FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

LUIS M. APARICIO SÁNCHEZ
ALEJANDRO JUÁREZ SÁNCHEZ
MASOUMEH HONARKAR ASHNA
MANEL NÁJERA ROCABAYERA
EDUARD MARTÍ CARDONER
DAVID A. SARRIA VALDIVIA

TUTOR : JOSEP A. TORÀ SUAREZ

JUNIO 2026

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPÍTULO 4: TUBERÍAS, VÁLVULAS Y BOMBAS

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

Tabla de Contenido

Capítulo 4. Tuberías, válvulas y bombas. 1
4.1. Introducción 1
4.2. Tuberías 1
4.2.1. Nomenclatura 1
4.2.2. Material de construcción 2
4.2.3. Aislamiento térmico 4
4.2.4. Presión y temperatura de diseño 5
4.2.5. Listado de tuberías 6
4.3. Válvulas 22
4.3.1. Tipos de válvulas 22
4.3.2. Unión de las válvulas con las tuberías 25
4.3.3. Nomenclatura de válvulas 25
4.3.4. Listado de válvulas 27
4.4. Bombas 34
4.4.1. Selección de bombas 34
4.4.2. NPSH disponible 36
4.4.3. Potencia de bomba 37
4.4.4. Nomenclatura 37
4.4.5. Listado de bombas 38
4.4.6 Fichas técnicas 41
4.5. Accesorios 46
4.5.1. Codos y Tes 46
4.5.2. Reducciones y expansiones 47
4.5.3. Compensadores de dilatación y contracción 47
4.5.4. Discos de ruptura 48
4.5.5. Purgadores 49
4.6 Compresores 49
4.6.1 Criterios de selección 49
4.6.2 Fichas técnicas 51
4.6.3. Listado de compresores 52
4.7 Bibliografía 53

Capítulo 4. Tuberías, válvulas y bombas.

4.1. Introducción

El objetivo de este apartado es describir detalladamente las tuberías, bombas y accesorios que forman parte de la planta Formics. De esta forma, se podrá especificar más al detalle la circulación de los fluidos que recorren la planta.

Este bloque se inicia con el estudio de las conducciones, responsables de conectar todo el proceso. Para cada línea se determinarán sus parámetros críticos, como por ejemplo el diámetro nominal, la selección de materiales y el aislamiento térmico, posteriormente se llevará a cabo un listado de todas estas tuberías. A continuación, se especificarán las válvulas utilizadas en el proceso, además de cómo se unen estas a las tuberías para poder llevar a cabo un correcto funcionamiento del sistema. El siguiente punto se centrará en la maquinaria de impulsión de líquidos (bombas), donde se definirán sus principios de trabajo, caudales de diseño y potencias requeridas. Para concluir el apartado, se describirán accesorios y posteriormente compresores.

4.2. Tuberías

Con el objetivo de garantizar la viabilidad técnica y constructiva de la instalación, el dimensionamiento geométrico y el cálculo del espesor real de pared de los conductos se han fundamentado en los estándares internacionales ASME B36.10 y ASME B36.19 [9]. El empleo de estas normativas de referencia permite unificar los criterios de diámetros nominales y *schedules* (cédulas) comerciales, asegurando que el sistema no solo responda a los requerimientos hidráulicos, sino también a los criterios de estandarización industrial.

4.2.1. Nomenclatura

Para las tuberías se ha establecido una nomenclatura concreta, con el objetivo de que puedan reconocerse entre ellas, además de también poder reconocer ciertos parámetros clave de forma más sencilla. Estos parámetros son el fluido que pasa por la tubería, los equipos o aparatos que conecta y el material del que está compuesta.
Así pues, la nomenclatura se representa de la siguiente manera:

$$A - B - C - D$$

La primera parte del código (A) describe la tubería mediante el diámetro nominal.
El segundo bloque de la nomenclatura (B) hace referencia al tipo de fluido que circula por la línea. Como puede tratarse de una sola sustancia, o una combinación de estas, se ha optado por recoger todas las posibles opciones en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.1.1 Nomenclatura de las sustancias y mezclas dentro de las tuberías de proceso

Compuesto	Nomenclatura	Mezcla	Nomenclatura
Metanol	C1	C1+C4+C5	M01
H2O	C2	C1+C2+C3+C4+C5	M02
Formaldehido	C3	C3+C2+C4	M03
Nitrógeno	C4	C1+C2+C4+C5	M04
Oxígeno	C5	C3+C2+C1	M05
Aceite térmico	C6	C3+C2+C1+C4	M06
-	-	C3+C2	M07
-	-	C1+C4	M08
-	-	C4+C5	M09

La tercera parte del código (C) representa el material del cual está formado la tubería. Los materiales que se han utilizado junto a sus correspondientes nomenclaturas se encuentran representados en la tabla 4.2.2.1, en el siguiente apartado 4.2.2.
Por último, la última parte del código (D) hará referencia al área de la planta en la cual se encuentra dicha tubería.

4.2.2. Material de construcción

La elección de los materiales de construcción se hace según el reactivo que circula por las tuberías y sus propiedades fisicoquímicas. Esta selección garantiza la seguridad, durabilidad y eficiencia del sistema de conducción de fluidos. A continuación, se presentan los materiales seleccionados junto a una pequeña descripción.

- **Acero AISI 304L:** Este material constituye una variante de bajo contenido en carbono del tradicional acero inoxidable 304. Dicha modificación química le confiere propiedades mecánicas y metalúrgicas sumamente ventajosas para el ámbito industrial. Entre sus ventajas principales destaca una gran resistencia ante la corrosión, mostrando un comportamiento excelente tanto en ambientes de carácter reductor como oxidante. Esta inercia química amplía notablemente su espectro de utilización en la industria de procesos. Asimismo, posee una notable estabilidad frente a la oxidación en regímenes térmicos elevados y mantiene una respuesta mecánica óptima bajo temperaturas moderadas. Cabe añadir que es una aleación que ofrece una excelente soldabilidad y minimiza el riesgo de corrosión por picaduras o rendijas.

- **Acero AISI 316L:** Por su parte, el acero inoxidable AISI 316L comparte múltiples similitudes con el tipo 304L, perteneciendo ambos a la familia de las aleaciones austeníticas con composiciones base parecidas. No obstante, la diferencia fundamental radica en la adición de molibdeno en una proporción superior en el caso del AISI 316L, factor que incrementa sustancialmente su resistencia a la corrosión química y ambiental. Ambas variantes demuestran un gran desempeño ante la oxidación extrema, temperaturas de trabajo elevadas y corrosión atmosférica. Del mismo modo, coinciden en atributos operativos de gran valor como su facilidad de higienización, un acabado estético óptimo y una enorme versatilidad de aplicación en sectores como el farmacéutico, alimentario, petroquímico y civil. Consecuentemente, el AISI 316L se seleccionará específicamente en aquellos tramos de tuberías sometidos a altas temperaturas y fluidos con un elevado potencial de corrosión directa o inducida.

El acero inoxidable austenítico AISI 304L se ha seleccionado como el material estándar para la mayor parte de las líneas de servicios auxiliares, interconexiones generales y conducciones no críticas de la planta de procesos. Los factores técnicos que fundamentan esta decisión son la resistencia al ambiente marino y la optimización económica. Respecto al primero, debido a la ubicación de la planta química en una zona costera, las instalaciones están expuestas de forma continua a una atmósfera salina de alta agresividad corrosiva debido a los cloruros en suspensión, de esta forma el AISI 304L proporciona la inercia química indispensable frente a la corrosión atmosférica costera. En cuanto al segundo factor, el AISI 304L ofrece una excelente relación costo-beneficio, permitiendo extender la durabilidad física de la red de tuberías de servicios (como agua de refrigeración, aire comprimido o condensados) sin incurrir en los elevados costes de adquisición de aleaciones de mayor grado.

A diferencia de las líneas generales de la planta, las unidades que integran directamente el proceso Formox exigen unas condiciones metalúrgicas mucho más severas, requiriendo el uso exclusivo de acero inoxidable AISI 316L en contacto directo con las corrientes de proceso, que pueden presentar un carácter altamente corrosivo atacando severamente a los aceros inoxidables estándar. Este también se utiliza, por otro lado, debido a su resistencia a las altas temperaturas; la reacción de oxidación en el proceso Formox es fuertemente exotérmica, alcanzando temperaturas elevadas, de esta forma el AISI 316L es capaz de conservar sus propiedades mecánicas (límite elástico y resistencia a la tracción) en regímenes térmicos elevados.

En la tabla 4.2.2.1 se presentan los dos tipos de materiales utilizados junto a sus correspondientes nomenclaturas.

Tabla 4.2.2.1 Nomenclatura de los materiales de las tuberías

Material	Nomenclatura
AISI 304L	A0L
AISI 316L	A1L

4.2.3. Aislamiento térmico

Instalar un aislamiento térmico exterior en las tuberías es un factor clave para el correcto funcionamiento de la planta de producción. Su función principal es reducir al mínimo las pérdidas de energía, asegurando que los fluidos mantengan una temperatura estable y constante a lo largo de todo su recorrido. Además de optimizar la eficiencia energética global del sistema, este recubrimiento actúa como un elemento de seguridad industrial indispensable, ya que protege a los operarios de la planta frente a posibles accidentes o quemaduras al evitar el contacto directo con superficies a temperaturas extremas.

Siguiendo los estándares establecidos del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [1], es de obligado cumplimiento aislar todas aquellas conducciones que transporten fluidos a temperaturas superiores a los 40 °C - 45 °C o por debajo de la temperatura ambiente (inferiores a 10 °C). Por lo tanto, en el diseño de la planta se ha incorporado este revestimiento protector en todas las líneas de proceso que operen dentro de estos límites térmicos.

Para homogeneizar el diseño de la planta, se ha seleccionado la lana de roca como el material aislante definitivo, utilizándose tanto en las tuberías de alta temperatura como en las líneas frías. Se trata de un aislante mineral compuesto por fibras entrelazadas de origen volcánico. Esta estructura interna tiene la capacidad de atrapar el aire, lo que frena de manera muy eficaz la transferencia de calor y le otorga una excelente resistencia térmica. El grosor del aislamiento se ha determinado de acuerdo con las tablas del RITE, que establecen los espesores mínimos requeridos en función del diámetro exterior de la tubería y la temperatura del fluido, para sistemas con funcionamiento continuo. Esta información queda recogida en la Tabla X, donde se muestran las condiciones mínimas de aislamiento a aplicar.

Tabla 4.2.3.1. Espesores mínimos de asilamiento de tuberías que transportan fluidos

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40…60	> 60…100	> 100…180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Aun así, cabe recalcar que el formato comercial del producto debe adaptarse a las dimensiones físicas de las tuberías. Según la *Guía Isover* en los tramos de diámetro pequeño y mediano se utilizan coquillas rígidas preformadas. Sin embargo, la planta cuenta con colectores y conducciones principales cuyo tamaño supera el límite máximo de fabricación de estas coquillas rígidas estándar, el cual está fijado en un diámetro de 273 mm.

