



Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020
Construyendo Europa desde Aragón

Programa de ayudas a la industria y PYME en Aragón 2020

PROYECTO “VIMO”: VINO 4.0

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SENsoRES PARA CONTROL, MONITORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL VINO EN EL ÁMBITO DE LA INDUSTRIA 4.0

Nombre de la empresa: XXXXX

CIF: XXXXXXXXXX

Representante Legal: XXXXXXXXXXXXXXXX

DNI del Representante Legal: XXXXXXXXXXXXXXXX

PROYECTO VIMO

RESUMEN

Actualmente el proceso productivo del vino tiene dos vertientes claramente diferenciadas:

- Las pequeñas empresas vinícolas. De elaboración tradicional y pequeña producción que se basan en la experiencia adquirida y transmitida a lo largo de los años. Sus herramientas de trabajo y procesos productivos no evolucionan, pero mantienen una calidad ajustada con unas características propias de la marca.
- Las grandes industrias enológicas. De grandes superficies y procesos estrictamente controlados con potente y cara maquinaria. Tienen producciones muy grandes y altamente eficientes sin embargo adolecen de una seña de identidad produciendo vinos muy uniformes y poco diferenciados, por lo general.

El concepto de la industria 4.0 y todo lo que la rodea puede ayudarnos a integrar estas dos industrias en una sola utilizando lo mejor de cada una permitiéndonos llevar este flexible sector industrial a zonas desindustrializadas o en proceso de renovación energética.

Las caras herramientas de control de procesos de la industria enológica impiden que puedan ser implantadas en pequeñas industrias sin realizar una fuerte inversión. En el mejor de los casos, esto lleva a muchas pequeñas empresas a lanzarse a procesos productivos tradicionales con poca o baja productividad.

En este escenario, el proyecto VIMO desarrollado por TECNOALLEN contempla las fases de diseño, simulación, ingeniería de concepto, así como posteriormente la validación, fabricación y testeo de un prototipo de sensor para control, monitorización y seguimiento del proceso productivo del vino de bajo coste y fácil implantación.

VIMO es un multi sensor de alta precisión y estabilidad que permite saber el estado de maduración del vino en tiempo real y monitorizando los datos a través del Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT de sus siglas en inglés). VIMO controla y monitoriza varios parámetros como la temperatura, el nivel de alcohol, taninos y otras sustancias mediante la inyección de determinados gases reactantes en muestras del vino.

El impacto esperado es lograr que esta tecnología se desarrolle debidamente y que la industria enológica se extienda, desarrolle e implante en sectores donde existe potencial de crecimiento como las zonas desfavorecidas por la despoblación y desindustrialización o las zonas en transición energética como las cuencas mineras y la inminente desaparición del carbón.

Tabla de contenidos

TABLA DE CONTENIDOS	2
1.1 ESCENARIO, PROBLEMÁTICA ACTUAL Y RETO	3
1.2 OBJETIVOS DE LA ACTUACIÓN	5
1.3 ALINEAMIENTO CON LOS OBJETIVOS DE LA CONVOCATORIA PAIP 2020.....	11
2 ESTRUCTURA PRESUPUESTARIA Y DE FINANCIACIÓN	14
3 PLAN DE TRABAJO Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	15
3.1 CALENDARIO DE EJECUCIÓN.....	15
3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS	15
4 MEMORIA TÉCNICA DE VIMO	17
4.1 ESQUEMA GENERAL.....	17
4.1.1 <i>Funcionamiento</i>	18
4.2 DISEÑO DEL AGITADOR	19
4.2.1 <i>Bombona</i>	22
4.2.2 <i>Agitador Entrada - Válvula 1, de estrangulación</i>	31
4.2.3 <i>Agitador Interconexión - Válvula 2, electroválvula</i>	47
4.2.4 <i>Agitador Salida – Conexión de difusor rápida</i>	51
4.2.5 <i>Contactor – Difusor</i>	53
4.3 DISEÑO DE LA BASE	70
4.3.1 <i>Base - Mainflow</i>	72
4.3.2 <i>Base - Fijación</i>	79
4.3.3 <i>Base - Válvula 3, reguladora de presión</i>	80
4.3.4 <i>Base -Válvula 4, reguladora de caudal</i>	90
4.4 COLUMNA DE BURBUJEOS	100
5 RELACIÓN DE GASTOS IMPUTADOS AL PROYECTO	101
6 ANEXO I: RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO PREVIO CON LA HERRAMIENTA HADA	104
7 REFERENCIAS	105

Descripción del proyecto

1.1 Escenario, problemática actual y reto

Actualmente, la digitalización de la industria a través del concepto de Industria 4.0 constituye uno de los enfoques más prometedores para el crecimiento económico en la Unión Europea. Se entiende por Industria 4.0 la transformación de la esfera global de la producción industrial a través de la combinación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) con las tecnologías y procesos productivos industriales actuales¹ para lograr mejoras tanto técnicas a nivel de optimización de procesos como de costes finales de producto. Este concepto incluye a la cuarta revolución industrial (la llamada Industria 4.0), siendo continuación de los tres primeros movimientos, tal y como se muestra en la Figura 1:

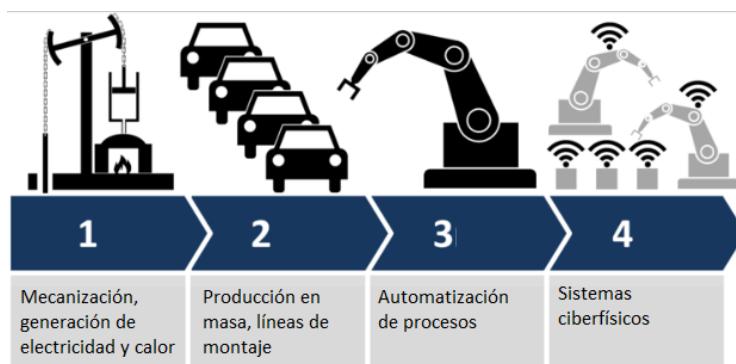


Figura 1. Evolución hacia el concepto de Industria 4.0.

En sintonía con este concepto, la región de Aragón mantiene una fuerte apuesta por el concepto de Industria 4.0 para hacer crecer y mejorar la competitividad de su tejido industrial. En la Estrategia Aragonesa de Investigación e Innovación para una Especialización Inteligente (RIS 3 Aragón)² se reconoce a las TIC como tecnología facilitadora esencial para dar sustento a las tres prioridades estratégicas que pretende impulsar esta estrategia (eficiencia de los recursos, conectividad y bienestar y calidad de vida) y apuesta por su aplicación a nivel de usuarios, la mejora de la red y el de los contenidos y servicios. También la Ley de regulación y fomento de la actividad industrial de Aragón³ reconoce que el desarrollo del sector industrial, la innovación y la cohesión social son objetivos clave para la región y los cuales se pueden reforzar mediante el concepto de Industria 4.0. Con estas motivaciones, nace “Aragón Industria 4.0” como tractor para hacer llegar a la industria aragonesa los conceptos, apoyos y políticas, así como los estímulos y herramientas (a través de los habilitadores digitales de la región, que incluyen empresas, universidades, centros tecnológicos, el Gobierno de Aragón, los clústeres y diferentes organismos). Dentro de esta estrategia se reconocen diferentes tecnologías en torno a las cuales se debe trabajar en la región, las cuales incluyen el Big Data, el Cloud Computing, la Fabricación Aditiva e Impresión 3D, la Robótica Colaborativa, los Sistemas Ciberfísicos, la Simulación Avanzada, la Integración de sistemas y la monitorización en

¹ European Parliamentary Research Service, “Digitalization for productivity and growth”, 2015

² Gobierno de Aragón, “Estrategia Aragonesa de Investigación e Innovación para una Especialización Inteligente”, 2015.

³ DECRETO LEGISLATIVO 3/2013, de 3 de diciembre, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de regulación y fomento de la actividad industrial de Aragón

PROYECTO VIMO

tiempo real de la actividad productiva en lo que conocemos como el Internet de las Cosas o IoT (como se conoce por sus siglas en inglés, “Internet of Things”).

En este escenario, la monitorización de procesos productivos en tiempo real a través de Internet, ofrece un enorme potencial⁴ para su aplicación en el concepto de la Industria 4.0 mediante el desarrollo de tareas de control a lo largo de un amplio espectro de sectores industriales tales como energía, logística, transporte, agroalimentaria, etc. Contribuyendo a la progresiva automatización, mejora y optimización de procesos.

Sin embargo, si nos centramos en la industria enológica vemos que actualmente, el proceso productivo del vino tiene dos vertientes claramente diferenciadas:

- Las pequeñas empresas vinícolas. De elaboración tradicional y pequeña producción que se basan en la experiencia adquirida y transmitida a lo largo de los años. Sus herramientas de trabajo y procesos productivos no evolucionan, pero mantienen una calidad ajustada con unas características propias de la marca.
- Las grandes industrias enológicas. De grandes superficies y procesos estrictamente controlados con potente y cara maquinaria. Tienen producciones muy grandes y altamente eficientes sin embargo adolecen de una seña de identidad produciendo vinos muy uniformes y poco diferenciados, por lo general.

Podemos utilizar la industria 4.0 y todo lo que la rodea para integrar estas dos industrias en una sola utilizando lo mejor de cada una y permitiéndonos llevar este flexible sector industrial a zonas desindustrializadas o en proceso de renovación energética.

Las caras herramientas de control de procesos de la industria enológica impiden que puedan ser implantadas en pequeñas industrias sin realizar una fuerte inversión. En el mejor de los casos, esto lleva a muchas pequeñas empresas a lanzarse a procesos productivos tradicionales con poca o baja productividad.

El presente proyecto contempla las fases de diseño, simulación, ingeniería de concepto, así como posteriormente la validación, fabricación y testeo de un prototipo de sensor para control, monitorización y seguimiento del proceso productivo del vino de bajo coste y fácil implantación.

VIMO es un multi sensor de alta precisión y estabilidad que permite saber el estado de maduración del vino en tiempo real y monitorizando los datos a través del Internet de las Cosas. VIMO controla y monitoriza varios parámetros como la temperatura, el nivel de alcohol, taninos y otras sustancias mediante la inyección de determinados gases reactantes en muestras del vino.

El impacto esperado es lograr que esta tecnología se desarrolle debidamente y que la industria enológica se extienda, desarrolle e implante en sectores donde existe potencial de crecimiento como las zonas desfavorecidas por la despoblación y desindustrialización o las zonas en transición energética como las cuencas mineras y la inminente desaparición del carbón.

⁴ AEC, “Potencial de IoT”, 2019 [disponible en: <https://aeconsultoras.com/noticias-sectoriales/el-potencial-de-iot/>]

1.2 Objetivos de la actuación

Objeto

Para hacer frente al reto descrito en la sección anterior, se propone el siguiente **objetivo principal**:

Diseño e ingeniería de un sistema sensor portable capaz de dotar al proceso productivo del vino de un control productivo preciso y de calidad con monitorización de los datos a través Internet y posteriormente, la realización de un prototipo completamente funcional para testeo en un banco de ensayos y su posterior demostración en condiciones reales de operación.

Objetivos generales:

Del objetivo principal expuesto anteriormente podemos extraer esta serie de objetivos generales que deberemos abordar durante el desarrollo de VIMO:

1. *Diseño 3D eficaz del sensor.* Utilizando la información teórica disponible en este marco de estudio de la sensorización de procesos productivos, deberemos modelar en 3D el dispositivo utilizando las herramientas de diseño asistido por ordenador CAD/CAM/CAE.
2. *Simulación del modelo y la inyección de los gases, utilizando FEA y/o CFD.* Mediante las potentes herramientas Análisis de Elementos Finitos, FEA y Dinámica de Fluidos Computacional, CFD simularemos la conveniencia o no del modelo 3D para los objetivos deseados. Los resultados realimentarán el modelo 3D (objetivo 1) para corregirlo y/o ajustarlo.
3. *Documentación CAM para la fabricación.* Planos y ficheros para la mecanización de las diferentes piezas utilizando máquinas de control numérico CNC o técnicas de fabricación aditivas como la impresión 3D por capas, MLD o por sinterizado láser, SLS.
4. *Realización de la electrónica.* Realizaremos y programaremos la electrónica de control del sensor.
5. *APP y Cloud.* Generaremos una APP y subiremos los datos a un “Cloud” para visualizar en un “Front-End” los datos del proceso productivo en tiempo real. Utilizaremos “Big-Data” para analizar y posicionar históricos de datos productivos de todos los clientes y “Machine-Learning” para mejorar el proceso mediante el autoaprendizaje adquirido por el sistema.
6. *Fabricación del prototipo.* Fabricaremos nosotros mismos o subcontrataremos la fabricación de las piezas

PROYECTO VIMO

Aspectos a abordar:

- Para el Objetivo 1:
 - ✓ Estudio de los diferentes métodos de inyección y eficiencia del sistema (disolución del gas en el líquido).
 - ✓ Elección del sistema que mejor se acomode a nuestras necesidades.
 - ✓ Búsqueda de materia prima. Electroválvulas, baterías, reguladores de presión, bombonas para gases a presión de pequeño tamaño, etc.
- Para el Objetivo 2:
 - ✓ Software y herramientas a utilizar.
 - ✓ Tipo de simulación
 - ✓ Resultados de la simulación y posibles interacciones.
 - ✓ Análisis de resultados e incertidumbre del diseño.
- Para el Objetivo 3:
 - ✓ Obtención de planos y documentación para fabricación del prototipo.
 - ✓ Elección de materiales y acabados superficiales para la carcasa del inyector de gases.
- Para el Objetivo 4:
 - ✓ Diseño, fabricación y montaje de la placa de la electrónica principal.
 - ✓ Elección del módulo Bluetooth de bajo consumo BLE v4.0 para la comunicación con el teléfono móvil y de la batería del sistema.
 - ✓ Programación del firmware del microcontrolador y del sensor de Compuestos Orgánicos Volátiles, (VOC Volatile Organic Compounds es su acrónimo en inglés).
- Para el Objetivo 5:
 - ✓ Programaremos una aplicación de móvil básica para conectarnos con el censor y subir los datos a la Nube.
 - ✓ Contrataremos un Cloud para almacenar los datos en una base de datos y generaremos un panel frontal de visualización donde veremos gráficas de los datos.
 - ✓ Utilizaremos los datos de la base de datos para aprender de los errores y mejorar el proceso indicando posibles mejoras en el proceso productivo al cliente.
- Para el Objetivo 6:
 - ✓ Elección de tipo y tecnología para la fabricación de las piezas para el prototipo.
 - ✓ Posibles fabricantes o formas de fabricar las piezas.

Funcionamiento y topología de VIMO:

A continuación, se presenta el dispositivo y el funcionamiento general, así como distintos escenarios y topologías de funcionamiento. Este es el aspecto final:

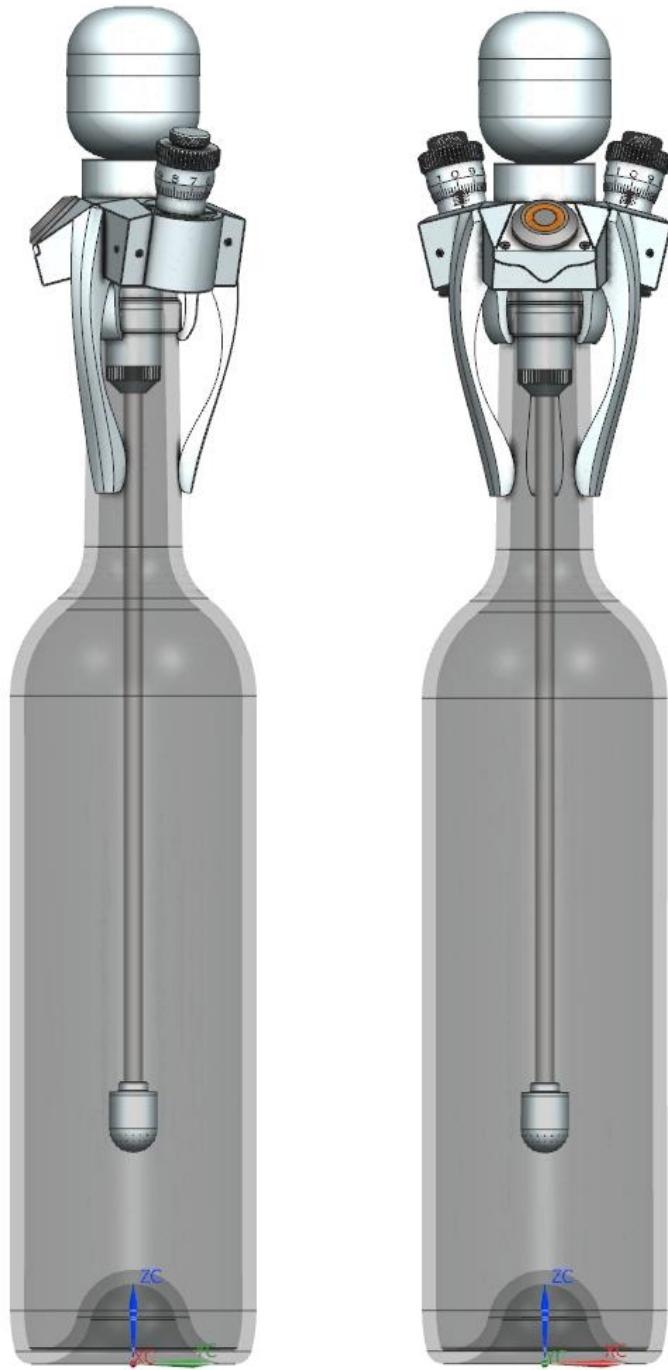


Figura 1. Sensor VIMO. Vista general del dispositivo montado.

Se aprecia la botella de vino que contiene la muestra a analizar a la que se le ha acoplado en su cuello nuestro dispositivo sensor. Se aprecian también las dos válvulas de regulación y la bombona con el gas de la reacción para el componente a analizar. También podemos ver la varilla de difusión del gas y sensor de temperatura que llega casi hasta el fondo de la botella.

Cómo usar el equipo

En las siguientes imágenes podemos ver cómo sería una secuencia típica de funcionamiento del dispositivo.

