo un escape directamente a la atmosfera. Además de para la reducción del nivel de ruidos se instalan para evitar el ensuciamiento de las conexiones de escape de componentes neumáticos. Están compuestos de cobre y de latón.

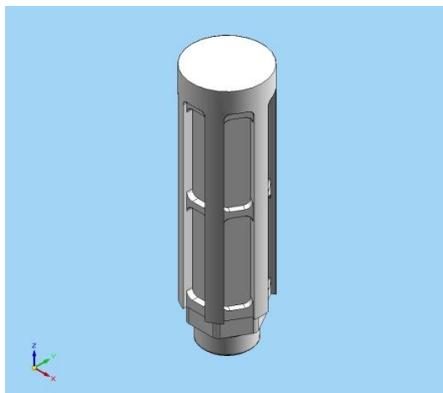


Figura 45. Silenciador Festo en Solid Edge.



Figura 46. Conjunto de válvulas y silenciadores sin tubos.



Figura 47. Conjunto con tubos.

Se ha de diferenciar entre las dos válvulas que se instalan, la de la derecha es una Eválvula, luego además de llevar aire comprimido también tiene energía eléctrica; mientras que la válvula representada a la izquierda no tiene.

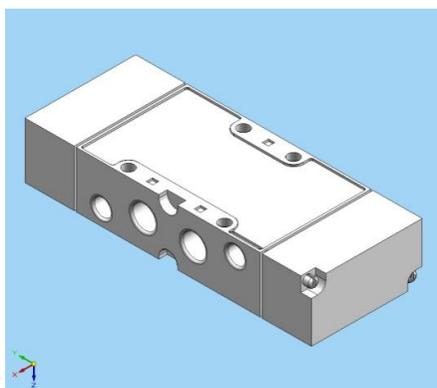


Figura 48. Válvula Festo en Solid Edge.

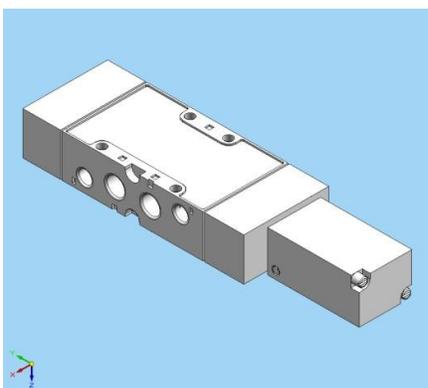


Figura 49. Eválvula Festo en Solid Edge.

### 7.3 Taco empujador y columnas

Las columnas se atornillan al cuerpo dosificador mediante cuatro tornillos que lo atraviesan y roscan en las propias columnas por uno de sus extremos, y por el otro con un tornillo que atraviesa el soporte en forma de placa que va sujeto al cilindro dosificador anteriormente citado.



Figura 50. Columna en Solid Edge.



Figura 51. Columnas de la bomba.

El cilindro neumático empuja directamente a una pieza que reparte la fuerza entre todas y cada una de las pistas de la bomba, dicha pieza se ha bautizado como empujador, y tiene un gran taladro para albergar al vástago del cilindro roscado y vaciados para situar los vástagos de cada pista, facilitando su desmontaje, ya que se pueden sacar por la parte de arriba. Tiene un agujero por cada pista en la cara donde rosca el cilindro neumático para, mediante un tornillo regular el posible error de cada pista de forma individual, aunque sin poder cuantificar exactamente nuestra regulación.

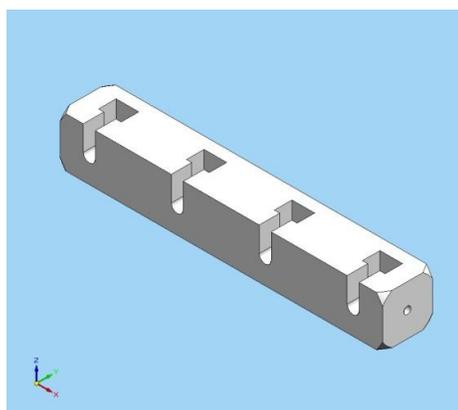


Figura 52. Taco empujador en Solid Edge.

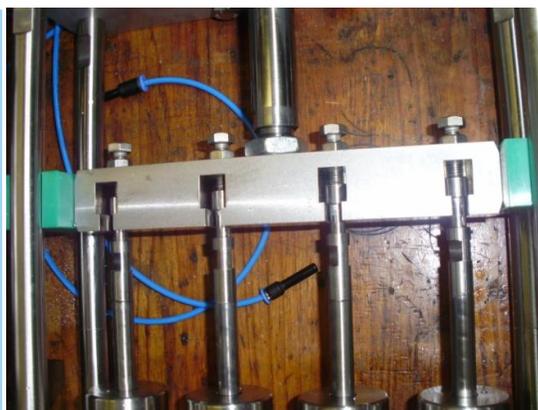


Figura 53. Taco empujador de la bomba.

En las caras cuadradas laterales se sitúa un taladro roscado para sujetar los soportes, que se ven en la figura, y que servirán de guía para las columnas.

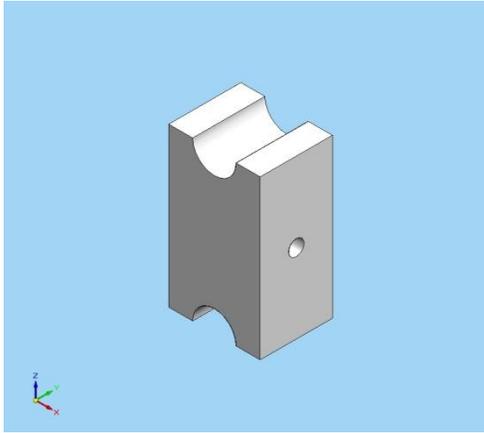


Figura 54. Guías de las columnas en Solid Edge.

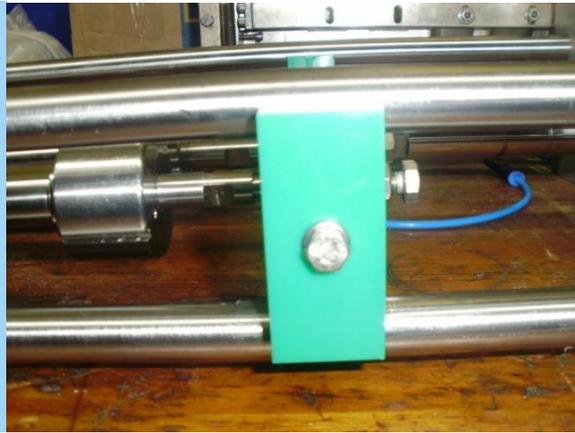


Figura 55. Guías de las columnas de la bomba.

## 7.4 Cilindro dosificador

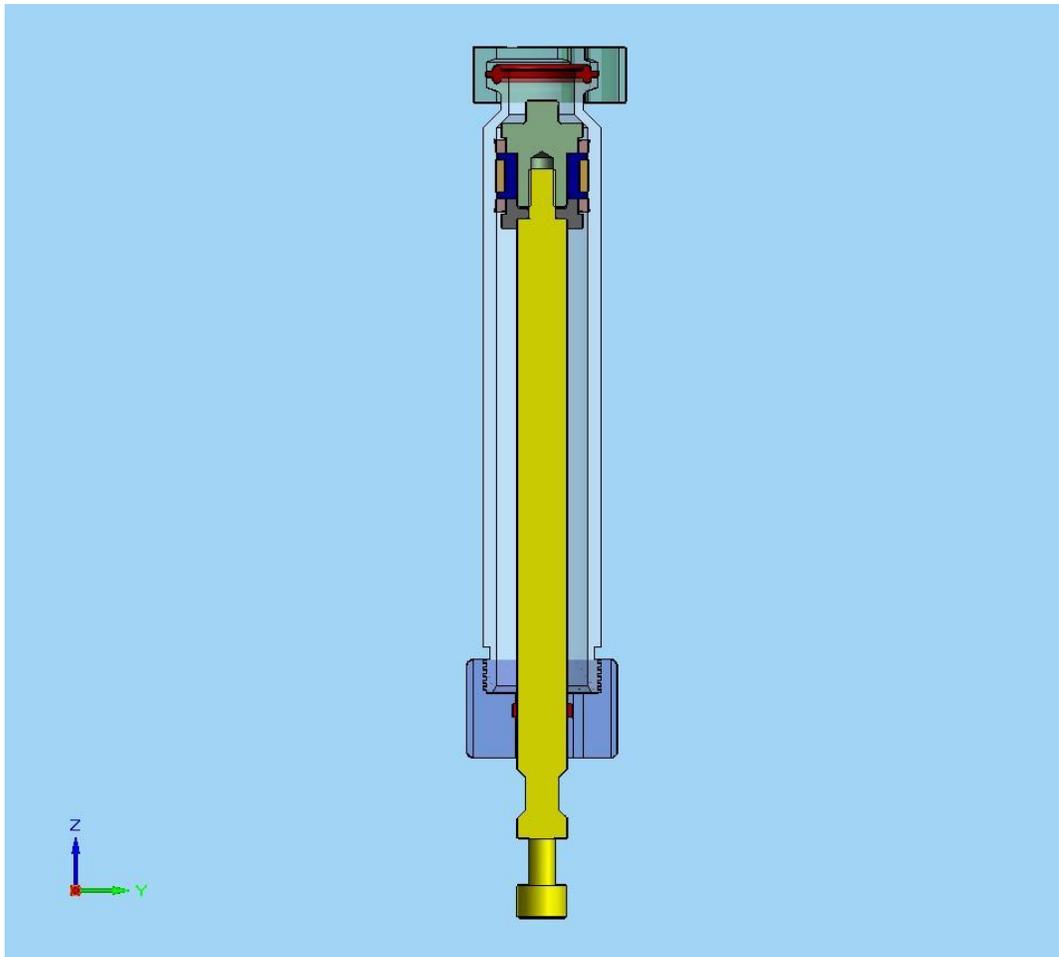


Figura 56. Conjunto del pistón dosificador en Solid Edge.

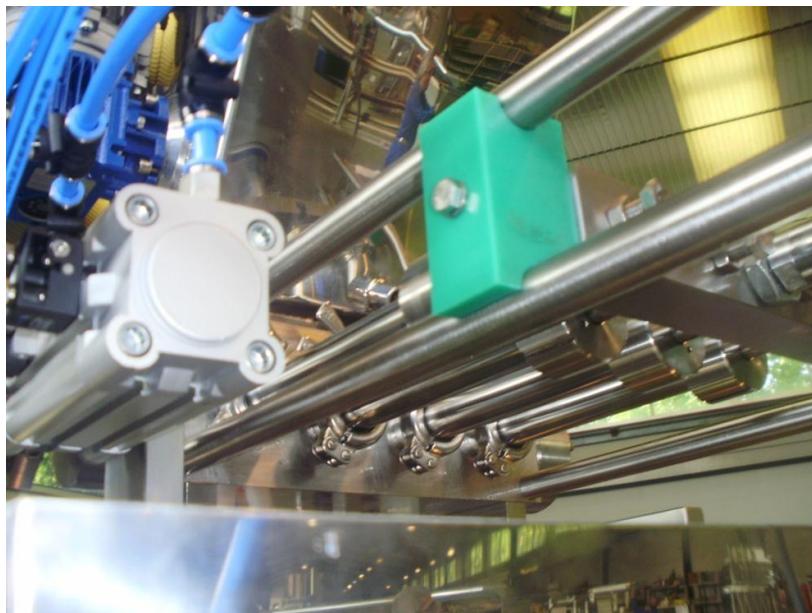


Figura 57. Visión inferior de los pistones dosificadores.

La camisa del cilindro dosificador tiene en su parte superior una rosca, donde irá situada la tapa, y en la parte inferior un *Clamp* DN-20, de acuerdo con las normativas que se ha explicado en puntos anteriores. Dentro se observa una reducción de diámetro para adaptarse al diámetro del *Clamp*.

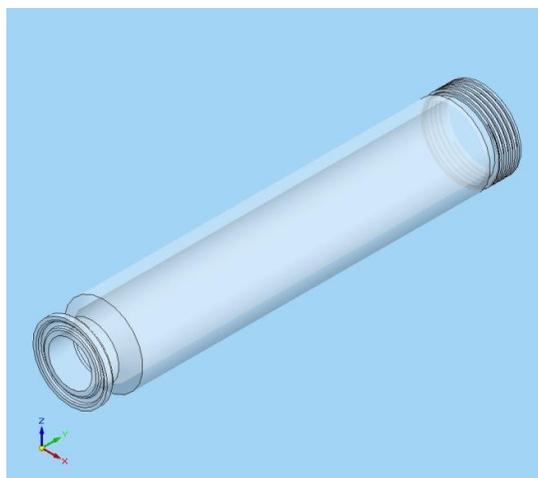


Figura 58. Camisa del pistón en Solid Edge.

La tapa va roscada a la camisa, tiene un pequeño agujero para que respire el pistón y un pequeño vaciado que alberga una guía abierta, importante para el guiado del vástago como se explica en el punto de guiado. Los acanalados del diámetro exterior son para facilitar su apretado con la camisa de dosificación.

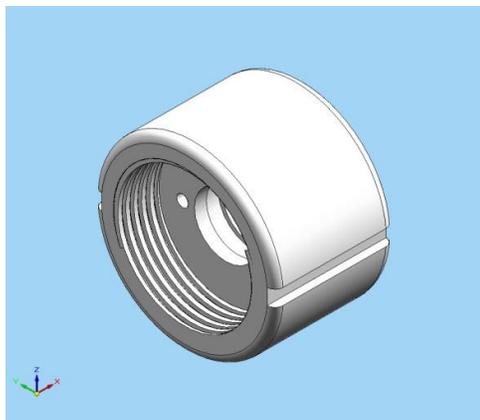


Figura 59. Tapa de las camisas en Solid Edge.



Figura 60. Tapas de las camisas.

Se comienza la morfología del propio pistón con el vástago, que va roscado en su parte inferior para anclarse al pistón, mientras que su parte superior lleva un pequeño mecanizado para situarlo en el empujador. El entre caras cercano al mecanizado superior es para facilitar su apretado con respecto del pistón con una llave adecuada.

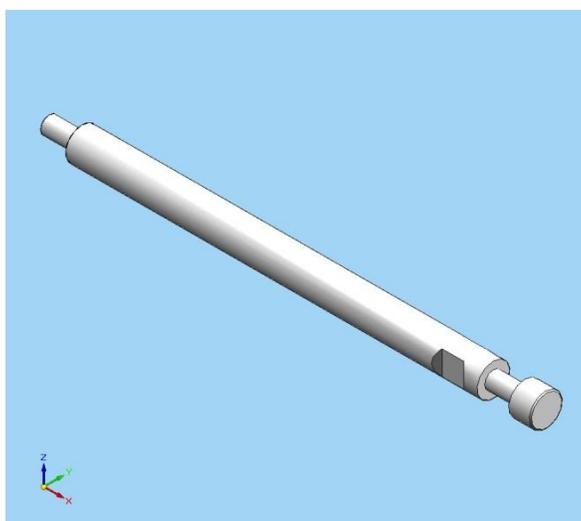


Figura 61. Vástago en Solid Edge.

Para definir el pistón se comienza por la primera parte, figura de la izquierda, donde va roscado el vástago, lleva un vaciado especial para albergar la junta rascadora, de la que ya se habló ampliamente en apartados anteriores. La figura del centro muestra la segunda parte, cuyo vaciado, en este caso, lleva una guía abierta. La tercera parte también lleva ese mecanizado especial para situar a la perfección la junta rascadora trasera.

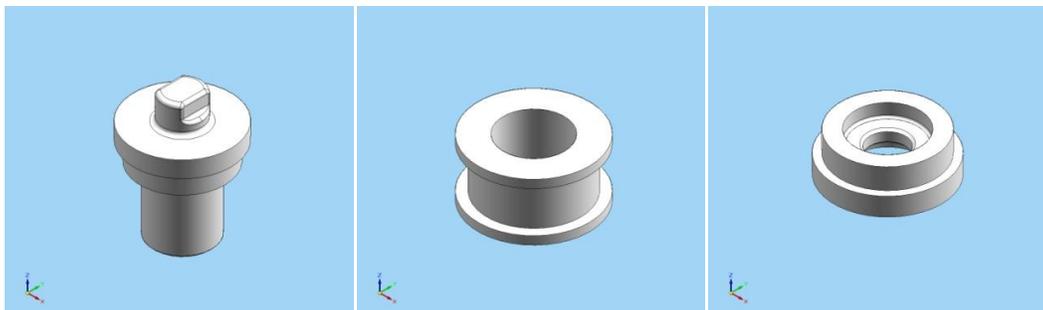


Figura 62. Parte 1ª del pistón en Solid Edge. Parte 2ª del pistón. Parte 3ª del pistón.

Como se dijo anteriormente, el cilindro termina en *Clamp* DN-20, igual que el cuerpo dosificador, luego la unión además de la junta ha de ser una abrazadera correspondiente.

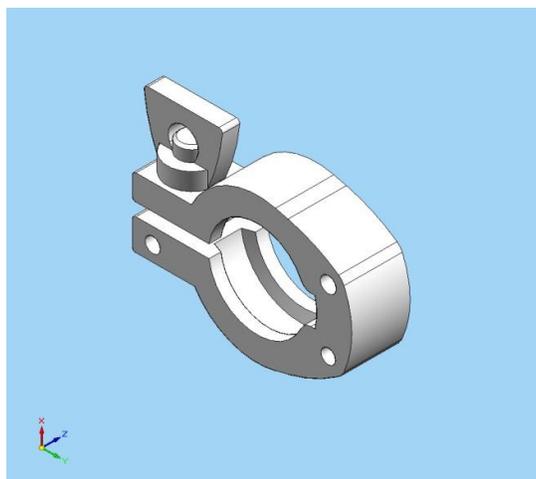


Figura 63. Cierre *Clamp* DN-20 en Solid Edge.