Para todos aquellos tramos singulares donde el diámetro exterior es mayor a 273 mm, se ha optado por sustituir las coquillas por manta armada. Es importante destacar que el material aislante sigue siendo exactamente el mismo (lana de roca), manteniendo intactas sus propiedades de aislamiento y resistencia térmica. El único cambio radica en la presentación física del producto para hacer viable su montaje en grandes superficies.

4.2.4. Presión y temperatura de diseño

Como en muchas zonas de la planta se trabaja con presiones más altas que la del aire ambiente (atmosférica), es fundamental calcular bien cuánta presión van a soportar las tuberías para que todo funcione sin problemas.

La guía más habitual para decidir esta presión en las tuberías que llevan líquidos es la norma ASME B31.3. Según esta regla, cada pieza o componente de la tubería debe ser capaz de aguantar, como mínimo, la presión más extrema (ya sea el pico más alto o el más bajo) que se pueda llegar a dar mientras la planta esté en marcha. Por eso, lo más seguro es preparar los tubos para que soporten más presión de la que tendrán en su día a día. Para contar con un buen colchón de seguridad, en Formics se ha decidido que las tuberías se diseñen para aguantar un 20% más de su presión normal de trabajo.

Además, esta misma norma aconseja instalar válvulas de escape (o venteo). Esto se hace porque, aunque las tuberías ya estén reforzadas con ese margen extra, se quiere evitar que la presión suba de golpe si el líquido de dentro se calienta y se convierte en vapor. Por último, también es una gran idea colocar válvulas de vaciado (o purga), ya que así se evita que se quede líquido atrapado dentro de los tubos cuando haya que hacer revisiones o tareas de mantenimiento.

Siguiendo con la norma ASME B31.3, también existen pautas para fijar la temperatura de diseño. Según esta regla, esta temperatura es clave porque indica el punto en el que las tuberías y sus piezas necesitan ser más gruesas para soportar la presión de forma segura.

Para calcularla, se debe tener en cuenta, como mínimo, la temperatura del propio líquido, la del ambiente y el calor del sol.

En los tramos de tubería que no llevan aislamiento por fuera y donde el líquido va a menos de 65 °C, se toma como temperatura de diseño la misma que la del fluido, a menos que el sol o el clima la eleven todavía más. Por el contrario, si el líquido circula a más de 65 °C, la tubería se debe preparar para soportar, por lo menos, el 95% de esa temperatura. Por último, cuando los tubos sí llevan aislamiento exterior, la temperatura de diseño tiene que ser igual a la del líquido. Teniendo esto en cuenta, en Formics se ha decidido que para cualquier tubería aislada de la planta que trabaje entre 10 y 65 °C, la temperatura de diseño será exactamente la misma que la del fluido.

4.2.5. Listado de tuberías

A continuación, se realiza el listado de tuberías diseñadas para las distintas áreas de la planta Formics. En las tablas se detallan características como:

- Diámetro nominal de la tubería.
- Espesor de la tubería.
- Material de la tubería.
- Fluido que circula y su estado.
- Velocidad del fluido en metros por segundo.
- Longitud aproximada basada en el P&ID de la planta.
- Equipos donde inicia y termina el tramo.
- Presión y temperatura de diseño.
- Material de aislamiento y su espesor.

FORMICS	Hoja 1 de 3							LISTADO DE TUBERÍAS						
	Área planta			A-100 (materias primas)				Fecha		07/06/2026				
								Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
25-C4-A0L-101	N2 tanque 1	C4	Gas	Divisor caudal	Tanque met 1	A0L	25	3,38	12	15	25	1,2	-	-
25-C4-A0L-102	N2 tanque 2	C4	Gas	Divisor caudal	Tanque 2	A0L	25	3,38	12	15	25	1,2	-	-
25-C4-A0L-103	N2 tanque 3	C4	Gas	Divisor caudal	Tanque met 3	A0L	25	3,38	12	15	25	1,2	-	-
25-C4-A0L-104	N2 tanque 4	C4	Gas	Divisor caudal	Tanque met 4	A0L	25	3,38	12	15	25	1,2	-	-
40-M08-A1L-105	liber pres T1	M08	Gas	Tanque met 1	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	10	25	1,2	-	-
40-M08-A1L-106	liber pres T2	M08	Gas	Tanque met 2	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	10	25	1,2	-	-
40-M08-A1L-107	liber pres T3	M08	Gas	Tanque metanol 3	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	10	25	1,2	-	-
40-M08-A1L-108	liber pres T4	M08	Gas	Tanque metanol 4	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	10	25	1,2	-	-
40-C1-A1L-109	Tanq met tot	C1	Líquido	Unión caudal	Divisor caudal	A1L	40	3,68	4	1,37	25	1,44	-	-
32-C1-A1L-110	tanq met 1 y 2 abajo	C1	Líquido	Unión caudal	Divisor caudal	A1L	32	3,56	8	0,94	25	1,44	-	-
32-C1-A1L-111	tanq met 3 y 4 abajo	C1	Líquido	Unión caudal	Divisor caudal	A1L	32	3,56	8	0,94	25	1,44	-	-

FORMICS	Hoja 2 de 3				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-100 (materias primas)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
20-C1-A1L-112	Tanq met bypass	C1	Líquido	Unión caudal	Divisor caudal	A1L	20	2,87	10	1,05	25	1,68	-	-
32-C1-A1L-113	Tanq met a E	C1	Líquido	Unión caudal	Divisor caudal	A1L	32	3,56	10	1,50	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-114	Tanq met 1	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 1	A1L	20	2,87	4	1,31	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-115	Tanq met 2	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 2	A1L	20	2,87	4	1,31	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-116	Tanq met 3	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 3	A1L	20	2,87	4	1,31	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-117	Tanq met 4	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 4	A1L	20	2,87	4	1,31	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-118	Tanq met 1 sup	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 1	A1L	20	2,87	6	1,31	25	1,44	-	-
20-C1-A1L-119	Tanq met 2 sup	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 2	A1L	20	2,87	6	1,31	25	1,44	-	-
20-C1-A1L-120	Tanq met 3 sup	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 3	A1L	20	2,87	6	1,31	25	1,44	-	-
20-C1-A1L-121	Tanq met 4 sup	C1	Líquido	Divisor de caudal	Tanque met 4	A1L	20	2,87	6	1,31	25	1,44	-	-
25-C1-A1L-122	Tanq met bypass1	C1	Líquido	Divisor de caudal	P-101	A1L	25	3,38	5	0,32	25	1,68	-	-

FORMICS	Hoja 3 de 3			LISTADO DE TUBERÍAS									
	Área planta			A-100 (materias primas)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
25-C1-A1L-123	Tanq met bypass2	C1	Líquido	Divisor de caudal	P-102	A1L	25	3,38	5	0,32	25	1,68	-	-
40-C1-A1L-124	Tanq met E-1	C1	Líquido	Divisor de caudal	P-103	A1L	40	3,68	5	0,55	25	1,68	-	-
40-C1-A1L-125	Tanq met E-2	C1	Líquido	Divisor de caudal	P-104	A1L	40	3,68	5	0,55	25	1,68	-	-
20-C1-A1L-126	bypass imp1	C1	Líquido	P-101	Unión caudal	A1L	20	2,87	100	0,52	25	5,92	-	-
20-C1-A1L-127	bypass imp2	C1	Líquido	P-102	Unión caudal	A1L	20	2,87	100	0,52	25	5,92	-	-
32-C1-A1L-128	E imp1	C1	Líquido	P-103	Unión caudal	A1L	32	3,56	22	0,75	25	2,61	-	-
32-C1-A1L-129	E imp2	C1	Líquido	P-104	Unión caudal	A1L	32	3,56	22	0,75	25	2,61	-	-
32-C1-A1L-130	tanq met 1 y 2 arriba	C1	Líquido	camiones	división caudal	A1L	32	3,56	15	0,94	25	1,44	-	-
32-C1-A1L-131	tanq met 3 y 4 arriba	C1	Líquido	camiones	división caudal	A1L	32	3,56	15	0,94	25	1,44	-	-

Tabla 4.2.5.1. Listado de tuberías para el área 100.

FORMICS	Hoja 1 de 6						LISTADO DE TUBERÍAS						
	Área planta			A-200 (zona de reacción)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
750-M09-A0L-201	aire amb	M09	gas	Colector	División caudal	A0L	750	7,92	10	35,45	25	1,20	-	-
750-M09-A0L-202	aire amb 1	M09	gas	División caudal	CO-201	A0L	750	7,92	5	17,73	25	1,20	-	-
750-M09-A0L-203	aire amb 2	M09	gas	División caudal	CO-202	A0L	750	7,92	5	17,73	25	1,20	-	-
750-M09-A0L-204	aire comp 1	M09	gas	CO-201	Unión caudal	A0L	750	7,92	5	6,75	140,3	2,96	lana de roca	50
750-M09-A0L-205	aire comp 2	M09	gas	CO-202	Unión caudal	A0L	750	7,92	5	6,75	140,3	2,96	lana de roca	50
750-M09-A0L-206	aire comp	M09	gas	Unión caudal	Unión caudal	A0L	750	7,92	10	19,92	140,3	2,96	lana de roca	50
40-C1-A1L-207	metanol cold	C1	líquido	Unión caudal	E-201	A1L	40	3,68	8	1,37	25	2,61	-	-
800-M02-A1L-208	salida reactores	M02	gas	Unión caudal	División caudal	A1L	800	12,7	25	35,95	247,4	2,16	lana de roca	50
400-M02-A1L-209	salida reactores byP	M02	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	400	4,78	8	28,30	247,4	2,16	lana de roca	50
750-M02-A1L-210	salida reactores 1	M02	gas	División caudal	E-201	A1L	750	7,92	5	32,02	247,4	2,16	lana de roca	50
750-M02-A1L-211	salida reactores 2	M02	gas	E-201	Unión caudal	A1L	750	7,92	5	32,02	247,4	2,16	lana de roca	50