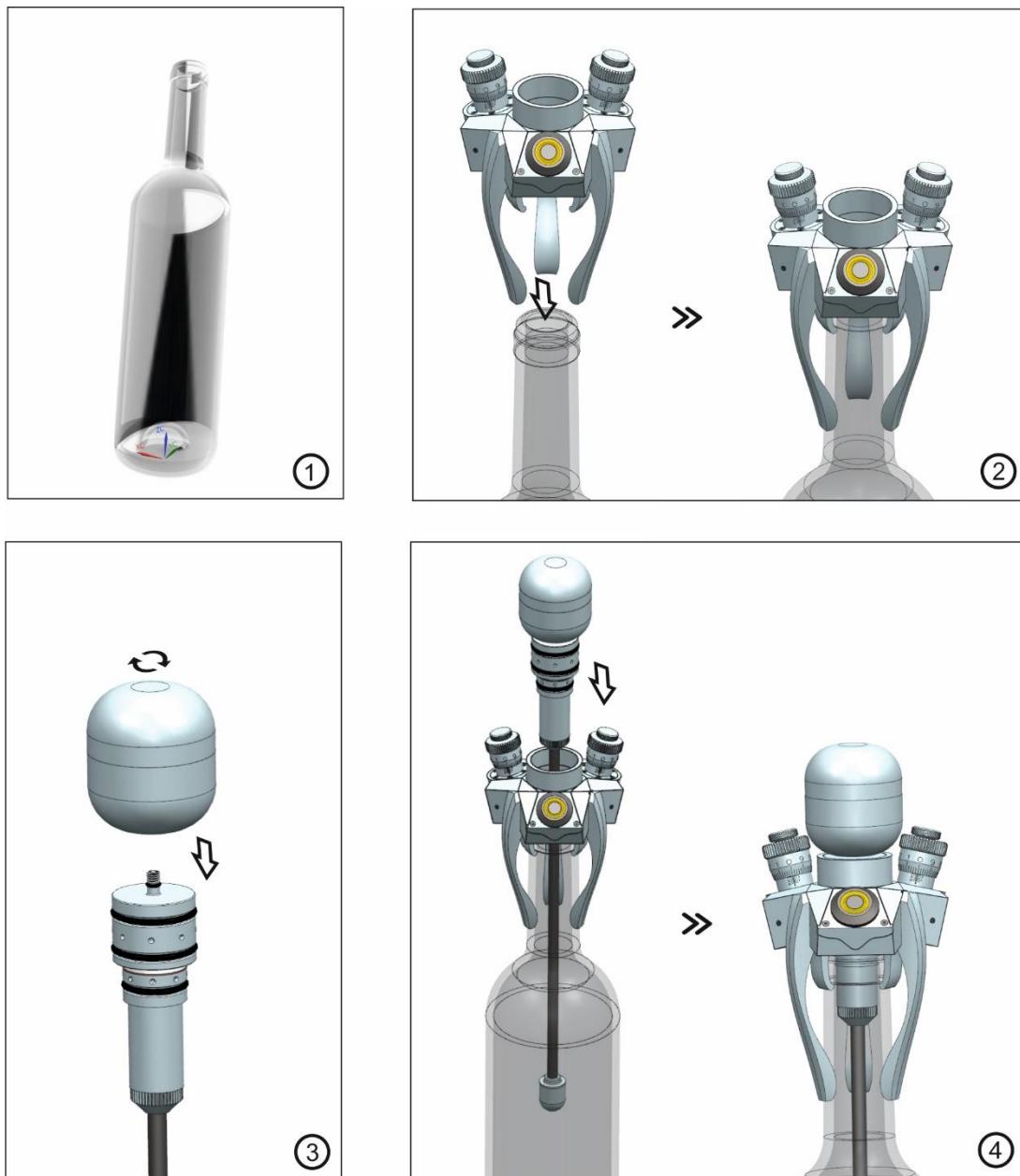


Figura 2. Cómo se utiliza VIMO. Montaje.

En primer lugar (paso 1), hay que descorchar la botella vino.

Llenamos la botella con la muestra y fijamos la base del sensor en la boca de la botella presionándola ligeramente (paso 2), una cánula de centrado que se apoya en propio cuello de la botella facilitará lo inserción.

PROYECTO VIMO

El siguiente paso es roscar la botella con el gas de análisis a inyectar en el vino como se muestra en el paso 3 y seguidamente se introduce el agitador en la base, paso 4. Cuando el inyector está completamente y correctamente montado, el led del botón de activación lucirá en color verde.

Con el sensor montado y listo, solo tenemos que ajustarlo y pulsar el botón:

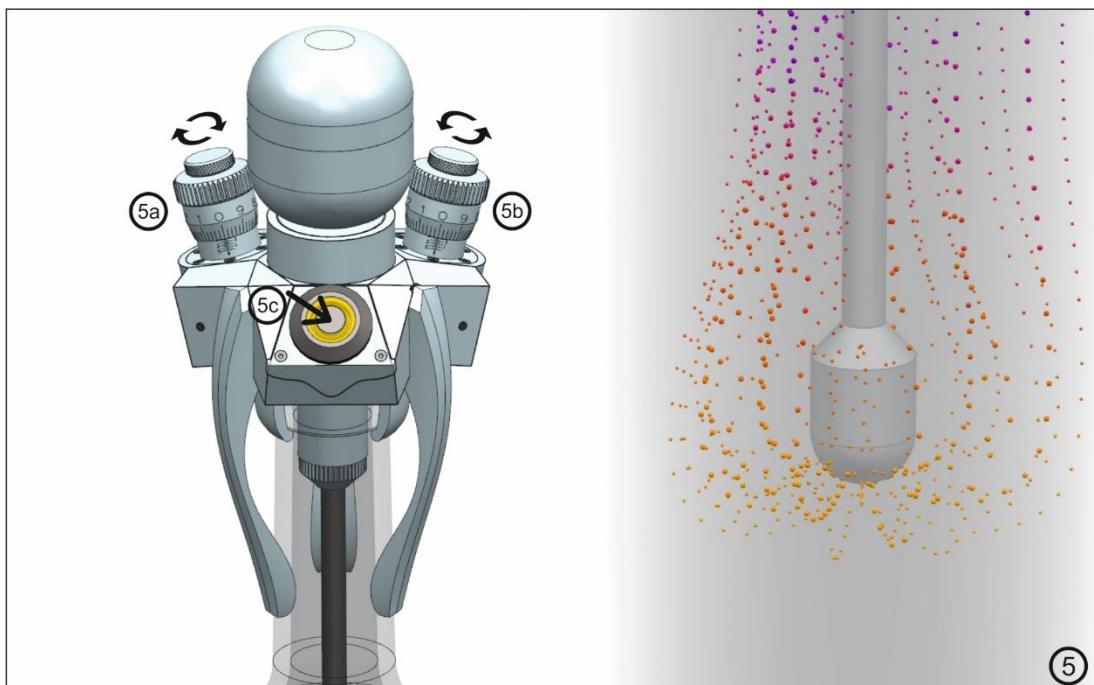


Figura 3. Cómo se utiliza VIMO. Ajuste y activación.

Ajustamos la válvula de regulación de presión (paso 5a) y la válvula de regulación de caudal (paso 5b) según la mezcla que queramos obtener en el vino y a continuación presionamos el botón de inicio para activar la toma de datos (paso 5c).

Durante el tiempo programado el gas saldrá por el difusor y podremos ver como ascienden las burbujas. El led del botón parpadeará en color amarillo.

En esta ascensión, el gas interacciona con el elemento a medir en el vino (por ejemplo, el alcohol etílico o etanol C_2H_5OH), de forma que es arrastrado hasta la salida del gas en la boca de la botella.

En esta salida hay un sensor de gases que analiza los compuestos orgánicos que arrastra el gas dándonos una medida precisa del nivel de alcohol en el vino (ver la figura de la siguiente página). Esta medida junto con otros parámetros (como la temperatura del vino, acidez, etc.) son enviados por Bluetooth a un móvil que se encarga de hacer de puerta de enlace entre el sensor y el almacenamiento del dato en la nube.

En la figura 6 de la siguiente página, podemos observar el diagrama de flujo de los datos desde el sensor a la base de datos de la nube pasando por la aplicación móvil para VIMO. La conexión con la base de datos desde la aplicación se puede realizar por WiFi o bien por LTE (Datos 3G) ampliando de esta manera la cobertura del dispositivo.

PROYECTO VIMO

El sensor termina cuando el led vuelve a color verde fijo y no salen más burbujas por el difusor.

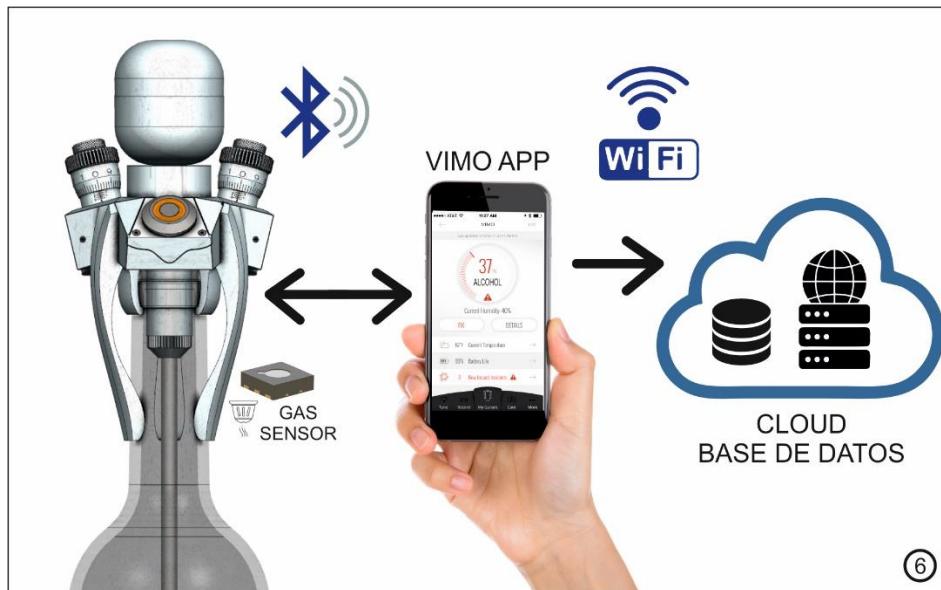


Figura 4. Cómo se utiliza VIMO. Subiendo datos a la Nube.

Es interesante observar el ciclo de funcionamiento del sistema:



Figura 5. Cómo se utiliza VIMO. Ciclo de funcionamiento.

La información almacenada en la nube, es tratada de forma inteligente mediante técnicas de autoaprendizaje y tratamiento de datos masivos para mostrarlos en el panel de control del ordenador. Estos datos son realimentados al sistema de producción para a través de VIMO mejorar el proceso en la siguiente interacción que cierra el ciclo.

Todo el sistema que acompaña a VIMO va a ser respetable con el medio ambiente cumpliendo con las exigencias europeas en materia de eficiencia energética y respeto del medio ambiente.

1.3 Alineamiento con los objetivos de la convocatoria PAIP 2020

El proyecto VIMO está alineado con los objetivos de la convocatoria “Programa de ayudas a la industria y la PYME en Aragón”, PAIP 2020. La Tabla 1 describe cómo el proyecto VIMO cubre los requisitos del artículo cuarto, apartado 3 del texto de la Orden ICD/1709/2019:

Apartado del artículo 4, apartado 3 de la Orden ICD/1709/2019
<p>a) Proyectos de diagnóstico, implantación o convergencia hacia la transformación digital de la Industria, Industria 4.0.</p> <p>El desarrollo de VIMO encaja en todos los puntos de este apartado en los campos de:</p> <p>Aplicación de nuevas tecnologías - El diseño se va a realizar enteramente por técnicas asistidas por ordenador CAD/CAM/CAE, realizando simulaciones de dinámica de fluidos (CFD, por sus siglas en inglés) y de estructuras (análisis FEA, de elementos finitos) para validar el diseño antes de la fabricación. Se van a utilizar tecnologías punteras como el microperforado láser, la fabricación aditiva 3D por deposición de material fundido (MLD) o sinterizado láser (SLS). Vamos a utilizar conceptos propios y ampliamente implantados en la Industria 4.0 como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), base de datos en Internet, la llamada Nube (Cloud, anglicismo técnico con el que lo reconocemos normalmente) y realizaremos aplicaciones de usuario tanto para el móvil (APP) como para los ordenadores (Front-End) desde donde monitorizaremos los datos. El tratamiento de datos para mejora del proceso productivo también va a tener una gran importancia aplicando técnicas de Inteligencia Artificial (AI, de sus siglas en inglés) y de tratamiento masivo de datos (Big-Data).</p> <p>Transición energética y sostenibilidad en la Industria – VIMO está enfocado hacia una nueva Industria de gran eficiencia energética y respetuosas con el medio ambiente. Para ello, se van a utilizar las tecnologías de más bajo consumo para las comunicaciones, (BLE, Bluetooth Low Energy), así como baterías recargables y reutilizables y materiales con un largo ciclo de vida y reciclables. Todos los componentes y materiales utilizados en el diseño van a cumplir con la normativa europea de Reducción de Sustancias Peligrosas (RoHS, Restriction of Hazardous Substances).</p>
<p>b) Proyectos vinculados a zonas afectadas por procesos de desindustrialización.</p> <p>La industria vinícola aragonesa, se concentra en las comarcas de Cariñena, Almonacid de la Sierra, Aguarón y Alfamén principalmente (Situación de la industria vinícola aragonesa del siglo XX, 2008 pág. 12)⁵ con sus respectivas denominaciones de origen que suponen de 90% de la producción de vino en Aragón⁶. Con el sistema de control y monitorización del proceso productivo de fermentación VIMO, podríamos implantar la vitivinicultura en zonas de nuestra región con un amplio grado de desindustrialización⁷, zonas de despoblación⁸ o zonas que irremediablemente están abocadas a un cambio de gestión energética⁷ como las Cuencas Mineras, Andorra y Bajo Aragón.</p>

⁵ <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2793552.pdf>

⁶ <https://www.aragon.es/documents/20127/674325/sector-vitivinicola2.pdf>

⁷ Zonas de desindustrialización.

⁸ Zonas despobladas.

PROYECTO VIMO

Asimismo, la implantación de VIMO también podría suponer un avance en procesos vinícolas de empresas tradicionales, ofreciendo una puerta de entrada la Industria 4.0 para este sector.

c) Proyectos empresariales que hayan obtenido la declaración de interés autonómico.

???? Supongo que VIMO no está declarado de interés auto

d) Proyectos de empresas participantes en el programa PAED.

TECNOALLEN es una microempresa creada en 2017 con el objetivo de potenciar la innovación, principalmente en áreas relacionadas con la integración de energías y nuevas tecnologías.

e) Proyectos en el ámbito de la Industria 4.0 en los que el solicitante disponga de un diagnóstico previo a través de la herramienta HADA y de un plan de transformación digital resultante de la participación en el programa ACTIVA 4.0, dentro de la iniciativa Industria Conectada 4.0 del Ministerio competente en materia de Industria.

TECNOALLEN es una empresa concienciada con el concepto de Industria 4.0 no solo a nivel externo por su aplicación en los proyectos que desarrolla (tales como el proyecto VIMO, donde se muestra una tecnología innovadora para la supervisión, monitorización y automatización de procesos industriales), sino también a nivel interno al aplicarlo a los procesos de gestión en el día a día de la empresa. TECNOALLEN ha realizado un autodiagnóstico para conocer su estado de situación en Industria 4.0 mediante la herramienta HADA cuyos resultados se adjuntan en el Anexo I. Estos resultados han permitido detectar puntos críticos en los que se debe continuar trabajando y también fortalezas alrededor de las cuales la empresa puede crecer y aportar valor en el ecosistema empresarial aragonés.

Por otro lado, TECNOALLEN está preparando su participación en el programa ACTIVA 4.0, la empresa ha sido creada recientemente y se encuentra en un proceso de definición y proyección de sus líneas de trabajo que incluyen áreas de Industria 4.0.

f) Proyectos cuya implantación o desarrollo vaya a realizarse en el marco de las instalaciones de los CEEIs de Aragón, del Parque Tecnológico Walqa o del Parque Tecnológico del Motor de Aragón.

El diseño del proyecto VIMO se desarrollará en las instalaciones de CEEI de Aragón donde TECNOALLEN tiene su sede y desde donde se gestionará todo el proceso de producción de VIMO.

Adicionalmente se subcontratará el montaje y puesta en marcha de la mecánica y la electrónica a un taller especializado y se hará una instalación de prueba real en una bodega en funcionamiento. ¿???????

PROYECTO VIMO

g) Integración y complementariedad con otros instrumentos y medidas del Departamento de Economía, Industria y Empleo en el periodo 2015-2020.

TECNOALLEN tiene una estrecha vinculación con los instrumentos y medidas del Departamento de Economía, Industria y Empleo en el periodo 2015-2020, con quien ha mantenido un diálogo constante desde su creación a través del Instituto Aragonés de Fomento. Concretamente, TECNOALLEN ha sido proveedor de servicios en los siguientes contratos, donde destaca su cooperación con IAF y Fundación para el Desarrollo de las Nuevas Tecnologías del Hidrógeno en servicios de consultoría e ingeniería y en los de servicios de ingeniería para Instrumentación y Componentes S.A (INYCOM), habilitador digital de Aragón 4.0 en proyectos de Industria 4.0 relacionados con el sector químico. ¿???????

h) Proyectos orientados a la innovación, a la diferenciación competitiva, al crecimiento o a la ampliación de mercados.

El proyecto VIMO hace frente a los siguientes puntos:

- ✓ Innovación, ya que es un elemento disruptivo en la vitivinicultura, nunca antes se ha implementado un sensor con las características de VIMO en la industria enológica.
- ✓ Diferenciación competitiva, ya que esta solución socializa la tecnología más puntera de la industria enológica haciéndola asequible y de fácil implementación. Esta tecnología se puede implantar en zonas sensibles con poca inversión descentralizando la producción del vino.
- ✓ Ampliación de mercados, debido a la implantación objetivos dentro de los más altos estándares estatales y europeos de Calidad, Respeto Medioambiental y Eficiencia Energética, la verificación de los resultados simulada por TECNOSUIT, arroja una rápida expansión en mercados mundiales.

i) Microempresas y pequeñas empresas

TECNOALLEN, debido a su reciente creación, tiene la consideración de microempresa a los efectos del Reglamento (UE) 651/2014 de la Comisión Europea.

j) Empresas jóvenes

TECNOALLEN es una empresa creada en febrero de 2017, por lo que se encuentra en pleno proceso de crecimiento y tiene consideración de empresa joven.

k) Solicitantes que hayan participado en iniciativas formativas o de networking empresarial.

TECNOALLEN, como entidad perteneciente al CEEI Aragón participamos activamente en iniciativas formativas o de networking empresarial. ¿???????????

PROYECTO VIMO

I) Proyectos de desarrollo plurianual que hubieran resultado perceptores de ayudas en la convocatoria.

El proyecto VIMO es un proyecto de desarrollo plurianual cuyo horizonte se extiende hasta finales de 2021. El proyecto ha dado comienzo en septiembre de 2019, por lo que es para su primera anualidad para la cual se solicita esta ayuda. ¿???????

m) Empresas que promocionen los principios de igualdad entre mujeres y hombres, la no discriminación y la accesibilidad para personas con discapacidad, implementando medidas concretas; así como los proyectos que integren/supongan mejoras medioambientales.

Actualmente TECNOALLEN promociona los principios de igualdad de género y los aplica en la composición de su equipo, favoreciendo la inclusión de un equipo balanceado con hombres y mujeres en posiciones de similar responsabilidad, atribuciones y remuneración.

Por otro lado, TECNOALLEN está orientado al desarrollo de proyectos de ingeniería que supongan una mejora no solo en cuanto a incrementos de eficiencia o reducción de costes, sino también a nivel medioambiental. Es el caso del proyecto VIMO, donde todos y cada uno de los componentes han sido elegidos para cumplir con las normas más exigentes en materia energética y respeto medioambiental.

n) Grado de elaboración, calidad y claridad de la solicitud.

La solicitud de ayuda se acompaña de todos los documentos específicamente requeridos en el apartado séptimo de la Orden ICD/1709/2019 y que se describen en el portal del Gobierno de Aragón⁹.

Tabla 1. Alineamiento del proyecto RED con los objetivos de la convocatoria PAIP 2020.

2 Estructura presupuestaria y de financiación

Aquí declararemos los costes globales que tenemos y la intensidad de financiación, sin entrar a describirlos en detalle. Solo dar las cantidades totales, las financiadas y las que cubre el Vivero (parte no financiada). Es el circuito financiero, digamos. El detalle viene en el apartado 4.

Será por un lado los activos y por otro el personal.