## 7.5 Cuerpo dosificador y soportes

El cuerpo es la pieza más complicada tanto de fabricar como de diseñar, el acabado interior ha de ser muy bueno y lograr mecanizar los *Clamps* DN-20 no es nada fácil, así como los vaciados para situar las juntas de estanqueidad. Los cuellos de los laterales son para guiar las tapas laterales que contienen los rodamientos. Lleva agujeros en la parte superior para anclar el conjunto de alimentación determinado y en la parte inferior para colocar piezas próximas.

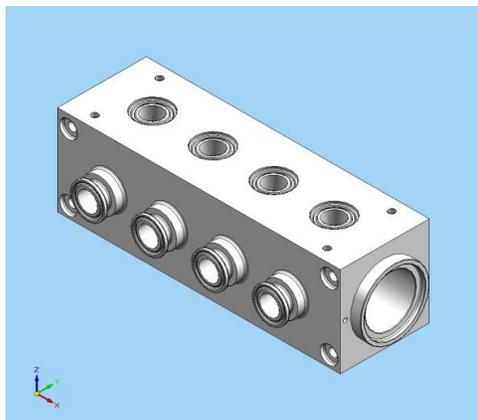


Figura 64. Cuerpo dosificador en Solid Edge.



Figura 65. Cuerpo dosificador.

La figura de la izquierda representa el llamado pie del cuerpo dosificador, va atornillado a este mismo y se sujeta al soporte de la imagen de la derecha mediante un pequeño tornillo que sirve de mera guía ya que apenas sufre esfuerzos en la dirección del tornillo, al quitarle se facilita el desmontaje de la bomba considerablemente.

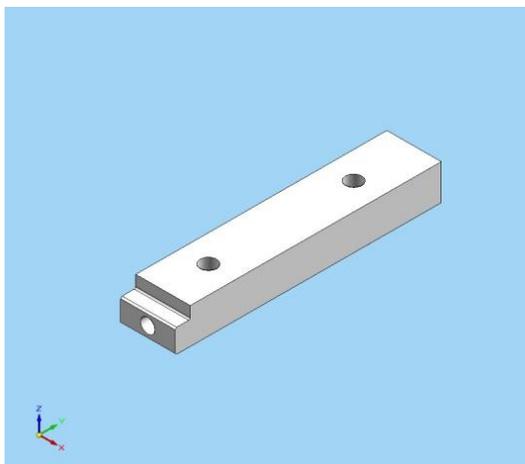


Figura 66. Pie del cuerpo dosificador.

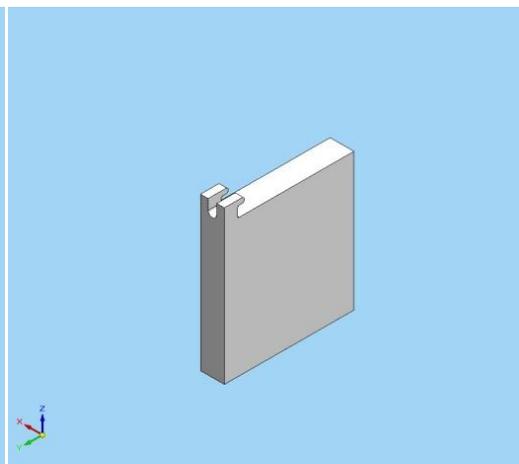


Figura 67. Soporte del cuerpo dosificador en Solid Edge.

## 7.6 Eje dosificador, tapa y pieza giro

El eje dosificador es otra pieza difícil de realizar por el buen acabado que necesita tanto a lo largo de su diámetro como en sus agujeros interiores y escalones o reducciones de diámetro donde van los rodamientos y la tapa.

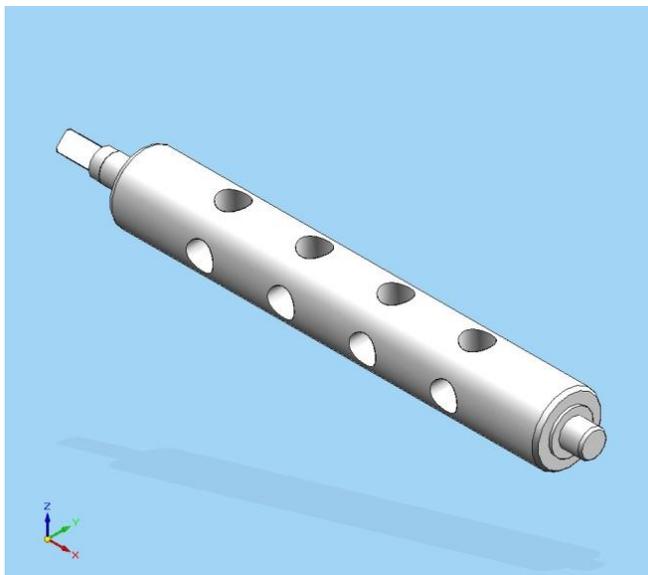


Figura 68. Eje dosificador en Solid Edge.

La tapa presiona la junta rotativa para que no se desplace de su posición de trabajo, tiene reducciones de diámetro para guiar eje, la propia junta y los rodamientos.

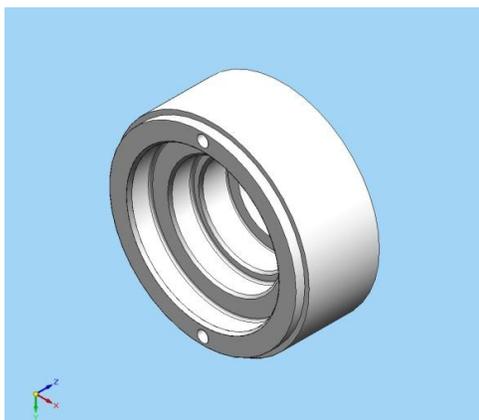


Figura 69. Tapa del eje dosificador en Solid Edge..



Figura 70. Tapa del eje dosificador.

Estas dos piezas forman el elemento que transfiere el giro al eje dosificador desde el cilindro neumático, haciendo que gire 90° para dosificar o inyectar fluido en los cilindros. Ambas partes se unen mediante dos tornillos.

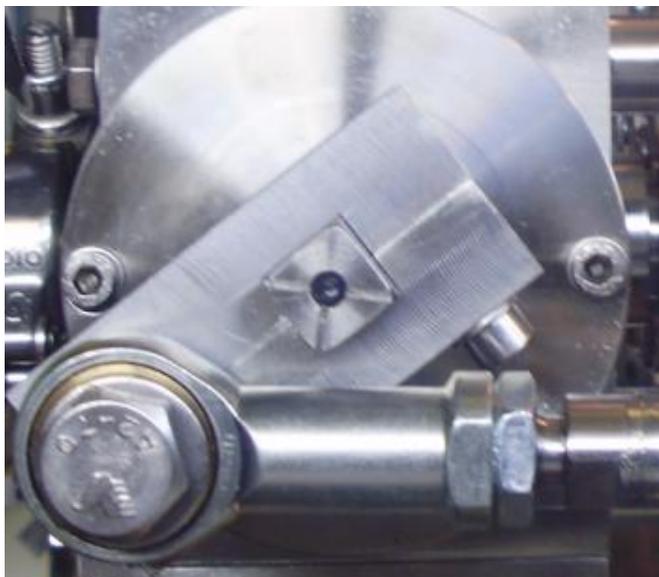


Figura 71. Sistema de giro del eje.

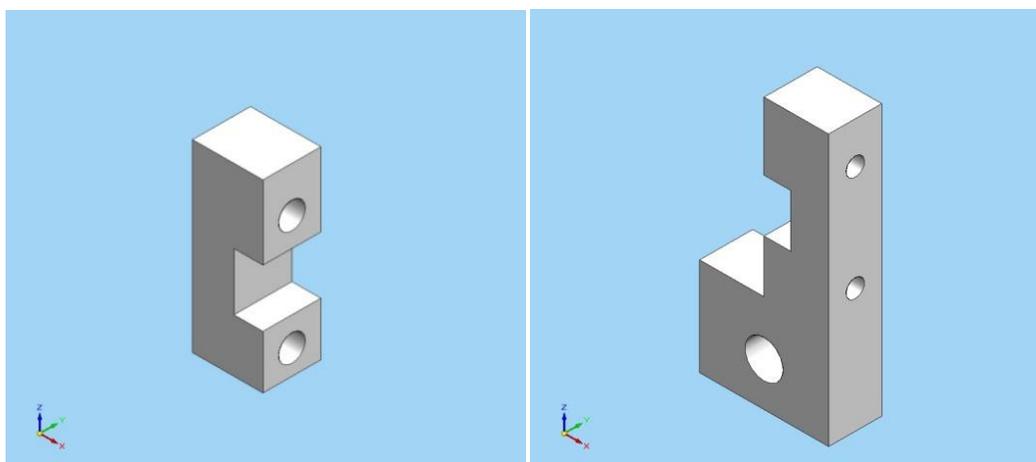


Figura 72. 1ª pieza que otorga el giro al eje en Solid Edge.

Figura 73. 2ª pieza que otorga el giro al eje.

## 7.7 Cilindro neumático dosificador

La pieza que transmite el giro desde el cilindro neumático es la rótula de la figura, que se rosca directamente al vástago del cilindro. Las cabezas de rótula no precisan mantenimiento gracias a la combinación de acero, bronce y PTFE en el cojinete.

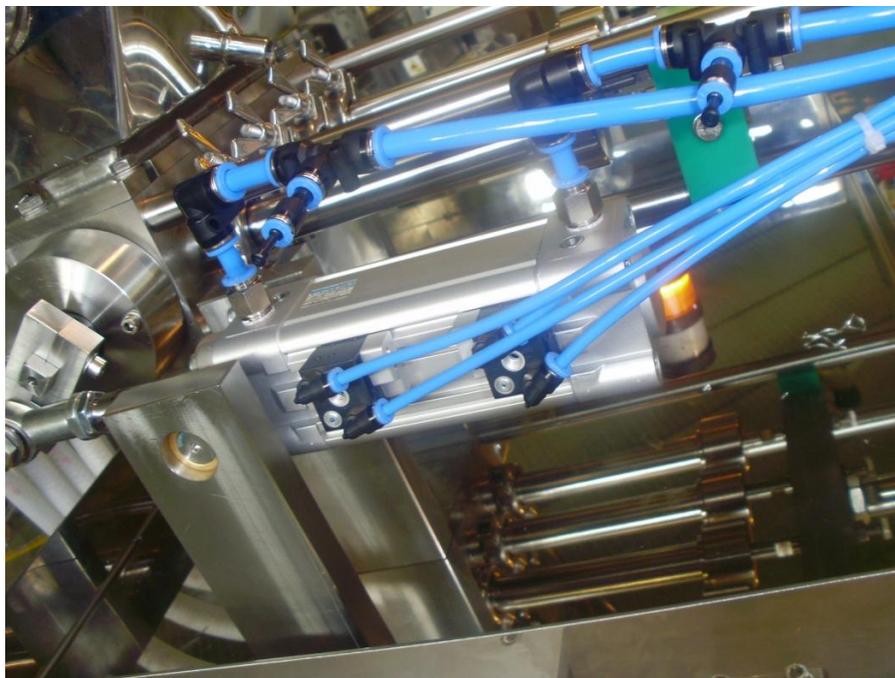


Figura 74. Cilindro neumático pequeño, encargado del giro del eje.

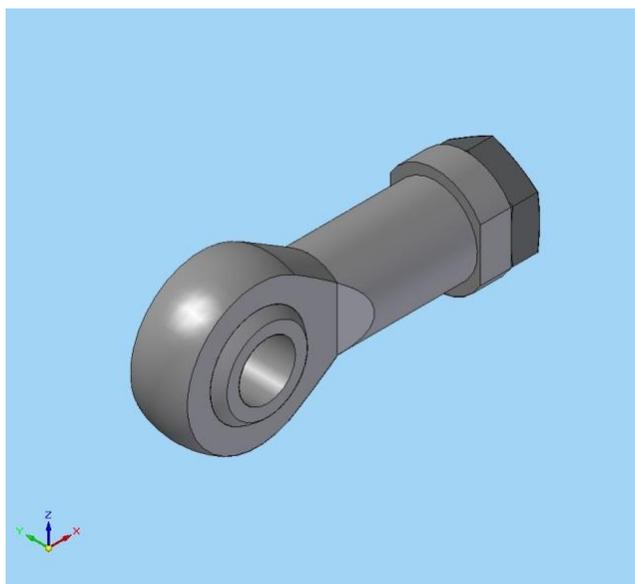


Figura 75. Rótula Festo en Solid Edge.

El cilindro se sujeta en su parte anterior con la brida de la figura que a su vez se sustenta en dos cojinetes. Fabricada de una fundición de acero inoxidable.

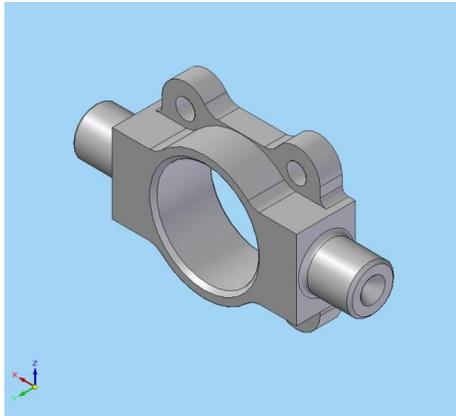


Figura 76. Sujeción posterior del cilindro Festo en Solid Edge.

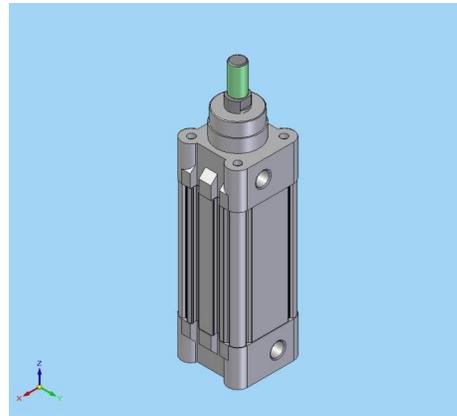


Figura 77. Cilindro neumático Festo.

Dichos cojinetes, *selfoil* para ser exactos, son la conexión del cilindro y su brida con el soporte que va anclado a la bandeja y a la placa base.

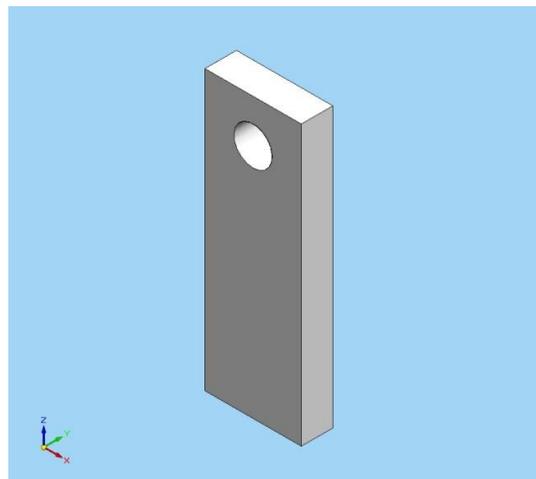


Figura 78. Soporte del cilindro neumático Festo en Solid Edge.

## 7.8 Bandeja y placa base

La placa base es la parte fija de toda la bomba que servirá de soporte a todos los demás elementos, especialmente el cilindro que activa el giro del grifo (sus soportes) y el soporte de los “pies” del cuerpo dosificador, ya que los agujeros son para su sustentación directa.



Figura 79. Placa y bandeja de la bomba dosificadora.

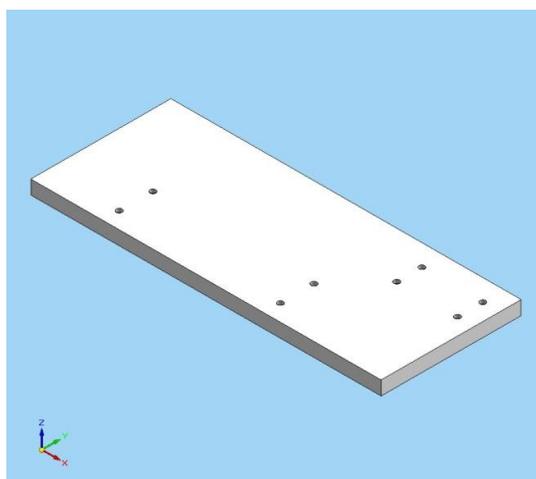


Figura 80. Placa base de la bomba en Solid Edge.

La bandeja cumple la función principal de recogedora de fluido, salpicado a la hora de alimentar la bomba dosificadora. Lleva un *Clamp* soldado en su parte inferior para facilitar su vaciado.

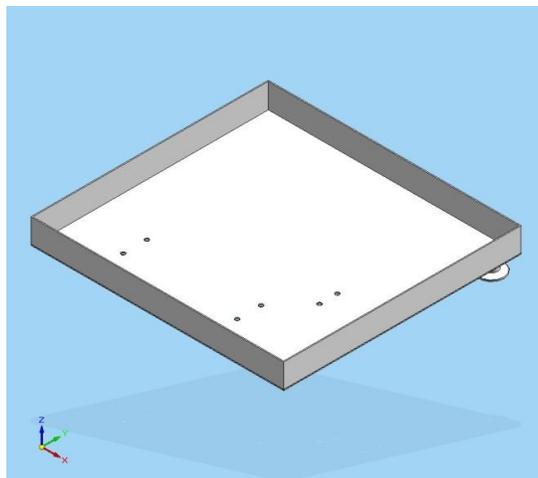


Figura 81. Bandeja de la bomba en Solid Edge.

## 7.9 Alimentación

Una de las posibilidades dentro de la alimentación de la bomba es instalar una tolva, donde se guarda el producto e irá fluyendo por el cuerpo y el eje gracias a la acción de la gravedad, es un modo sencillo y barato de alimentar la bomba. Se suministrara producto a la propia tolva con un *Clamp* situado en la tapa de la tolva.