FORMICS	Hoja 2 de 6						LISTADO DE TUBERÍAS						
	Área planta			A-200 (zona de reacción)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
80-C1-A1L-212	metanol hot byp	C1	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	80	5,49	5	34,35	210,1	2,58	lana de roca	40
200-C1-A1L-213	metanol hot 1	C1	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	200	8,18	8	20,30	210,1	2,58	lana de roca	50
200-C1-A1L-214	metanol hot	C1	gas	Unión caudal	Unión con aire comp	A1L	200	8,18	10	25,37	210,1	2,58	lana de roca	50
750-M01-A1L-215	entr reactores cold	M01	gas	Unión con aire comp	E-202	A1L	750	7,92	6	24,97	148,2	2,58	lana de roca	50
50-C2-A0L-216	vap a presión	C2	gas	Unión caudal	E-202	A0L	50	3,91	8	29,55	257,4	53,29	lana de roca	40
25-C2-A0L-217	vap a presión byp	C2	gas	División caudal	Unión caudal	A0L	25	3,38	3	22,94	257,4	53,29	lana de roca	30
50-C2-A0L-218	vap a presión 1	C2	gas	División caudal	Unión caudal	A0L	50	3,91	5	23,64	257,4	53,29	lana de roca	40
32-C2-A0L-219	condensado	C2	líquido	E-202	E-200	A0L	32	3,56	15	1,56	257,4	53,29	lana de roca	30
350-M01-A1L-220	entr react hot byp	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	350	4,78	4	30,46	241,8	2,40	lana de roca	50
750-M01-A1L-221	entr react hot 1	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	750	7,92	6	26,21	241,8	2,40	lana de roca	50
750-M01-A1L-222	entr react hot	M01	gas	E-202	División caudal	A1L	750	7,92	6	32,76	241,8	2,40	lana de roca	50

FORMICS	Hoja 3 de 6				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-200 (zona de reacción)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
750-M01-A1L-223	unión entr R	M01	gas	Unión caudal	División caudal	A1L	750	7,92	20	32,76	241,8	2,40	lana de roca	50
550-M01-A1L-224	entr react 1	M01	gas	División caudal	División caudal	A1L	550	5,54	5	30,38	241,8	2,40	lana de roca	50
550-M01-A1L-225	entr react 2	M01	gas	División caudal	División caudal	A1L	550	5,54	5	30,38	241,8	2,40	lana de roca	50
450-M01-A1L-226	entr react 1-2	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	450	4,78	3	36,44	241,8	2,40	lana de roca	50
250-M01-A1L-227	entr react 1 byp	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	250	9,27	2	28,15	241,8	2,40	lana de roca	50
450-M01-A1L-228	entr react 2-2	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	450	4,78	3	36,44	241,8	2,40	lana de roca	50
250-M01-A1L-229	entr react 2 byp	M01	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	250	9,27	2	28,15	241,8	2,40	lana de roca	50
450-C6-A0L-230	aceite térm out	C6	líquido	E-203	División caudal	A0L	450	4,78	15	1,10	216,8	1,30	lana de roca	50
300-C6-A0L-231	aceite térm in R1	C6	líquido	P-201	R-201	A0L	300	9,53	20	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50
300-C6-A0L-232	aceite térm in R2	C6	líquido	P-202	R-202	A0L	300	9,53	20	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50
400-C6-A0L-233	aceite térm out	C6	líquido	Union caudal	E-203	A0L	400	4,78	17	1,41	241	4,20	lana de roca	50

FORMICS	Hoja 4 de 6				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-200 (zona de reacción)			Fecha	07/06/2026					
							Revisión	VFinal					
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
300-C6-A0L-234	aceite térm out R1	C6	líquido	R-201	Union caudal	A0L	300	9,53	4	1,10	241	4,20	lana de roca	50
300-C6-A0L-235	aceite térm out R2	C6	líquido	R-202	Union caudal	A0L	300	9,53	4	1,10	241	4,20	lana de roca	50
600-M02-A1L-236	salida react 1	M02	gas	R-201	División caudal	A1L	600	6,35	3	31,23	247,4	2,16	lana de roca	50
500-M02-A1L-237	salida react 1-2	M02	gas	División caudal	Union caudal	A1L	500	5,54	8	36,10	247,4	2,16	lana de roca	50
250-M02-A1L-238	salida react 1 byp	M02	gas	División caudal	Union caudal	A1L	250	9,27	5	34,39	247,4	2,16	lana de roca	50
600-M02-A1L-239	salida react 2	M02	gas	R-202	División caudal	A1L	600	6,35	3	31,23	247,4	2,16	lana de roca	50
500-M02-A1L-240	salida react 2-2	M02	gas	División caudal	Union caudal	A1L	500	5,54	8	36,10	247,4	2,16	lana de roca	50
250-M02-A1L-241	salida react 2 byp	M02	gas	División caudal	Union caudal	A1L	250	9,27	5	34,39	247,4	2,16	lana de roca	50
40-C4-A0L-242	nitrogeno R1	C4	gas	División caudal	R-201	A0L	40	3,68	25	15,00	25	2,96	-	-
40-C4-A0L-243	nitrogeno R2	C4	gas	División caudal	R-202	A0L	40	3,68	25	15,00	25	2,96	-	-
50-M02-A1L-244	lib de pres R1	M02	gas	R-201	Tubo colector (trat biol)	A1L	50	3,91	5	35,00	247,4	2,16	-	-

FORMICS	Hoja 5 de 6				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-200 (zona de reacción)			Fecha	07/06/2026					
							Revisión	VFinal					
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
50-M02-A1L-245	lib de pres R2	M02	gas	R-202	Tubo colector (trat biol)	A1L	50	3,91	5	35,00	247,4	2,16	-	-
400-C6-A0L-246	ac term in R1 asp	C6	líquido	División caudal	División caudal	A0L	400	4,78	2	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
400-C6-A0L-247	ac term in R2 asp	C6	líquido	División caudal	División caudal	A0L	400	4,78	2	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
65-C2-A0L-248	agua proceso 1	C2	líquido	Colector	P-203	A0L	65	5,16	3	1,1353	25	1,2	-	-
40-C2-A0L-249	agua proceso 2	C2	líquido	P-203	División caudal	A0L	40	3,68	20	1,2011	25	3	-	-
65-C2-A0L-250	agua proceso 1-2	C2	líquido	Colector	P-203	A0L	65	5,16	3	1,1353	25	1,2	-	-
40-C2-A0L-251	agua proceso 2-2	C2	líquido	P-203	División caudal	A0L	40	3,68	20	1,2011	25	3	-	-
400-C6-A0L-252	ac term in R1 asp-1	C6	líquido	División caudal	P-201	A0L	400	4,78	3	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
300-C6-A0L-253	ac term in R1 imp-1	C6	líquido	P-201	Union caudal	A0L	300	9,53	8	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50
400-C6-A0L-254	ac term in R1 asp-2	C6	líquido	División caudal	P-202	A0L	400	4,78	3	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
300-C6-A0L-255	ac term in R1 imp-2	C6	líquido	P-202	Union caudal	A0L	300	9,53	4	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50

FORMICS	Hoja 6 de 6							LISTADO DE TUBERÍAS					
	Área planta			A-200 (zona de reacción)				Fecha		07/06/2026			
								Revisión		VFinal			
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
400-C6-A0L-256	ac term in R2 asp-1	C6	líquido	División caudal	P-203	A0L	400	4,78	3	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
300-C6-A0L-257	ac term in R2 imp-1	C6	líquido	P-203	Union caudal	A0L	300	9,53	4	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50
400-C6-A0L-258	ac term in R2 asp-2	C6	líquido	División caudal	P-204	A0L	400	4,78	3	0,65	216,8	1,30	lana de roca	50
300-C6-A0L-259	ac term in R2 imp-2	C6	líquido	P-204	Union caudal	A0L	300	9,53	4	1,07	216,8	4,20	lana de roca	50

Tabla 4.2.5.2. Listado de tuberías para el área 200.

FORMICS	Hoja 1 de 3				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-300 (zona absorción y tratamiento de gases)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
750-M02-A1L-301	Pre Abs	M02	gas	E-201	AC-301	A1L	750	7,92	26	36,32	156,30	1,83	lana de roca	50
750-M02-A1L-302	Pre Abs 2	M02	gas	AC-301	División caudal	A1L	750	7,92	5	30,64	66,00	1,96	lana de roca	40
750-M02-A1L-303	Pre Abs2 union	M02	gas	Unión caudal	CA-301	A1L	750	7,92	28	36,32	66,00	1,96	lana de roca	40
300-M02-A1L-304	Pre abs 2 byp	M02	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	300	4,57	6	34,43	66,00	1,96	lana de roca	40
750-M02-A1L-305	Preabs 2-1	M02	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	750	7,92	8	24,51	66,00	1,96	lana de roca	40
65-M07-A1L-306	Formol	M07	líquido	CA-301	División caudal	A1L	65	3,91	2	0,58	56,13	1,90	lana de roca	30
65-M07-A1L-307	Formol 1	M07	líquido	División caudal	P-301	A1L	65	3,91	2	0,58	56,13	1,90	lana de roca	30
65-M07-A1L-308	Formol 2	M07	líquido	División caudal	P-302	A1L	65	3,91	2	0,58	56,13	1,90	lana de roca	30
40-M07-A1L-309	Formol 1 imp	M07	líquido	P-301	Unión caudal	A1L	40	3,68	15	0,68	56,13	2,74	lana de roca	30
40-M07-A1L-310	Formol 2 imp	M07	líquido	P-302	Unión caudal	A1L	40	3,68	15	0,68	56,13	2,74	lana de roca	30
25-C2-A0L-311	Agua abs	C2	líquido	División caudal	CA-301	A0L	25	3,38	32	1,48	25,00	1,20	-	-

	Hoja 2 de 3				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-300 (zona absorción y tratamiento de gases)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
40-C4-A0L-312	N2 CA	C4	gas	División caudal	CA-301	A0L	34	3,68	27	15,00	25,00	1,20	-	-
40-C4-A0L-313	N2 LG	C4	gas	División caudal	LG-301	A0L	32	3,68	32	15,00	25,00	1,20	-	-
50-M04-A1L-314	lib pres CA	M04	gas	CA-301	Tubo colector (trat biol)	A1L	50	3,91	5	28,00	52,02	1,78	-	-
50-M04-A1L-315	lib pres LG	M04	gas	LG-301	Tubo colector (trat biol)	A1L	50	3,91	5	28,00	52,02	1,78	-	-
750-M02-A1L-316	Gas out	M02	gas	CA-301	E-301	A1L	750	7,92	12	30,10	52,02	1,78	lana de roca	35
900-M02-A1L-317	Gas out-	M02	gas	E-301	División caudal	A1L	900	7,92	7	17,92	52,02	1,78	lana de roca	35
450-M02-A1L-318	Gas out-byp	M02	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	450	4,78	3	14,45	52,02	1,78	lana de roca	35
800-M02-A1L-319	Gas out- 2	M02	gas	División caudal	Unión caudal	A1L	800	9,53	4	18,36	52,02	1,78	lana de roca	35
20-C2-A0L-320	Agua scrub	C2	líquido	División caudal	LG-301	A0L	20	2,87	30	1,50	10,00	1,20	-	-

FORMICS	Hoja 3 de 3				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-300 (zona absorción y tratamiento de gases)			Fecha	07/06/2026					
							Revisión	VFinal					
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
1200-M04-A1L-321	Gas trat biol	M04	gas	LG-301	Tubo colector (trat biol)	A1L	1200	9,53	22	12,26	8,51	1,30	-	-
40-M07-A1L-322	Formol Scrub	M07	líquido	LG-301	Unión caudal	A1L	40	3,68	10	1,68	9,77	1,66	lana de roca	25
65-M07-A1L-323	Formol mix	M07	líquido	Unión caudal	Unión caudal	A1L	65	5,16	8	1,30	28,43	1,66	-	-
20-C1-A1L-324	metanol byp	C1	líquido	División caudal	Unión caudal	A1L	20	2,87	34	0,98	25,00	1,20	-	-
65-C2-A0L-325	agua a reut 1	C2	líquido	AC-302	P-303	A0L	65	5,16	3	1,3454	25	1,2	-	-
50-C2-A0L-326	agua a reut 2	C2	líquido	P-303	Colector	A0L	50	3,91	118	1,9192	25	1,74816	-	-
65-C2-A0L-327	agua a reut 1-1	C2	líquido	AC-302	P-303	A0L	65	5,16	3	1,3454	25	1,2	-	-
50-C2-A0L-328	agua a reut 2-2	C2	líquido	P-303	Colector	A0L	50	3,91	118	1,9192	25	1,74816	-	-

Tabla 4.2.5.3. Listado de tuberías para el área 300.