Las intensidades serán del 25% para Zaragoza (entiendo que entramos como resto Zaragoza) para empresas pequeñas para los ACTIVOS y del 45% para Desarrollo Experimental para empresas pequeñas. ¿???????????

⁹ <https://www.aragon.es/tramites>

3 Plan de trabajo y ejecución del proyecto

3.1 Calendario de ejecución

El proyecto VIMO se plantea en un horizonte temporal de 2 años, incluyendo las tareas:

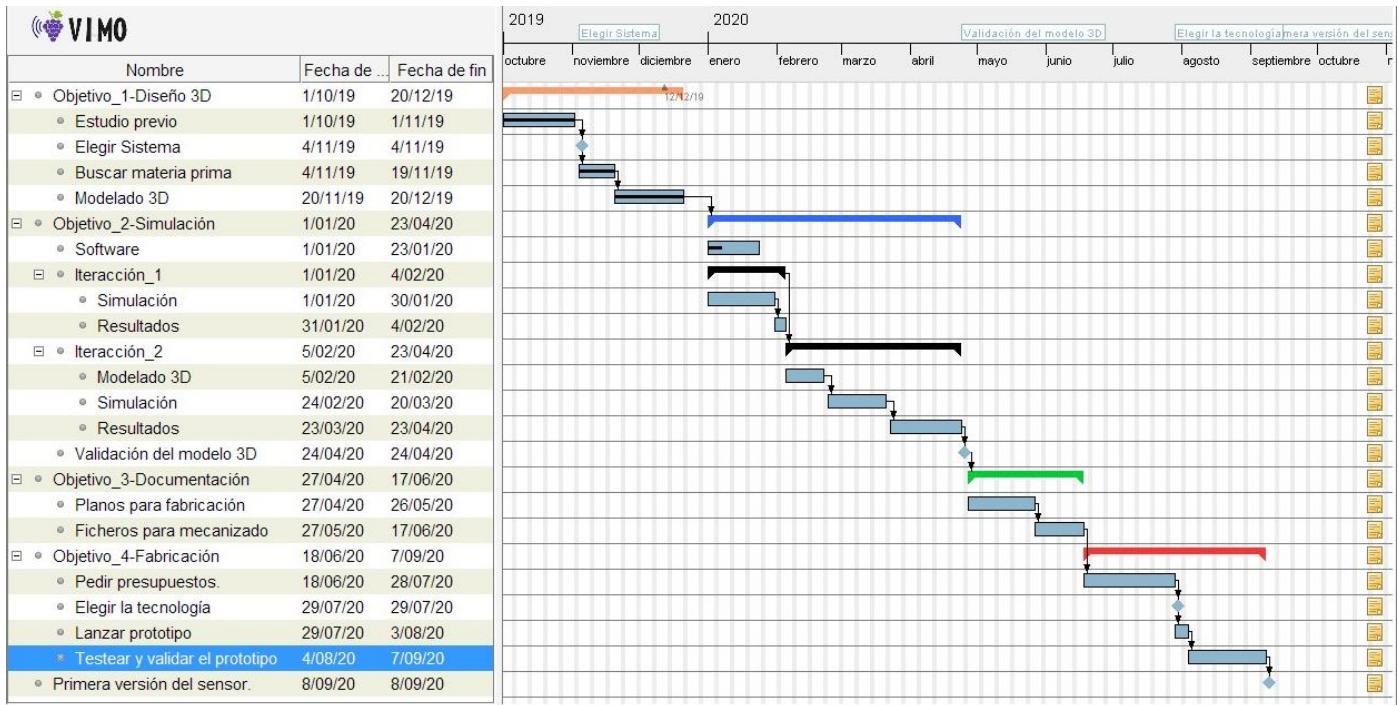


Figura 6. Calendario del proyecto VIMO indicando la duración de las tareas.

Para el primer año tenemos planeada la fabricación de un prototipo funcional. El proyecto se comenzó a desarrollar en octubre del 2019 y actualmente estamos en la fase de ajuste del modelo 3D del sensor como se puede apreciar en el diagrama de Gantt mostrado en la Figura 6.

3.2 Descripción de las tareas

1.Diseño 3D. Diseño 3D eficaz del sensor, utilizando la información teórica disponible, deberemos ser capaces de modelar adecuadamente un sensor 3D utilizando las herramientas de diseño CAD/CAM/CAE.

- ✓ Estudio previo: Estudio de los diferentes métodos de inyección de gases y eficiencia del sistema absorción del gas reactante del parámetro a medir y elección de la tecnología. Estableceremos un hito o marcador al final de esta fase que será seleccionar la tecnología que más se adecue a nuestras necesidades.
- ✓ Buscar materia prima: Búsqueda de materia prima. Electroválvulas, baterías, reguladores de presión, bombonas para gases a presión de pequeño tamaño, etc.
- ✓ Modelado 3D: Utilizando las herramientas CAD/CAM/CAE, hacer un diseño completo del sensor.

PROYECTO VIMO

2. Simulaciones. Simulación del modelo y la inyección, utilizando FEA y/o CFD. Mediante estas potentes herramientas simularemos la conveniencia o no del modelo 3D para los objetivos deseados. Las partes a simular serán las zonas sensibles a este tipo de análisis como el regulador de presión, el elemento de control de flujo del gas o el dimensionado de los elementos sometidos a presión o estrés mecánico. Los resultados realimentarán el modelo 3D (objetivo 1) para corregirlo y/o ajustarlo.

- ✓ Software: Estudio previo del software y herramientas a utilizar.
- ✓ Interacciones: Los resultados de las simulaciones modificarán el modelo 3D hasta que los resultados sean satisfactorios. Se prevén dos interacciones
- ✓ Validación del modelo 3D: Con los datos de las simulaciones hemos modificado la geometría del modelo 3D para obtener unos resultados satisfactorios con un factor de incertidumbre bajo. Tenemos un modelo validado teóricamente funcional, este será el hito a conseguir.

3. Documentación. Documentación CAM para la fabricación. Planos, ficheros para la mecanización de las diferentes piezas, etc.

- ✓ Planos para fabricación: Obtención de planos y documentación para fabricación del prototipo. Elección de materiales y acabados superficiales para la carcasa del inyector de gases.
- ✓ Ficheros para mecanizado: Obtendremos los ficheros necesarios para la fabricación en los formatos requeridos por el fabricante.

4. Fabricación. Documentación CAM para la fabricación. Planos, ficheros para la mecanización de las diferentes piezas, etc. Lanzar la primera fabricación (seguramente serán necesarias varias interacciones):

- ✓ Pedir presupuestos: Pedir presupuestos para la fabricación de las piezas.
- ✓ Elegir la tecnología de fabricación: Elección de tipo y tecnología para la fabricación de las piezas para el prototipo.
- ✓ Lanzar prototipo: Lanzar la primera fabricación del prototipo.
- ✓ Testear y validar el prototipo: Testear la funcionalidad del prototipo y asegurarnos que cumple con los requisitos.

En las siguientes páginas mostraremos el trabajo realizado hasta la fecha en una memoria de VIMO todavía sin terminar, en ella se puede apreciar que la idea ya está muy avanzada a nivel de diseño.

4 Memoria técnica de VIMO

4.1 Esquema general

El dispositivo inyector está físicamente dividido en dos partes principales:

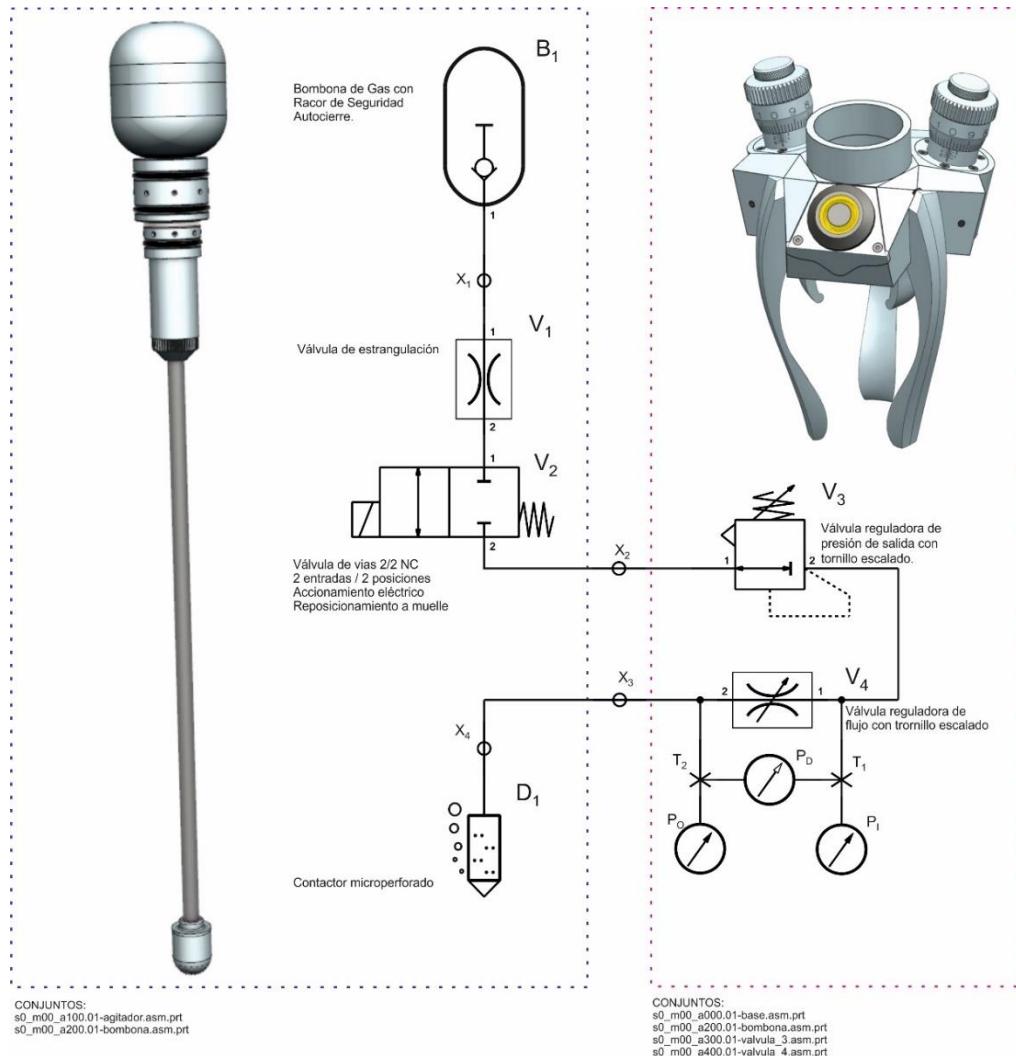


Figura 7. Reactor bifásico, esquema neumático general.

- El agitador. Lo podemos ver a la izquierda en la figura anterior. Formado por la bombona con el gas a inyectar (B_1), la válvula de estrangulación (V_1) que acopla la presión de la bombona a la entrada de la válvula de vías, la propia válvula de vías (V_2) de dos contactos y dos posiciones con activación eléctrica y reposicionamiento a muelle y la varilla de acero con el difusor microporoso en su extremo (D_1) por donde sale el gas en forma de burbujas.
- La base. Que podemos ver a la derecha en la anterior. Está formada por la base en sí misma dentro de la cual se encuentran las tuberías que unen el agitador con las válvulas y estas entre sí, la válvula de regulación de caudal de salida (V_3) y la válvula de regulación de flujo (V_4) con las que fijamos mezcla de gas que deseamos en el vino. La base, también sirve de estructura para la electrónica de control y su botón y la cánula de centrado y fijación al cuello de la botella.

PROYECTO VIMO

En el siguiente punto explicaremos con un poco más de detalle el funcionamiento de nuestro inyector.

4.1.1 Funcionamiento

Tenemos una bombona de con el gas a presión B_1 , que se enrosca de forma segura al cuerpo del agitador a través del punto de conexión X_1 . Ver explicación detallada en el punto 4.2.1. Nótese que en el interior de la bombona hay una válvula de seguridad con auto cierre que permite quitar la bombona sin que haya venteo a presión de su contenido. Esta es una medida de seguridad aplicada teniendo en cuenta las consideraciones de diseño indicadas en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La presión en la bombona B_1 , es muy alta (entre 55 y 60 atm) por lo que debemos reducirla para que la válvula de activación V_2 , pueda funcionar. Según las características de la electroválvula, debemos reducir esta presión hasta las 20 atm para que el muelle sea capaz de cerrar la válvula en ausencia de excitación de la bobina de activación. Ver punto 4.2.3 donde se explica el diseño de la electroválvula.

La manera de reducir esta presión es por medio de una válvula de pérdida de carga por estrangulación V_1 , que consiste en hacer pasar el flujo por un pequeño orificio. Se puede decir que la válvula V_1 acopla la presión en la bombona a la entrada de la electroválvula. Ver punto 4.2.2.

Con la presión por debajo de las 20 atm llegamos a la válvula de regulación de presión de salida V_3 , pasando el flujo del agitador a la base por el sistema de canalización diseñado para el inyector, puntos de conexión X_2 y X_3 . Ver puntos los 4.3.1 y 4.3.1 donde se explica el diseño de la válvula y del Mainflow respectivamente.

La válvula V_3 , es sin duda, el elemento más complejo del inyector ya que tiene una gran cantidad de piezas que explicaremos en detalle en el punto 4.3.1 más adelante. A grandes rasgos, esta válvula mantiene constante la presión a la salida independientemente de las variaciones en presión de entrada debidas principalmente a la descompresión del gas en la bombona B_1 . Para que esta regulación sea efectiva, la presión a la entrada deberá ser ligeramente superior a la de salida. Podemos controlar la presión de salida de forma precisa gracias a un tornillo escalado que modifica la consigna. Para presiones de entrada inferiores a la requerida, la válvula permanece cerrada.

Con la presión estabilizada a la salida de la válvula V_3 podemos controlar de forma muy precisa el flujo en la siguiente etapa por medio de la válvula de regulación de caudal V_4 . Se trata de una válvula de aguja especialmente diseñada para flujos o caudales bajos, entre 0,1 y 0,5 litros por minuto, que es el rango en el que nos vamos a mover en nuestro inyector. En el punto 4.3.4 explicamos en detalle el diseño de esta válvula. El mecanismo de regulación de la consigna mediante tornillo escalado, es el mismo que el diseñado para la válvula V_3 y permite un control muy preciso del caudal.

Podemos acceder exteriormente a los puntos de test T_1 y T_2 para realizar medidas de presiones de entrada (P_i) salida (P_o) o diferenciales (P_d) como se muestra en la Figura 7.

PROYECTO VIMO

El flujo a la salida de la válvula de regulación de caudal V_4 , es reinyectado al agitador a través de X_3 para salir de nuevo a través de X_4 hacia el contactor. El punto de conexión X_4 , es un sistema in inserción rápido que permite intercambiar el tipo de contactor de forma rápida si fuera necesario. Ver detalles del diseño en el punto 4.2.5.

El contactor está formado por un tubo de acero inoxidable de 6 mm de diámetro y 250 mm de longitud en cuyo extremo se rosca el difusor microperforado D_1 que inyecta el gas en forma de burbujas con el caudal requerido en el fondo de la botella.

4.2 Diseño del Agitador

En la siguiente ilustración, podemos ver las piezas que componen el agitador:

PROYECTO VIMO

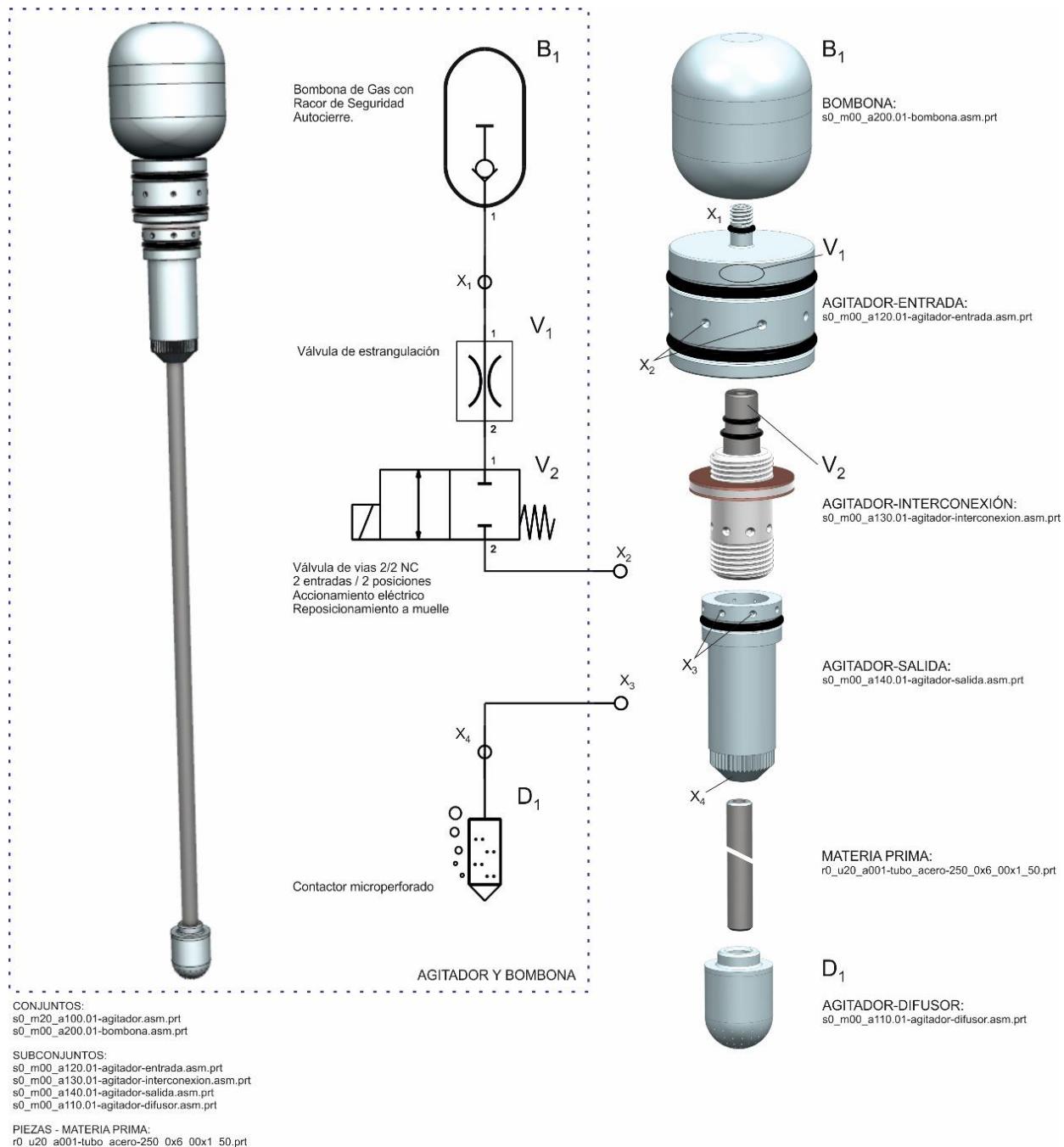


Figura 8. Agitador, vista de conjunto.

Debido a la gran cantidad de piezas del inyector, he realizado un diseño fuertemente estructurado en conjuntos, subconjuntos, piezas y materia prima. Todos los archivos CAD del proyecto se encuentran en el repositorio del proyecto¹⁰ que por claridad está estructurado en directorios.

En el anexo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. “¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.”, muestro en detalle el formato ideado para la codificación de los archivos explicando los campos que componen la referencia.