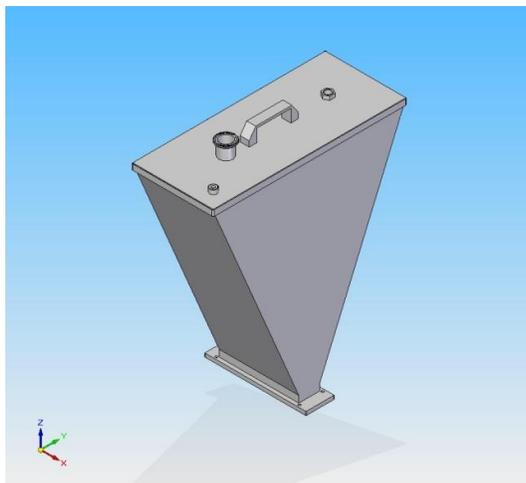


Figura 82. Tolva en Solid Edge.



Figura 83. Tolva dosificadora.

Otra forma es mediante un tubo con *Clamps* a los laterales, donde se instalan mangueras con *Clamps* que remiten el producto al tubo de forma que el depósito de donde procedan las mangueras puede contener mayor número de litros.

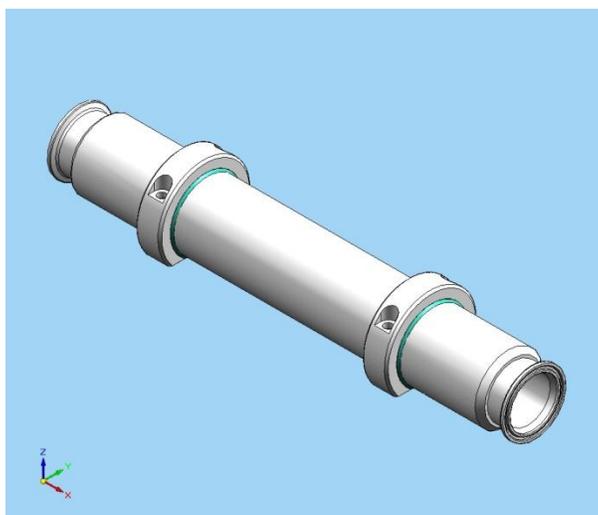


Figura 84. Conjunto de alimentación en Solid Edge..



Figura 85. Conjunto sistema de alimentación.

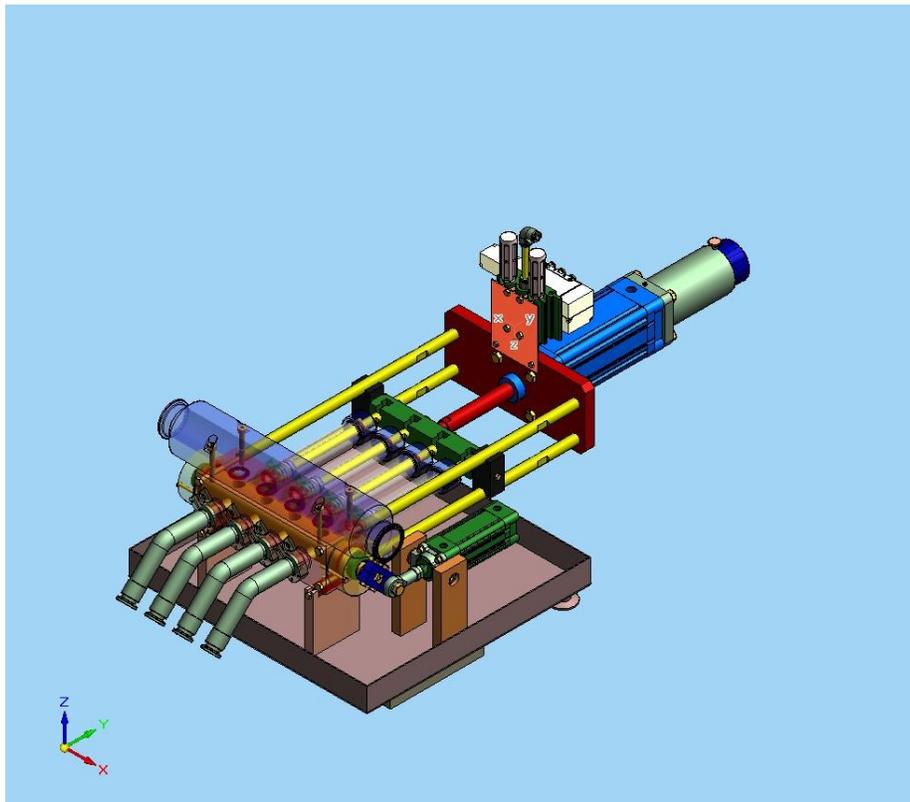


Figura 86. Bomba dosificadora, vista isométrica, en Solid Edge..

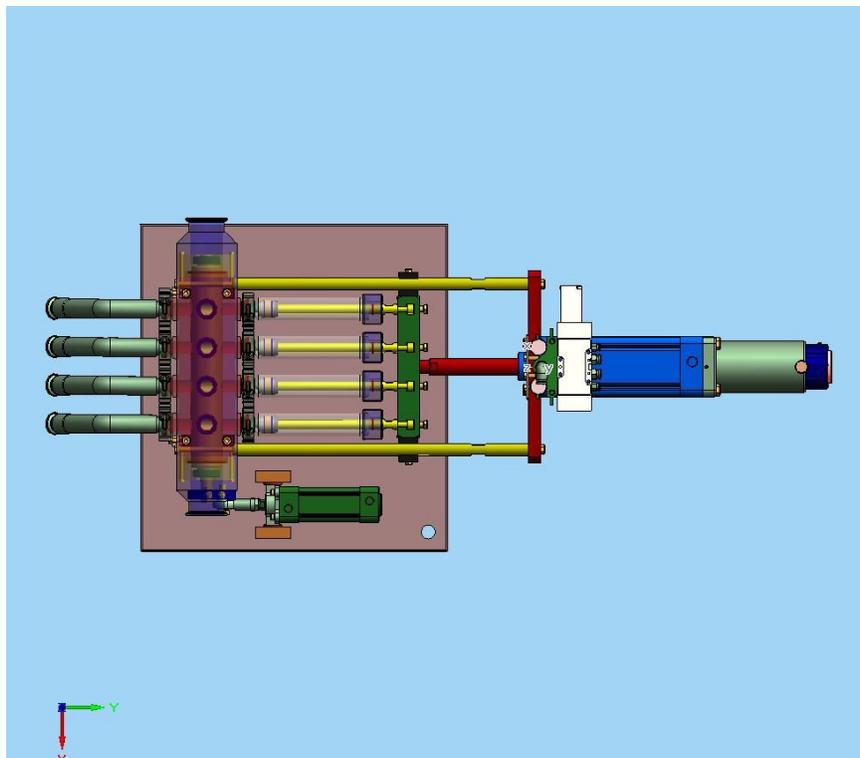


Figura 87. Bomba dosificadora, vista superior, en Solid Edge.

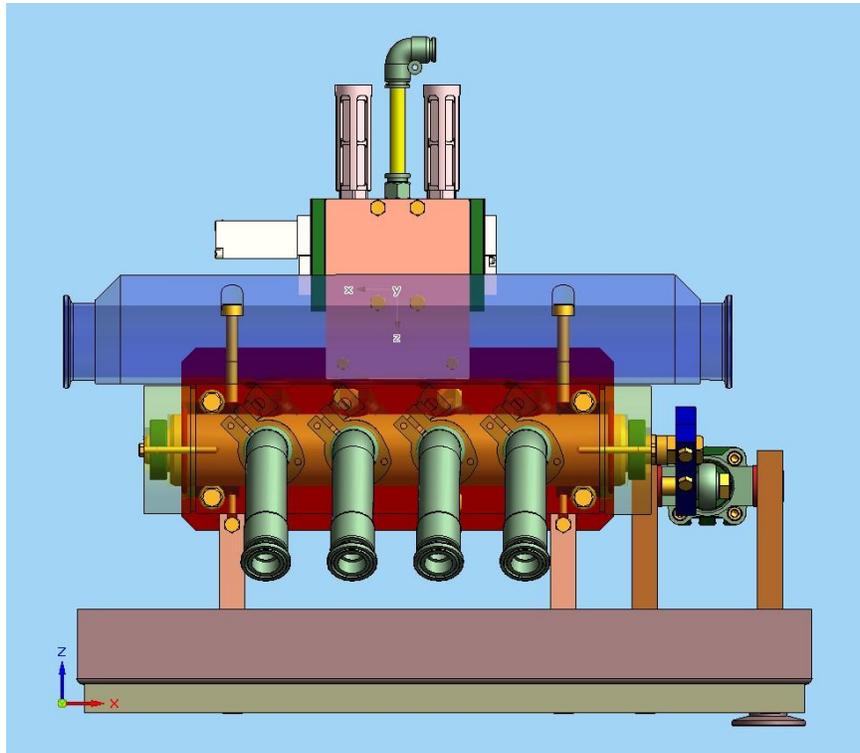


Figura 88. Bomba dosificadora, vista frontal, en Solid Edge.

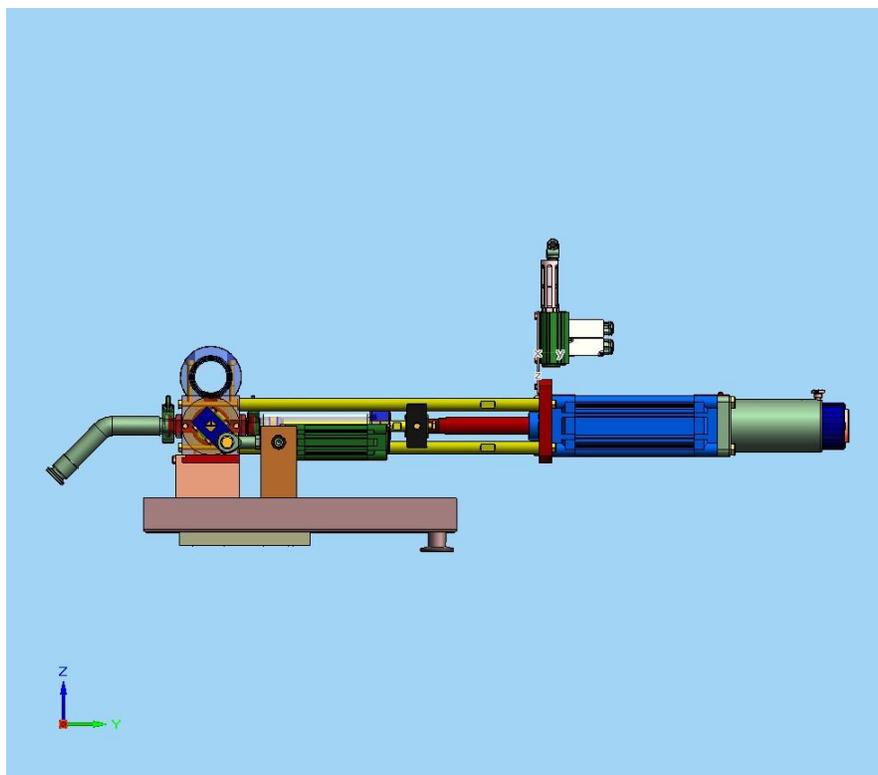


Figura 89. Bomba dosificadora, vista lateral, en Solid Edge.

## Capítulo 8: Montaje de la bomba

- Se comienza con la situación de la bandeja en la placa base, con los agujeros casando perfectamente para colocar los tornillos que sujetan los soportes.
- En primer lugar se colocan los soportes de los pies del cuerpo dosificador con 4 tornillos, por otro lado se sujeta mediante otros 4 tornillos los pies de cuerpo al propio cuerpo dosificador.
- Con el cuerpo y sus dos “pies” sujetos se pasa a sujetar tal conjunto a los soportes que ya están fijos a la bandeja y a la propia placa base con 2 tornillos como se aprecia en la figura 90.



Figura 90. Altura del cuerpo dosificador.

- Se colocan los latiguillos, previo disposición de la junta *Clamp* en su lugar correspondiente del *Clamp* y las abrazaderas del cierre *TriClamp* en cada una de las 4 pistas. Apretando las tuercas en forma de mariposas que llevan las abrazaderas, como se ve en la figura 91.

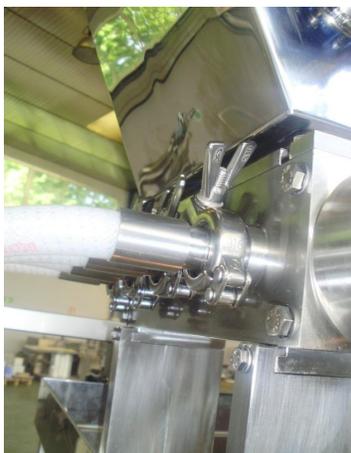


Figura 91. Latiguillos de la bomba dosificadora.

- Se dispone el eje dosificador dentro del cuerpo en la posición correcta, indicada por un mecanizado en forma de T en el extremo del eje.

- Se ponen las juntas rotativas en sus vaciados correspondientes del cuerpo, tras ello se sitúan sendos rodamientos en cada extremo e inmovilizamos el conjunto completo con las tapas mediante dos tornillos cada una.
- Se pasa a anclar con 2 tornillos uno de los soportes del cilindro neumático (figura 92) que otorga el giro al eje dosificador, en el mecanizado circular superior se sitúa un cojinete *selfoil* para después colocar la brida de sujeción del cilindro neumático. Se pone el cojinete en el otro tetón de la brida, para después alinear todo con el vaciado correspondiente al otro soporte del cilindro neumático, que está anclado a la placa base y a la bandeja con otros 2 tornillos.

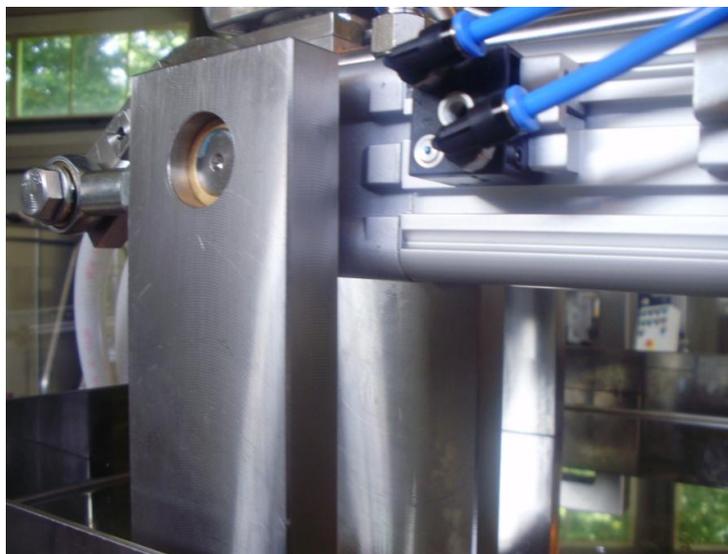


Figura 92. Soportes del cilindro neumático menor.

- Una vez dispuesta la brida, se alberga el cilindro neumático con 4 tornillos, así como la rótula que va roscada al vástago.
- Con un tornillo se unirá la rótula con la pieza que otorgará al giro al eje, tal pieza se complementa con otra unida mediante 2 tornillos.
- A continuación, se instala el conjunto de alimentación (en la figura 93 se observa que, en este caso, el conjunto se trata de una tolva *CIP*, calefactable y con removedor) de forma sencilla con la ayuda de 4 tornillos que atraviesan todo el tubo y se roscan en el propio cuerpo, no se puede olvidar la ubicación de las juntas *Clamp* en sus vaciados mecanizados correspondientes del plano superior del cuerpo.



Figura 93. Tolva.

- Se colocan las 4 columnas en los abocardados del cuerpo dosificador sujetas con 4 largos tornillos por un lado, mientras que por el otro se usan otros 4 tornillos para sostener el soporte del cilindro regulador.
- Una plaquita será quien sujete a la placa base la válvula, la electro-válvula, todos los racores, así como los silenciadores, en la forma que se ve en la figura 94.

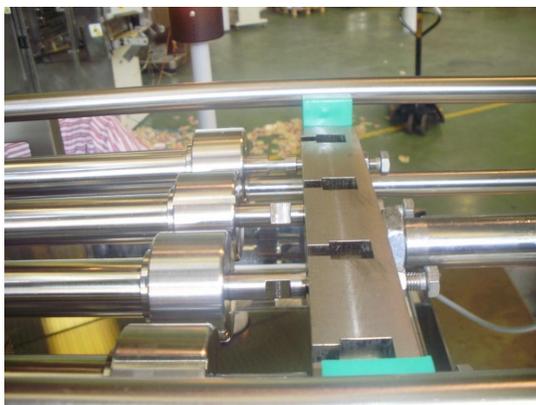


Figura 94. Conjunto de válvulas y racores.

- El cilindro neumático se ancla al soporte con 4 tornillos y a éste se sujeta todo el sistema diseñado como cilindro regulador. Al vástago anterior del cilindro se le rosca un tope o capuchón; la primera camisa se sitúa y fija con un pasador, la segunda con un pomo grafilado con un indicador gravitacional estático en el

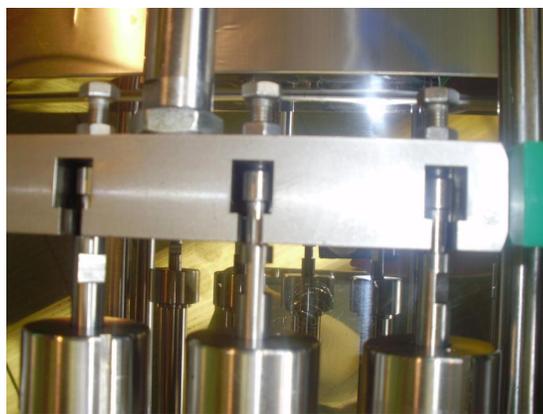
vaciado superior gracias a un prisionero; y la tercera mediante 4 tornillos directamente sujetos al cilindro neumático, donde va dispuesta una guía abierta.

- Se vuelve al vástago del cilindro neumático posterior, a éste se le rosca una pieza llamada empujador, a la cual, una vez bien situada en paralelo a la placa base se sitúan en sendos extremos dos piezas guías de las columnas con 1 tornillo cada una.
- Se montan el pistón dosificador roscando el vástago a la primera, segunda y tercera parte, sin olvidar las dos juntas rascadoras y la guía; como se decía, el vástago entra roscado a la primera pieza, empacando todo como un sándwich.
- Tal pistón va dentro de la camisa; la tapa de ésta se rosca previa inclusión de la guía correspondiente en su vaciado, figura 95.