FORMICS	Hoja 1 de 3						LISTADO DE TUBERÍAS						
	Área planta			A-400 (producto acabado)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
25-C4-A0L-401	nitrógeno tanque 1	C4	gas	división caudal	Tanq 1	A0L	25	3,38	22	15,00	25	1,20	-	-
25-C4-A0L-402	nitrógeno tanque 2	C4	gas	división caudal	Tanq 2	A0L	25	3,38	22	15,00	25	1,20	-	-
25-C4-A0L-403	nitrógeno tanque 3	C4	gas	división caudal	Tanq 3	A0L	25	3,38	22	15,00	25	1,20	-	-
25-C4-A0L-404	nitrógeno tanque 4	C4	gas	división caudal	Tanq 4	A0L	25	3,38	22	15,00	25	1,20	-	-
40-M03-A1L-405	liberación de presión tanque 1	M03	gas	Tanq 1	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	15,00	25	1,20	-	-
40-M03-A1L-406	liberación de presión tanque 2	M03	gas	Tanq 2	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	21,00	25	1,20	-	-
40-M03-A1L-407	liberación de presión tanque 3	M03	gas	Tanq 3	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	21,00	25	1,20	-	-
40-M03-A1L-408	liberación de presión tanque 4	M03	gas	Tanq 4	Tubo colector (trat biol)	A1L	40	3,68	5	21,00	25	1,20	-	-
65-M07-A1L-409	Formol 37%	M07	líquido	Unión caudal	División caudal	A1L	65	5,16	25	1,46	25	1,27	-	-

FORMICS	Hoja 2 de 3						LISTADO DE TUBERÍAS						
	Área planta			A-400 (producto acabado)			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
32-M07-A1L-410	Formol 37% 1 arriba	M07	líquido	división caudal	Tanq 1	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,27	-	-
32-M07-A1L-411	Formol 37% 1 abajo	M07	líquido	Tanq 1	rama 1	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,92	-	-
32-M07-A1L-412	Formol 37% 2 arriba	M07	líquido	división caudal	Tanq 2	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,27	-	-
32-M07-A1L-413	Formol 37% 2 abajo	M07	líquido	Tanq 2	rama 1	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,92	-	-
32-M07-A1L-414	Formol 37% 3 arriba	M07	líquido	división caudal	Tanq 3	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,27	-	-
32-M07-A1L-415	Formol 37% 3 abajo	M07	líquido	Tanq 3	rama 2	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,92	-	-
32-M07-A1L-416	Formol 37% 4 arriba	M07	líquido	división caudal	Tanq 4	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,27	-	-
32-M07-A1L-417	Formol 37% 4 abajo	M07	líquido	Tanq 4	rama 2	A1L	32	3,56	4	1,16	25	1,92	-	-
65-M07-A1L-418	Formol 37% rama 1	M07	líquido	Unión caudal	P-401	A1L	65	5,16	4	0,73	25	1,92	-	-
65-M07-A1L-419	Formol 37% rama 2	M07	líquido	Unión caudal	P-402	A1L	65	5,16	4	0,73	25	1,92	-	-
50-M07-A1L-420	Formol 37% rama 1imp	M07	líquido	P-401	unión caudal	A1L	50	3,91	5	1,04	25	2,40	-	-

FORMICS	Hoja 3 de 3				LISTADO DE TUBERÍAS								
	Área planta			A-400 (producto acabado)	Fecha		07/06/2026						
					Revisión		VFinal						
Nomenclatura	**Nombre de corriente de proceso**	**Fluido**	**Estado**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**Material**	**DN**	**Espesor (mm)**	**Longitud (m)**	**Velocidad del fluido (m/s)**	**T diseño (ºC)**	**P diseño (atm)**	**Material aislamiento**	**Espesor aislamiento (mm)**
50-M07-A1L-421	Formol 37% rama 2imp	M07	líquido	P-402	unión caudal	A1L	50	3,91	5	1,04	25	2,40	-	-
65-M07-A1L-422	Formol 37% camiones	M07	líquido	unión caudal	camiones	A1L	65	5,16	22	1,46	25	2,40	-	-

Tabla 4.2.5.4. Listado de tuberías para el área 400.

4.3. Válvulas

La integración de un sistema de válvulas adecuado en la planta de producción es un elemento indispensable para garantizar la operatividad, la eficiencia y la seguridad global del proceso. Estos dispositivos mecánicos son fundamentales para el manejo y control del flujo de fluidos, permitiendo regular variables como la presión, el caudal y la dirección de la corriente.

A lo largo de las distintas etapas del proceso, las válvulas desempeñan roles específicos y estratégicos. Las válvulas de intercepción ubicadas en los límites gestionan la alimentación de materias primas y la evacuación de los productos finales. Asimismo, las válvulas de control automático son esenciales en los lazos de instrumentación para modular el caudal y la presión en puntos específicos del sistema.

Más allá del control de proceso, las válvulas son fundamentales para la seguridad de la instalación. Las válvulas de seguridad y alivio están específicamente dimensionadas para actuar de forma autónoma ante sobrepresiones o desviaciones anómalas. Estos equipos actúan como barreras de protección para prevenir accidentes, proteger la integridad mecánica de los reactores y recipientes, y asegurar la seguridad del personal de planta.

Por otro lado, se dispone de válvulas de bloqueo (aislamiento) distribuidas estratégicamente para seccionar equipos o líneas de proceso. Esta capacidad de corte total del flujo es un requisito de diseño imprescindible para permitir la ejecución de paradas de planta y labores de mantenimiento (preventivo o correctivo) en condiciones de total seguridad, evitando fugas y aislando el tramo de fluidos presurizados o peligrosos.

4.3.1. Tipos de válvulas

En función de los requerimientos operativos, de control y de seguridad descritos, el diseño de la planta incorpora diversos tipos de válvulas adaptadas a cada aplicación específica. A continuación, se detallan y clasifican las tipologías más relevantes implementadas en el sistema:

Tabla 4.2.2.1 Nomenclatura de los materiales de las válvulas

Nomenclatura	Tipo de válvula
VGC	Válvula de globo de control
VB	Válvula de bola
VA	Válvula de antirretorno
VBC	Válvula de bola de control

- Válvula de globo de control (VGC)

Estas válvulas se utilizan principalmente para regular y moderar el caudal del fluido de manera continua. Su diseño interno obliga al fluido a cambiar de dirección varias veces, lo que genera una pérdida de carga superior a otros tipos de válvulas. Están formadas por un obturador que se desplaza linealmente respecto a un anillo o asiento estacionario. La variación de la distancia entre el obturador y el asiento, gobernada por una señal de control, permite ajustar con gran precisión la sección de paso y, consecuentemente, la cantidad de flujo que atraviesa la válvula.

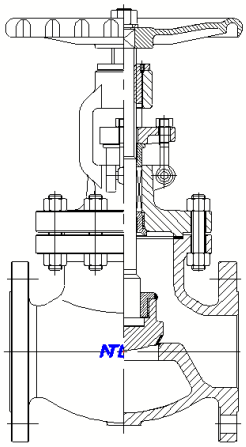

Figura 4.1 Esquema válvula de globo de control

- Válvula de bola (VB)

Este tipo de válvula se usa en aplicaciones de apertura o cierre rápido (On/Off). Su elemento de cierre es una esfera perforada que gira sobre su propio eje. Cuando el orificio se alinea con la dirección de la tubería, la válvula permite el paso completo del fluido ofreciendo una resistencia mínima. En cambio, con un simple giro de 90 grados (un cuarto de vuelta), el paso queda completamente perpendicular al flujo, bloqueándolo de forma inmediata y proporcionando un cierre hermético excelente.

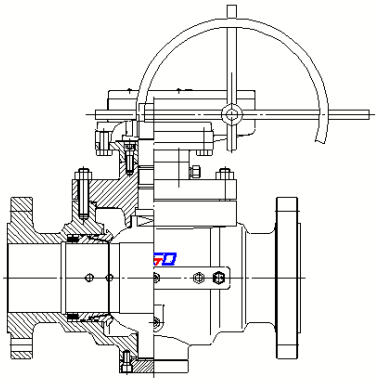

Figura 4.2 Esquema válvula de bola

- Válvula antirretorno (VA)

La función principal de esta válvula es garantizar que el fluido circule en una única dirección, evitando cualquier posible retroceso que pueda dañar equipos aguas arriba, como bombas o compresores. Su funcionamiento es totalmente automático y no requiere de ninguna señal de control externa; se abre gracias a la propia presión del fluido cuando este avanza en el sentido correcto. Si el flujo se detiene o intenta invertir su dirección, el mecanismo interno (que puede ser de disco, de charnela o de muelle) se cierra mecánicamente de forma autónoma para bloquear el paso.