¹⁰ Ficheros CAD: github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_device

PROYECTO VIMO

Como podemos observar en la 1.1.1.1.1.1. Figura 8, el agitador está compuesto por dos conjuntos principales:

- ✓ El conjunto bombona con el gas
- ✓ El conjunto agitador

A su vez, estos conjuntos están divididos en subconjuntos y alguna materia prima que se relacionan de manera jerárquica como podemos ver en detalle en el navegador de ensamblaje del agitador:

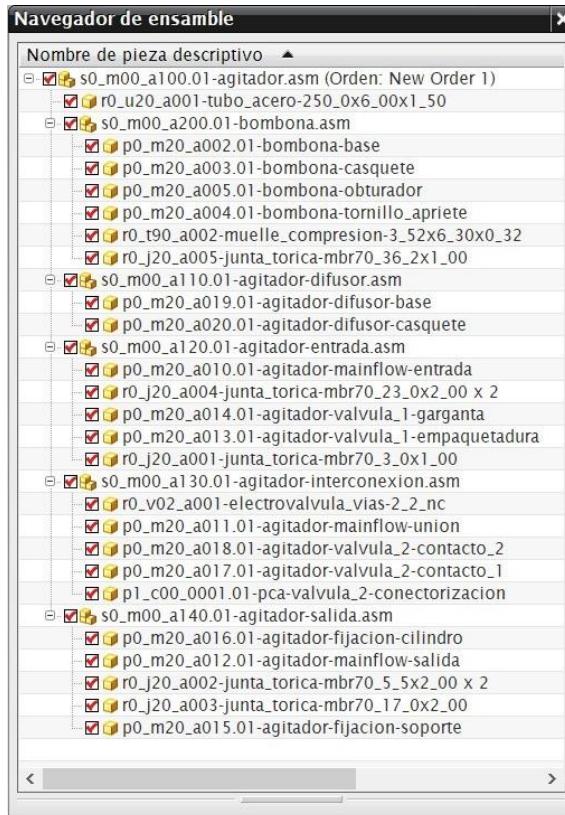


Figura 9. Agitador, piezas del ensamblaje.

Por claridad, he eliminado del navegador las restricciones y las secciones. Pero téngase en cuenta que todas y cada una de las piezas y sus bocetos están totalmente restringidos y posicionados.

En los siguientes puntos estudiaremos los distintos subconjuntos del agitador.

4.2.1 Bombona

Existen gran cantidad de botellas de pequeñas dimensiones en el mercado. En el directorio de documentación de materia prima en el repositorio del proyecto^{iError! Marcador no definido.}, se pueden encontrar una gran cantidad de referencias a botellas comerciales que he ido recogiendo.

Calidades a parte (acero inoxidable en la fabricación), a grandes rasgos hay dos tipos de botellas:

- Bombonas no recargables. Este tipo de botellas son las más económicas y permiten un alto grado de personalización. Este tipo de botellas tienen un diafragma metálico que es perforado en el momento de la inserción. Por lo que una vez insertadas no se pueden quitar sin que su contenido se pierda. Tratar de quitar una botella de este tipo con presión puede resultar peligroso. Una vez gastadas, no se pueden llenar.



Figura 10. Bombona no recargable. Cortesía de SEFIC.

- Bombonas recargables. Este tipo de botellas son más caras, pero permiten limpieza y recarga. Suelen disponer de válvula de seguridad que permite la desconexión con presión en la botella.



Figura 11. Bombona recargable. Cortesía de SEFIC.

PROYECTO VIMO

Respecto a los tamaños, existe una gran cantidad estando las capacidades estandarizadas. Hay que tener en cuenta que este tipo de botellas son muy utilizadas en multitud de aplicaciones. Algunas de aplicaciones en las que he visto que utilizan este tipo de bombonas son: chalecos salvavidas, infladores de neumáticos, pistolas de perdigones, paintball, insufladores para asmáticos, cilindros de toma de pruebas de gases, etc.

En la siguiente imagen podemos ver la gran cantidad de tamaños existentes:



TYPE(fillin g weight)	Water Capacity Minimum	Outside Diameter Nominal	HEIGHT [mm.]	WEI GHT [Kg.]	Inside pressure	Bursting Pressure	Thread
8g	11cc	18.5mm	65mm	35g	5.5mpa	54-56MPA	Unthreaded and (1/2 3/8 5/8thread) According to the client request
12g	17cc	18.5mm	83mm	42g	5.5mpa	54-56MPA	
16g	21cc	21.8mm	88.6mm	56g	5.5mpa	54-56MPA	
17g	29cc	25.6mm	98mm	87g	5.5mpa	54-56MPA	
18g	29cc	25.6mm	98mm	88g	5.5mpa	54-56MPA	
22g	29cc	25.6mm	98mm	88g	5.5mpa	54-56MPA	
24g	34cc+	25.6mm	108mm	97g	5.5mpa	54-56MPA	
25g	34cc	25.6mm	108mm	102g	5.5mpa	54-56MPA	
28g	45cc	25.6mm	138.5mm	135g	5.5mpa	54-56MPA	
33g	45cc	25.6mm	138.5mm	145g	5.5mpa	54-56MPA	

Figura 12. Bombona, tamaños. Cortesía de SEFIC.

Elección de la bombona de referencia

Como en muchas otras piezas de este proyecto, mi referencia de diseño va a ser la prestigiosa empresa Swagelok cuyos productos y catálogos han sido de gran utilidad. La calidad de sus productos no es cuestionable, siendo referente a nivel mundial.

PROYECTO VIMO

En concreto me he basado en los cilindros de toma de muestras en miniatura que podemos consultar en (Swagelok, 2019) o alternativamente en el repositorio¹¹.

En la siguiente figura podemos ver una imagen de los cilindros de toma de muestras de Swagelok:



Figura 13. Cilindros de toma de muestras. Fuente Swagelok.

Nuestra bombona va a ser recargable y con válvula de seguridad para evitar cualquier tipo de incidente en su manipulación por lo que tendremos dos piezas con una junta tórica y una válvula antirretorno de seguridad como la que podemos ver en la 1.1.1.1.1.1.Figura 11.

El tamaño elegido es el de 12g con las características de presión y volumen que podemos ver en la 1.1.1.1.1.1.Figura 12.

4.2.1.1 Cálculos

Para una bombona de 12g, la presión interna es de 5,5 MPa (ver 1.1.1.1.1.1.Figura 12.) esta presión equivale a:

Presión interna
5,5 MPa = 55 bar = 56 at ¹² = 797 psi ¹³

Tabla 1.1.1. Equivalencia de presiones en la bombona.

Calculamos el peso molecular del dióxido de carbono como suma de los pesos moleculares de los átomos que lo componen utilizando la tabla periódica del apéndice **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$Masa_Molar = \sum q \cdot P \quad (1.1.1)$$

¹¹ Cilindros para toma de muestras de Swagelok:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/botella_gas/swagelok.com

¹² Una atmósfera es igual a un kilogramo de fuerza por centímetro cuadrado: at = kg / cm²

¹³ Un psi (pound square inch) es una libra por pulgada cuadrada: psi = p / in²

PROYECTO VIMO

donde:

q: numero de átomos del componente.

P: masa molecular del componente.

Para el caso del dióxido de carbono, aplicando la ecuación (1.1.1):

$$CO_2 = 12 \text{ g/mol} + 2 \cdot 16 \text{ g/mol} = 44 \text{ g/mol} \quad (1.1.2)$$

Para el caso del oxígeno:

$$O_2 = 2 \cdot 16 \text{ g/mol} = 32 \text{ g/mol} \quad (1.1.3)$$

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en la página **¡Error! Marcador no definido.** recoge distintas densidades y masas molares de los gases que podríamos utilizar para inyectar en el vino.

Según el Principio de Avogadro, ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, un mol de cualquier gas tiene el mismo volumen bajo las mismas condiciones. El número de partículas que contiene un mol se denomina Número de Avogadro (N_A) y equivale a:

$$1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ partículas} = N_A \quad (1.1.4)$$

El volumen de un gas ideal que contiene 1 mol de partículas se llama volumen molar y en condiciones normales equivale a:

$$\text{Volumen Molar [gas ideal]} = 22,4136 \text{ l/mol a } 0^\circ\text{C y 1 atm} \quad (1.1.5)$$

$$\text{Volumen Molar [real] del } CO_2 = 22,3 \text{ l/mol a } 0^\circ\text{C y 1 atm}$$

Por lo tanto (aplicando la ley de los gases ideales, ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), una botella de 12 g de CO_2 tiene un volumen a presión y temperatura normales de:

$$\text{Volumen [12 g de } CO_2] = \frac{12}{44} \text{ mol} \cdot 22,3 \text{ l/mol} = 6,082 \text{ l a } 0^\circ\text{C y 1 atm} \quad (1.1.6)$$

$$\text{Volumen [12 g de } O_2] = \frac{12}{32} \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ l/mol} = 8,400 \text{ l a } 0^\circ\text{C y 1 atm}$$

Por lo que en una botellita de oxígeno 17 cm³ o 17 ml a 55 bar tenemos un volumen de 8,4 litros a presión y temperaturas normales. Este dato es importante para calcular el número de usos que podemos dar de una botella dependiendo del caudal que programemos en nuestro inyector. Lo veremos más adelante.

PROYECTO VIMO

Ver la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para calcular los volúmenes de otros gases. Nosotros nos centraremos en el uso de CO₂ u O₂.

4.2.1.2 Diseño

En la siguiente figura, podemos ver la solución adoptada para el diseño de la bombona:

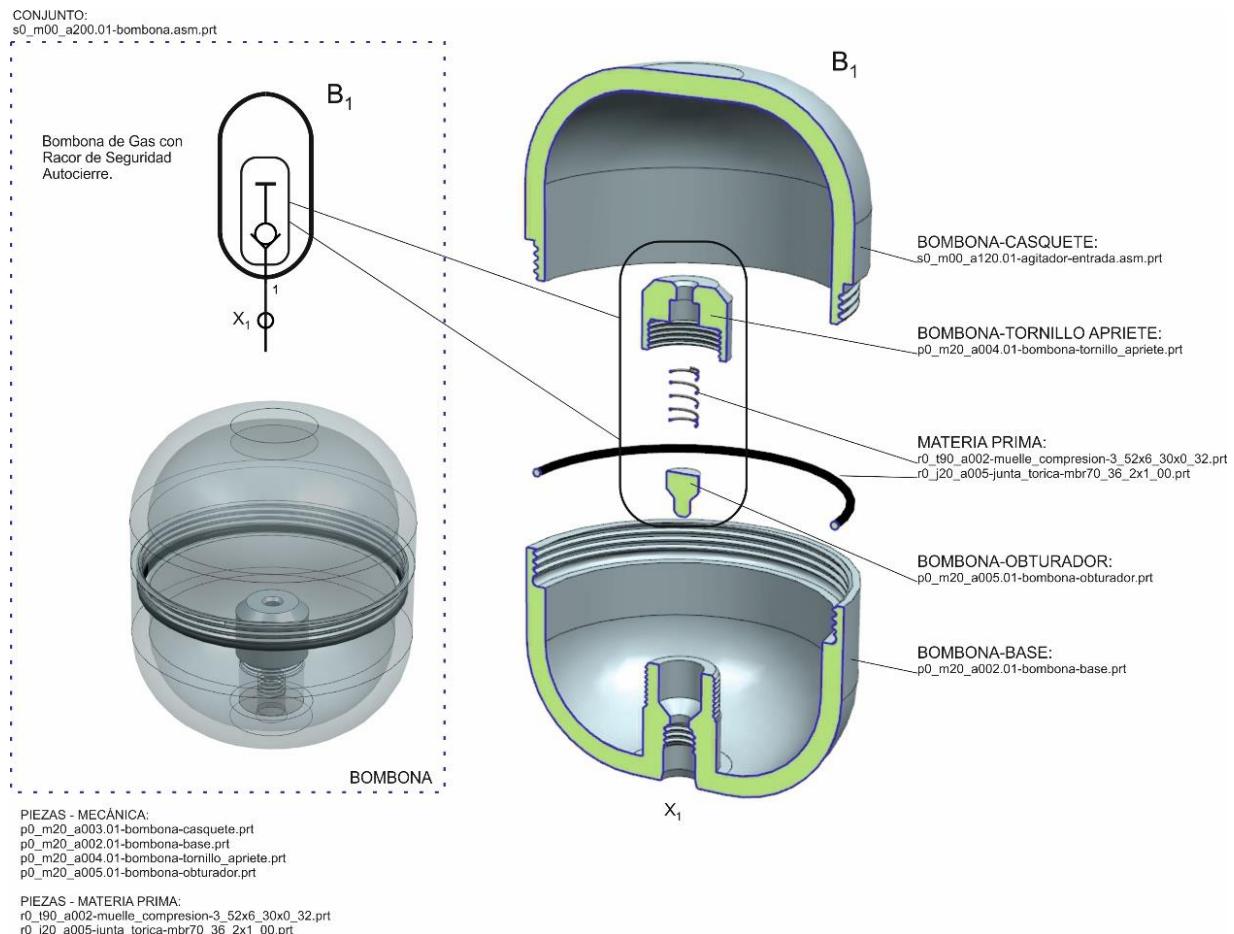


Figura 14. Conjunto bombona, vista de conjunto.

Se trata de una bombona desmontable en dos piezas principales. La base y el casquete que se unen mediante una rosca. La estanquidad se consigue por medio de una junta tórica de material MBR 70 con un diámetro interno de 36,2mm y un diámetro de hilo de 1mm.

Nuestro diseño, también incorpora una válvula de seguridad con auto cierre que permite el desmontaje de la bombona, aunque no se haya consumido todo el gas de su interior y por lo tanto con presión. Los elementos que forman esta válvula de seguridad son el obturador, el muelle de compresión y la empaquetadura o tornillo de apriete del conjunto. Podemos ver los elementos recuadrados en la figura anterior.

El funcionamiento es sencillo, cuando roscamos la bombona en el cuerpo del agitador, el obturador es desplazado hacia arriba y permite el paso de gas a través del punto de conexión X₁. Al desenroscar la bombona, la fuerza impulsora del muelle comprimido y la propia presión dentro de la botella, desplazan el obturador hacia abajo cerrando el paso de gas en el punto X₁.

PROYECTO VIMO

A continuación, podemos ver un detalle de cómo funciona esta válvula:

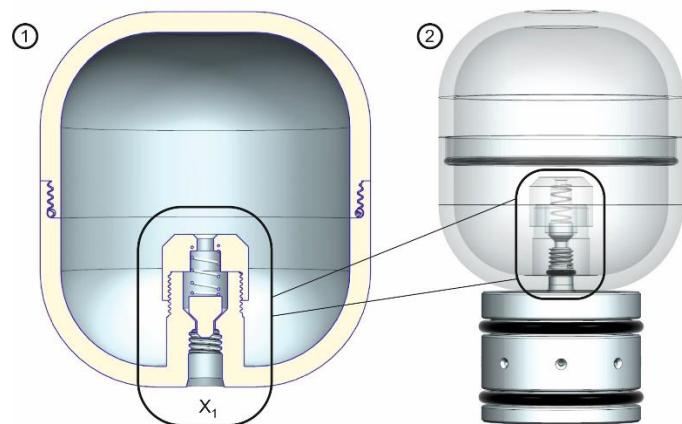


Figura 15. Bombona, válvula de seguridad. Vista de detalle.

En la imagen 1, la válvula está cerrada impulsada por el muelle de compresión y la propia presión del interior de la bombona de gas.

En la imagen 2, podemos ver la bombona roscada en el cuerpo del agitador y cómo la válvula está abierta permitiendo el paso de gas a través del punto de conexión X₁.

Dimensionado del muelle

En el diseño de la bombona se han utilizado dos componentes que son materia prima o componentes de catálogo, uno de ellos es el muelle de compresión:

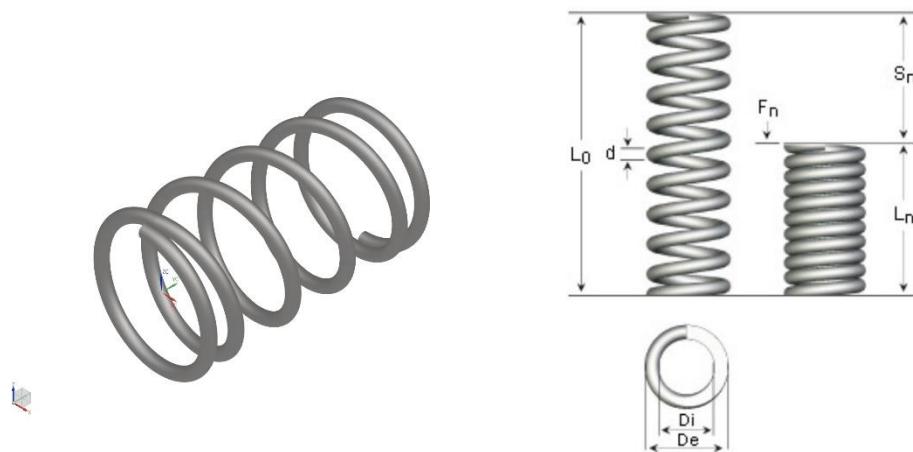


Figura 16. Muelle de compresión.

Podemos encontrar el estudio hecho sobre fabricantes de muelles en el directorio del proyecto de muelles^[Error! Marcador no definido]. Todos los muelles que he utilizado en este proyecto son comerciales y se puedes comprar a sus respectivos fabricantes. Os remito al anexo donde expongo la lista de

PROYECTO VIMO

materiales BOP con una hoja de cálculo que resume todas las materias primas utilizadas en el proyecto y que también se puede consultar el repositorio del proyecto¹⁴

El muelle cuyo código de proyecto es “r0_t90_a002-muelle_compresion-3_52x6_30x0_32.prt” puede ser comprado a [Sodemann](#) con la referencia A20750¹⁵. En la siguiente tabla podemos ver las características de este muelle.

Product Attribute	Value
Material	DIN 17224 AISI 302 W. nr. 1.4310 EN10270-3
d Wire	0.32
D _e External diameter	3.52
D _i Internal diameter	2.88
L ₀ Free Length	6.30
L _n Max Loaded length	2.50
s _n Max Travel	3.80
D _d Max Shaft	2.40
D _h Min Hole	4.00
n Elastic coils	3.50
F _n Max Force	3.16
R Constant N/mm	0.81
Configuration of ends	Closed but unground

Tabla 1.1.2. Muelle de compresión modelo A20750. Tabla de Sodemann.

Con estos datos, podemos modelar las piezas de la válvula y tenemos que asegurarnos que el muelle no se comprima más de S_n mm cuando la bobina está insertada y que en vacío, cuando la bombona está desenroscada, la fuerza que ejerce el muelle sea suficiente para desplazar el obturador.

- ✓ Del diseño vemos que el desplazamiento del obturador cuando la bombona está insertada es de 2 mm < 3,80 mm.

$$d < S_n \rightarrow 2 \text{ mm} < 3,8 \text{ mm} \quad (1.1.7) \text{ OK}$$

donde:

d : *distancia de compresión.*

S_n : *desplazamiento máximo.*

- ✓ Del diseño vemos que cuando la bombona está desenroscada el muelle está comprimido 1,5mm, lo que implica que la fuerza que ejerce el muelle es:

$$F = R \cdot d = 0,81 \text{ N/mm} \cdot 1,5 \text{ mm} = 1,215 \text{ N} \quad (1.1.8) \text{ OK}$$

donde:

d : *distancia de compresión.*

¹⁴ Materia prima utilizada en el proyecto:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/blob/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_device/3d_mec_raw/codigos-fabricantes-distribuidores.xlsx

¹⁵ Datasheet de un posible fabricante del muelle r0_t90_a002-muelle_compresion-3_52x6_30x0_32.prt:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/blob/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/muelles/sodemann.com/20750-sodemann-muelle-3_52x6_30x0_32.pdf

R: constante de compresión del muelle.