*Figura 95. Parte superior de los pistones con sus respectivas tapas.*

- Por último, todo el conjunto se dispone en su lugar correspondiente, situando la reducción de diámetro de la parte superior del vástago en el empujador. La primera parte del conjunto se une al cuerpo dosificador con la ayuda de la junta y la abrazadera *Clamp* adecuada, al igual que los latiguillos.



*Figura 96. Taco empujador.*

## Capítulo 9: Situación en la máquina

La situación en la correspondiente máquina envasadora se verá mediante algunas fotografías.

La bomba dosificadora se sitúa en la parte superior de la máquina como bien se observa en las imágenes. Debido a que, se puede decir, que es el primer paso para obtener el resultado determinado de la máquina (como por ejemplo, sobres de ketchup); y se debe poner a cierta altura para ganar espacio para los siguientes pasos: conducción de la dosificación, formación del sobre, soldaduras, cizallados...



*Figura 97. Situación de la bomba, vista frontal.*



Figura 98. Situación de la bomba, vista lateral.



Figura 99. Situación de la bomba, vista trasera.

## Capítulo 10: Desmontaje de la bomba para limpieza manual

Lo primero y más importante en cuanto al desmontaje de la bomba para la limpieza manual es desconectar el dosificador de la energía neumática y descargar la energía acumulada en los cilindros.

En este punto se comentarán los pasos para realizar un desmontaje de las partes de la bomba que están en contacto con el fluido para asegurarse la completa limpieza de ésta, sin tener necesidad de realizar todos los pasos indicados en el apartado de limpieza *CIP*.

Se desea poder apartar de la bomba las piezas más críticas a la hora de guardar suciedad (para, en caso que sea necesario, introducirlas en un cubo con detergente o similar), de tal forma que se busca una manera rápida de desmontarla.

- En primer lugar se aflojan las abrazaderas *Clamp* de los pistones dosificadores, como se ve en la figura 100, con sus respectivos cilindros, para poder desmontarlos en conjunto.



*Figura 100. Afloje de las abrazaderas Clamp.*

- Se quitan los conjuntos camisa-pistón dosificadores levantándolos por la parte superior de la bomba como se ve en la figura 101.

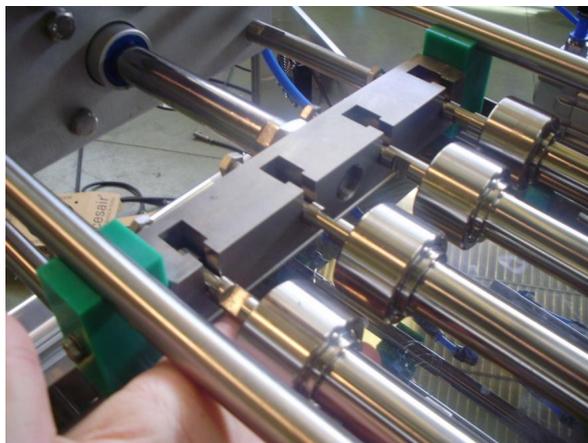


Figura 101. Extracción de los pistones dosificadores.

- De igual forma, se aflojan las abrazaderas *Clamp* de los latiguillos, para desmontarlos.
- Se aflojan los tornillos que sujetan las tapas del cuerpo, se quitan los rodamientos y las juntas rotativas.
- Se quitan el conjunto de piezas que da el giro al eje desatornillando los 2 tornillos del cierre y el tornillo especial que une la rótula con una de las piezas del mencionado cierre, figura 102.

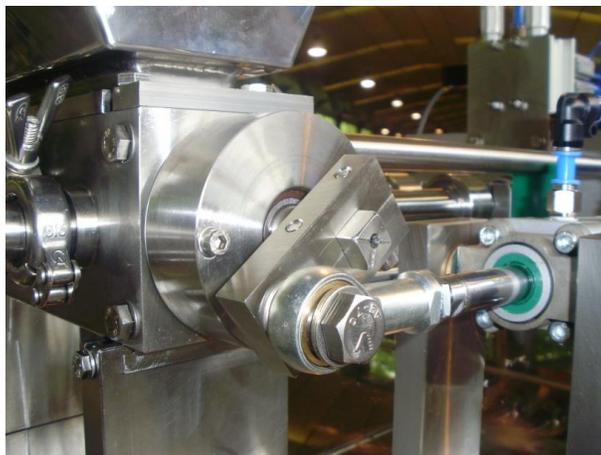


Figura 102. Giro del eje dosificador.

- Ya se puede extraer el eje dosificador.
- El conjunto de alimentación es fácilmente desmontado gracias a su sujeción, tornillos, así como sus juntas *Clamp*.
- Queda un último paso para poder desmontar el cuerpo dosificador, aflojar los tornillos que sujetan los pies a los soportes.



## Capítulo 11: Funcionamiento de la bomba dosificadora

La bomba dosificadora tiene un funcionamiento verdaderamente sencillo como se podrá comprobar al final de este apartado. Se trata de una bomba dosificadora con accionamiento neumático, y esta característica la dota con un plus de sencillez, ya que la neumática, es decir el aire comprimido, es una de las fuentes de energía más limpias y sencillas de utilizar.

Se comenzará la explicación por la alimentación; la bomba diseñada lleva un conjunto de alimentación, formado por una tolva *CIP*, calefactable y con removedor. Dicho fluido pasará a través del tubo y gracias a la propia gravedad y la diferencia de presiones tenderá a bajar por cada una de las pistas de la bomba (orificios de 20 mm que traspasan cuerpo y eje dosificador). Se ha de diferenciar dos posiciones del eje dosificador, dependiendo si está dosificando al cilindro o si no lo está haciendo. En caso de estar dosificando, el fluido pasará a través del cuerpo dosificador, del eje dosificador y de la camisa del cilindro para llenarla por acción de vacío; si por el contrario está en la otra posición, significa que el fluido que se encontraba en la camisa dosificadora se está trasladando hacia los inyectores, a través del cuerpo y del eje de nuevo.

El siguiente escalón pues, en el camino del funcionamiento, es qué proporciona ese giro del eje dosificador, se trata de un pequeño sistema a través del cual se transforma el movimiento axial que nos proporciona un cilindro neumático en un giro de 90° al eje. El cilindro está situado estratégicamente para que su carrera se convierta en el giro exactamente necesario.

El vacío necesario que realiza el cilindro dosificador se consigue mediante la utilización de otro cilindro neumático, de un tamaño mayor al anterior, y de doble vástago. El vástago posterior empuja una pieza que a su vez empuja a los cuatro vástagos, que conforman cada uno de los pistones dosificadores que realizan ese vacío y permiten guardar, sin pérdida alguna, el fluido con la ayuda de las camisas. El vástago anterior sirve para regular la carrera de las pistas de la bomba, mediante un sistema con un tope y algunos prisioneros que estudiaremos en el apartado de morfología de la bomba.

El conjunto de válvulas de la parte superior del cilindro regulador de carrera se ocupará de la gestión del aire comprimido necesario para los dos cilindros que hemos utilizado.

## Capítulo 12: Fotografías generales de la bomba dosificadora

En la figura 108 se observa la bomba dosificadora acoplada en la máquina, con la tolva y el motor que la remueve acoplado en uno de sus costados, así como multitud de cables azules, conductos del aire que alimentan la bomba.



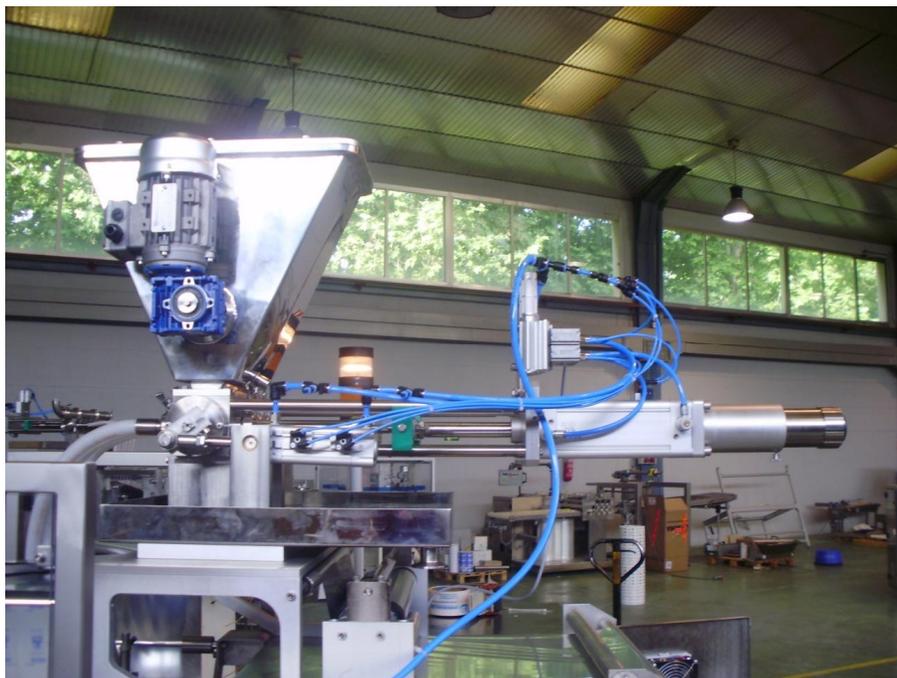
*Figura 103. Bomba dosificadora, vista isométrica-trasera.*

En la figura 104 aparece de nuevo la bomba desde otra perspectiva, se aprecia en primer plano el cilindro neumático que permite la inyección del fluido en las camisas dosificadoras.



*Figura 104. Bomba dosificadora, vista isométrica-trasera.*

En la figura 105 se muestra el lateral de la bomba, toda la línea, desde el cilindro mueve todas las camisas, hasta la división en cada una de las pistas a partir del cuerpo dosificador.



*Figura 105. Bomba dosificadora, vista lateral.*

En la figura 106 se observa la vista anterior de la bomba, con el indicador en primera instancia, la tolva en la parte superior y el motor en la parte izquierda.



*Figura 106. Bomba dosificadora, vista anterior.*

## Capítulo 13: Accionamientos

Donde se describen los distintos accionamientos que podrían haber sido instalados en la bomba dosificadora.

### 13.1 Accionamiento neumático

La transmisión de potencia mediante aire comprimido se basa en el “Principio de Pascal” que como se sabe se resume en la siguiente frase: “la presión ejercida en cualquier parte de un fluido incompresible y en equilibrio dentro en un recipiente de paredes indeformables, se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido”. La cantidad de aire a presión necesaria para el funcionamiento de un cilindro es otro aspecto que se estudia en el apartado de cálculos; la energía de aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo y una vez utilizado se expulsa a la atmosfera por el escape durante la carrera de retroceso, se entiende por consumo en cada ciclo de trabajo. Otro aspecto importante que se afronta es la velocidad del émbolo, la velocidad media del embolo en los cilindros estándar está comprendida entre 0.1 – 1.5 m/s, excepto en los cilindros especiales que puede ser mucho mayor y trabajan con amortiguación para soportar grandes velocidades o funcionar bajo condiciones de choque.

Los cilindros neumáticos tienen una amplísima gama de aplicaciones dentro de la industrial debido a su sencilla utilización y a sus mecanismos empleados. Están especialmente recomendados en la industria alimenticia, como es el tema del proyecto.

La energía del aire comprimido se transforma por medio de cilindros en un movimiento lineal de vaivén.

Los cilindros que se van a utilizar son cilindros de doble efecto y a continuación se enunciará brevemente cómo funcionan y sus principales partes.

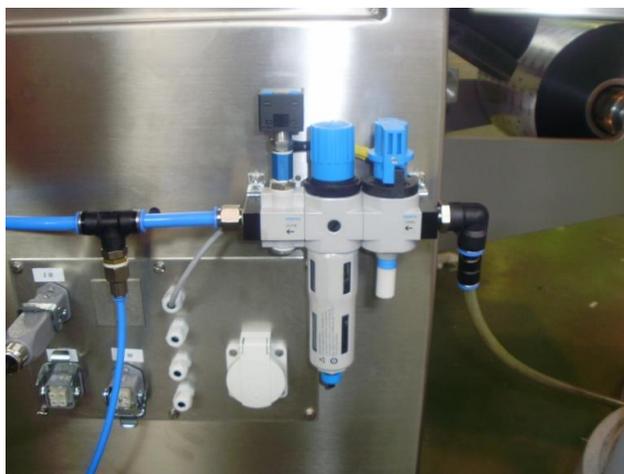


Figura 107. Unidad de regulación neumática.

Debido a la fuerza que ejerce el aire comprimido, se anima el embolo, en cilindros de doble efecto realizando un movimiento de traslación en los dos sentidos, ofreciendo una

fuerza útil tanto en la ida como en el retorno, por lo que se utilizan para aplicaciones donde el embolo al volver a su posición inicial tenga que realizar alguna función, es el caso, tal retroceso significará la dosificación del cilindro, ya que es una función casi más importante que la inyección en el primer vaivén. En principio la carrera de los cilindros no está limitada pero siempre hay que tener en cuenta el pandeo y doblado del vástago con altas cargas de trabajo.

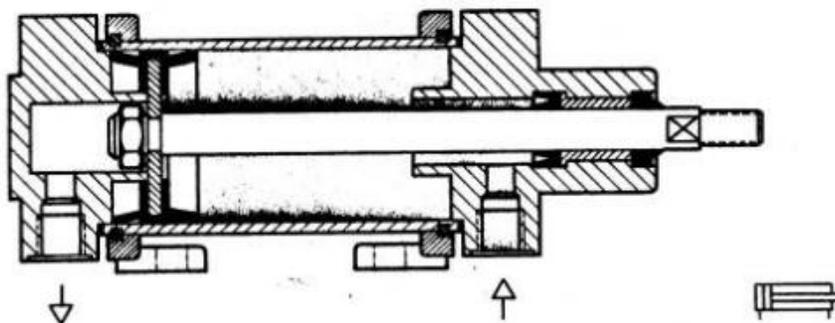


Figura 108. Esquema de un cilindro neumático.

Se utilizan cilindros con amortiguación interna, cuando las masas que trasladan un cilindro son ingentes para evitar choques bruscos y daños innecesarios se utiliza este sistema, que entra en acción momentos antes de alcanzar el final de la carrera, un embolo amortiguador corta la salida directa del aire al exterior, mientras que se dispone de una sección de escape muy pequeña y ajustable.

El aire comprimido se comprime más en la última parte de la cámara del cilindro, la sobrepresión producida disminuye con el escape de aire a través de válvulas anti-retorno de estrangulación. El embolo se moverá lentamente hasta su posición final, en el cambio de dirección del embolo el aire entra sin obstáculos en la cámara del cilindro por la válvula anteriormente mencionada.

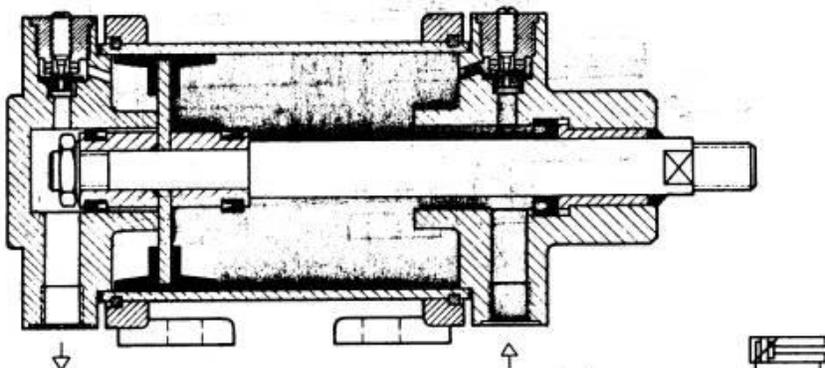


Figura 109. Esquema de un cilindro neumático.

El cilindro que se utiliza para la dosificación además de tener amortiguación interna, también tendrá doble vástago (véase figura 110), un vástago corrido hacia ambos lados,

siendo la guía del vástago mucho mejor ya que dispone de dos cojinetes y la distancia entre estos siempre permanece constante, por lo que también puede absorber cargas pequeñas laterales. La fuerza es igual en ambos sentidos ya que las superficies del embolo son iguales.

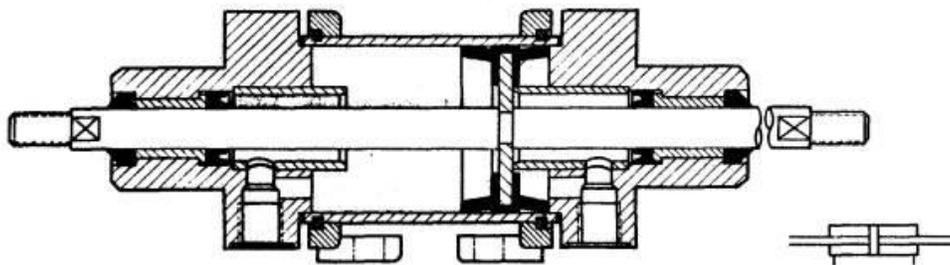


Figura 110. Esquema de un cilindro tándem neumático.

El apartado de fijaciones del cilindro también es importante y depende del modo en que se coloquen los cilindros en las máquinas o dispositivos (esquema en figura 116 y fotografía real en la figura 112), diferenciando si su posicionado es definitivo o temporal. La fijación del cilindro de dosificación será mediante una brida anterior, igual que el cilindro neumático que gira el eje dosificador,

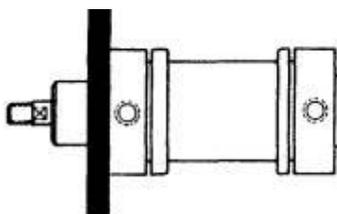


Figura 111. Esquema de la sujeción del cilindro neumático.



Figura 112. Cilindro neumático con tubos.

En cuanto a la constitución de los cilindros se ha de decir que se compone de: tubo, tapa posterior (fondo) y tapa anterior con cojinete, vástago, casquillo de cojinete y aro rascador, además de piezas de unión y juntas.