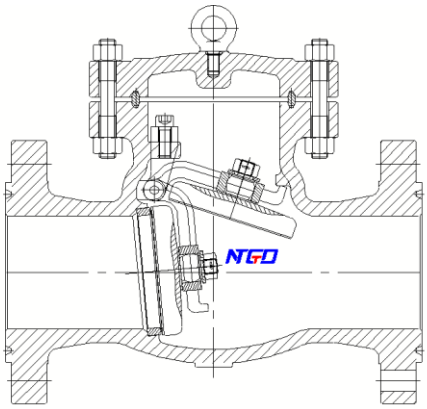

Figura 4.3 Esquema válvula antirretorno

- Válvula de bola de control (VBC)

Este equipo combina el diseño robusto de una válvula de bola con la capacidad de regulación continua de una válvula de control. A diferencia de las válvulas de bola convencionales (VB), la esfera de la válvula de control suele tener una apertura caracterizada (a menudo con un corte en forma de "V"). Cuando el actuador recibe la señal de control y hace girar parcialmente la esfera, esta geometría especial permite modificar la sección de paso de forma progresiva, ofreciendo un control de caudal muy preciso manteniendo a la vez una alta capacidad de flujo y una buena resistencia a fluidos con partículas.

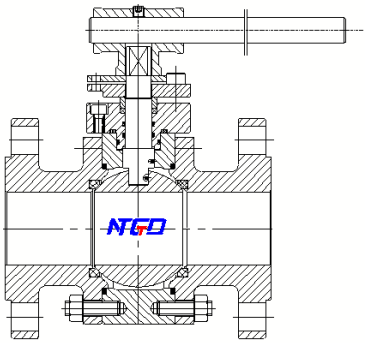

Figura 4.4 Esquema válvula de bola de control

4.3.2. Unión de las válvulas con las tuberías

Para la unión de las válvulas a las tuberías se ha optado por el uso de bridas. En la selección del tipo de brida se han tenido en cuenta las diferentes líneas de circulación de fluidos, dado que la mayor parte de estas operan con fluidos corrosivos, tóxicos o peligrosos sometidos a diversas condiciones de presión y temperatura. Por consiguiente, se han contemplado dos tipologías de bridas.

- En primer lugar, las bridas deslizantes (*slip-on*). Estas resultan óptimas y habituales en los circuitos por donde circula el agua de refrigeración. El motivo es que son capaces de soportar los rangos de presión requeridos sin generar una disrupción significativa en el flujo. Además de esto, precisan de una soldadura más sencilla, presentan una larga vida útil y resultan económicas, por lo que no representan un gasto excesivo para el proyecto.
- En segundo lugar, para el resto de la planta se emplearán bridas soldadas (tipo *welding neck* o de cuello para soldar). Estas tienen un coste superior, un mantenimiento más complejo y requieren una soldadura de mayor penetración que las anteriores. No obstante, son idóneas para las condiciones de circulación presentes en el núcleo de la planta, ya que soportan rangos elevados de presión y temperatura, además de ofrecer una prolongada vida útil con una probabilidad de fugas prácticamente nula.

Si bien este último tipo de bridas también podría utilizarse en el circuito de agua de refrigeración, su elevado coste y las dificultades de montaje que conllevan no justifican su instalación, especialmente si se tiene en cuenta el bajo nivel de riesgo operativo asociado al manejo del agua de refrigeración.

4.3.3. Nomenclatura de válvulas

La implantación de un sistema de nomenclatura normalizado es un requisito indispensable para garantizar la trazabilidad, la gestión eficiente y la comunicación

técnica dentro de cualquier instalación industrial. La definición de un código claro y bien definido para cada elemento permite identificar con precisión las especificaciones técnicas y la funcionalidad de cada válvula, lo que facilita tanto la fase de diseño y selección de equipos como las futuras tareas de mantenimiento. Asimismo, su uso minimiza el riesgo de errores operativos y asegura la coherencia en el control de los sistemas de fluidos.

Con el fin de sistematizar la identificación de todos los elementos instalados en la planta Formics Chemicals, se ha establecido la siguiente estructura de codificación para las válvulas:

A – B – C – D

La interpretación de cada componente del código es la siguiente:

- A (Diámetro nominal): Define el diámetro nominal de la válvula expresado en pulgadas (NPS), coincidente con el diámetro nominal de la línea de tubería en la que se encuentra instalada.

- B (Tipo de válvula): Especifica la tipología constructiva de la válvula. Para esta categorización, se han adoptado las abreviaturas técnicas detalladas en la Tabla 4.16.

- C (Tipo de brida): Indica el método de unión empleado para la conexión de la válvula a la línea. Según los criterios de diseño descritos en el apartado 4.2.2, se han seleccionado bridas deslizantes (*slip-on*) y bridas con cuello para soldar (*welding neck*), las cuales se identifican mediante las siglas BB y BC, respectivamente.

- D (Localización): Este último indicador especifica la ubicación precisa del equipo dentro de la planta. El código se compone de tres dígitos: el primero hace referencia al área o sección de la instalación, mientras que los dos dígitos restantes corresponden al número de identificación de la línea de tubería asociada. A modo de ejemplo, el código 901 haría referencia a una válvula ubicada en el área 900, concretamente en la primera línea de dicha sección.

4.3.4. Listado de válvulas

A continuación, realiza el listado de válvulas implementadas para las distintas áreas de la planta Formics. En las tablas se detallan características tales como: diámetro nominal de la válvula, nomenclatura, tipo de válvula y material de la válvula.

FORMICS	Hoja 1 de 1		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-100 (materias primas)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
25-VBC-BC-101	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-102	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-103	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-104	válvula de bola de control	25	A0L
40-VBC-BC-105	válvula de bola de control	40	A1L
40-VBC-BC-106	válvula de bola de control	40	A1L
40-VBC-BC-107	válvula de bola de control	40	A1L
40-VBC-BC-108	válvula de bola de control	40	A1L
20-VBC-BC-114	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-115	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-116	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-117	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-118	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-119	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-120	válvula de bola de control	20	A1L
20-VBC-BC-121	válvula de bola de control	20	A1L
20-VB-BC-122	válvula de bola	20	A1L
20-VA-BC-126	válvula de antirretorno	20	A1L
20-VB-BC-126	válvula de bola	20	A1L
20-VB-BC-123	válvula de bola	20	A1L
20-VA-BC-127	válvula de antirretorno	20	A1L
20-VB-BC-127	válvula de bola	20	A1L
32-VB-BC-124	válvula de bola	32	A1L
32-VA-BC-128	válvula de antirretorno	32	A1L
32-VB-BC-128	válvula de bola	32	A1L
32-VB-BC-125	válvula de bola	32	A1L
32-VA-BC-129	válvula de antirretorno	32	A1L
32-VB-BC-129	válvula de bola	32	A1L

Tabla 4.3.4.1. Listado de válvulas para el área 100.

FORMICS	Hoja 1 de 2		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-200 (zona de reacción)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
750-VB-BC-202	válvula de bola	750	A0L
750-VB-BC-203	válvula de bola	750	A0L
750-VA-BC-204	válvula de antirretorno	750	A0L
750-VA-BC-204	válvula de bola	750	A0L
750-VA-BC-205	válvula de antirretorno	750	A0L
750-VB-BC-205	válvula de bola	750	A0L
750-VB-BC-206	válvula de bola	750	A0L
40-VB-BC-207	válvula de bola	40	A1L
400-VGC-BC-209	válvula de globo de control	400	A1L
750-VGC-BC-210	válvula de globo de control	750	A1L
750-VB-BC-211	válvula de bola	750	A1L
80-VB-BC-212	válvula de bola	80	A1L
200-VB-BC-213	válvula de bola	200	A1L
200-VGC-BC-213	válvula de globo de control	200	A1L
200-VB-BC-213	válvula de bola	200	A1L
200-VB-BC-214	válvula de bola	200	A1L
750-VB-BC-215	válvula de bola	750	A1L
25-VB-BB-217	válvula de bola	25	A0L
50-VB-BB-218	válvula de bola	50	A0L
50-VGC-BB-218	válvula de globo de control	50	A0L
50-VB-BB-218	válvula de bola	50	A0L
32-VB-BB-219	válvula de bola	32	A0L
350-VB-BC-220	válvula de bola	350	A1L
750-VB-BC-221	válvula de bola	750	A1L
750-VGC-BC-221	válvula de globo de control	750	A1L
750-VB-BC-221	válvula de bola	750	A1L
750-VB-BC-222	válvula de bola	750	A1L
450-VB-BC-226	válvula de bola	450	A1L
450-VGC-BC-226	válvula de globo de control	450	A1L
450-VB-BC-226	válvula de bola	450	A1L
250-VB-BC-227	válvula de bola	250	A1L
450-VB-BC-228	válvula de bola	450	A1L
450-VGC-BC-228	válvula de globo de control	450	A1L
450-VB-BC-228	válvula de bola	450	A1L

FORMICS	Hoja 2 de 2		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-200 (zona de reacción)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
250-VB-BC-229	válvula de bola	250	A1L
300-VGC-BC-231	válvula de globo de control	300	A1L
300-VGC-BC-232	válvula de globo de control	300	A1L
300-VB-BC-234	válvula de bola	300	A1L
300-VB-BC-235	válvula de bola	300	A1L
600-VB-BC-236	válvula de bola	600	A1L
500-VB-BC-237	válvula de bola	500	A1L
600-VGC-BC-237	válvula de globo de control	500	A1L
600-VB-BC-237	válvula de bola	500	A1L
250-VB-BC-238	válvula de bola	250	A1L
600-VB-BC-239	válvula de bola	600	A1L
500-VB-BC-240	válvula de bola	500	A1L
500-VGC-BC-240	válvula de globo de control	500	A1L
500-VB-BC-240	válvula de bola	500	A1L
250-VB-BC-241	válvula de bola	250	A1L
40-VGC-BC-242	válvula de globo de control	40	A1L
40-VGC-BC-243	válvula de globo de control	40	A1L
50-VGC-BC-244	válvula de globo de control	50	A1L
50-VGC-BC-245	válvula de globo de control	50	A1L

Tabla 4.3.4.2. Listado de válvulas para el área 200.

FORMICS	Hoja 1 de 2		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-300 (zona absorción y tratamiento de gases)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
750-VB-BC-301	válvula de bola	750	A1L
750-VB-BC-302	válvula de bola	750	A1L
300-VB-BC-304	válvula de bola	300	A1L
750-VB-BC-305	válvula de bola	750	A1L
750-VB-BC-303	válvula de bola	750	A1L
750-VGC-BC-305	válvula de globo de control	750	A1L
750-VB-BC-305	válvula de bola	750	A1L
40-VB-BC-306	válvula de bola	40	A1L
40-VB-BC-307	válvula de bola	40	A1L
40-VGC-BC-307	válvula de antirretorno	40	A1L
40-VB-BC-307	válvula de bola	40	A1L
40-VB-BC-308	válvula de bola	40	A1L
40-VGC-BC-308	válvula de antirretorno	40	A1L
40-VB-BC-308	válvula de bola	40	A1L
25-VB-BB-311	válvula de bola	25	A0L
25-VGC-BB-311	válvula de globo de control	25	A0L
25-VB-BB-311	válvula de bola	25	A0L
40-VGC-BC-312	válvula de globo de control	40	A1L
40-VGC-BC-313	válvula de globo de control	40	A1L
50-VGC-BC-314	válvula de globo de control	50	A1L
50-VGC-BC-315	válvula de globo de control	50	A1L
750-VB-BC-316	válvula de bola	750	A1L
900-VB-BC-317	válvula de bola	900	A1L
450-VB-BC-318	válvula de bola	450	A1L
800-VB-BC-319	válvula de bola	800	A1L

FORMICS	Hoja 2 de 2		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-300 (zona absorción y tratamiento de gases)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
800-VGC-BC-319	válvula de globo de control	800	A1L
800-VB-BC-319	válvula de bola	800	A1L
20-VGC-BC-320	válvula de globo de control	20	A0L
1200-VB-BC-321	válvula de bola	1200	A1L
40-VB-BC-322	válvula de bola	40	A1L

Tabla 4.3.4.3. Listado de válvulas para el área 300.