F fuerza de compresión ejercida por el muelle

Elección de la junta tórica

Otra materia prima muy utilizada para el diseño de la bombona es la junta tórica que asegura la estanqueidad del conjunto una vez montado. Este tipo de juntas forman parte de muchas otras piezas de este proyecto por lo que su conocimiento y tratamiento es necesario asimilar.

A este respecto podemos encontrar el directorio del repositorio [¡Error! Marcador no definido.](#) y en el anexo [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) toda la información necesaria.

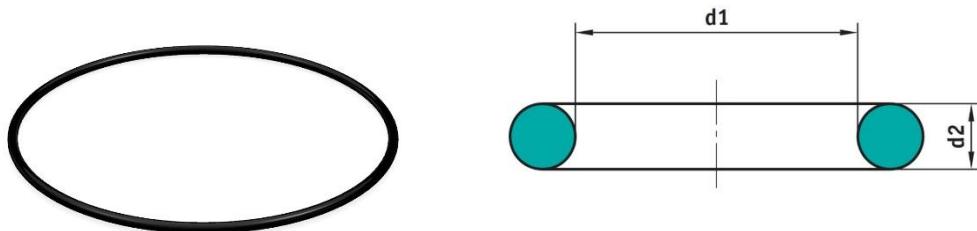


Figura 17. Junta tórica.

Las juntas tóricas, por normativa se designan por el diámetro interior d_1 y espesor d_2 . En nuestro caso el código interino “r0_j20_a005-junta_torica-mbr70_36_2x1_00.prt”, hace referencia a una materia prima mecánica (r0) de tipo junta tórica (j20), cuyo diámetro interno es de 36,2mm y espesor de 1mm. El material es MBR de dureza 70.

4.2.2 Agitador Entrada - Válvula 1, de estrangulación

Esta es la pieza del agitador a la que roscamos la bombona y que tiene embebida la válvula V_1 de restricción de flujo por estrangulación o pérdida de carga.

Este tipo de válvulas de restricción son ampliamente utilizadas en instalaciones hidráulicas o neumáticas, debido a su simplicidad y bajo precio de fabricación.

Comercialmente existen a la venta en formato miniaturizado en fabricantes como "The Lee Company"¹⁶. En concreto, en la serie que me he basado para el diseño de esta válvula es "Lee Jet"¹⁷

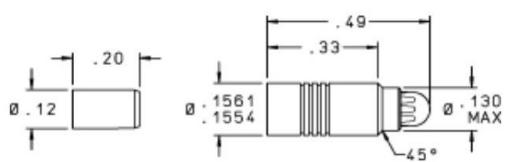
156 Lee Jet

JETA1562130H

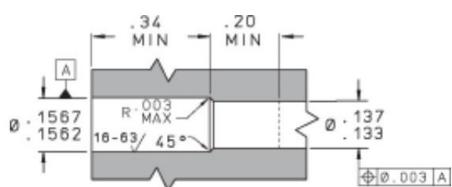
Forward



Insert



Installation



SPECIFICATIONS	
Type	Single Orifice
Lohm Rate	13000
Lohm Rate Tolerance	$\pm 2\%$
Nominal System Pressure (psi)	3000
Nominal Weight (grams)	0.7
Nominal Screen Hole Size (inches)	.004
MATERIALS	
Body Material (Specification)	304 Cres (AMS 5639)
Pin Material (Specification) (Heat Treat)	15-5PH Cres (AMS 5659)
Screens Materials (Specification) (Heat Treat)	304L Cres (ASTM A 666)
Braze Materials (Specification)	(AMS 4774)
Note	Finish: All Cres parts passivated. Pins are prewaxed. Do not degrease. Do not lubricate.
INSTALLATION / EXTRACTION	
Tool Set Part Number	CUTA1560104C
Replacement Pin Part Number	JETA1560003B

Figura 18. Válvula de restricción "Lee Jet". Fuente "The Lee Co".

La selección de este tipo de válvulas se hace en función de una resistencia equivalente al paso del flujo basada en la ecuación de Bernulli¹⁸ y que "The Lee Co" denomina "Lohm". Hay disponible un selector con calculadora¹⁷, como podemos ver en las siguientes figuras.

Temperatura	Presión
273,15K = 0°C = 32°F	101 325 Pa = 1 atm

Tabla 1.1.3. Condiciones Normalizadas TPN. Fuente Wikipedia¹⁹.

¹⁶ Válvulas miniatura de The Lee Company: www.theleeco.com/

¹⁷ Válvulas de estrangulación de orificio simple: www.theleeco.com/products/precision-microhydraulics/restrictors/

¹⁸ Ecuación o principio de Bernulli: es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_Bernoulli

¹⁹ Condiciones normalizadas: es.wikipedia.org/wiki/Condiciones_normalizadas_de_presi%C3%B3n_y_temperatura

PROYECTO VIMO

Podemos ver como para unas condiciones iniciales normalizadas (ver tabla anterior), para reducir una presión en la entrada de 55 bares a 20 bares de CO₂ circulando en las peores condiciones de flujo (mínimo flujo 0,1 l/min):

$$\text{Volumen [1 g de CO}_2\text{]} = \frac{1}{44} \text{ mol} \cdot 22,3 \text{ l/mol} = 0,506 \text{ l/g} \quad (1.1.9)$$

$$\text{Un flujo de } 0,1 \text{ l/min} = \frac{0,1 \text{ l/min}}{0,506 \text{ l/g}} = 0,197 \text{ g/min}$$

Instructions: enter temperature, upstream absolute pressure, downstream absolute pressure, flow rate, and gas (default Air) and click the Calc button. The Lohm rate, Temperature Correction Factor, and Units Constant are calculated.

Restrictors Lohm range: 1000 to 995

Temperature (°F) <input type="text" value="32"/> Upstream Abs. Pressure(P ₁) <input type="text" value="55"/> Downstream Abs. Pressure(P ₂) <input type="text" value="20"/> <small>* <input checked="" type="radio"/> psia <input type="radio"/> bar <input type="radio"/> kPa <input type="radio"/> mm.Hg</small> Temperature Correction Factor (f _T) $=$ <input type="text" value="1.04"/>	$\text{Sonic Flow - } P_1/P_2 \geq 1.9$ $Lohms = \frac{K f_T P_1}{Q}$ $\text{Subsonic Flow - } P_1/P_2 < 1.9$ $Lohms = \frac{2 K f_T \sqrt{\Delta P P_2}}{Q}$ <input type="button" value="Calc"/> Lohms $=$ <input type="text" value="16416.4"/>	Gas <input type="text" value="CO2"/> Flow Rate (Q) <input type="text" value="0.02"/> <small>* <input checked="" type="radio"/> SLPM <input type="radio"/> PPH <input type="radio"/> SCFM <input type="radio"/> lb_m/s <input type="radio"/> in³/min <input type="radio"/> kg/min <input type="radio"/> mL/min <input type="radio"/> gm/min</small> Constant (K) $=$ <input type="text" value="5.74"/>
--	--	--

- SELECT** - view all products on the Product Selector page having a Lohm rate 10% above or below the calculated value
- CANCEL** - return to the Product Selector page
- RESET** - clear calculator values

*Always verify flow calculations by experiment. The Lee Company expects the users of this calculator to be responsible for proper design and fabrication of their systems.

Figura 19. Calculadora para la válvula de restricción “Lee Jet”. Fuente “The Lee Co”.

Si metemos los datos en la calculadora nos dará una resistencia equivalente de: 1641,64 Lohms. Metiendo este dato en el buscador, nos dará la referencia de la válvula que debemos utilizar. En nuestro caso sería [JETA1872180D](#) es la más próxima.

Figura 20. Selector de la válvula de restricción “Lee Jet”. Fuente “The Lee Co”.

4.2.2.1 Cálculos

Para calcular la pérdida de carga al hacer pasar el gas por un agujero muy pequeño, podemos aplicar las fórmulas (tvl, 2019). O las indicadas en calculadora de la serie “Lee Jet” vistas en el apartado anterior teniendo en cuenta que vamos a trabajar a velocidades sónicas.

La lectura de (Pazmiño Mayorga, et al., 2017), ha sido de gran ayuda para comprender en detalle el diseño de esta válvula.

$$\text{Conservación de la masa (Venturi)} \rightarrow v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (1.1.10)$$

$$\text{Por Bernouilli} \rightarrow p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 \rightarrow \\ v_1^2 - v_2^2 = \frac{2 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho} \quad (1.1.11)$$

sustituyendo en (1.1.10): (1.1.12)

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho \cdot (A_1^2 - A_2^2)}} \rightarrow v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho \cdot (A_1^2 - A_2^2)}} \quad (1.1.13)$$

y el flujo volumétrico: (1.1.14)

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = A_1 \cdot A_2 \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho \cdot (A_1^2 - A_2^2)}} \quad (1.1.15)$$

donde:

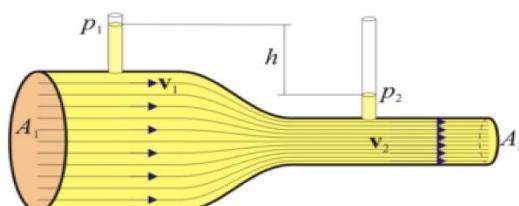


Figura 21. Efecto Venturi. Fuente (Pazmiño Mayorga, et al., 2017).

p: presión en un punto determinado.

A: área en un punto determinado.

v: velocidad en un punto determinado.

ρ: densidad del gas.

El caudal real no es igual al calculado a partir de la ecuación de Bernouilli, caudal teórico (1.1.15), ya que no se consideran perdidas energéticas en el propio tubo.

PROYECTO VIMO

Para obtener el caudal real, aplicamos el coeficiente de descarga C_d , como factor corrector:

$$Q_{real} = C_d \cdot Q_{teórico} \quad (1.1.16)$$

donde:

C_d : *coeficiente de descarga.*

Q_{real} : *caudal real.*

$Q_{teórico}$: *caudal teórico calculado según principio de Bernouilli, ecuación (1.1.15).*

Considerando que debemos calcular el diámetro de la garganta A_2 y que A_1 va a ser fija y conocida tendremos que:

$$A_2 = \pi \cdot \left(\frac{d_o}{2}\right)^2 \quad (1.1.17)$$

donde:

A_2 : *sección del estrechamiento.*

d_o : *diámetro del estrechamiento.*

Sustituyendo (1.1.17) y (1.1.15) en (1.1.16), tenemos:

$$Q_{real} = C_d \cdot Q_{teórico} = C_d \cdot A_1 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_o}{2}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (p_2 - p_1)}{\rho \cdot \left(A_1^2 - \left(\pi \cdot \left(\frac{d_o}{2}\right)^2\right)^2\right)}} \quad (1.1.18)$$

teniendo en cuenta que:

$A_1 = 3,14 \text{ mm}^2$ *sección de entrada para un tubo de 2 mm de diámetro.*

$p_1 = 56 \text{ atm}$ *presión de entrada.*

$p_2 = 20 \text{ atm}$ *presión de salida.*

$\rho = 1,98 \text{ g/mm}^3$ *densidad del dióxido de carbono.*

$d_o = 0,2 \text{ mm:}$ *diámetro del estrechamiento.* $A_2 = 0,0314 \text{ mm}^2$

Remplazando los datos y aplicando un coeficiente de descarga típico de 0,7 tenemos que:

$$Q_{real} = 0,7 \cdot 3,14 \cdot 0,0314 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (56 - 20)}{1,98 \cdot (9,86 - 0,001)}} = 0,132 \text{ g/min} \quad (1.1.1)$$

$$Q_{real} = 0,075 \text{ l/min} < Q_{min} = 0,1 \text{ l/min}$$

PROYECTO VIMO

Analizando el resultado anterior, vemos que una garganta de 0,2 mm nos asegura una presión a la salida de 20 atm en unas condiciones de caudal de 0,075 l/min que son más restrictivas que las máximas que vamos a exigir al sistema, 0,1 l/min. Por lo tanto, el dimensionado de la garganta es correcto y con un margen de seguridad de:

$$\vartheta = \left(\frac{Q_{min}}{Q_{seguridad}} - 1 \right) \cdot 100 = \left(\frac{0,1}{0,075} - 1 \right) \cdot 100 = 33\% \quad (1.1.20)$$

donde:

ϑ : factor de seguridad.

Q_{min} : caudal mínimo que vamos a exigir al dispositivo.

$Q_{seguridad}$: caudal por debajo del cual hay fallo.

Todos estos cálculos resultan muy interesantes, pero como veremos en el punto 4.2.2.3 "Simulación CFD", podemos utilizar la simulación CFD para dimensionar la garganta de esta válvula. Antes vamos a ver nuestro diseño en el siguiente punto.

4.2.2.2 Diseño

En la siguiente figura podemos ver las partes de esta pieza del agitador:

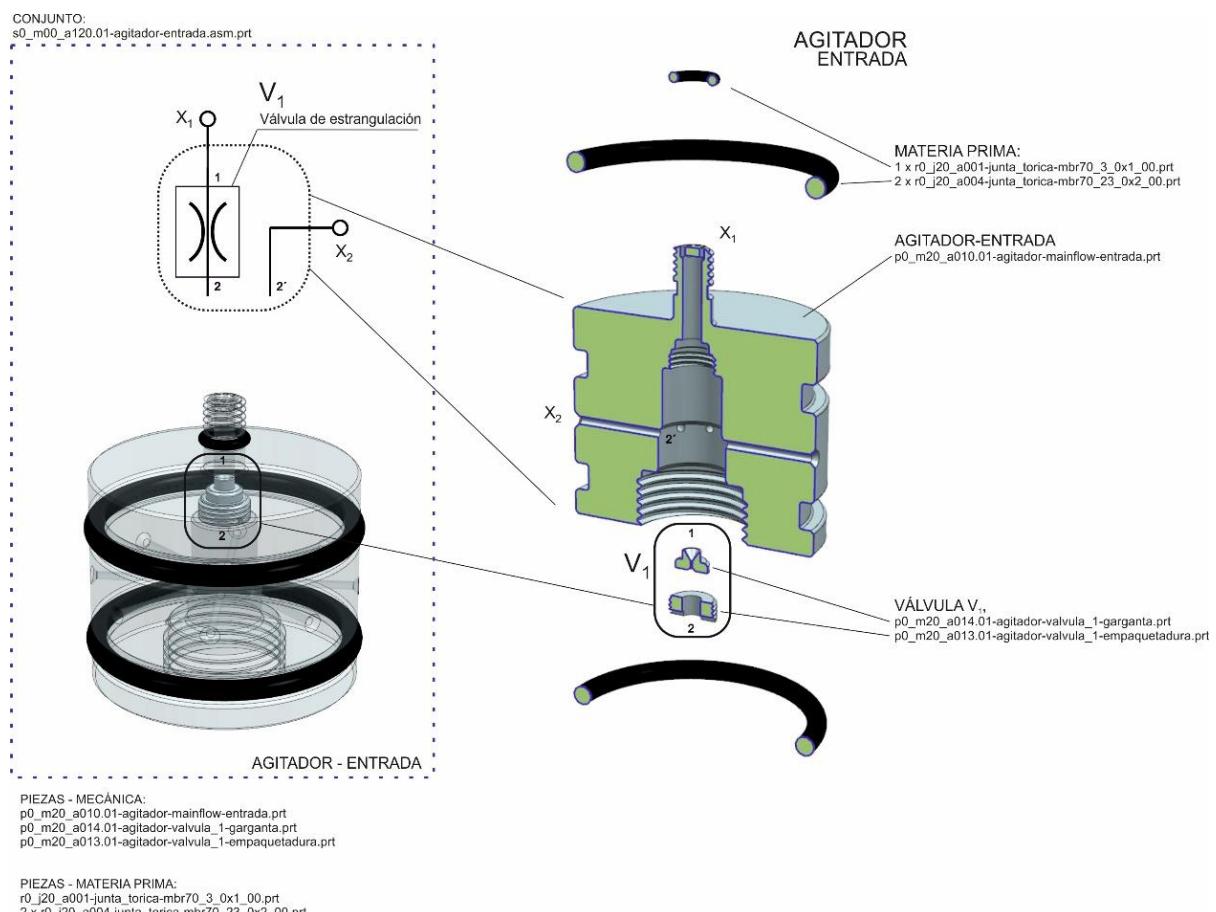


Figura 22. Agitador-Entrada, válvula 1 de restricción de flujo. Vista de conjunto.

PROYECTO VIMO

Como hemos visto en el diseño del agitador (punto 4.2), éste está compuesto por varias piezas y la que tratamos aquí es la pieza de entrada o “Mainflow de Entrada”. Se ha realizado un diseño lo más compacto posible teniendo en cuenta las dimensiones de la electroválvula que veremos en el apartado 4.2.3.

Dentro del propio cuerpo, he insertado la válvula V_1 , a cuya entrada (punto 1), le llega el gas procedente de la bombona por un “tubo” de 2 mm de diámetro, en este caso el “tubo” está mecanizado en propio tocho de metal que forma el cuerpo de esta pieza. Cuando la canalización se realiza de esta manera (en lugar de utilizar las clásicas tuberías), la pieza se suele denominar Mainflow.

A la salida de la válvula V_1 , punto 2, se encuentra la entrada la electroválvula elegida que estudiaremos en el punto 4.2.3. El gas sale de la electroválvula por X_2 .

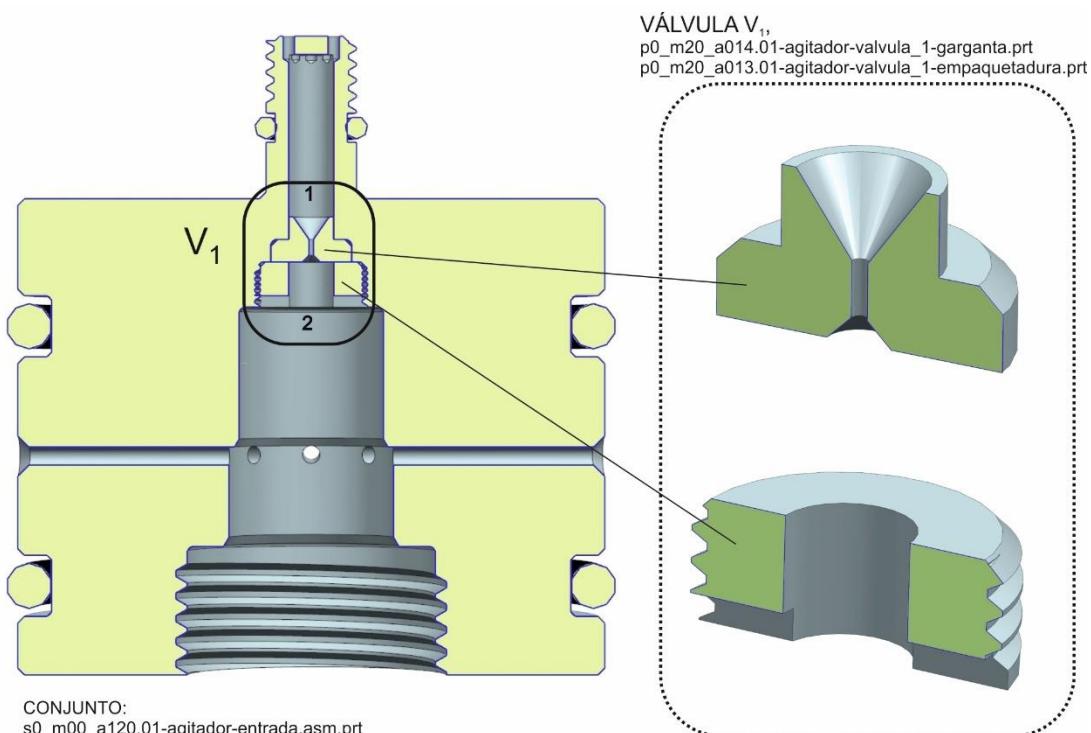


Figura 23. Agitador-Entrada, válvula 1 de restricción de flujo. Detalle de la válvula.