El tubo cilíndrico (1 en la figura 113) se fabrica de tubo de acero embutido sin costura; para alargar la vida útil de las juntas a la superficie interior del tubo se le tiene que realizar un mecanizado de precisión. Es posible que se construyan de aluminio o de latón para aplicaciones concretas que, por ejemplo, tengan riesgo de corrosión.

Para las tapas (2 y 3) se utiliza material de fundición y su fijación al tubo se puede realizar con tirantes, bridas o roscas.

El vástago (4) se fabrica de acero bonificado, para protegerlo de la corrosión, se suele templar y su superficie se comprime en un proceso de rodado entre discos planos.

Para normalizar el vástago se monta en la tapa anterior un collarín obturador (5), mientras que de la guía de vástago se ocupa un casquillo de cojinete (6), que suele ser de bronce sinterizado o de metal con revestimiento de plástico.

Delante del casquillo de cojinete se encuentra un aro rascador (7) que impide que entre el polvo y la suciedad. El manguito de doble copa (8) hermetiza la cámara del cilindro.

Por último, las juntas tóricas (9) se usan la total obturación estática del cilindro, ya que deben

Estructura de un cilindro neumático con amortiguación de fin de carrera (imagen).

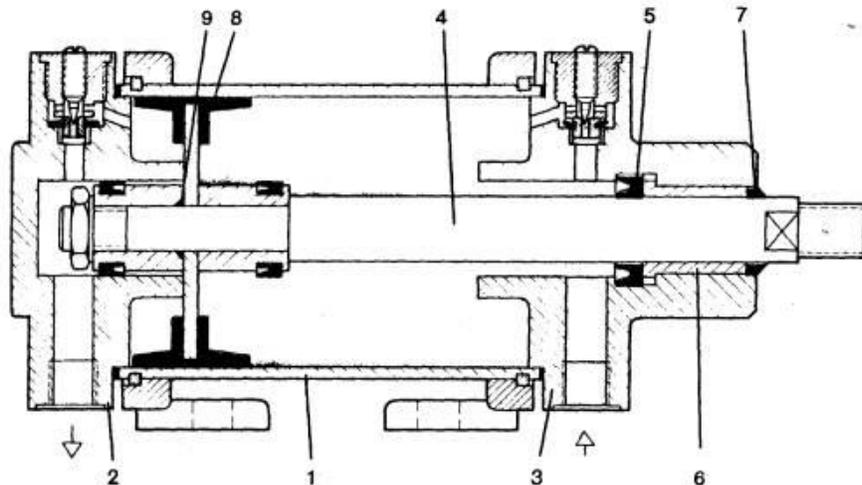


Figura 113. Esquema de un cilindro neumático.

## 13.2 Accionamiento servomotor

Actualmente los motores dan una alta confiabilidad y eliminan la necesidad de mantenimiento. La tecnología ha avanzado mucho en este apartado y existen inversores,



vectores y servomotores muy avanzados; el aspecto negativo es elegir entre los tres para una determinada aplicación, se describirá brevemente sus principales características y funcionamiento:

### 13.2.1 Inversores

Las técnicas con inversores son usadas para controlar motores de inducción AC. Estos accionamientos usan técnicas de seis pasos o sintetizan una forma de onda sinusoidal, su frecuencia determinada la velocidad del motor. Se encuentran inversores en aplicaciones de velocidad ajustable tales como ventiladores centrífugos, transportadores o mezcladores. Sus ventajas son su bajo coste de adquisición, que no requieren ajustes y su facilidad a la hora de comenzar a trabajar.

Por último algunas especificaciones de diseño incluyen capacidades de sobrecarga pico de 150-200 %, reserva controlada, velocidades predefinidas y entradas/salidas programables.

### 13.2.2 Vectores

La tecnología de vectores es usada en control de motores de inducción AC con un dispositivo de retroalimentación (decodificador). Suministran potencia constante hasta 2.5 veces la velocidad base, pudiéndose usar para bancos de prueba, extrusoras o aplicaciones de elevación de grandes cargas. Mencionar la posibilidad de algunos diseños de vector de utilizar la habilidad “*line regen*”, cuando se detienen cargas de gran inercia, la potencia generada se devuelve a la línea de alimentación de la compañía eléctrica, ahorrando en energía.

Algunas ventajas son que pueden trabajar desde 0 rpm, el buen control de la velocidad y el auto ajuste; así como la posibilidad de incluir entradas y salidas programables.

A continuación, se pueden ver imágenes del proyecto visto con el programa de diseño asistido por ordenador: “*Solid Edge*”.

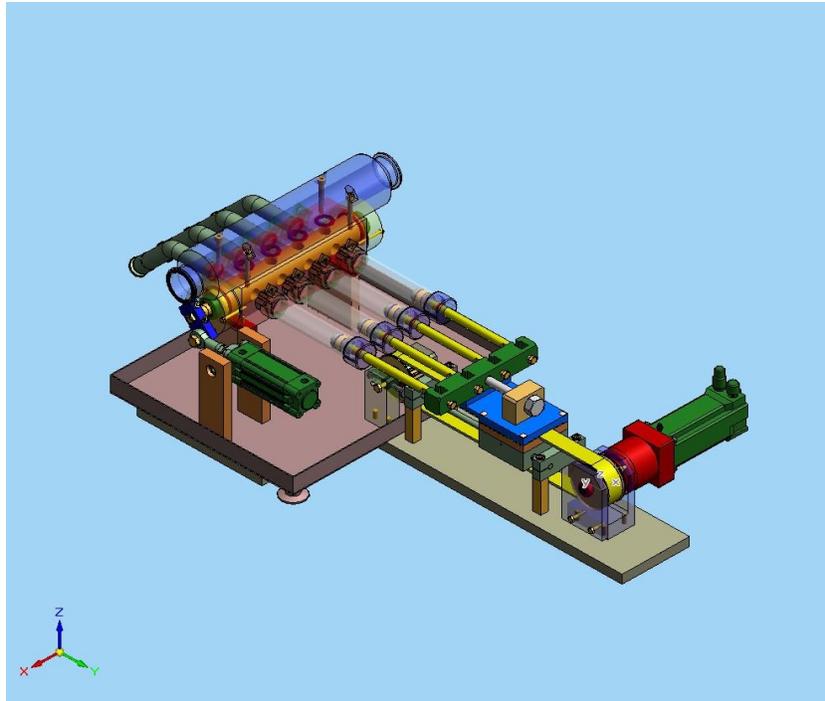


Figura 114. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge.

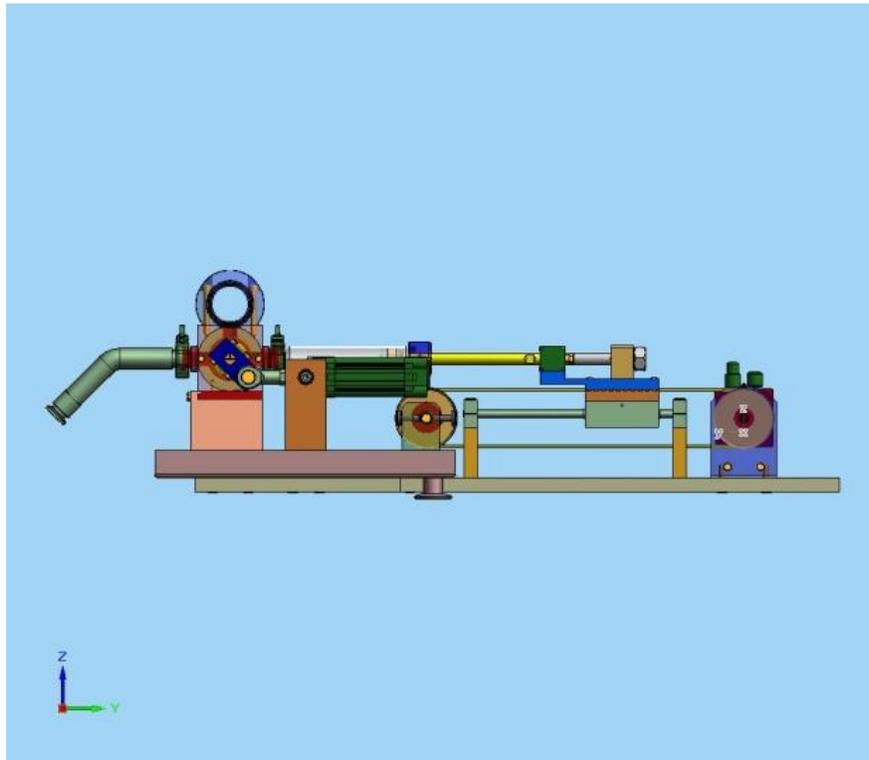


Figura 115. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge, vista lateral.

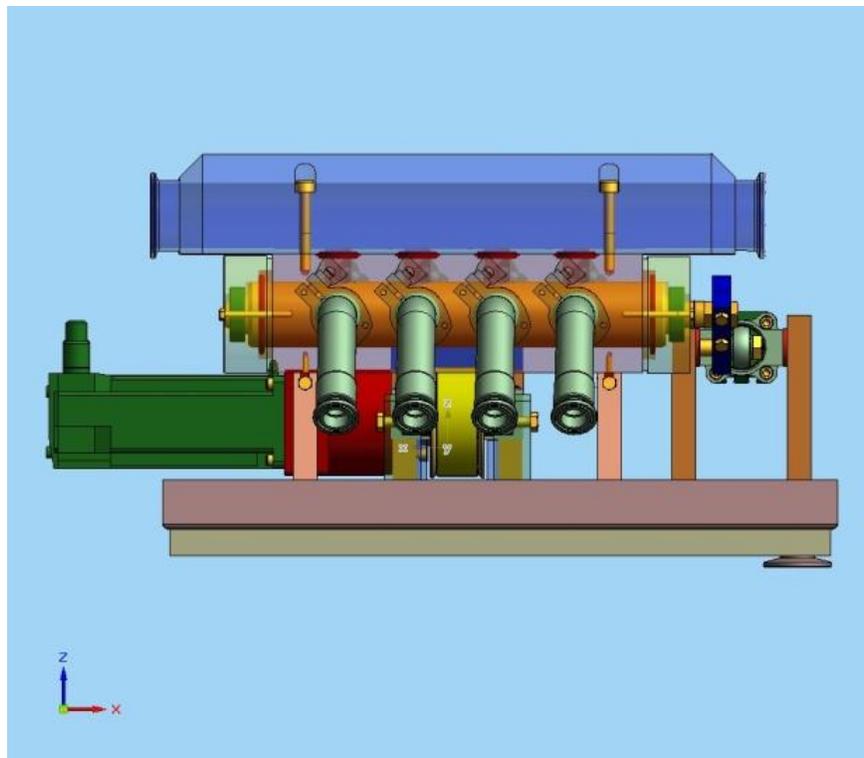


Figura 116. Bomba dosificadora con accionamiento servomotor en Solid Edge, vista frontal.

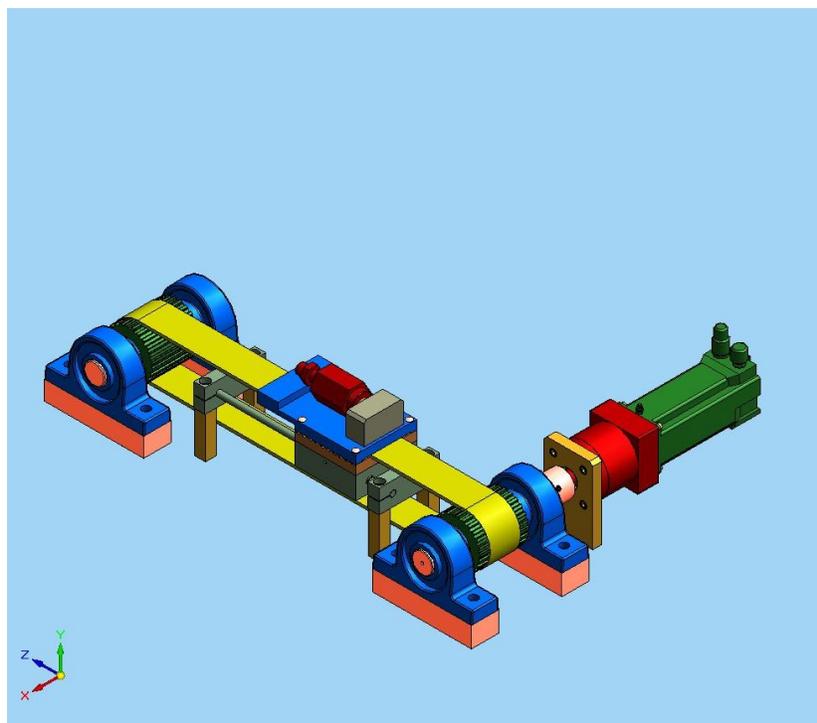


Figura 117. Accionamiento servomotor en Solid Edge, vista isométrica.

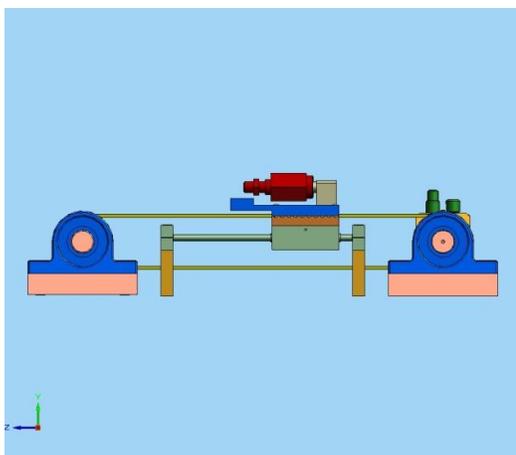


Figura 118. Accionamiento servo, vista lateral.

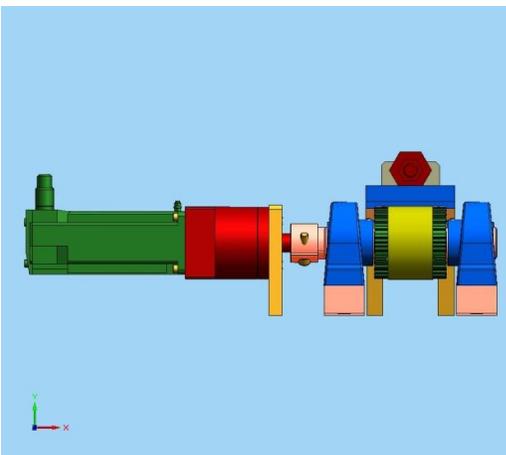


Figura 119. Accionamiento servo, vista lateral.

### 13.3 Servos

Proporcionan una muy buena operación a bajas velocidades hasta velocidad cero, con un rango de habilidad más alto. Con el dispositivo de retroalimentación adecuado, se obtiene también excelente precisión de posicionamiento. Usándose para múltiples operaciones como corte, impresión, empaçado, manipulación de alimentos o robótica.

Su peso es más ligero para potencias similares, comparando con diseños con inversores o vectores, mayor capacidad de rango de velocidad y posicionamiento y aceleración más rápidos. El motor tiene una capacidad de sobrecarga de 300-400 %. En definitiva está creado para ofrecer un control y un desempeño muy precisos.

El accionamiento con servomotor será uno de los dos planteados y utilizados en el proyecto por lo que se dedicarán algunas líneas más al estudio de esta tecnología. En cuanto a su tamaño, ha sido diseñado para tener un diámetro reducido, manteniendo el torque de salida y la potencia. Esto permite ajustar los servomotores en ubicaciones confinadas en espacios estrechos. Un diminuto tamaño conlleva una reducción considerable en el peso, dicha característica es muy importante en aplicaciones que incluyen mover una carga, donde se cuenta también con el propio motor. No cabe decir que si se ahorra en volumen del motor y en peso también se ahorrará en potencia.

Sufren una menor inercia, consecuencia del párrafo anterior, si se reduce la masa, también lo hará la inercia; lo que permite un posicionamiento y una aceleración más rápidos.

Como se decía anteriormente, ofrecen un posicionamiento preciso, son usados con retroalimentación para así cerrar el lazo, es un sistema en el que hay un comando y una señal de retroalimentación, la señal provee de información al control para monitorear el proceso y llevar a cabo las tareas con una mayor precisión; el comando y la señal son comparadas y luego el control envía una señal de corrección para compensar posibles errores, mejorando la precisión en las aplicaciones considerablemente.

El servomotor es parte de un equipo usado para controlar la posición, dirección y velocidad de una determinada carga, las demás partes del equipo incluyen el control, la



fuelle de energía y un consolador de movimiento programable o posicionador; de la correcta funcionalidad entre todos dependerá el buen resultado en el trabajo.

La fuente de energía convierte la energía de AC a DC, para suministrar una alimentación de alto nivel al accionamiento servo-controlado y una alimentación de bajo nivel para el circuito lógico. El accionamiento servomotor aplica exactamente la cantidad de potencia necesaria para mover la carga; por ejemplo, si el motor no está funcionando suficientemente rápido, el dispositivo de retroalimentación informa al control sobre esta situación y este aplica entonces más potencia hasta que se obtiene la velocidad apropiada, si la velocidad es muy alta ocurrirá, como hemos de suponer, lo contrario.

La inteligencia o programa para completar una tarea de una aplicación específica reside dentro del controlador de movimiento posicionador que monitorea y comunica a la interfaz con el usuario, monitorea las entradas del sistema y mantiene el seguimiento de la posición del motor; el controlador de movimiento informa al accionamiento servo-controlado sobre la necesidad de aplicar potencia para mover el servomotor hacia la posición deseada o comandada.

### 13.4 Comparación entre accionamientos

La bomba ha sido diseñada en dos versiones, dependiendo de su accionamiento: neumático o servomotor. Ambos tienen ventajas e inconvenientes, el accionamiento servomotor es mucho más preciso, sencillo y ligero, mientras que requiere de una versión inicial considerable (es más caro). El neumático es más aparatoso, pesado y algo más difícil de calibrar, pero su precio es más económico. Poniendo en la balanza estas características muy generales y teniendo en cuenta el uso en la bomba, la necesidad de precisión, las posibles reducciones de peso en la bomba, las peticiones de los clientes y la primordial necesidad de reducir cuanto más el coste de fabricación; se ha llegado a la conclusión de *fabricar la bomba con accionamiento neumático*.