FORMICS	Hoja 1 de X		LISTADO DE VÁLVULAS	
	Área planta	A-400 (producto acabado)	Fecha	07/06/2026
			Revisión	VFinal

Nomenclatura	Tipo	DN	Material
25-VBC-BC-401	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-402	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-403	válvula de bola de control	25	A0L
25-VBC-BC-404	válvula de bola de control	25	A0L
40-VBC-BC-405	válvula de bola de control	40	A0L
40-VBC-BC-406	válvula de bola de control	40	A0L
40-VBC-BC-407	válvula de bola de control	40	A0L
40-VBC-BC-408	válvula de bola de control	40	A0L
32-VBC-BC-410	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-411	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-412	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-413	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-414	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-415	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-416	válvula de bola de control	32	A1L
32-VBC-BC-417	válvula de bola de control	32	A1L
50-VB-BC-418	válvula de bola	50	A1L
50-VA-BC-420	válvula de antirretorno	50	A1L
50-VB-BC-420	válvula de bola	50	A1L
50-VB-BC-419	válvula de bola	50	A1L
50-VA-BC-421	válvula de antirretorno	50	A1L
50-VB-BC-421	válvula de bola	50	A1L

Tabla 4.3.4.4. Listado de válvulas para el área 400.

4.4. Bombas

En el marco del complejo industrial diseñado por Formics Chemicals, la gestión y el transporte de las fases líquidas son una parte muy importante de la operación. Para ello, se dispone de un sistema de bombeo cuya función principal es dar a los fluidos la energía mecánica necesaria para vencer las resistencias hidrodinámicas de la instalación, asegurando una distribución precisa y constante a lo largo de las distintas etapas del proceso productivo.

La estabilidad operativa de la planta depende directamente de la fiabilidad de estos equipos. En procesos continuos como la síntesis de formaldehído mediante el método Formox, como en este caso, las fluctuaciones de presión o las variaciones imprevistas en los caudales de alimentación pueden desestabilizar la hidrodinámica de las columnas de absorción o alterar la estequiometría en la zona de reacción. En este sentido, las bombas actúan como elementos activos de control, compensando las pérdidas de carga generadas por la fricción en conducciones, válvulas y elementos de instrumentación, lo que permite mantener unas condiciones de trabajo estables y seguras.

A continuación, se desglosan los criterios de ingeniería empleados para su dimensionamiento, el análisis de las condiciones de aspiración y el esquema de codificación que identifica cada unidad dentro de la planta.

4.4.1. Selección de bombas

La selección del tipo de bomba a utilizar se ha llevado a cabo basándose en la naturaleza de las sustancias a tratar y en los requerimientos del flujo de proceso. Tras evaluar las distintas tecnologías disponibles en el mercado, se ha determinado el uso de bombas centrífugas para todos los servicios de la planta (tales como la impulsión de agua, metanol, aceite térmico y formaldehído). Esta decisión técnica se fundamenta y justifica en los siguientes criterios operativos:

Por un lado, debido a la baja viscosidad y limpieza de los fluidos, ya que las sustancias manejadas en el proceso de estudio presentan un comportamiento newtoniano y una viscosidad cinemática baja (similar a la del agua). Las bombas centrífugas son la opción termodinámica y mecánicamente óptima para este perfil de fluidos. Por el contrario, se descarta categóricamente el uso de bombas de desplazamiento positivo (tales como las de engranajes, lóbulos o tornillos), dado que estas tecnologías están concebidas para el transporte de fluidos altamente viscosos, pastas o polímeros, resultando ineficientes con líquidos ligeros debido a las fugas internas. Además, también se requiere de un flujo continuo y libre de pulsaciones; al tratarse de un proceso continuo, equipos críticos como los reactores y los intercambiadores de calor requieren una alimentación de caudal estable

y constante para garantizar la transferencia de materia y energía. La geometría del rodete centrífugo proporciona un flujo uniforme y continuo, evitando las vibraciones mecánicas y los picos de presión (pulsaciones) característicos de las bombas alternativas de émbolo o diafragma.

En cuanto a la flexibilidad operativa y regulación de caudal, la red de proceso requiere que el caudal sea modulado constantemente mediante lazos de control cerrados (válvulas de control). Las bombas centrífugas permiten operar en la línea de descarga sin sufrir daños mecánicos severos, adaptándose de forma natural a la curva del sistema. Las bombas de desplazamiento positivo, en cambio, desplazan un volumen fijo por revolución y reventarían las tuberías si se enfrentaran a una válvula de control cerrada sin disponer de un bypass.

Por último, respecto a la fiabilidad mecánica y estandarización, las bombas centrífugas presentan un diseño mecánicamente simple, contando con un único elemento móvil (el conjunto eje-rodete) y careciendo de válvulas internas. Esta simplicidad constructiva minimiza drásticamente los costes de adquisición (CAPEX), alarga los periodos entre mantenimientos (OPEX) y garantiza una alta disponibilidad de la planta.

A continuación, se detalla la justificación técnica específica para cada servicio de la planta:

- Impulsión de metanol (Sulzer MD 32-160)

Se elige de acoplamiento magnético (*mag-drive*) porque el metanol es muy inflamable y volátil. Al no tener sellos mecánicos dinámicos, se elimina cualquier riesgo de fuga y de crear atmósferas explosivas (ATEX).

- Circuito de Refrigeración del Reactor: Aceite Térmico (KSB Etanorm SYT)

Trabaja con Dowtherm A a 260 °C, por lo que se especifica en fundición nodular para aguantar choques térmicos sin riesgo de rotura. Además, su diseño disipa el calor por sí solo, evitando tener que instalar refrigeración externa por agua.

- Red de Agua de Servicio y Auxiliares (Grundfos NB 32-160)

Como el agua es un fluido inocuo y está a temperatura ambiente, se utiliza una bomba estándar normalizada con sello mecánico simple. Es la opción más barata de comprar, eficiente y fácil de mantener.

- Bombeo de Formaldehído: Corriente de Proceso (Flowserve Burco Mark 80-50-160)

El formol de esta torre es tóxico y lleva trazas de ácido fórmico (muy corrosivo). Se justifica el uso de acero inoxidable (AISI 316L) para que no se corroa y arrastre magnético para asegurar que el fluido no salga al exterior.

- Bombeo de Formaldehído: Producto acabado (Hermetic-Pumpen CN 80-200)

Al ser un compuesto cancerígeno, la prioridad ambiental es el riesgo cero. Se justifica una bomba de motor encapsulado (*canned motor*); al ir la bomba y el motor soldados herméticamente en una sola pieza, la posibilidad de fuga es estrictamente cero.

La red de impulsión de la planta requiere el diseño y especificación de diversas estaciones de bombeo, cada una con un propósito hidrodinámico específico dentro del proceso. En este caso se requiere la implantación de 8 bombas, con la opción de duplicarlas por si ocurre alguna avería o problema.

4.4.2. NPSH disponible

En el diseño de la infraestructura hidráulica de Formics Chemicals, el estudio del *Net Positive Suction Head* disponible (NPSH) constituye un factor de seguridad crítico. El objetivo primordial de este análisis es predecir y evitar la aparición de la cavitación en el impulsor de las bombas. Este fenómeno se desencadena si la presión absoluta del fluido desciende muy por debajo de su presión de vapor a la temperatura de operación, provocando el colapso violento de burbujas de vapor. Las microondas de choque resultantes degradan mecánicamente los componentes internos del equipo por erosión, además de dar lugar a vibraciones severas, caídas drásticas en el rendimiento y fallos catastróficos prematuros.

Para asegurar un funcionamiento estable y continuo en todas las líneas de proceso de la planta, se ha procedido a evaluar analíticamente la energía disponible en la sección de aspiración de cada equipo mediante la siguiente expresión matemática fundamental:

$$NPSHdisp = h - \frac{Pv}{g \cdot h}$$

La determinación del NPSH es especialmente sensible en dos zonas críticas de la planta de Formics Chemicals: la alimentación de metanol puro (debido a la alta volatilidad intrínseca del alcohol) y el circuito de recirculación del fondo de la columna de absorción, donde la disolución acuosa de formaldehído (formalina) se encuentra a temperaturas elevadas y en condiciones próximas al equilibrio líquido-vapor.

4.4.3. Potencia de bomba

El análisis de las necesidades energéticas de los equipos de impulsión es otro factor decisivo para asegurar el correcto funcionamiento de la planta proyectada. Conceptualmente, la potencia representa la cantidad de energía por unidad de tiempo que debe transferirse a las corrientes líquidas para que estas venzan las resistencias geométricas y las pérdidas de presión por fricción presentes a lo largo de todo el lazo hidráulico. Disponer de una estimación exacta de este parámetro es el único camino viable para preseleccionar los equipos óptimos en los catálogos de los proveedores y garantizar la continuidad operacional.

Un diseño inadecuado en este aspecto introduce graves riesgos técnicos y económicos en la instalación:

- Defecto de potencia: La especificación de un motor con capacidad insuficiente comprometería la producción al ser incapaz de suministrar los caudales de diseño o de alcanzar las presiones requeridas en las unidades de reacción y absorción.

- Exceso de potencia: Un sobredimensionamiento desmedido se traduce en una penalización económica directa, ya que incrementa innecesariamente la inversión inicial en activos y eleva el consumo eléctrico de forma permanente, afectando negativamente a la rentabilidad global del proyecto.

4.4.4. Nomenclatura

Para mantener el orden en la planta y facilitar la localización de los equipos, tanto en los planos técnicos (P&ID) como en las tareas diarias de mantenimiento, se ha diseñado un sistema de etiquetado bastante sencillo y directo. Cada bomba se identifica mediante la combinación P - B, que se organiza de la siguiente manera:

- La letra P: Proviene del inglés *Pump* (bomba) y se mantiene fija para todos los equipos de impulsión de la planta, permitiendo saber de un vistazo el tipo de máquina ante la que nos encontramos.
- El bloque B: Consiste en un número de tres cifras que funciona como el identificador único de cada equipo.
    - El primer dígito indica el área o la zona específica de la fábrica donde está trabajando la bomba (por ejemplo, la zona de reacción, de absorción o de almacenamiento).
    - Los otros dos dígitos son un número correlativo secuencial que sirve para diferenciar las distintas bombas que comparten una misma zona.