La garganta de la válvula (pieza “*p0_m20_a014.01[.]*”) se fija mediante un espárrago taladrado con ranura que hace de empaquetadura (pieza “*p0_m20_a013.01[.]*”).

En la sección de la pieza que podemos ver en la figura anterior, apreciamos que se han utilizado tres juntas de materia prima (ver anexo ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.):

- ✓ 1 x r0_j20_a001-junta_torica-mbr70_3_0x1_00.prt
- ✓ 2 x r0_j20_a004-junta_torica-mbr70_23_0x2_00.prt

PROYECTO VIMO

El dimensionado de la válvula V_1 , lo he realizado con la ayuda de la simulación de dinámica de fluidos por ordenador, “*Computational Fluid Dynamics*” (CFD) en inglés, como veremos en el siguiente punto.

4.2.2.3 Simulación CFD

Para el dimensionado de la válvula de restricción V_1 , ha sido muy útil la utilización de las potentes herramientas de Simulación de Dinámica de Fluidos en el entorno CAD. En concreto he utilizado la simulación avanzada para flujos, y una versión de evaluación de FloEFD por su rápida curva de aprendizaje en comparación con otras herramientas que también he valorado como ANSYS Fluent, Blue CFD u Open Foam.

En el directorio de software específico en el repositorio del proyecto²⁰, se pueden ver los programas y los videos utilizados como referencia. En la carpeta de simulaciones²¹, se encuentran todos los archivos e informes completos de los resultados.

Podría decirse que software CDF es un software de análisis por elementos finitos solo que en lugar (o, además) de mallar el sólido, modela el espacio entre los sólidos a los que aplica métodos numéricos y algoritmos para resolver problemas de flujo.

El primer paso para la simulación es simplificar el modelo como vemos en la siguiente imagen.

Simplificación del modelo

He reducido el modelo a la esencia, eliminando roscas, holguras para la inserción, etc. El nuevo modelo es más sencillo por lo tanto las simulaciones se realizarán más rápido.

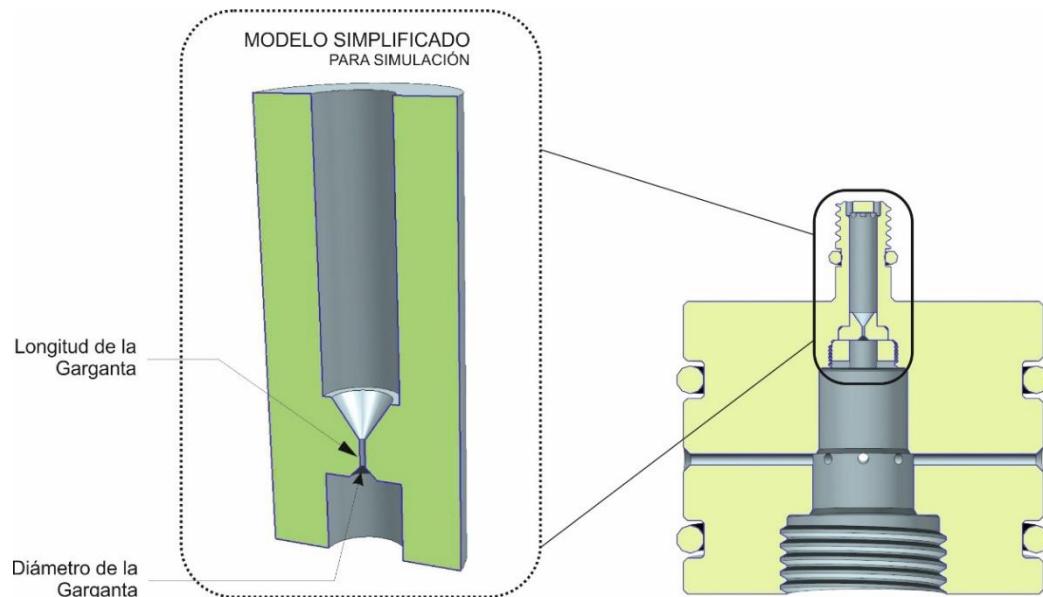


Figura 24. Válvula 1 de restricción de flujo. Modelo simplificado.

El modelo es paramétrico, permitiendo la modificación del diámetro de la garganta y la longitud de esta. Lo utilizaremos para realizar estudios paramétricos y ver cómo afecta la modificación de estas variables en nuestras necesidades.

²⁰ Software FEA-CFD: github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_sw

²¹ Simulaciones CFD:

github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_simulaciones

Configuración general

Realizaremos un análisis del interior de la pieza por lo debemos cerrar el espacio interior para generar un dominio computacional finito. Ver imagen siguiente a la izquierda.

Utilizaremos dióxido de carbono (gas real) como elemento del fluido en un régimen de flujo laminar y turbulento.

Para simplificar, consideraremos paredes adiabáticas, no hay intercambio de calor entre el dióxido de carbono y el exterior y despreciaremos la rugosidad en el acabado superficial de estas paredes.

Estableceremos las condiciones iniciales de presión y temperatura, según el estándar NIST para la definición de condiciones normalizadas de uso en termodinámica¹⁹, a 1 atm y 20,05°C respectivamente.

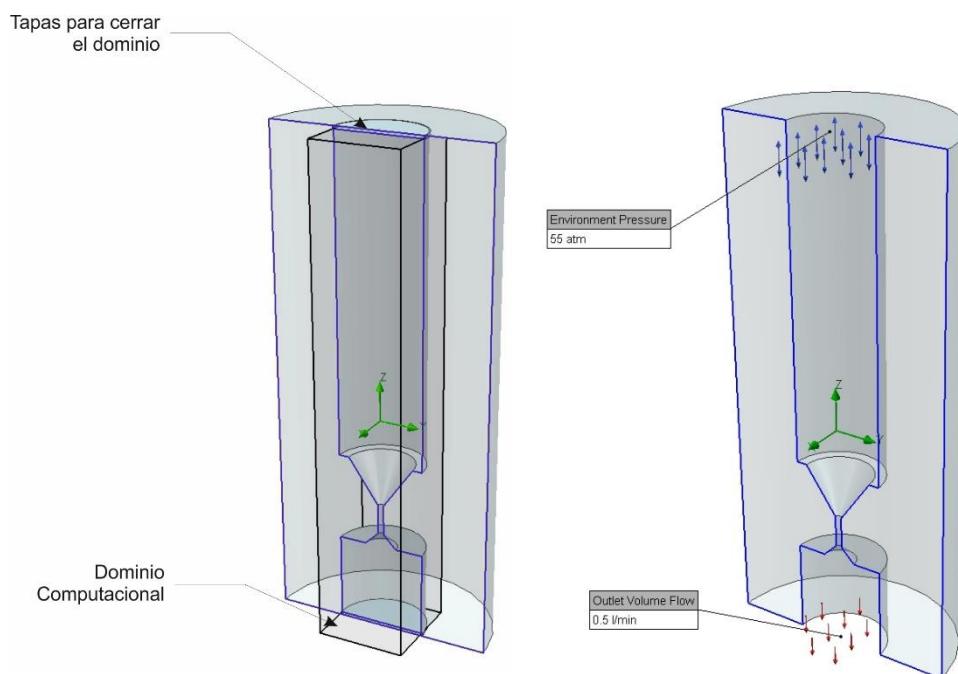


Figura 25. Válvula 1. Simulación. Dominio computacional y condiciones de contorno.

Condiciones de contorno y objetivos

Indicaremos al sistema las condiciones de contorno como vemos en la imagen anterior a la derecha:

- ✓ Presión ambiente a la entrada de 56 atm que es la presión de la bombona de gas.
- ✓ A la salida indicaremos un flujo de entre 0,1 l/min a 0,5 l/min. Que es el rango de flujo que gas que ajustaremos a la salida del inyector.

También estableceremos los objetivos de convergencia de la simulación:

- ✓ En la salida, estableceremos que la simulación ha terminado cuando en régimen estacionario la presión en el volumen de salida es estable.

PROYECTO VIMO

Con estos datos, ya podemos lanzar la simulación y obtener los resultados para las condiciones de contorno indicadas.

Estudio paramétrico del diámetro de garganta

En nuestro caso, que vamos a tener distintos flujos circulando por la garganta, es de gran utilidad realizar un estudio paramétrico en el que podamos variar el diámetro de la garganta y observar la distribución de presiones y velocidades en el dominio del análisis para distintos flujos de gas.

Para ello realizamos un estudio paramétrico de dos variables que nos proporciona el siguiente escenario:

Puntos de Diseño										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
diámetro [mm]	0,1	0,1	0,14	0,14	0,16	0,16	0,18	0,18	0,20	0,20
flujo [l/min]	0,10	0,50	0,10	0,50	0,10	0,50	0,10	0,50	0,10	0,50
presión [atm]	8,89	0,08	27,39	2,28	39,71	4,70	44,12	6,31	47,52	12,75

Tabla 1.1.4. Tabla de resultados. Escenario del diseño paramétrico de la garganta.

Vemos que he discretizado a cinco valores de entrada el diámetro de la garganta [0,1; 0,14; 0,16; 0,18; 0,20] mm y el flujo lo he discretizado en dos valores [0,10; 0,50] l/min, lo que nos da un escenario con 10 puntos de diseño.

La presión estática media obtenida al lanzar la simulación del escenario, la podemos ver en la última fila de la tabla anterior y en las gráficas siguientes.

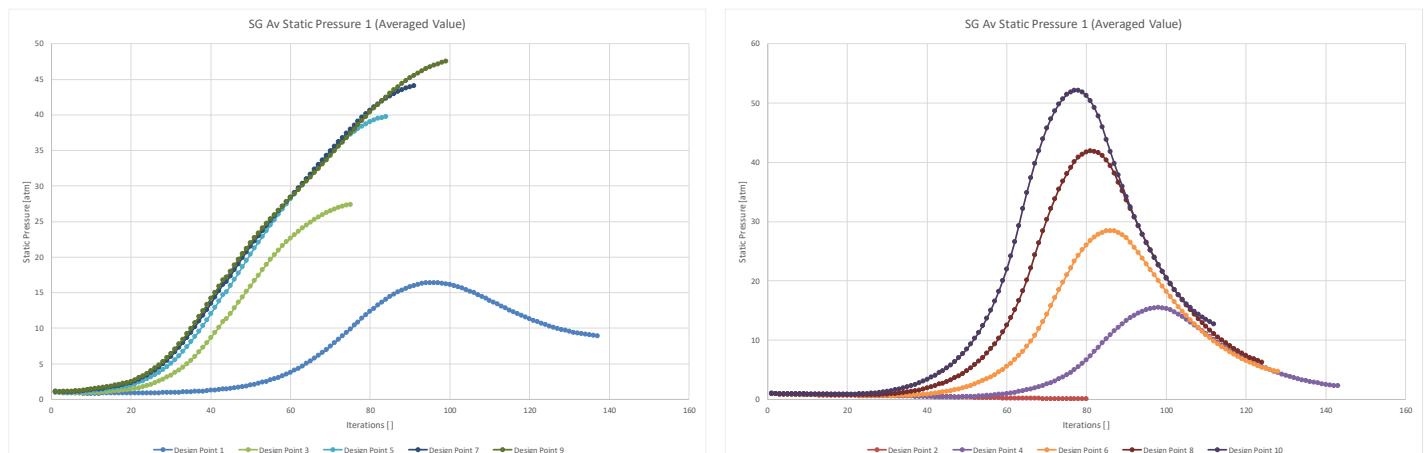


Figura 26. Graficas de resultados. Flujo de 0,1 l/min (izquierda) y 0,5 l/min (derecha).

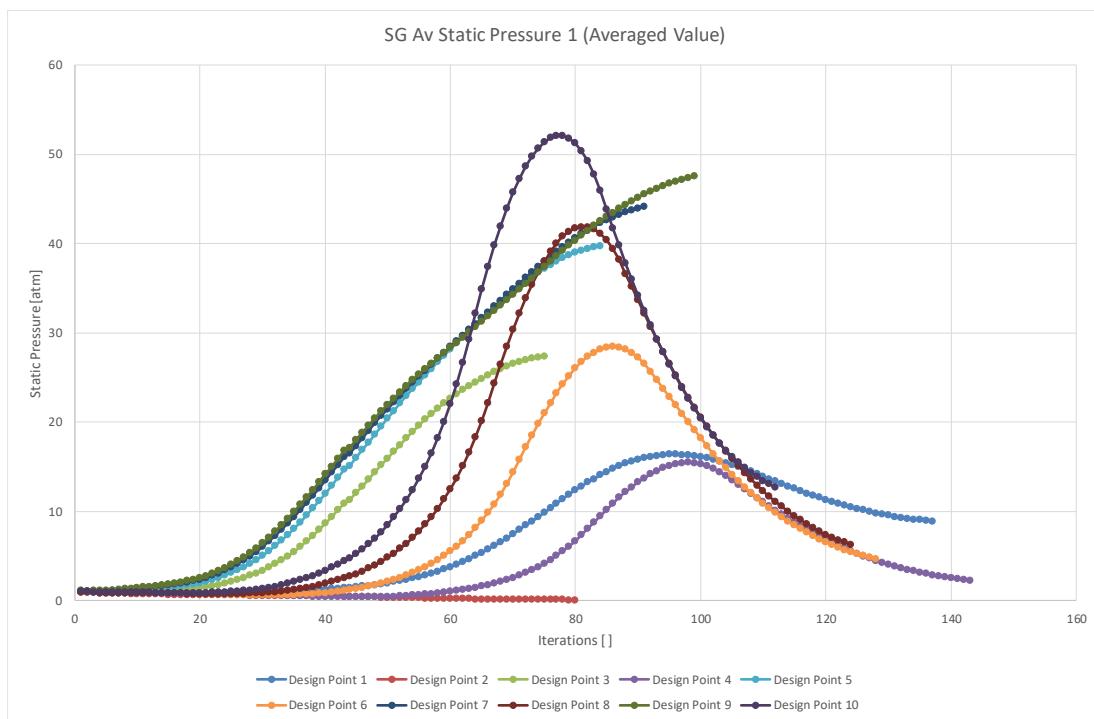


Figura 27. Graficas de resultados. Escenario completo.

Analizando los datos de este estudio podemos ver que el punto de diseño que más se aproxima a lo que necesitamos se da para un diámetro de garganta de 0,14 mm en el que con el flujo más bajo 0,1 l/min obtenemos una presión estática a la salida de la válvula de 27,39 atm.

Los resultados detallados de este estudio paramétrico se pueden consultar en el Excel del repositorio del proyecto²¹.

Resultados para una garganta de 0,14 mm

Una vez seleccionado el diámetro de la garganta nos centramos en ver cómo se comporta ante las distintas solicitudes de flujo de flujo.

En las siguientes páginas veremos los resultados para:

- ✓ Presión estática a la salida de la válvula. Que nos indicará la caída de presión en régimen estacionario que tememos a la salida.
- ✓ Velocidad del flujo. Este resultado nos permite analizar posibles bloqueos de la garganta y evaluar el ruido que esta pueda producir.
- ✓ Líneas de flujo. Nos da una idea visual de la tendencia del flujo.

En cada apartado he realizado una comparativa a máximo y mínimo flujo de funcionamiento. En cada gráfica, he ploteado a lo largo del eje longitudinal los valores de presión y velocidad para el flujo requerido.

Presión estática

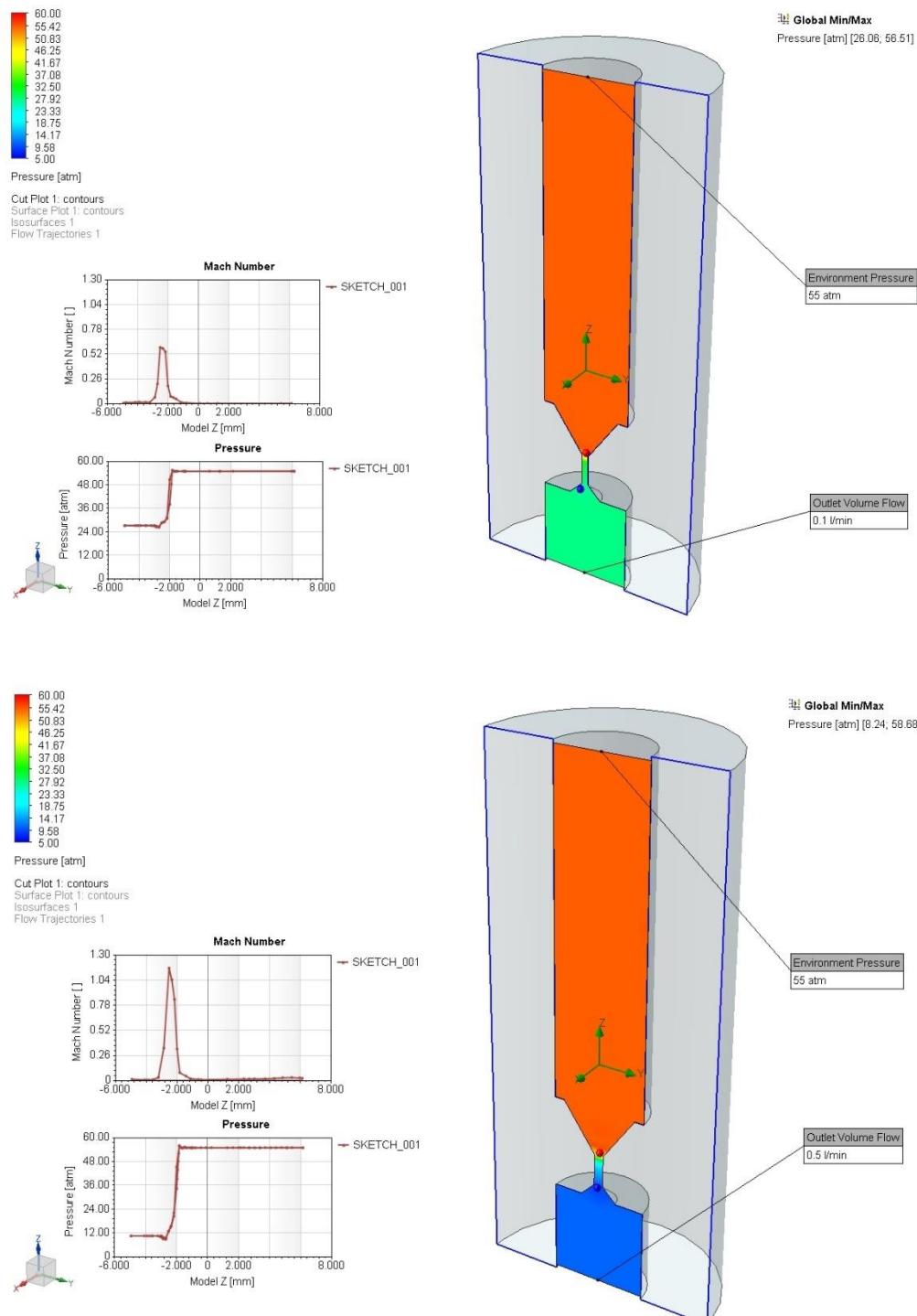


Figura 28. Resultados de presión estática.
Para flujos de 0,1 l/min y 0,5 l/min.