Concretando ventajas e inconvenientes del accionamiento neumático:

- El aire abunda en la tierra, es bastante económico y de muy fácil captación; no tiene propiedades explosivas por lo que no habrá que tomar medidas al respecto.
- Sus elementos pueden trabajar a altas velocidades y son regulados de forma sencilla.
- No se generan sobrepresiones peligrosas y una sobrecarga no ocasiona grandes problemas ni peligros.
- Los cambios de temperatura tampoco son un problema.
- Es una energía muy limpia y se filtra con facilidad.
- Otro aspecto curioso y muy positivo es la facilidad que ofrece a la hora de realizar cambios instantáneos de sentido

En cuanto a inconvenientes, tenemos que tener cuidado con pérdidas de carga.

- Se requieren de instalaciones especiales para recuperar el aire utilizado.
- Las fuerzas de trabajo no pueden ser excesivas ya que trabajamos con un límite de presión de más o menos 8 bares.
- El ruido puede ser otro inconveniente si no se utilizan silenciadores coherentemente.

## Capítulo 14: Análisis del aire comprimido

El aire es un gas compuesto de varios gases: 78% nitrógeno, 21 % oxígeno y 1% de otros gases; y como todos los gases cumple las características de expansibilidad y compresibilidad. Para producir aire comprimido se necesita, en este orden, y con el elemento que nos lo proporciona: energía eléctrica (electricidad), generación de aire comprimido (compresores), preparación del aire comprimido (filtros y secadores), distribución del aire comprimido (tuberías) y uso del aire comprimido (neumática, chorros de aire o herramientas). Una vez situados en tema se plantean las siguientes cuestiones, ¿qué hacer cuando se detecta una fuga de gas en casa? ¿O las luces encendidas durante el día? ¿Y una fuga de aceite en una maquina?, las respuestas son obvias, evitar el riesgo latente de accidente, así como problemas técnicos de futuro y tratamos de no perder tontamente el dinero. Se trasladarán estas cuestiones a la neumática; ¿qué hacer cuando se detecta una fuga de aire comprimido en una conexión? ¿O un sistema de boquillas de aire activadas en una máquina en reposo? ¿Y una limpieza de área o personal con aire comprimido?

Uso eficiente del equipo neumático, mejoras en el uso del aire comprimido, mayor duración de los compresores y prevención de paros inesperados; podrían ser buenas propuestas.

Por lo que el consumo óptimo de aire comprimido, los procesos seguros y una buena planificación de costes se convierten en los tres pilares del ahorro de energía neumática.

Algunos aspectos negativos para la obstrucción de los conductos que transmiten el aire comprimido pueden ser:

### 14.1 Partículas

Las partículas (de óxido por lo general, las cuales se aprecian en la figura 120) no solamente tienen un efecto abrasivo, sino que también pueden obturar los conductos de los componentes.



Figura 120. Partículas de óxido.

## 14.2 Humedad residual

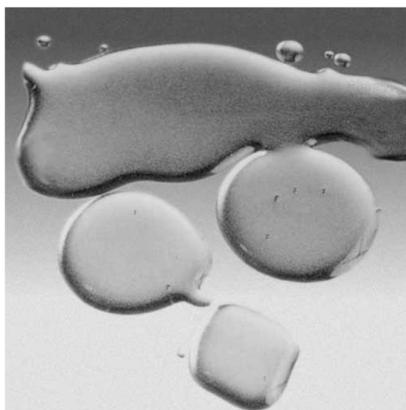
Un nivel demasiado elevado de humedad residual, visto un ejemplo en la figura 126, puede modificar la densidad de los lubricantes y reducir su capacidad de lubricar o eliminarla por completo. De esta forma se aumenta la fricción y el desgaste y pueden llegar a producirse fallos fatales.



*Figura 121. Humedad residual.*

## 14.3 Aceites residuales

La lubricación de los componentes neumáticos puede eliminarse también por el aceite de los compresores contenido en el aire comprimido, así como las juntas, que pueden deteriorarse con extrema rapidez, produciéndose fugas, expuestas en la figura 122.



*Figura 122. Resto de aceites.*

## 14.4 Ahorro de energía neumática

El coste de la energía es un factor importante para diseñar una instalación de aire comprimido, por lo que es importante tratar de encontrar una solución que no solo cumpla con las exigencias de trabajo sino también que cumpla con el uso eficiente del aire comprimido, estos costes en “eficiencia” serán considerados como una inversión de

futuro. Existen distintas calidades de aire comprimido, mostradas todas ellas en la tabla 7.

Número de partículas por metro cúbico por tamaño en micrómetros						
	0.1 $\mu\text{m}$	0.2 $\mu\text{m}$	0.3 $\mu\text{m}$	0.5 $\mu\text{m}$	1 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$
<b>ISO 1</b>	10	2				
<b>ISO 2</b>	100	24	10	4		
<b>ISO 3</b>	1000	237	102	35	8	
<b>ISO 4</b>	10000	2370	1020	352	83	
<b>ISO 5</b>	100000	23700	10200	3520	832	29
<b>ISO 6</b>	1000000	237000	102000	35200	8320	293
<b>ISO 7</b>				352000	83200	2930
<b>ISO 8</b>				3520000	832000	29300
<b>ISO 9</b>				35200000	8320000	293000

Tabla 7. Clases de calidad del aire comprimido según DIN ISO 8573

Conocer la cantidad exacta de aire comprimido que necesita la bomba (en la figura 123 se ve el conjunto de tubos dosificadores de aire comprimido en su vista trasera) es muy importante para llevar a cabo un examen de ahorro de aire comprimido y la consecuencia de dicho conocimiento es el diseño de una buena red de aire comprimido.

Para ahorrar aire y dinero, la red de aire comprimido ha de estar bien dimensionados, tanto el compresor, como su preparación y la red; sin olvidarnos de las reservas de seguridad y el potencial de ahorro, evitando sobrecargas y las fallas de servicio serias.

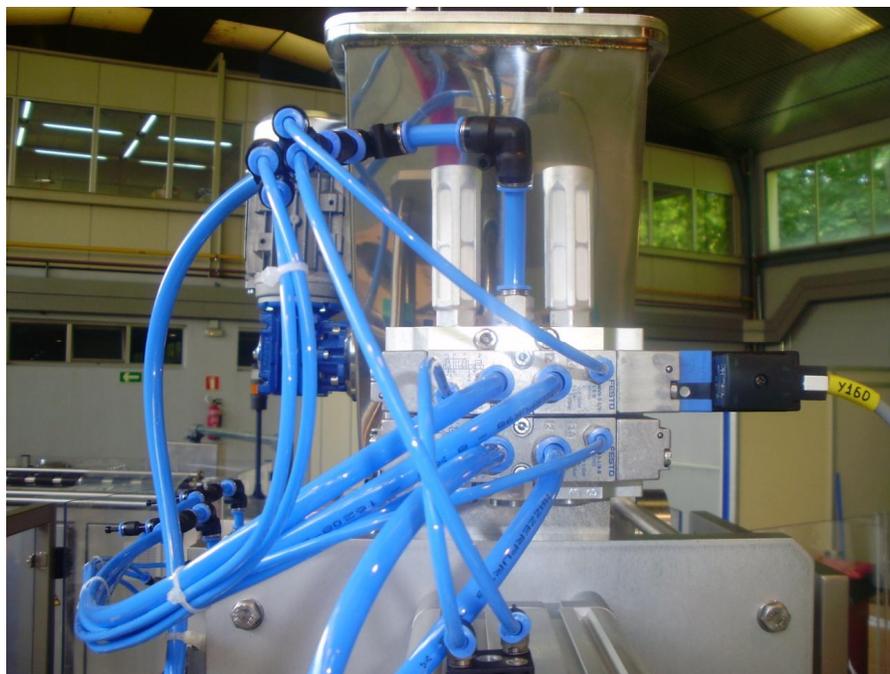


Figura 123. Entramado de tubos de aire comprimido.

El aire comprimido es energía industrial y las fugas en juntas o tuberías son pérdidas de energía, y no solo se remite en el bolsillo del propietario (como se muestra en la tabla 8) sino que contribuye lamentablemente a las emisiones de CO<sub>2</sub>

Consumo por Minuto			Nivel de fugas			
m <sup>3</sup>	CFT	kW	10%	20%	30%	40%
			\$	\$	\$	\$
10	350	55	10,000	20,000	30,000	40,000
20	700	110	20,000	40,000	60,000	80,000
30	1050	160	30,000	60,000	90,000	120,000
50	1750	250	50,000	100,000	150,000	200,000
75	2650	350	75,000	150,000	225,000	300,000
100	3500	500	100,000	200,000	300,000	400,000

Tabla 8. Consumo por minuto y nivel de fugas.

Muchos son los estudios que muestran que la detección y reparación de fugas es la forma más efectiva de ahorrar energía; el estudio “Compressed Air System in the EU” muestra que el 42% del potencial de ahorro en sistemas neumáticos procede de la eliminación de la fugas, como se ve en azul en el diagrama de la figura 124; sin que decir que se trata de una actividad con una rápida amortización.



Figura 124. Gráfico de importancia en un diseño neumático.

En cuanto al tema del coste que supone realizar dichas comprobaciones y ajustes de la red de aire comprimido, hay que decir que es preciso saber que por lo general, según el estudio anteriormente mencionado equivale al menos al 15% del coste de las fugas e incluso el coste de las comprobaciones en sí mismas por personal especializado, es menos del 10%. Las figuras 132 y 133 son evidencias visuales de lo explicado anteriormente.



Figura 125. Gráfico distribución del uso del aire.

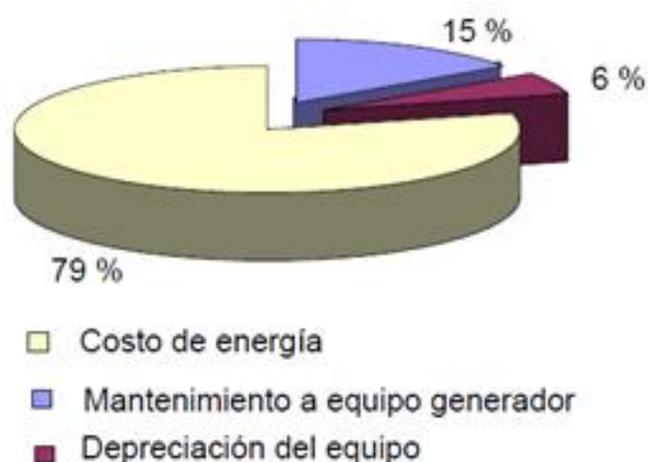


Figura 126. Distribución de gastos en el uso de aire.

- Eficiencias.
- Cantidad de aire comprimido desperdiciado.
- Estimación de ahorros potenciales.
- Análisis costo-beneficio.
- Propuesta de Mejora.
- Retorno de la inversión.
- Gráficas.
- Conocimiento de ahorros potenciales.
- Diagnóstico del consumo y pérdidas de aire comprimido

Todos ellos son factores clave para un buen funcionamiento de la red de aire comprimido.



## Capítulo 15: Limpieza CIP

Las operaciones de limpieza y desinfección son la base de un efectivo sistema *CIP*, tras estudiar la compatibilidad de materiales y conocer el por qué los utilizamos para entrar en contacto con alimentos, el siguiente paso es saber el método de limpieza idóneo para garantizar la total eliminación de la suciedad, así como desinfección de todos los elementos de nuestra bomba. Definimos limpieza como el resultado de eliminar completamente la suciedad visible, tras ella viene la desinfección para destruir todos los microorganismos que puedan ocasionarnos problemas de contaminación, con la ayuda de un jabón o detergente adecuado.

Para llevar a cabo una buena limpieza hemos de seleccionar el método adecuado, analizando algunos factores:

- Naturaleza y tipo de las superficies a limpiar.
- Tipo de alimentos que entraron en contacto con las superficies.
- Materiales de construcción, como bien decía anteriormente.
- Equipos utilizados.
- Compuestos utilizados para limpiar, así como calidad del agua.

El diseño sanitario no tiene por qué influir en la calidad final del producto pero si en su no contaminación y en su preservación de las condiciones que lleva antes de entrar en contacto con el equipo.

En cuanto al diseño exterior de un equipo sanitario se ha de decir que un equipo con una superficie exterior que permita la acumulación de contaminación y residuos recibirá una evaluación muy negativa; por lo que el diseño del equipo evitando zonas muertas y facilitando la limpieza será clave.

### 15.1 Clasificación de métodos de limpieza

Se diferencia entre dos tipos de limpieza, en una primera clasificación; limpieza en seco (aspirando residuos, por ejemplo) y limpieza húmeda, la que atañe al proyecto, donde se utilizara un detergente.

La segunda clasificación, en la que se quiere hacer hincapié, se divide a la vez en:

- Limpieza manual: su fundamento es la acción mecánica de frotado principalmente con paños o cepillos por ejemplo.
- Limpieza *CIP* (*clean in place*): se trata de un sistema de limpieza interna de equipos.
- Limpiadores por espuma o por gel: productos que se expanden llegando a todos los rincones interiores del equipo.

En cada método intervienen los parámetros conocidos popularmente como parámetros *ZIMMER*.



- Acción mecánica: se trata del parámetro más importante y se realiza por fricción.
- Acción térmica.
- Acción química.
- Y tiempo de limpieza.

En los tres últimos los aspectos principales serán el tiempo de limpieza y la acción química de los elementos y detergentes utilizados; sin olvidar la temperatura que normalmente trabaja como aceleradora del proceso de eliminación de la suciedad. En la tabla 9 se ven sus puntos fuertes.

MÉTODO	ACCIÓN MECANICA	ACCION QUIMICA	ACCION TERMICA	TIEMPO DE LIMPIEZA
MANUAL	++++	+	+	+
CIP	++	++++	++	+++
ESPUMA	+	++++	+	+++
GEL	+	++++	+	+++

Tabla 9. Limpiezas y sus acciones.

Analizando el cuadro se llega a la conclusión de que el método manual requiere una mayor acción mecánica por una acción química y unos tiempos mínimos, mientras que el método *CIP* interacciona con una acción térmica mayor a los demás.

Una vez introducidos a los métodos de limpieza, sus principales factores, agentes y métodos; se describirá el proceso de limpieza que se lleva a cabo en la bomba dosificadora.

Como bien se comentaba en el apartado de morfología de la bomba, cada una de sus piezas han sido diseñadas con la limpieza *CIP*, o en su lugar con la limpieza manual sencilla y de rápida ejecución constantemente en mente.

Los agentes de limpieza son los encargados de retirar la suciedad y son los detergentes, los jabones y el agua. El detergente ayuda a la disolución de la suciedad, el agua la arrastra. Los detergentes no deben tener olores fuertes, de fácil disolución en agua, de fácil dosificación, no deben ser ni tóxicos ni corrosivos, económicos y su almacenamiento y comportamiento debe ser sencillo y estable respectivamente.

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas; la capacidad de penetración de un detergente tiene que ser capaz de reducir la tensión superficial del agua. El poder emulsificante de grasas y aceites es otro aspecto importante ya que son de los agentes más difíciles de eliminar, la descomposición de estas sustancias en glóbulos pequeños, para así poder ser arrastrados con mayor facilidad, se convierte en su tarea principal.

El poder secuestrante de las sales de calcio y magnesio en el agua se convierte en un problema grave a solventar, ya que disminuyen la eficacia de la limpieza. Y por último la solubilidad de las proteínas, gracias a la hidrólisis producida por los compuestos alcalinos, así como su facilidad de enjuague, convierte a los detergentes en elementos clave para una buena limpieza *CIP*.



## 15.2 Clasificación de detergentes

Centrados en una clasificación de detergentes utilizados para la limpieza CIP:

### 15.2.1 Alcalinos

Utilizados para eliminar suciedad orgánica como grasas, aceites, carbohidratos o proteínas. Actúan por saponificación y emulsión y pueden ser cáusticos o no cáusticos. La soda cáustica es la más importante, ya que será el elemento utilizado en nuestro sistema de limpieza.

#### 15.2.1.1 Sosa cáustica

Muy alcalino, soluble en agua, económico, bactericida, normalmente usado para eliminar para limpiar suciedades fuertes. Pero es corrosivo con aluminio, cobre o materiales blandos en general. Se usa con concentraciones entre 0.2% y 2%. Actúan como emulsionantes, disuelven proteínas.

#### 15.2.1.2 Carbonato de sodio

Medianamente alcalino y económico. Entre 1% y 5% de concentración.

#### 15.2.1.3 Metasilicato de sodio

Limpiador altamente alcalino de superficies duras. No es cáustico.

#### 15.2.1.4 Fosfato trosódico

Alcalino no cáustico, ablanda las aguas duras y es altamente soluble.

### 15.2.2 Ácidos

Elimina incrustaciones, son altamente corrosivos por lo que se suelen usar con un inhibidor de corrosión. Se utilizan en concentraciones entre 0,5% y 2%. Pueden ser orgánicos (para limpieza suave manual, están en acético o cítrico) e inorgánicos (para grandes incrustaciones, ácido clorhídrico o sulfúrico).

### 15.2.3 Surfactantes

Disminuyen la tensión superficial del agua. No son corrosivos, de fácil enjuague y solubles en agua fría (alquil-benceno, sulfonato, lauril sulfato o dodecil-diaminoetil glicina, son ejemplos).



### 15.2.4 Secuestrantes

Utilizados para apartar las sales de calcio y magnesio, previenen la formación de espuma. Existen los orgánicos (relativamente costosos pero muy eficientes por su buena solubilidad; el ácido nítiliacético es un ejemplo de secuestrante orgánico) y los inorgánicos (se encuentran los fosfatos más complejos, muy buenos acondicionadores de agua; los pirofosfatos, tripolifosfatos o hexametáfosfato son algunos ejemplos). En la tabla 10 vemos un resumen de lo expuesto hasta ahora.