Con esta estructura de código, cualquier operador o técnico puede identificar al instante la función de la bomba, en qué parte de la instalación se ubica y de qué unidad concreta se trata con solo mirar la etiqueta.

4.4.5. Listado de bombas

A continuación, se presenta el listado de bombas que hay en la zona de proceso de la planta Formics. Posteriormente, se muestran las hojas de especificaciones de las bombas centrífugas instaladas a partir de los valores calculados. En las siguientes tablas se muestran características tales como:

- Nomenclatura.
- Tipo de fluido.
- Área.
- Inicio y final del tramo.
- Variación de la presión.
- Longitud del tramo.
- Caudal volumétrico del fluido.
- Potencia.
- Velocidad del fluido.
- Carga del sistema.
- NPSH disponible.

FORMICS	Hoja 1 de 2				LISTADO DE BOMBAS								
	Área planta			TODAS LAS ÁREAS			Fecha		07/06/2026				
							Revisión		VFinal				
Nomenclatura	**Area**	**Fluido**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**ΔP (atm)**	**Longitud aspiración (m)**	**Longitud impulsión (m)**	**Velocidad aspiración (m/s)**	**Velocidad impulsión (m/s)**	**Carga del sistema (m)**	**Rendimiento de la bomba (%)**	**Potencia (kW)**	**NPSH disponible**	**Caudal (m3/h)**
P-101	100	C1	colector alm T-10X	bypass	4,93	5	100	0,32	0,52	15,40	75	0,12	16,20	0,65
P-102	100	C1	colector alm T-10X	bypass	4,93	5	100	0,32	0,52	15,40	75	0,12	16,20	0,65
P-103	100	C1	colector alm T-10X	E-201	1,17	5	22	0,55	0,75	15,40	75	0,08	16,21	2,60
P-104	100	C1	colector alm T-10X	E-201	1,17	5	22	0,55	0,75	15,40	75	0,08	16,21	2,60
P-201	200	C6	E-203	R-201	2,40	5	24	0,65	1,07	2,38	90	21,32	8,27	281,97
P-202	200	C6	E-203	R-201	2,40	5	24	0,65	1,07	2,38	90	21,32	8,27	281,97
P-203	200	C6	E-203	R-202	2,40	5	24	0,65	1,07	2,38	90	21,32	8,27	281,97
P-204	200	C6	E-203	R-202	2,40	5	24	0,65	1,07	2,38	90	21,32	8,27	281,97
P-205	200	C2	Colector agua	TE-201	1,50	3	20	1,14	1,20	10,26	75	0,70	10,00	12,61
P-206	200	C2	Colector agua	TE-201	1,50	3	20	1,14	1,20	10,26	75	0,70	10,00	12,61
P-301	300	M07	CA-301	Almacenamiento T-40X	0,70	4	15	0,58	0,68	5,09	75	0,17	17,82	6,43
P-302	300	M07	CA-301	Almacenamiento T-40X	0,70	4	15	0,58	0,68	5,09	75	0,17	17,82	6,43
P-303	300	C2	AC-301	Colector agua	0,46	3	118	1,35	1,92	4,78	75	0,26	10,03	14,95
P-304	300	C2	AC-301	Colector agua	0,46	3	118	1,35	1,92	4,78	75	0,26	10,03	14,95

FORMICS	Hoja 2 de 2					LISTADO DE BOMBAS							
	Área planta			TODAS LAS ÁREAS		Fecha		07/06/2026					
						Revisión		VFinal					
Nomenclatura	**Area**	**Fluido**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**ΔP (atm)**	**Longitud aspiración (m)**	**Longitud impulsión (m)**	**Velocidad aspiración (m/s)**	**Velocidad impulsión (m/s)**	**Carga del sistema (m)**	**Rendimiento de la bomba (%)**	**Potencia (kW)**	**NPSH disponible**	**Caudal (m3/h)**
P-401	400	M07	Almacenamiento T-40X	camiones	0,40	5	60	0,73	1,04	2,53	75	0,12	19,46	8,08
P-402	400	M07	Almacenamiento T-40X	camiones	0,40	5	60	0,73	1,04	2,53	75	0,12	19,46	8,08

Tabla 4.4.5.1. Listado de bombas para el proceso

4.4.6 Fichas técnicas

FORMICS	Hoja 1 de 1			
	Ítem	Bomba	Data	20/04/2025
	Àrees	100, 200	Revisió	17/05/2025
DATOS OPERACIONALES				
Fluido	Metanol Puro			
Temperatura (ºC)	20			
ΔP (bar)	3.1			
Carga total (m)	40			
Caudal volumétrico (m3/h)	10			
Potencia requerida (kW)	2.2			
DATOS DE EQUIPO				
Fabricante	Sulzer			
Tipo	Bomba de acoplamiento magnético			
Modelo	MD 32-160			
Rango de caudal volumétrico (m3/h)	2-25			
Rango de carga del sistema (m)	15-60			
Presión máxima de impulsión (bar)	16			
Potencia (kW)	0.5-5.5			
Material de construcción	316 L			
DN entrada (mm)	50			
DN salida (mm)	32			
Peso (Kg)	55			
PLANO				



FORMICS	Hoja 1 de 1			
	Ítem	Bomba	Data	20/04/2025
	Àrees	100, 200, 300,	Revisió	17/05/2025
DATOS OPERACIONALES				
Fluido	Aceite térmico			
Temperatura (ºC)	260			
ΔP (bar)	2.5			
Carga total (m)	30			
Caudal volumétrico (m3/h)	150			
Potencia requerida (kW)	22			
DATOS DE EQUIPO				
Fabricante	KSB			
Tipo	Bomba centrífuga de alta temperatura			
Modelo	Etanorm SYT			
Rango de caudal volumétrico (m3/h)	30-250			
Rango de carga del sistema (m)	10-45			
Presión máxima de impulsión (bar)	16			
Potencia (kW)	15-37			
Material de construcción	316L			
DN entrada (mm)	125			
DN salida (mm)	100			
Peso (Kg)	210			
PLANO				



	Hoja 1 de 1			
	Ítem	Bomba	Data	20/04/2025
	Àrees	100, 200,	Revisió	17/05/2025
DATOS OPERACIONALES				
Fluido	Formaldehido Proceso			
Temperatura (ºC)	45			
ΔP (bar)	2			
Carga total (m)	25			
Caudal volumétrico (m3/h)	50			
Potencia requerida (kW)	6.5			
DATOS DE EQUIPO				
Fabricante	Flowserve			
Tipo	Bomba de arrastre magnético			
Modelo	Durco Mark 3 ISO Mag-Drive 80-50-160			
Rango de caudal volumétrico (m3/h)	15-75			
Rango de carga del sistema (m)	10-40			
Presión máxima de impulsión (bar)	25			
Potencia (kW)	7.5-11			
Material de construcción	316L			
DN entrada (mm)	80			
DN salida (mm)	50			
Peso (Kg)	92			
PLANO				



	Hoja 1 de 1			
	Ítem	Bomba	Data	20/04/2025
	Àrees	100, 200, 30	Revisió	17/05/2025
DATOS OPERACIONALES				
Fluido	Agua de servicio			
Temperatura (ºC)	30			
ΔP (bar)	3.4			
Carga total (m)	35			
Caudal volumétrico (m3/h)	12			
Potencia requerida (kW)	2.5			
DATOS DE EQUIPO				
Fabricante	Grundfos			
Tipo	Bomba centrífuga normalizada			
Modelo	NB 32-160			
Rango de caudal volumétrico (m3/h)	5-25			
Rango de carga del sistema (m)	15-45			
Presión máxima de impulsión (bar)	16			
Potencia (kW)	1.1-4			
Material de construcción	AISI 316L			
DN entrada (mm)	50			
DN salida (mm)	32			
Peso (Kg)	38			
PLANO				



	Hoja 1 de 1			
	Ítem	Bomba	Data	20/04/2025
	Àrees	100, 200, 300, 400, 500, 600	Revisió	17/05/2025
DATOS OPERACIONALES				
Fluido	Formaldehído producto acabado			
Temperatura (ºC)	35			
ΔP (bar)	2.4			
Carga total (m)	30			
Caudal volumétrico (m3/h)	150			
Potencia requerida (kW)	22			
DATOS DE EQUIPO				
Fabricante	Hermetic Pumpen			
Tipo	Bomba centrífuga con sello mecánico			
Modelo	CN 80-200			
Rango de caudal volumétrico (m3/h)	80-250			
Rango de carga del sistema (m)	15-50			
Presión máxima de impulsión (bar)	25			
Potencia (kW)	18.5-30			
Material de construcción	AISI 316L			
DN entrada (mm)	100			
DN salida (mm)	80			
Peso (Kg)	145			
PLANO				



4.5. Accesorios

Para asegurar que las líneas de conducción operen de manera eficiente, segura y organizada, la integración de accesorios es un aspecto crítico en el diseño de la planta Formics. Estos elementos permiten no solo la correcta unión de las tuberías, sino también la incorporación de dispositivos esenciales como juntas de expansión, reducciones, filtros y otros accesorios de seguridad adaptados a las necesidades específicas de cada equipo. A continuación, se detallan y analizan las características técnicas de estos componentes.

4.5.1. Codos y Tes

Los codos son componentes fundamentales en el diseño de cualquier trazado de tuberías, ya que permiten modificar la dirección del flujo para adaptarse a la disposición espacial y a las restricciones estructurales de la planta. Es preciso tener en cuenta que estos elementos introducen pérdidas de carga por fricción, un factor que debe ser contemplado durante el dimensionamiento de los equipos de impulsión para garantizar que la presión del fluido se mantenga dentro de los parámetros operativos requeridos. Para este proyecto, se han seleccionado los tres ángulos de curvatura más comunes: 45°, 90° y 180°. El material de construcción y el diámetro nominal (DN) de estas piezas son idénticos a los de la tubería en la que se instalan para garantizar la continuidad del sistema. La Figura 4.9 muestra las estructuras típicas empleadas. Por otro lado, las uniones en forma de "T" son esenciales para permitir la ramificación del flujo hacia múltiples puntos de la instalación, posibilitando una distribución eficiente del fluido. Además, este tipo de conexiones aporta una mayor flexibilidad al diseño, facilitando la adaptación del sistema ante posibles modificaciones futuras, como la adición o supresión de puntos de suministro.