Velocidad de flujo, número Mach

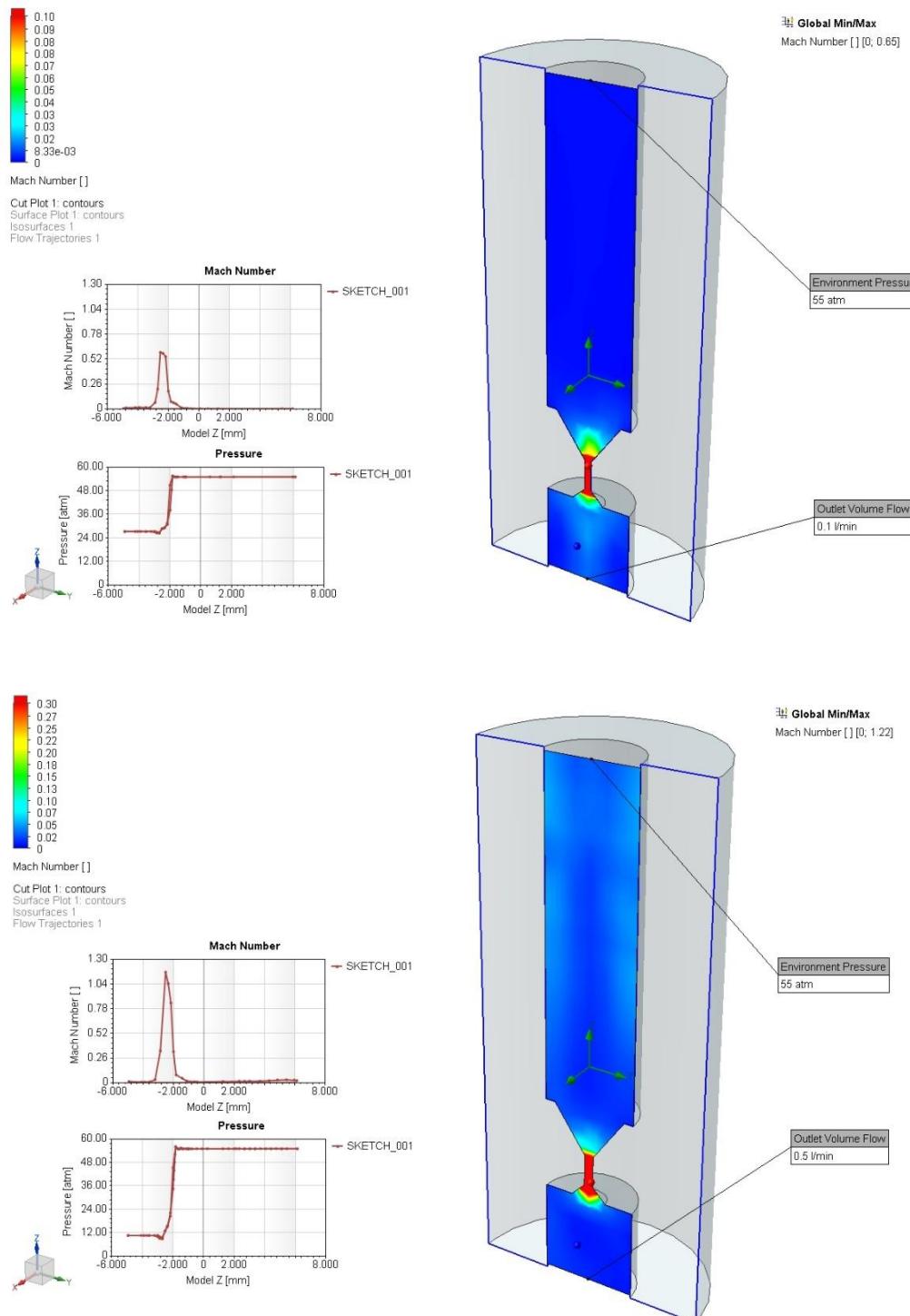


Figura 29. Resultados de velocidad, número de Mach.
Para flujos de 0,1 l/min y 0,5 l/min.

Líneas de flujo

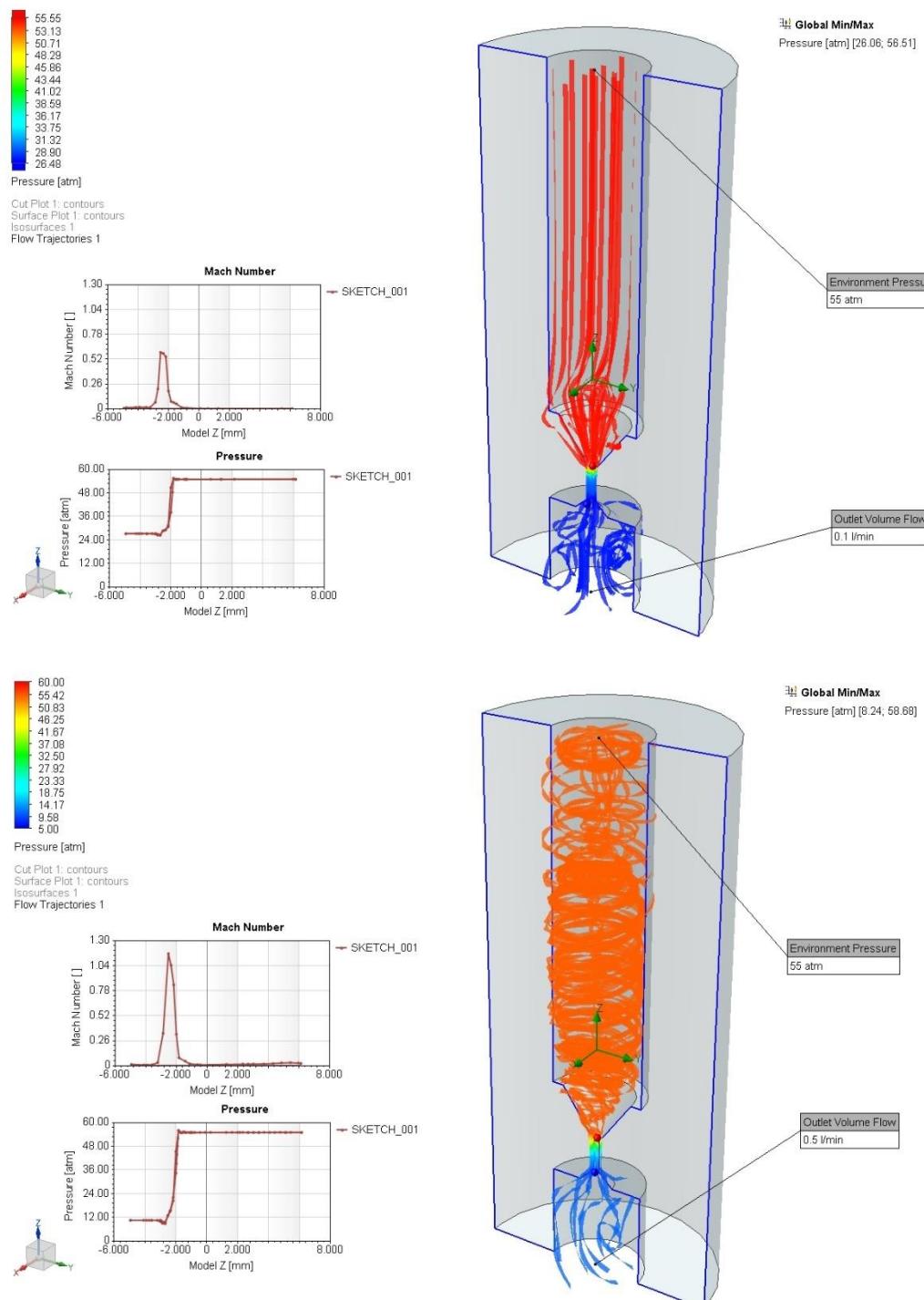


Figura 30. Resultados, líneas de flujo.
Para flujos de 0,1 l/min y 0,5 l/min.

Análisis de los resultados

Para entender estos resultados, he hecho uso de las referencias para el diseño de válvulas de algunos importantes fabricantes (Valtek, 2019), (Cashco, 2019).

Para relacionar el número Mach con el ruido he utilizado el trabajo de (Shahda, 2010), que relaciona el ruido con el número Mach. Pero especialmente he utilizado el libro de M. White, Frank (M. White, 1979), o los apuntes de mecánica de fluidos de (Cruz, et al., 2017) basados en el libro de Frank.

Estamos trabajando con gases compresibles, con paredes adiabáticas de fricción despreciable. La compresibilidad del gas la podemos apreciar en la curva de presión temporal de la simulación en la 1.1.1.1.1.1. Figura 27 más atrás, donde la diferencia de presión entre la entrada y la salida comprime el gas hasta que este empieza a circular por el estrechamiento de la garganta, en régimen estacionario, a la salida se alcanza una determinada presión que depende del requerimiento de flujo y el diámetro de la garganta y de la viscosidad del fluido. Ver (M. White, 1979 pp. 579, 596) Flujos compresibles.

- Presión

Cuanto mayor es el flujo requerido, mayor es la caída de presión a la salida de la válvula como se pudo apreciar en la 1.1.1.1.1.1. Figura 28. Nuestra máxima presión a la salida, la determina la siguiente válvula.

- Velocidad

A mayor requerimiento de flujo, para el mismo diámetro de garganta la velocidad aumenta en la zona de estrechamiento por conservación de la energía, como se aprecia en la 1.1.1.1.1.1. Figura 29. Podemos considerar la válvula de estrangulación como una tobera convergente-divergente (M. White, 1979 p. 609). Para medir la velocidad del gas utilizamos el número Mach.

Con números Mach superiores a 0,3 empieza ser importante la compresibilidad del gas. El coeficiente de resistencia está en función de la velocidad (número de Mach, Ma) y de la viscosidad (número de Reynols, Re). Para velocidades superiores a $Ma = 1$, la viscosidad se hace despreciable frente a la velocidad (M. White, 1979 p. 476).. Ver ámbito de velocidad en función del número Mach en capítulo de gases compresibles (M. White, 1979).

- Ruido

El número de Mach nos va a dar una idea del ruido que va a emitir nuestra válvula siendo proporcional al flujo requerido e intensificándose cuando nos acercamos a la velocidad del sonido en el gas $Ma = 1$. En nuestro caso se trata de una válvula muy pequeña con requerimientos de flujo muy bajos por lo que no consideraremos necesaria una actuación a este respecto. Existen técnicas para reducir el ruido en grandes fabricantes (Valtek, 2019), (Cashco, 2019).

- Bloqueo de la válvula

Flujos compresibles en conductos con fricción pueden provocar el bloqueo de la válvula (M. White, 1979 p. 617). Cuando el flujo adiabático con fricción en la entrada de la válvula de sección constante

PROYECTO VIMO

(la garganta de nuestra válvula) es subsónico, el flujo aguas abajo tiende hacia $Ma = 1$ independientemente de la velocidad a la entrada Ma_1 .

Existe una cierta longitud de conducto máxima L_{max} , para una determinada velocidad de entrada Ma_1 a la que $Ma_2 = 1$. Se dice entonces que la garganta está bloqueada (M. White, 1979 p. 617).

En nuestras simulaciones estamos despreciando la fricción por lo que los cálculos no contemplan el bloqueo de la garganta. Nuestra válvula es de muy pequeñas dimensiones por lo que las ondas de choque son mínimas y es difícil que se bloquee la garganta por la fricción. Es normal que trabajemos a velocidades sónicas con este tamaño de conducto.

Para corregir el posible bloqueo introduce en el diseño 3d un segundo parámetro que controla la longitud de la garganta ver la 1.1.1.1.1.1.Figura 24. Modificando este valor podríamos hacer que la onda de choque quedara fuera de la garganta y por lo tanto liberase el bloqueo.

- Tobera de salida

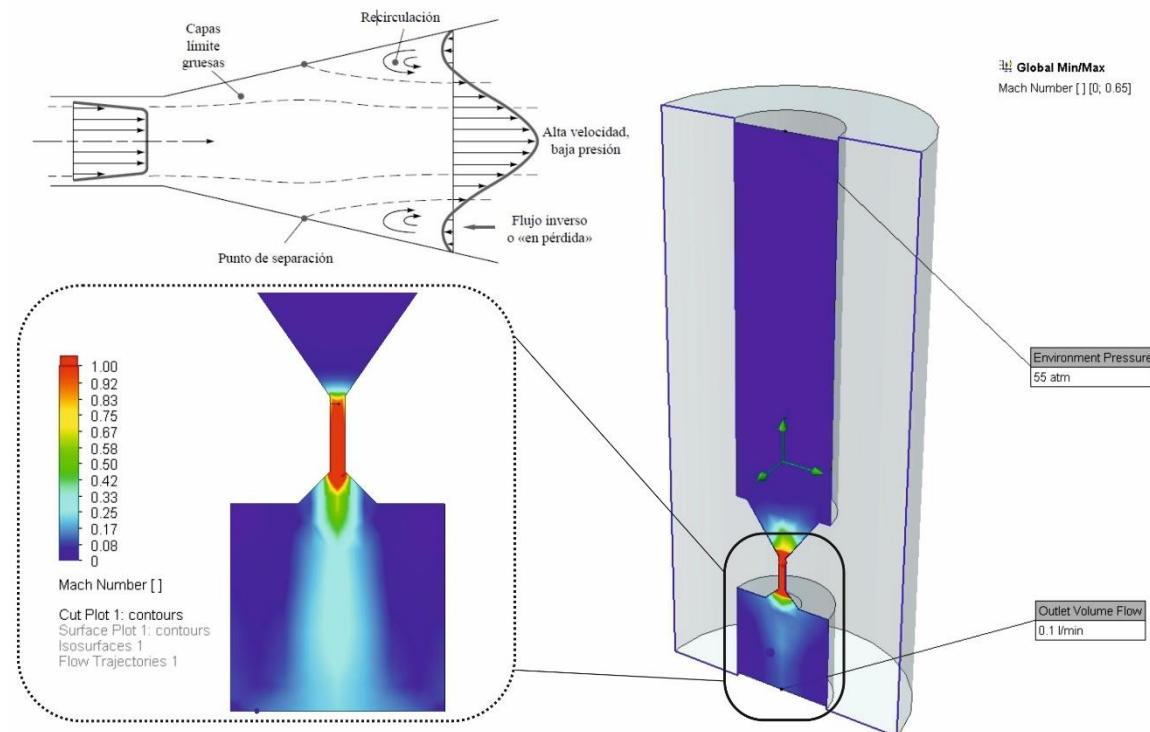


Figura 31. Detalle de velocidad de salida.

Me ha parecido interesante poner este detalle de la tobera de salida donde se aprecia la acción de difusión de gas no ideal a la salida de la válvula (M. White, 1979 p. 392).

También he añadido las líneas de flujo que nos dan una idea del régimen en el que está trabajando la válvula. En la 1.1.1.1.1.Figura 30 se puede apreciar como para flujos bajos (imagen superior) el régimen de funcionamiento es laminar. Mientras que para flujos altos (imagen inferior), se aprecian una gran cantidad de remolinos propios de un régimen de funcionamiento turbulento.

4.2.3 Agitador Interconexión - Válvula 2, electroválvula

Entre la entrada y la salida del agitador se encuentra esta pieza en la que se inserta la mini electroválvula de vías que permite o bloquea el paso de gas en el reactor.

En el directorio del repositorio de micro válvulas²², recojo la búsqueda realizada en internet a este respecto.

Cuando hablamos de miniaturización, el referente es “The Lee Co”¹⁶ que, como ya vimos en el punto anterior, tiene una gran cantidad de válvulas y electroválvulas de pequeñas dimensiones²³.

Algunas electro válvulas de “The Lee Co” que he barajado son:



Figura 32. Electrovalvulas de Lee Co. Serie INK (izquierda) y LGV (derecha). Fuente The Lee.

Staiger²⁴ es otro de los fabricantes de mini electroválvulas de gran renombre y calidad cuyo catálogo²⁵ es impresionante:



Figura 33. Electrovalvulas de Staiger. Serie Spider. Fuente Stiger.

²² Mini electroválvulas: ./vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/micro_valvulas

²³ Ver catálogo de Lee Co en:

www.leeproducts.co.uk/press_release_archive_1.htm#prettyPhoto

www.theleeco.com/products/electro-fluidic-systems/solenoid-valves/

²⁴ Electrovalvulas de Staiger: www.staiger.de/en-us/products/micro-proportional-valves

²⁵ Catálogo de Staiger en el repositorio: ./micro_valvulas/staiger.de/staiger-complete_catalogue.pdf

PROYECTO VIMO

Pero finalmente la que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto es la válvula miniatura de Schultz²⁶ modelo VPKM007 que admite una precisión estática máxima de 40 bares (más que suficiente para nuestras necesidades según los cálculos del punto anterior):

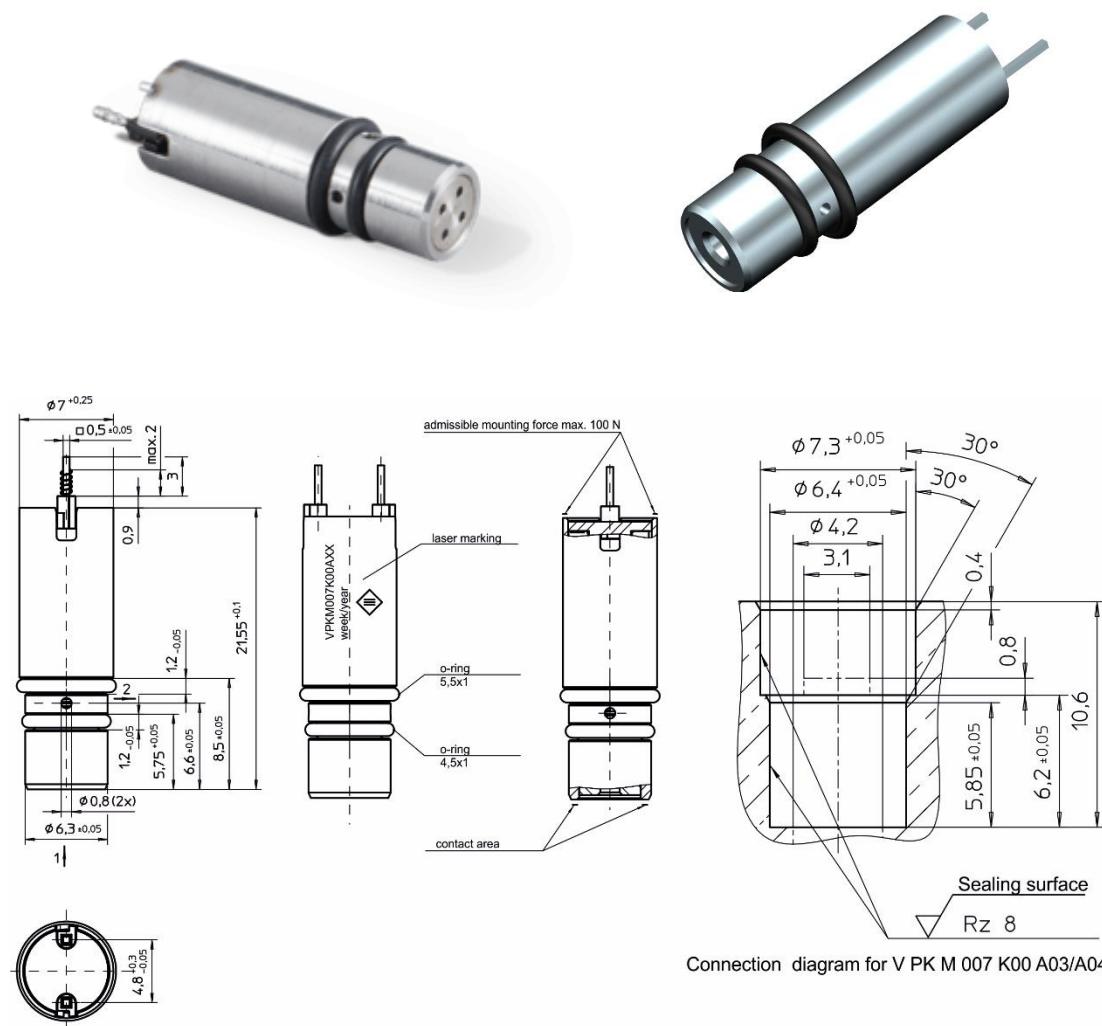


Figura 34. Electroválvula de Schultz, serie VPKM007.