DETERGENTE		Poder humectante	Poder dispersante	Poder disolvente	Poder Emulsificante	Poder Saponificante	Poder Secuestrante	Arrastre por agua	Corrosividad	Poder Bactericida
Clase	Componente									
ALCALIS INORGANICO	Sosa cáustica	1	1	4	1	4	0	1	0	4
	Carbonato sódico	2	3	3	3	3	1	3	2	2
	Metasilicato sódico	1	1	2	1	2	0	1	2	1
	Fosfato trisódico	2	3	2	3	3	2	3	1	2
ÁCIDOS	Ácido sulfúrico	1	1	3	1	1	3	1	0	3
	Ácido acético	1	1	2	1	1	3	2	2	2
SURFACTANTES	Alquil-benceno	4	4	2	4	0	0	4	4	0
	Sulfonato sódico	4	4	2	4	0	0	3	4	0
	Lauril sulfato sódico	4	4	2	4	0	0	2	4	0
	Dodecil-diaminoetil glicina	4	3	2	4	0	0	3	4	1
SECUESTRANTES	Pirofosfato tetrasódico	1	2	2	2	2	3	3	4	1
	Tripolifosfato sódico	1	3	3	2	1	3	2	4	0
	Hexametáfosfato sódico	1	3	1	2	1	3	3	4	0

Tabla 10. Propiedades importantes de los componentes principales de las formulaciones de detergentes.

La tabla 11 da información muy interesante acerca de las distintas suciedades.

SUCIEDAD	SOLUBILIDAD	FACILIDAD DE ELIMINAR	CAMBIO CON EL CALOR	DETERGENTE RECOMENDADO
Proteína	Insoluble en agua, soluble en alcalinos.	Muy difícil.	Desnaturalización mucho más tenaz.	Alcalinos.
Grasas y aceites	Insoluble en agua.	Difícil.	Polimerización, más difícil de limpiar.	Alcalinos.
Azúcares Carbohidratos	Solubles en agua.	Fácil.	Caramelización, más difícil de limpiar.	Alcalinos.
Sales	Insolubles en agua.	Fácil a difícil.	Fáciles de limpiar si no interactúan con otros componentes.	Ácidos, alcalinos+ secuestrantes.

Tabla 11. Distintas suciedades.

### 15.3 Limpieza de la bomba

Se supone que se quiere finalizar el ciclo de trabajo diario de la máquina donde está albergada la bomba, y por consiguiente, ha de quedar perfectamente limpia y dispuesta para comenzar a trabajar de nuevo cuando se necesite, ya sea con el mismo fluido que



estaba funcionando o con otro de distintas propiedades. En definitiva, se necesita limpiar a la perfección la bomba para que la próxima partida esté limpia y libre de agentes patógenos.

- El primer paso, que se llamará pre-enjuague, consiste en alimentar la bomba con agua a temperatura ambiente (20 – 25 °C), durante unos 5 minutos, se eliminarán residuos de poca adherencia.
- Se pasa a la limpieza alcalina, cuyo objetivo es remover el residuo de mayor adhesión, usaremos sosa cáustica con la concentración recomendada dependiente del fluido con el que estamos trabajando; a una temperatura entre 60 – 80 °C. El tiempo recomendado de limpieza es de 30 minutos y en caso de no conseguir alcanzar esta temperatura es posible aumentar la concentración para, de esta forma, facilitar el aumento de temperatura.
- Después se tiene que realizar un enjuague, inmediatamente después del paso anterior, con agua a unos 80°C como mínimo, durante unos 20 minutos. Cuanta mayor calidad microbiológica posea el agua utilizado más podremos garantizar la limpieza perfecta de la bomba.

Estos son los tres sencillos pasos para la limpieza *CIP* diaria de la bomba, pero cada mes, se recomienda realizar tres pasos más, justo antes de realizar el último enjuague:

- Limpieza ácida, recomendada una vez al mes para remover residuos inorgánicos, usaremos una solución de ácido nítrico de concentración entre 1-2%. Durante 15 minutos a temperatura ambiente.
- Tras esta limpieza se realiza otro enjuague intermedio con agua a temperatura ambiente durante 5 minutos para remover los residuos del detergente ácido.
- Desinfección, elimina la población microbiana a un nivel más que aceptable para las especificaciones de higiene de la industria alimenticia. Se suele realizar cada vez que cambiamos de fluido de trabajo o cada 20 días en caso de no cambiar de fluido. Se utilizará un sanitizante químico, el cloro, durante 10 minutos.

## 15.4 Factores a tener en cuenta

Una vez que se conoce la forma de limpiar la bomba se enunciarán algunos factores significativos a la hora de valorar de limpieza efectiva la que se ejecuta:

- Los agentes de limpieza, su combinación e implementación, es clave para eliminar ciertos productos.
- La temperatura seleccionada es importante para lograr arrancar la suciedad pegada a las partes de los componentes de la bomba.
- El tiempo de duración de cada una de los pasos, no se puede dejar poco tiempo en circulación los fluidos; ni por supuesto, tampoco demasiado ya que se estaría perdiendo dinero.

- Frecuencia con la que se realizan algunos pasos. Se ha de seguir las recomendaciones al pie de la letra.
- El caudal y la velocidad del fluido a la hora de pasar por las distintas partes. Cerciorarse perfectamente que se trata de un fluido turbulento, esquema central de la figura 127.

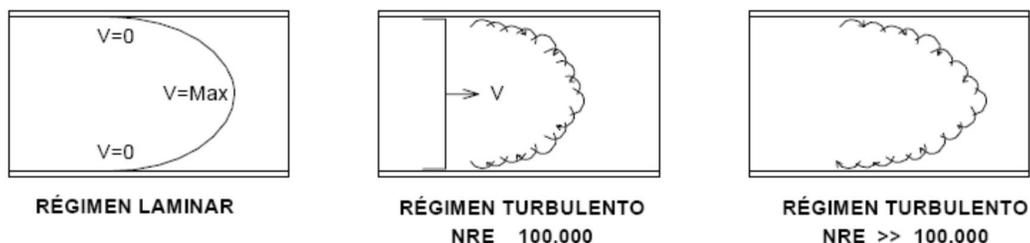


Figura 127. Distintos flujos.

### 15.5 Defectos posibles y soluciones

Defecto	Técnica para eliminarlo
Polvo y suciedad	Lavar con agua y/o detergente. Si es necesario, hacerlo con agua a presión o vapor.
Inclusiones de partículas de hierro	Tratar la superficie con solución de ácido nítrico al 20%. Lavar con agua limpia. Confirmar la eliminación con el test del ferroxilo. Si el hierro está aún presente, utilizar una solución de ácido nítrico (10%) y ácido fluorhídrico (2%). Lavar con agua limpia. Confirmar nuevamente con el test de ferroxilo. Repetir si es necesario. Eliminar todas las trazas del test del ferroxilo con agua limpia o ácido nítrico o acético diluidos.
Rasguños, manchas de calentamiento	Pulir la superficie con un abrasivo fino. Decapar la superficie con una solución de ácido nítrico al 10% y ácido fluorhídrico al 2% hasta eliminar todas las trazas. Lavar con agua limpia o electro-pulir.
Áreas oxidadas	Tratar la superficie con una solución de ácido nítrico al 20%. Confirmar la eliminación del óxido con el test del ferroxilo. Lavar con agua limpia o ácidos nítrico o acético diluidos.
Rugosidades	Pulir con un abrasivo de grano fino.
Marcas de electrodos	Eliminar mediante pulido con abrasivo de grano fino, o soldar encima si está en la línea de la soldadura.
Salpicaduras de soldadura	Prevenirlas mediante la utilización de una película adhesiva a los costados del cordón de soldadura, o eliminarlas utilizando un abrasivo de grano fino.
Marcas de decapante de soldadura	Eliminar mediante abrasivo de grano fino.



Defecto	Técnica para eliminarlo
Defectos de soldadura	Si es inaceptable, eliminar con amoladora y volver a soldar.
Aceite y grasa	Eliminar con solventes o limpiadores alcalinos.
Residuos de Adhesivos	Eliminar con solventes o mediante pulido con abrasivo de grano fino.
Pintura, tiza y crayón	Lavar con agua limpia y/o limpiadores alcalinos.
Productos de proceso	Lavar con agua limpia o vapor, o disolver mediante solvente adecuado.
Depósitos coloreados	Disolver con ácidos nítrico, fosfórico o acético al 10-15 %. Lavar con agua limpia.

Tabla 12. Distintos defectos.

Es obvio que una de las premisas para garantizar el *CIP* es que todos los elementos de limpieza pasen con cierta facilidad por toda la superficie de la bomba que está en contacto con el producto alimenticio, sin esquinas inaccesibles, recovecos ínfimos o demás escondites. Por ello la ingeniería de diseño, explicada en el punto de morfología de la bomba, es la base de todo.

## 15.6 Limpieza de tolva

Hasta ahora se ha supuesto que la bomba era alimentada mediante el conjunto de alimentación diseñado, en este punto se hará un pequeño estudio en el caso de que la bomba llevara tolva. El sistema descrito antes sería exactamente idéntico, simplemente se instalaría un elemento extra en la propia tolva para poder limpiarla perfectamente, llegando a todos y cada uno de sus partes interiores en contacto con producto. Se diferenciará entre tres sistemas, muy relacionados entre sí. Para el caso, se utilizará el primero de ellos, mucho más sencillo, algo menos efectivo (pero más que suficiente) y mucho más económico.

### 15.6.1 Limpieza estática con bochas de limpieza o *sprayballs*

Las *sprayballs* Son los dispositivos más comunes, utilizados para la limpieza de tanques y recipientes que almacenan productos sencillos de remover, solubles en agua o los detergentes utilizados. Su instalación es verdaderamente sencilla, su coste es bajo y su mantenimiento es nulo. Dichas esferas contienen una gran cantidad de orificios de pequeños diámetros, normalmente, distribuidos por toda la superficie de la esfera, ejemplo de multitud de *sprayballs* en la figura 128.



Figura 128. Sprayballs.

### 15.6.2 Limpieza rotativa

Su construcción es más compleja, ya que tienen rodamientos hidrodinámicos que permiten que el dispositivo gire con la propia presión del fluido. El cabezal no tiene orificios múltiples, como se aprecia en la figura 129, sino que todo el líquido pasa a través de una, dos o como máximo tres toberas. Una ventaja importante es que proporcionan una limpieza más eficiente con mayor presión y menos caudal, eliminando casi todo tipo de suciedad. Soportan presiones más altas.



Figura 129. Ejemplo de limpieza rotativa.

### 15.6.3 Limpieza orbital

Es el sistema más completo y complejo, por lo que se utilizara para eliminar suciedades complejas y difíciles de eliminar. Soportan presiones muy grandes, tales como su diámetro de trabajo, en la imagen de la derecha de la figura 130 se muestra el gran diámetro de trabajo.



Figura 130. Ejemplos de limpieza rotativa.

En el apartado de montaje y desmontaje de la bomba se aborda cómo se debe desmontar la bomba para la limpieza manual de aquellas partes críticas a la hora de ser limpiadas mediante el sistema *CIP*.

## Capítulo 16: Normativa aplicable

La industria alimenticia hace un gran esfuerzo por ofrecer una garantía de larga vida a los productos y una alta calidad en sus diseños y productos obtenidos de ellos. Para asegurarse de que el alimento se mantenga cuanto más natural mejor se usan pocos conservantes y aditivos, pero todo esto conlleva en una gran subida de costes de producción. Estos objetivos requieren un control y dominio muy exhaustivo.

En los procesos higiénicos se usan conexiones que se desarrollaron inicialmente en la industria farmacéutica, dichas conexiones han de respetar algunos aspectos:

- Todos los materiales en contacto con los alimentos han de ser inertes frente a ellos.
- Las superficies en contacto con los alimentos serán lisas, pulidas y por supuesto, no porosas; evitando acumulaciones de contaminación en sus cavidades, con acabados de 8um/150grit. 4um/240 grit.
- Los ángulos de contacto internos deberán tener un radio mínimo de curvatura de 1/16”.
- Y los equipos han de estar diseñados con conexiones fácilmente desmontables, así como deben ser fáciles de limpiar.

En todos los aspectos es prácticamente imposible diagnosticar si un equipo cumple con todos los requisitos de higiene necesarios para ser aceptable. De aquí se piensa la disposición de instituciones independientes dedicadas a ello: FDA, EHEDG o el certificado 3-A (logotipos en la figura 131).



Figura 131. Distintos logotipos.

### 16.1 FDA (*Food and Drugs Administration, administración de alimentos y fármacos estadounidense*)

En 1906, durante la presidencia de Theodore Roosevelt se firma una ley que autoriza al gobierno a inspeccionar las empresas de alimentación, pocos años después se creó la institución.

Es la agencia del gobierno de EE.UU. responsable de la regulación de alimentos (tanto para seres humanos como para animales), suplementos alimenticios, medicamentos (humanos y veterinarios), cosméticos, aparatos médicos (humanos y animales), productos biológicos y derivados sanguíneos.



La FDA vela por los materiales que entran en contacto con el producto. Tienen una lista positiva de materiales que han de ser usados por los distintos fabricantes, no tiene en cuenta los productos de limpieza. Establece una serie de regulaciones para todos los productos alimenticios y sus derivados.

Bajo su responsabilidad tiene el absoluto control de todas las bebidas sin alcohol y de los vinos que tengan un 7% o inferior de alcohol en su composición. Todas las bebidas alcohólicas (excepto los vinos que tengan menos de un 7% de alcohol) están reguladas por la Oficina de Bebidas Alcohólicas.

## 16.2 Conformidad 3-A

La 3-A fue fundada en 1920 en EE.UU. Se encarga principalmente de evaluar las características de diseño de los instrumentos y sistemas.

Ésta evaluación se lleva a cabo con ayuda de esquemas e indicaciones que proporcionan los propios fabricantes.

El certificado de conformidad 3-A se refiere a la combinación de instrumento y la conexión a proceso. Aunque no se realizan comprobaciones técnicas de si esta combinación cumple con las normas sanitarias.

## 16.3 EHEDG (European Hygienic Engineering & Design Group)

La EHEDG fue fundada en 1989 con la finalidad de promover la higiene durante el envasado y procesado de alimentos.

La EHEDG es una organización sin fines de lucro y sin funciones legislativas. Se trata de un consorcio de fabricantes de equipos, industrias alimentarias, institutos de investigación y autoridades públicas sanitarias.

Los miembros de esta organización se reclutan entre empresas dedicadas a la industria alimenticia, de suministros de sistemas, fabricantes de equipos, instituciones científicas y entidades oficiales.

Evalúa el diseño y características de limpieza de equipos y sistemas, su instalación, reparación y mantenimiento. Los equipos son evaluados en un laboratorio y las pruebas son fáciles de entender. Se fundamenta en los requerimientos legales en los que se basa la fabricación de los alimentos.

La defensa del consumidor adquiere un nivel muy importante y se convierte en una prioridad.

Una vez introducidos a las tres instituciones más importantes a la hora de garantizar cierto prestigio del diseño por decirlo de alguna manera, hablaremos del mercado CE (útil para el mercado europeo), las normas UNE y las ISO.

## 16.4 Mercado CE

- El Mercado CE es un requisito reglamentario obligatorio para comercializar productos en el mercado nacional y en la Unión Europea.
- Es un indicador importante para el cumplimiento de la legislación correspondiente de la UE. Y ha de colocarse previa comercialización del producto.

- Es responsabilidad del fabricante llevar a cabo la evaluación de conformidad, crear el expediente técnico, dar la declaración CE de conformidad y realizar el correspondiente etiquetado CE del producto, cuyo logotipo está en la figura 132.



Figura 132. Marcado CE.

Se anunciarán algunas normas y directivas claves a la hora de poder recibir el marcado CE, y en definitiva, un diseño alimentario correcto.

### 16.5 Las UNE (Una Norma Española)

- Conjunto de normas tecnológicas creadas por los Comités Técnicos de Normalización (CNT), de los que forman parte todas las entidades y agentes implicados e interesados en los trabajos del comité.
- Estos comités están formados por AENOR, fabricantes, consumidores y usuarios, administración, laboratorios y centros de investigación.

### 16.6 La Organización Internacional de Normalización o ISO

- Nacida tras la 2ª Guerra Mundial (febrero de 1947), es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica.
- Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional.
- Es una red de los institutos de normas nacionales de 163 países, con sede en Ginebra; está compuesta por delegaciones gubernamentales y no gubernamentales subdivididos en una serie de subcomités encargados de desarrollar las guías que contribuirán a la mejora ambiental.

Normativas que han de tenerse en cuenta en el desarrollo de este proyecto:

- ISO 4287: 1997. Especificación geométrica de productos (GPS) / Calidad superficial: Método del perfil. / Términos definiciones y parámetros del estado superficial.
- ISO 14159: 2002. Seguridad de las máquinas. / Requisitos de higiene para el diseño de las máquinas.



- DIN 32676. Uniones.
- DIN 11850. Uniones.
- Boletín oficial del Estado: Instalaciones bajo presión.
- DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de mayo de 2006. Relativa a las máquinas.
- EN 1672-2:1997 Maquinaria para el procesado de alimentos. Conceptos básicos. Parte 2: Requisitos de higiene.

## 16.7 Normativa propia

Una vez conocidos los organismos, normas y normativas aplicadas se hará una pequeña reflexión interesante acerca de la bomba en cuestión:

No se declara que la bomba esté etiquetada CEE, ya que se trata de un mecanismo que forma parte de una máquina. No debe ser utilizado sin haber realizado las reformas correspondientes en la máquina receptora y sin ser comprobado que ésta posee las características idóneas; de acuerdo con:

- La Directiva de Maquinaria 98/37/CEE.
- La Directiva de CEM 89/336/CEE (y sus posteriores modificaciones 92/31/CEE y 93/68/CEE).
- Y la Directiva de Baja Tensión 73/23/CEE (y sus modificaciones posteriores 93/68/CEE), EN-294 (1992) y EN-349 (1993).