Figura 4.5.1.1. Codos y uniones en forma de T

4.5.2. Reducciones y expansiones

Debido a la diversidad de caudales y presiones requeridos en las distintas etapas del proceso productivo de la planta, resulta necesario emplear una amplia gama de diámetros de tubería. Esta variabilidad dimensional hace imprescindible la instalación de elementos de transición, conocidos como reducciones y expansiones, cuya función es garantizar la continuidad operativa y la eficiencia hidráulica en los puntos de conexión de equipos y en las confluencias de líneas. Las reducciones permiten disminuir el diámetro nominal en puntos estratégicos, lo cual contribuye a optimizar la velocidad del fluido y asegurar el transporte eficiente de los materiales. Por el contrario, las expansiones se emplean para aumentar la sección de paso, permitiendo una reducción de la velocidad del fluido y, consecuentemente, minimizando las pérdidas de carga en tramos donde se requiere una menor resistencia al flujo.



Figura 4.5.2.1. Reductores y expansores

4.5.3. Compensadores de dilatación y contracción

El manejo de fluidos a temperaturas significativamente distintas a la ambiental dentro de la planta conlleva la aparición de tensiones térmicas. Estas variaciones de temperatura dan lugar a cambios en la longitud de las tuberías debido a los fenómenos de dilatación y contracción térmica, los cuales pueden comprometer la integridad estructural del sistema si no son gestionados adecuadamente. Para mitigar estos efectos, se han implementado compensadores de dilatación, dispositivos diseñados específicamente para absorber los movimientos axiales y laterales generados por los gradientes térmicos. Su flexibilidad mecánica —lograda mediante configuraciones tipo fuelle o elementos articulados— permite que la tubería se expanda o contraiga libremente, evitando la acumulación de tensiones mecánicas excesivas.



Figura 4.5.3.1. Compensador metálico

4.5.4. Discos de ruptura

La protección frente a sobrepresiones es un requisito de seguridad crítico en cualquier planta de procesos químicos, como es el caso de la planta de producción de formaldehído. En situaciones donde las válvulas de alivio convencionales pueden resultar insuficientes para gestionar incrementos de presión bruscos o de gran magnitud, se integra el uso de discos de ruptura como dispositivo de seguridad adicional. El funcionamiento de este componente es mecánico: el disco está diseñado para fracturarse o deformarse de forma controlada una vez que la presión interna alcanza un valor de diseño preestablecido. Esta respuesta es instantánea y automática, lo que permite la descompresión rápida del equipo o línea de tubería y evita posibles daños estructurales. Su implementación no se limita únicamente a recipientes a presión, como reactores, tanques o intercambiadores, sino que se extiende a tramos de tubería conectados a equipos generadores de presión, como es el caso de las bombas.

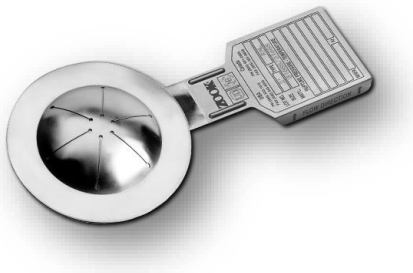

Figura 4.5.4.1. Disco de ruptura

4.5.5. Purgadores

En las secciones de la planta donde se utiliza vapor de agua como fluido térmico para el intercambio de calor, la presencia de condensados representa un factor de riesgo para el sistema. La acumulación de agua líquida en las líneas de vapor puede derivar en diversos problemas operativos, tales como la corrosión prematura o la formación de depósitos. Para mitigar estos inconvenientes, se instalan purgadores en puntos estratégicos de las líneas. Estos dispositivos automáticos están diseñados para detectar la diferencia entre el vapor y el condensado, procediendo a la apertura de la válvula de purga únicamente cuando se requiere la evacuación de este último.

.

4.6 Compresores

El transporte y la manipulación de las fases gaseosas, aunque minoritaria en este caso, representan una de las operaciones unitarias importantes dentro del lazo de síntesis de la planta. En los procesos de oxidación catalítica, como el utilizado para la obtención de formaldehído, la eficiencia global de la reacción y el rendimiento del catalizador dependen directamente del mantenimiento de un flujo volumétrico constante, controlado y continuo de los reactivos gaseosos. El sistema de movimiento de gases tiene la doble responsabilidad de suministrar el aire atmosférico (que actúa como fuente de oxígeno para la reacción) y de gestionar la recirculación de los gases inertes de cola provenientes de la etapa de absorción.

Debido a las pérdidas de carga acumuladas a lo largo del sistema —causadas por el lecho catalítico tubular del reactor, los cambiadores de calor intermedios y el relleno de la torre de absorción—, es imprescindible aportar energía mecánica a la corriente gaseosa para vencer la resistencia hidrodinámica del circuito. Por tanto, este apartado aborda el marco teórico y la descripción funcional de los equipos rotativos encargados de mantener la circulación de los fluidos compresibles, garantizando la estabilidad operativa, la seguridad del proceso y el control de las condiciones termodinámicas en la zona de mezcla.

4.6.1 Criterios de selección

Para la selección del tipo de máquina operada en los circuitos de gas de la instalación, se evaluaron las diferentes tecnologías disponibles en el mercado industrial, ponderando principalmente el caudal volumétrico de diseño, la relación de compresión requerida y la pureza del fluido. Basándose en estos requerimientos, se ha seleccionado un compresor/soplante de tipo centrífugo (turbomáquina radial) para cubrir los servicios hidráulicos de fase gas de la planta.

El uso de la tecnología centrífuga frente a las máquinas de desplazamiento positivo se justifica técnicamente bajo los siguientes criterios de diseño:

- **Flujo continuo y sin pulsaciones:** A diferencia de los compresores de pistón, las turbomáquinas generan un flujo constante. Esto es vital para proteger el reactor, ya que los cambios bruscos de presión o las vibraciones podrían romper, desgastar o desordenar las pastillas del catalizador de óxidos metálicos.

- **Diseño 100% exento de aceite (Oil-Free):** La cámara de compresión trabaja totalmente en seco. Al no usar lubricantes en el circuito de gas, se elimina el riesgo de que entren vapores orgánicos al reactor, evitando así el envenenamiento irreversible y la desactivación del catalizador.

- **Alta capacidad de caudal:** El proceso exige mover grandes volúmenes de aire y gas de recirculación a presiones moderadas. Los equipos centrífugos son perfectos para esto, ya que manejan caudales muy altos ocupando un espacio relativamente compacto.

- **Flexibilidad de control:** permite integrar variadores de frecuencia. Esto facilita ajustar el caudal de aire de forma muy precisa según la producción de la planta, optimizando el consumo eléctrico y garantizando que la mezcla trabaje siempre de forma segura por debajo del límite de inflamabilidad.

4.6.2 Fichas técnicas

	Hoja 1 de 1			
	Item	Compresor	Data	20/04/2025
	Áreas	200,300	Revisión	17/05/2025

Hoja 1 de 1	
Equipo	Compresor centrífugo
Función del equipo	Impulsar aire para mezclar
Componentes principales	Aire
Fase	Gas
Coste (€)	2925058,36
Datos de operación	
Potencia (kW)	2155
Densidad fluido (kg/m³)	1.18
Caudal de operación (m³/h)	55796
Material	
Tipo	AISI 316L
Datos de diseño	
Carga de presión (bar)	1.487
Caudal volumétrico de aire (m³/h)	61376
Tipo de compresor	Centrífugo monoetapa
Norma/Código	API 617
Marca	Elliott Group
Modelo	Serie 1G / Single-Stage
Potencia (kW)	2500
Esquema	



4.6.3. Listado de compresores

FORMICS	Hoja 1 de 1				LISTADO DE COMPRESORES					
	Área planta			TODAS LAS ÁREAS			Fecha		07/06/2026	
							Revisión		VFinal	
Nomenclatura	**Area**	**Fluido**	**Tramo inicial**	**Tramo final**	**ΔP (atm)**	**Longitud aspiración (m)**	**Longitud impulsión (m)**	**Velocidad aspiración (m/s)**	**Velocidad impulsión (m/s)**	**Potencia (kW)**	**Caudal (m3/h)**
K-201	200	M09	colector aire	TE-201	1,47	3	32	17,73	19,92	2244,8	55810,08
K-202	200	M09	colector aire	Te201	1,47	3	32	17,73	19,92	2244,8	55810,08

Tabla 4.6.3.1. Listado de compresores para el proceso.

4.7 Bibliografía

[1] Ministerio de la Presidencia (España). (2007, 29 de agosto). Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *Boletín Oficial del Estado*, (207), 35931-35984. Recuperado el 11 de junio de 2026, de https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820

[2] Saint-Gobain Isover Ibérica. (2024). *La Guía Isover: Soluciones de aislamiento*. Recuperado el 11 de junio de 2026, de https://www.isover.es

[3] Asociación de Fabricantes Españoles Lanas Minerales Aislantes [AFELMA] y Asociación Nacional de Instaladores de Sistemas de Aislamiento [ANDIMAI]. (s.f.). *Guía de buenas prácticas: Aislamiento térmico en la industria*. Recuperado el 11 de junio de 2026, de https://www.andimai.es

[4] KSB SE & Co. KGaA. (2025). *Etanorm, Etanorm SYT, Etanorm V, Etabloc, Etabloc SYT, Etanorm-RSY: Folleto de curvas características 50 Hz*. Recuperado el 7 de junio de 2026, de https://www.ksb.com

[5] Flowserve Corporation. (2011). *Durco Mark 3: Bombas de proceso químico ANSI (Boletín PS-10-13b)*. Pump Division. Recuperado el 7 de junio de 2026, de https://www.flowserve.com

[6] HERMETIC-Pumpen GmbH. (2021). *Model Information: Canned Motor Pump Type CN / CNF (HERMETIC V-Line)*. Recuperado el 12 de junio de 2026, de https://www.hermetic-pumpen.com

[7] KSB SE & Co. KGaA. (s.f.). *Multitec: High-pressure stage casing pump (Folleto técnico e10025)*. Recuperado el 12 de junio de 2026, de https://www.ksb.com

[8] Grundfos. (s.f.). *NB 32-160/163 AAF2AESBQQEKW1 - 97925279 [Ficha técnica de producto]*. Grundfos Product Center. Recuperado el 12 de junio de 2026, de https://product-selection.grundfos.com

[9] Seather Technology. (s.f.). *Estándares ASME B36.10 y B36.19: Tamaño nominal de tubería (NPS) y Schedule*. Recuperado el 1 de junio de 2026, de https://seathertechnology.com/es/nominal-pipe-size-schedule-asme-b3610-b3619-standards/

[10] American Society of Mechanical Engineers [ASME]. (2024). *ASME B31.3-2024: Process piping*. Recuperado el 1 de junio de 2026, de https://www.asme.org