## Capítulo 17: Datos técnicos

- Dimensiones:
  - Alto: 460 mm.
  - Ancho: 510 mm.
  - Profundidad: 1050 mm.
- Peso: 70 Kg
- Conexión neumática: 6 bar.
- Aire consumido: aproximadamente 8 l.ciclo
- Cilindro-camisa dosificador:  $\varnothing = 28\text{mm}$
- Capacidad máxima de la bolsita:

$$\text{Carrera} = h = 125\text{mm} = 1.25\text{dm} \quad \varnothing = 28\text{mm} = 0.28\text{dm}$$

$$\text{Volumen} = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot (0.14)^2 \cdot 1.25 = 0.077 \text{ l} = 77 \text{ ml por pista.}$$

$$\text{Capacidad} = 77 \text{ ml.pista} \quad \text{Capacidad total (4pistas)} = 308 \text{ ml}$$

- Alimentación:
  - Tolva: 18 l
  - Tubo de alimentación continua: 0.9 l
- Clamps: DN-20.



Figura 133. Fotografía de la bomba dosificadora.

## Capítulo 18: Indicaciones de seguridad

A continuación, se enumeran una serie de indicaciones, advertencias y medidas de seguridad que se han de tener en cuenta en el montaje de la bomba dosificadora:

- El personal asignado para el montaje de la bomba ha de ser pertrechado con ropa adecuada: botas para la prevención de accidentes y guantes de protección. Evitando la utilización de ropa como corbatas, bufandas, cinturones o similares.
- Si el ruido ambiente es mayor de 70 dB se ha de utilizar protecciones auriculares como las de la figura 134.



*Figura 134. Protecciones auriculares.*

- Para el alargamiento de la vida útil de la bomba es indispensable tomarse la limpieza a diario totalmente en serio.
- A la hora de limpiar la bomba de forma manual, hay que asegurarse que no se alimenta de aire comprimido, cerrando el grifo de alimentación y se descarga la energía que tenía acumulada.
- La bomba ha de ser dispuesta siempre en planos perfectamente horizontales, ya que una incorrecta colocación puede llevar a un trabajo mal realizado por el equipo.
- El área de trabajo de la bomba, oséase de la máquina, ha de estar libre de objetos y perfectamente limpia de elementos que pudieran interferir negativamente en su funcionamiento.
- En caso de necesitar parar la bomba durante un leve período de tiempo, se aconseja taparla completamente con una lona de plástico.
- En caso de necesitar parar la bomba durante un largo periodo de tiempo, se recomienda desmontar todas y cada una de las piezas conservándolas en un lugar adecuado y teniendo en cuenta cada uno de los materiales de los que están fabricados y sus posibles problemas de compatibilidad.

- El área donde se conservará la bomba deberá estar en un ambiente cerrado y protegido de los agentes atmosféricos.
- En este punto se comentará algo obvio, pero de vital importancia para la seguridad; prohibido introducir elementos o los propios dedos en el recorrido del pistón dosificador neumático, así como en el recorrido del vástago del cilindro mayor y el movimiento que otorga el giro al eje (cilindro neumático menor) ya que podría darse un accidente en forma de aplastamiento de miembros o rotura; y desajustes en el propio sistema mecánico; visionado de lo explicado en la siguiente figura, 135.



*Figura 135. Ejemplo de error en caso de estar funcionando.*

- Importante no utilizar para dosificar fluidos inflamables.
- Se recomienda no permitir el acceso a la bomba a niños y animales.
- El mantenimiento no es algo que “nos debe quitar el sueño”, el correcto mantenimiento de la bomba dosificadora se debe fundamentar en la correcta limpieza, *CIP* y manual, del día a día; ésta nos evitará muchos problemas y nos permitirá obtener unos resultados envidiables.



## Capítulo 19: Presupuesto

<i>POSICIÓN</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PRECIO UNIDAD</i>	<i>PRECIO TOTAL</i>
1	Tapa de la camisa del cilindro dosificador	4	35,25 €	141,00 €
2	Guía del vástago en el interior de la tapa del cilindro	4	0,19 €	0,76 €
3	Vástago	4	20,30 €	81,20 €
4	Pistón, parte primera	4	21,10 €	84,40 €
5	Junta rascadora	8	0,89 €	7,12 €
6	Guía del pistón	4	0,17 €	0,68 €
7	Pistón, parte segunda	4	21,65 €	86,60 €
8	Pistón, parte tercera	4	23,64 €	94,56 €
9	Camisa del cilindro dosificador	4	80,45 €	321,80 €
10	Junta <i>Clamp</i> DN-20 DIN-32676	12	0,12 €	1,44 €
11	Abrazadera <i>Clamp</i> DN-20 DIN-32676	8	10,17 €	81,36 €
12	Indicador gravitacional	1	2,45 €	2,45 €
13	Cilindro regulador, parte primera ("rosca hembra")	1	70,00 €	70,00 €
14	Prisionero M4x14 DIN-916	1	0,05 €	0,05 €
15	Guía del cilindro regulador	1	2,40 €	2,40 €
16	Tornillo hexagonal M10x30 DIN-933	4	0,10 €	0,40 €
17	Pomo de fijación M5x10 DIN-464	1	2,51 €	2,51 €
18	Cilindro regulador, parte segunda	1	95,00 €	95,00 €
19	Prisionero M5x16 DIN-916	1	0,06 €	0,06 €
20	Cilindro regulador, parte tercera ("rosca macho")	1	123,00 €	123,00 €
21	Capuchón del vástago del cilindro regulador	1	18,77 €	18,77 €
22	Cilindro neumático DNC-80/125-PPV-A-S2	1	80,33 €	80,33 €
23	Chapa para soporte de las válvulas	1	9,12 €	9,12 €
24	Tornillo hexagonal M6x45 DIN-933	6	0,09 €	0,54 €
25	Placa base PRS-1/8-2-BB	1	14,13 €	14,13 €
26	Silenciador U-3/8-B (fundición inyectada)	2	5,15 €	10,30 €
27	Racor QS-3/8-10	1	2,43 €	2,43 €
28	Tubo PUN 10x1.5	1	5,34 €	5,34 €
29	Racor QSL-10	1	2,95 €	2,95 €
30	Válvula J-5/2-3/8-B	1	15,65 €	15,65 €
31	Racor QS-1/8-4	4	2,54 €	10,16 €
32	Racor QS-1/4-8	4	3,15 €	12,60 €
33	Eválvula MVH-5/2-1/4-L-S-B	1	23,54 €	23,54 €
34	Placa base para accionamiento neumático	1	71,98 €	71,98 €
35	Bandeja para accionamiento neumático	1	54,87 €	54,87 €
36	Soporte del cuerpo dosificador	2	19,14 €	38,28 €
37	Tornillo Allen M8x35 DIN-912	4	0,07 €	0,28 €
38	Soporte del cilindro neumático	2	17,05 €	34,10 €



<b>POSICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIDAD</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
39	Tornillo Allen M8x30 DIN-912	4	0,06 €	0,24 €
40	Cuerpo dosificador de cuatro pistas	1	800,25 €	800,25 €
41	Pie del cuerpo dosificador	2	16,24 €	32,48 €
42	Tornillo Allen M5x18.5 DIN-912	4	0,04 €	0,16 €
43	Tornillo hexagonal M6x20 DIN-933	2	0,07 €	0,14 €
44	Eje dosificador de cuatro pistas	1	132,12 €	132,12 €
45	Junta rotativa de baja fricción	2	0,84 €	1,68 €
46	Rodamiento 6004-2RS	2	6,90 €	13,80 €
47	Tapa del cuerpo dosificador	2	73,14 €	146,28 €
48	Tornillo hexagonal M5x50 DIN-933	4	0,09 €	0,36 €
49	Palanca, parte primera	1	19,15 €	19,15 €
50	Palanca, parte segunda	1	37,57 €	37,57 €
51	Tornillo hexagonal M6x40 DIN-933	2	0,09 €	0,18 €
52	Tuerca M6 DIN-934	2	0,02 €	0,04 €
53	Rotula SGS-M12x1.25	1	8,35 €	8,35 €
54	Tornillo hexagonal M12x40 DIN-933	1	0,12 €	0,12 €
55	Cojinete selfoil 16x22x28 Long.15mm	2	2,15 €	4,30 €
56	Tornillo Allen M6x20 DIN-912	4	0,05 €	0,20 €
57	Brida basculante ZNCF-40	1	12,70 €	12,70 €
58	Cilindro neumático DNC-40/50-PPV-A	1	43,23 €	43,23 €
59	Tornillo hexagonal M8x110 DIN-933	4	0,40 €	1,60 €
60	Columnas de soporte	4	20,13 €	80,52 €
61	Taco empujador para accionamiento neumático	1	132,34 €	132,34 €
62	Guía de las columnas	2	17,24 €	34,48 €
63	Tornillo hexagonal M8x15 DIN-933	4	0,05 €	0,20 €
64	Placa de soporte del cilindro regulador y las columnas	1	74,51 €	74,51 €
65	Tornillo hexagonal M8x25 DIN-933	4	0,07 €	0,28 €
66	Tornillo hexagonal M5x10 DIN-933	2	0,05 €	0,10 €
67	Tornillo hexagonal M10x40 DIN-933	4	0,09 €	0,36 €
68	Latiguillo con <i>Clamps</i> DN-20 a inyectores	4	21,14 €	84,56 €
69	Tubo de alimentación con <i>Clamps</i> DN-50	1	122,25 €	122,25 €
70	Tornillo Allen M8x60 DIN-912	4	0,14 €	0,56 €
			<b>TOTAL</b>	3.387,27 €
			<b>TOTAL CON IVA</b>	3.929,23 €



## Capítulo 20: Conclusiones

Se ha decidido estructurar este apartado de conclusiones en los siguientes puntos o aspectos:

- La primera de las conclusiones ha de ser que el objetivo del proyecto se ha cumplido. El diseño de la bomba es bastante satisfactorio, hasta tal punto, que se han montado ya varias bombas dosificadoras de distintas pistas. Se ha cumplido el requisito de abaratar el prototipo con creces y la funcionalidad o manera de trabajar es muy aceptable.

Una vez expuesta esta primera conclusión (casi obligatoria para el autor), se pasa a escribir conclusiones mucho menos generales acerca del proyecto.

- El estudio de la compatibilidad de materiales es más trascendente de lo que pueda pensarse, además de los problemas que pueden surgir en cuanto a la corrosión por incompatibilidad de aceros, por ejemplo; se han de añadir descuadres del presupuesto debido a piezas que se han fabricado en materiales mucho más caros que otros que podrían casar perfectamente; un ejemplo de ello sería la utilización de acero inoxidable 316L para el diseño de un mero soporte que podría ser fabricado en Aluminio perfectamente sin perder propiedades y realizando la misma función.
- Pese a todos los esfuerzos por diseñar una bomba *CIP* (*clean in place*), se puede decir que no se ha conseguido 100%, por lo que se ha facilitado el desmontaje de ciertas partes complicadas, como bien se explica en el apartado de montaje-desmontaje y limpieza *CIP*. La limpieza manual requerida de convierte en un factor clave para la duración de todos los elementos y el buen funcionamiento de la bomba dosificadora.
- Relacionada con la conclusión anterior; la energía neumática es una energía muy limpia, nadie lo niega, pero los productos-fluidos de dosificación son todo lo contrario (kétchup o mostaza son ejemplo de ello) por lo que se requiere un especial cuidado a la hora de alimentar la tolva o desmontar los pistones, pese a la bandeja de la parte inferior, teniendo cuidado se ahorrarán horas de limpieza de forma sencilla.
- Mucho énfasis e importancia se ha dado al guiado durante todo el proyecto, por lo que a modo de conclusión trataré de darle si es posible más trascendencia aun al guiado y montaje del mecanismo. El cuidado y la atención montándola nunca será excesivo.
- Puede resultar obvia e incluso tonta pero, es muy importante tener las medidas de seguridad siempre presentes; en especial la que habla de asegurarse de eliminar los restos de aire comprimido en los cilindros, ya que nos puede causar un susto bastante considerable.
- En definitiva, todas o casi todas las conclusiones que se han sacado del proyecto son positivas, ha sido una experiencia muy interesante. La correcta incursión en el mundo laboral e industrial es crucial para el desarrollo de un ingeniero, por todo ello se valora como muy positiva toda la experiencia conjunta.



## Capítulo 21: Trabajos futuros

En cuanto a trabajos futuros, el primer aspecto que se ha de mencionar es que uno de estos trabajos futuros se ha incluido en la bomba dosificadora de las fotografías, se trata de la tolva dosificadora, calefactable, con removedor y *CIP*.

- Calefactable: tiene una camisa alrededor del depósito por la que circula un líquido previamente calentado. Mediante convección se transmite el calor al elemento que se esté dosificando en ese momento, ya sea mostaza o crema.
- Con removedor: para asegurarse de que todo el fluido adquiere la misma temperatura, así como cumplir con la necesidad que tienen ciertos productos de estar en continuo movimiento debido a sus composiciones.
- *CIP: clean in place*, muy importante para ahorrar tiempos de trabajo (dinero), ayudar a tener un diseño reglado según normativas de higiene y mantener un aspecto visual al hilo de todo el conjunto de la bomba dosificadora.

Al hilo de la tolva explicada, un proyecto futuro sería el diseño de un sistema calefactor que dé soporte al sistema encargado de elevar la temperatura del líquido que circula por la camisa. Una resistencia, con el suficiente poder y un motor que haga las veces de “bomba de agua” serán los pilares de este mecanismo, sin olvidarse de un recipiente instalado en la bomba para albergar los restos o excedentes del fluido calefactor y, por supuesto, los tubos que realizarán las conexiones entre la bomba y la tolva.

Remodelaciones de la bomba en forma de trabajos futuros se podrán encontrar en el apartado de dosificación de la misma, un ejemplo de ello es la tolva explicada en el párrafo anterior. Otro sería el tubo de alimentación, explicado en el apartado de morfología de la bomba.

La bomba ha sido diseñada con el accionamiento neumático, pero se ha explicado cómo se montaría en caso de ser este accionamiento servomotor. La idea de montarla con éste último se desbancó debido al precio, entre otras causas; pero el diseño de la bomba con servomotor queda pendiente en este apartado. Los planos han sido dibujados, por lo que se puede decir que se está a la espera de orden y permiso para poder fabricarla y realizar las pruebas pertinentes.

Dejando a un lado el mecanismo de dosificación de la misma, se plantea el proyecto de diseño de un modelo de cinta transportadora compatible con varias máquinas envasadoras; o, dicho de otra forma, implementación y mejora de las ya existentes; tomando como premisa más importante la reducción del precio total sin perder ni un solo ápice de eficiencia en su trabajo.

Por último, otro proyecto planteado y necesario para la optimización de las máquinas envasadoras es la reforma completa de las protecciones, tanto materiales como diseño; tratando de facilitar el acceso a ciertas zonas de soldadura o cizalla, salvaguardar la seguridad del empleado, abaratar precios y cumplir con el requisito estético impuesto por la empresa, o, en ocasiones, por el propio cliente.



## Capítulo 22: Bibliografía

- “Iniciación a la neumática” de Bigard, M.
- “Aire comprimido” de Carnicer Royo, Enrique.
- “Introducción a la neumática” de Guillén Salvador, Antonio.
- “Protección anticorrosiva, fabricación, montaje” de Ensidesa.
- “Materiales compuestos de matriz acero inoxidable austenítico reforzado con intermetálicos: comportamiento mecánico, a corrosión y desgaste” de Moreira Lima, Walter.
- “Ensayos mecánicos y su aplicación a la soldadura” de Moral Martínez, Fernando.
- “Características del arco de soldadura TIG en diferentes atmósferas. I parte” de Márques, P. V.
- “Bases para el análisis de ciclo de vida de los sistemas de limpieza in situ en plantas de la industria láctea” de Gutiérrez Lavín, Antonio.
- “Tecnología mecánica y metrotecnia” de Lasheras Esteban, José María.
- “Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial” de Carmona Benjumea, Antonio.

### 22.1 Recursos electrónicos

- [http://www.edelflex.com/products\\_es.shtml](http://www.edelflex.com/products_es.shtml) (Diseño industrial) (21/04/2011).
- <http://www.hrs-spiratube.com/es/> (Diseño industrial) (21/04/2011).
- <http://www.3-a.org/> (Normativa) (01/07/2011).
- <http://www.ehedg.org/> (Normativa) (01/07/2011).
- <http://www.fda.gov/> (Normativa) (01/07/2011).
- <http://www.iso.org/iso/home.html> (Normativa) (01/07/2011).
- <http://www.inoxidable.com/corrosion.htm> (Compatibilidad de materiales) (17/04/2011).
- <http://galeon.com/lacteosunicauca/practicaslacteos/> (Limpieza) (22/06/2011).
- [http://www.festo.com/cms/es\\_es/index.htm](http://www.festo.com/cms/es_es/index.htm) (Neumática) (02/05/2011).
- <http://www.sapiensman.com/neumatica> (Neumática) (02/05/2011).
- <http://www.swagelok.com/> (Diseño industrial) (28/04/2011).
- <http://www.cientificosaficionados.com> (Consultas varias diseño industrial) (02/04/2011).
- <http://www.lincolnelectric.com.ve/lincolnelectric/productos.php> (Soldadura) (29/05/2011).
- <http://www.wikipedia.org> (Consultas varias diseño industrial) (02/04/2011).
- <http://www.elesa-ganter-iberica.com/> (Diseño industrial) (26/04/2011).
- <http://www.electronicaindustrial.cl/> (Diseño industrial) (26/04/2011).
- <http://www.omastecnosistemi.it/english.aspx> (Bombas) (05/04/2011).
- <http://www.irmaco.com/> (Diseño industrial) (21/04/2011).
- <http://www.proindexsa.com/productos/> (Bombas) (18/04/2011)
- [http://www.famiq.com.ar/catalogo\\_subfamilia.php?cat=20&fam=081](http://www.famiq.com.ar/catalogo_subfamilia.php?cat=20&fam=081) (Aceros inoxidables y válvulas) (16/04/2011).
- <http://gemu.thomasnet.com/category/sanitary-diaphragm-valves?> (Válvulas) (25/06/2011).



- <http://www.lidering.com/catalogo.html> (Juntas) (21/04/2011).



*“Diseño de una bomba dosificadora”.*