Fuente Schultz.

En la figura anterior, podemos ver el modelo real arriba a la izquierda, el modelado 3d realizado arriba a la derecha y medidas utilizadas para el modelado en la parte inferior.

Las medidas han sido obtenidas del [datasheet](#) del fabricante también disponible en el repositorio del proyecto.

²⁶ Válvula miniatura de Schlutz: <https://www.magnet-schultz.com/en valve-solenoids-for-pneumatics/>

4.2.3.1 Diseño

En la siguiente figura podemos ver las piezas que componen el conjunto agitador-interconexión:

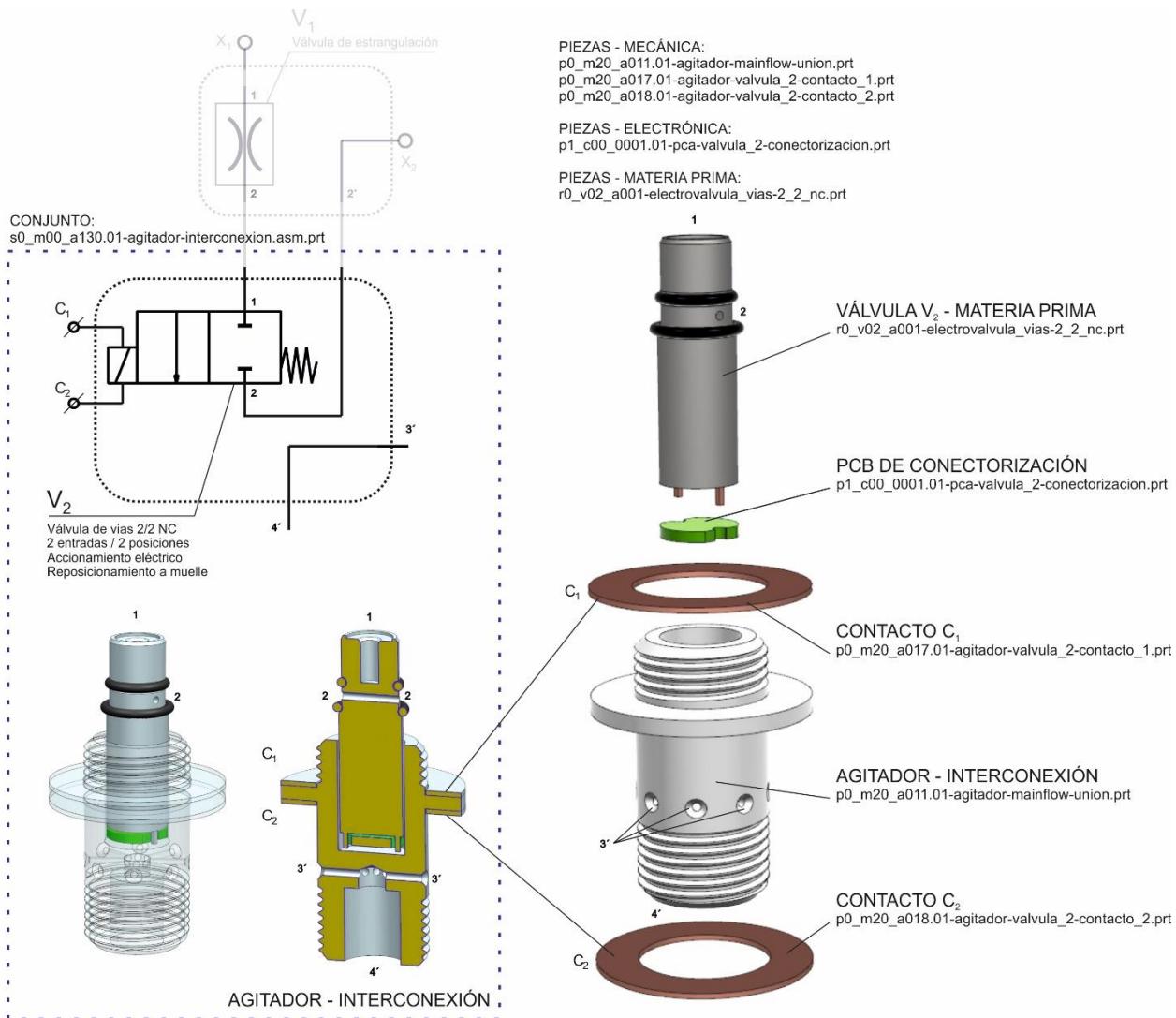


Figura 35. Agitador-Interconexión, válvula 2 de conmutación de vías. Vista de conjunto.

La pieza de interconexión une la entrada y la salida del agitador haciendo además de socket para la electro válvula de control de vías que hace de interruptor neumático permitiendo el paso o cierre del flujo de nuestro inyector.

A la rosca superior de la pieza de agitador-interconexión se conecta el conjunto agitador-entrada que contiene la válvula de estrangulación V₁ como vimos en el apartado anterior. La salida 2 de la válvula V₁ queda directamente enfrente a la entrada 1 de la válvula V₂. La salida 2 de la válvula V₂ entra de nuevo al conjunto agitador-entrada para salir por x₁. En la figura anterior, he dibujado difuminada la válvula V₁ para poder apreciar la interconexión entre ambos subconjuntos.

A la rosca inferior del conjunto agitador-interconexión, se conecta el conjunto agitador-salida como veremos en el punto 4.2.5.

4.2.3.2 Conectorización

Un punto aparte merece la conectorización de la válvula V_2 , como podemos ver en el despiece, la válvula viene sin conectorizar por lo que debemos aportar una solución para hacer accesibles los electrodos de la bobina desde el exterior.

La solución adoptada es utilizar las piezas metálicas agitador-entrada y agitador-salida como ánodo (terminal positivo) y cátodo (terminal negativo) respectivamente, ver siguiente figura:

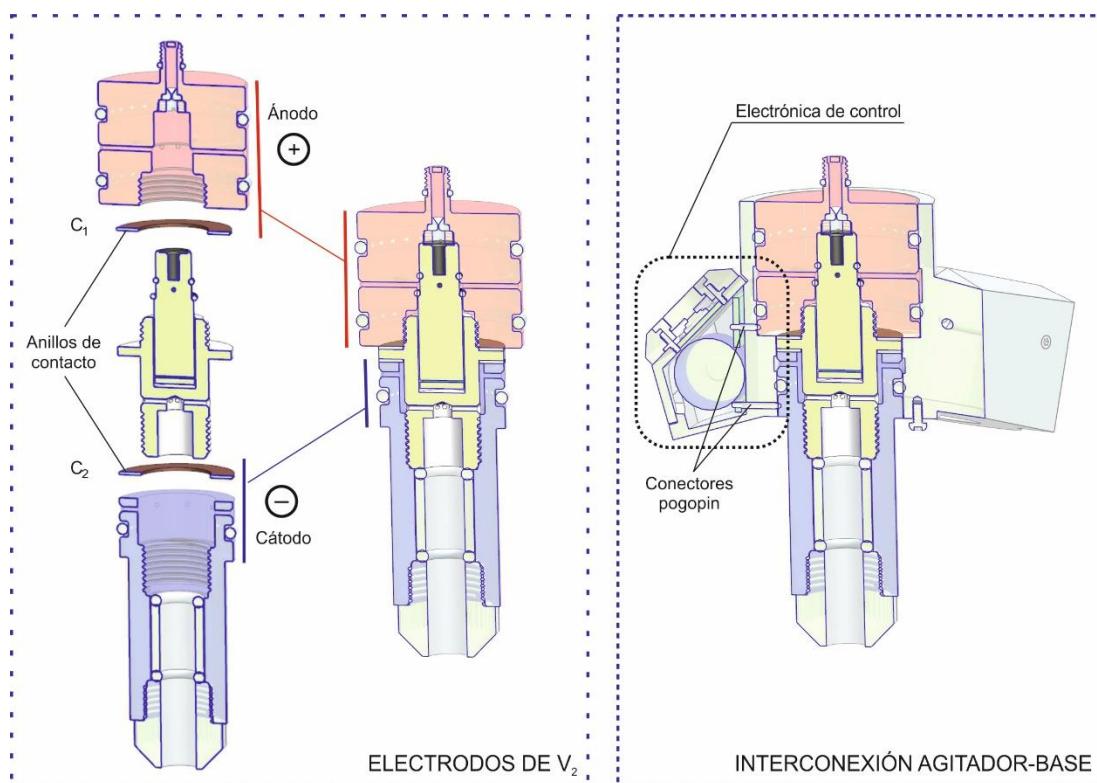


Figura 36. Agitador, electrodos de la válvula 2.

Esta solución permite establecer conexión eléctrica entre la base y el agitador sin utilizar un conector polarizado, es decir, no tendremos que insertar el agitador en una posición determinada dentro de la base para que se establezca conexión entre la electrónica de control en la base y la electroválvula de activación V_2 en el agitador. Solamente hay que insertar el agitador en la base para que el sistema funcione.

Este sistema de Conectorización ha sido ideado teniendo en cuenta los requisitos de diseño enunciados en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde establecimos una interface lo más sencilla posible teniendo en cuenta que la idea es que el dispositivo lo pueda utilizar cualquier persona en un entorno doméstico.

Para llevar a cabo esta conectorización, es necesario que la pieza agitador-interconexión esté fabricada con un material aislante. Hemos elegido por sus propiedades:

PEEK Polieteretercetona

PROYECTO VIMO

"Rango de temperatura de trabajo -60°C +250°C. Muy alta resistencia mecánica, rigidez y dureza. Resistencia sobresaliente a la corrosión química y a la hidrólisis. Buena resistencia a la fluencia, incluso a temperaturas elevadas. Alto límite de fatiga. Alta tenacidad. Muy buena resistencia al desgaste. Muy buena estabilidad dimensional. Resistencia intrínseca a la llama. Muy bajo nivel de humo durante la combustión. Buenas propiedades dieléctricas y de aislamiento eléctrico. Resistencia excepcional a los rayos de alta energía. Está aprobado por la FDA para contacto con alimentos". Fuente, (Erica, 2019).

Asimismo, son necesarios unos anillos de contacto (c_1 y c_2) para garantizar la conexión con la entrada y la salida del agitador. La placa de conectorización "p1_c00_0001.01-[..].prt", es la encargada de llevar los terminales de la electroválvula hasta los anillos de conexión.

La electrónica principal que se encuentra dentro de la base del dispositivo, efectúa el contacto con los electrodos de la bobina en el agitador a través de conectores "pogo pin":



Figura 37. Conectores "pogo pin". Tipos y estructura.

4.2.4 Agitador Salida – Conexión de difusor rápido.

Esta es la pieza que se rosca a la parte inferior de la piza vista en el punto anterior. También es el electrodo negativo de la electroválvula. Se trata de una pieza de paso desde la base hacia el difusor en la que se ha implementado un sistema conexionado rápido. En el siguiente punto se explica en detalle el diseño.

4.2.4.1 Diseño

En el esquema general de la Figura 8 más atrás, se puede ver como el gas ya estabilizado y regulado que viene de la base, entra de forma radial por el punto de conexión lateral X_3 , para salir por el punto de conexión rápida X_4 hacia el difusor o contactor.

En este punto (X_4) la presión de salida es baja (con flujos de entre 0,1 y 0,5 l/min) por lo que los requerimientos de estanqueidad no son tan elevados como en la parte de alta presión a la entrada (punto X_1). Esto nos ha permitido implementar este sencillo sistema de inserción rápida.

La inserción rápida confiere al diseño una mayor maniobrabilidad y agilidad a la hora de cambiar el tipo de difusor haciendo que sea extremadamente fácil cambiar el tipo de contactor en caso de ser necesario. Simplemente habría que introducirlo por el punto de conexión rápida ejerciendo una pequeña presión axial.

PROYECTO VIMO

En cualquier caso, se puede asegurar fijación del difusor apretando manualmente el tornillo moleteado en la parte baja de este conjunto.

En la siguiente página, podemos ver el despiece donde se aprecia el sistema de conexionado rápido.

Como referencia muestro en marca de agua el conjunto agitador-interconexión visto en el punto anterior donde se aprecia como esta canalizado el gas. Del punto de conexión de baja presión X₃, al punto 3' y de la salida 4' del agitador-interconexión al sistema de conexionado rápido X₄:

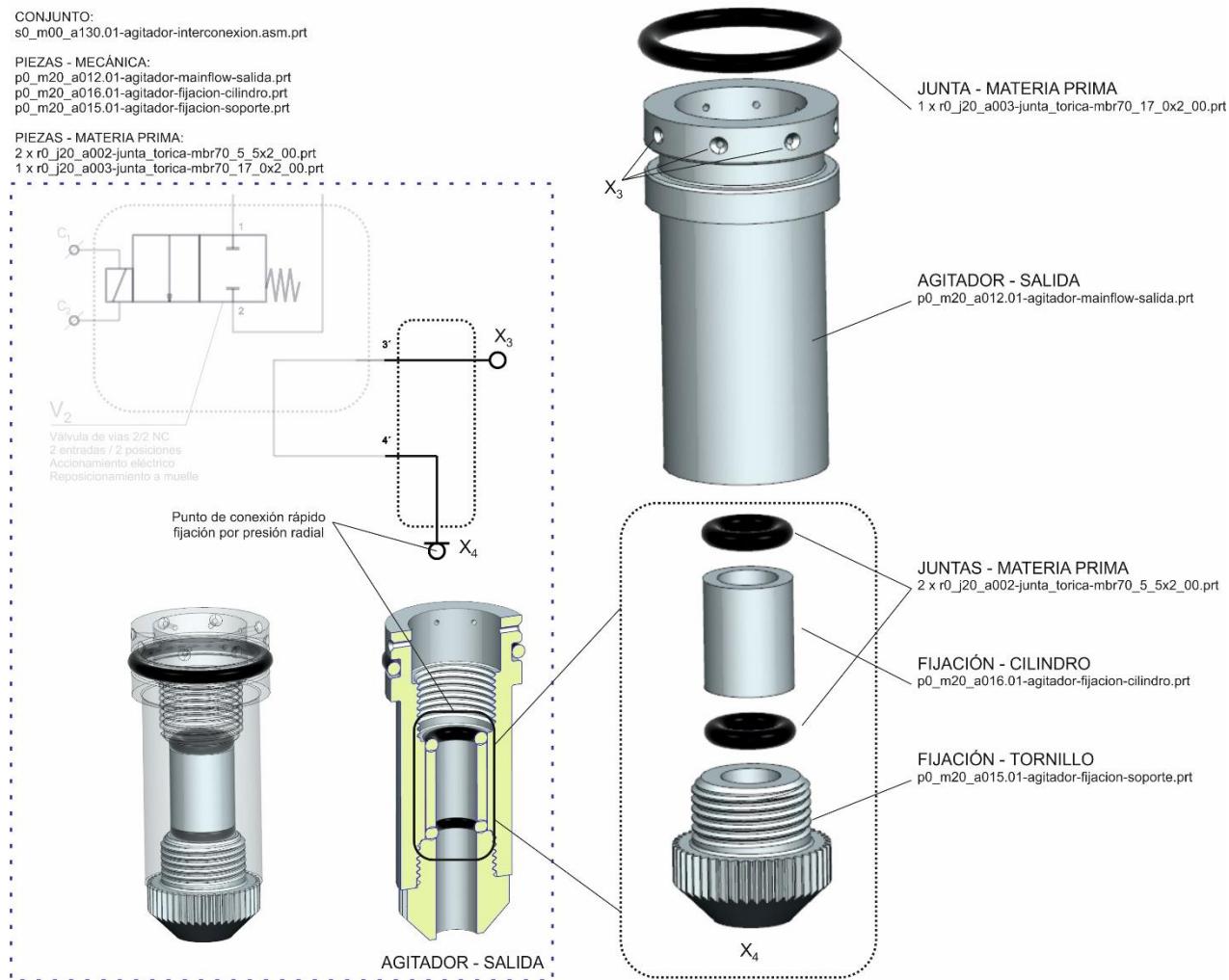


Figura 38. Agitador-Salida con punto de conexión rápido. Vista de conjunto.

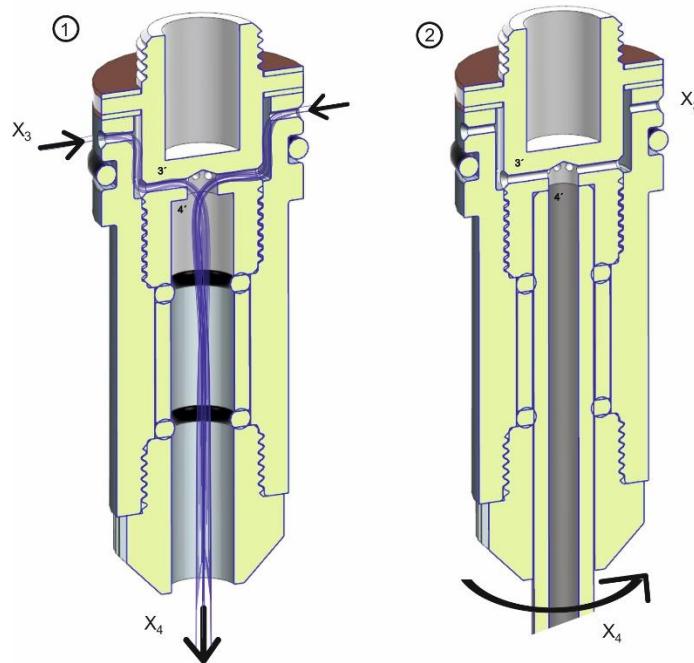
Sistema de conexionado rápido

En la siguiente ilustración muestro el funcionamiento del sistema de conexión rápida. A la izquierda, punto 1, podemos ver el sistema completo sin el contactor insertado. Muestro la pieza "p0_m20_a011.01-agitador-mainflow-union.prt" vista en el apartado anterior ya que sirve de tope para la inserción del contactor o difusor. A la derecha, en el punto 2 de la imagen siguiente, podemos ver el tubo del difusor completamente insertado en el punto de conexión rápida X₄.

PROYECTO VIMO

El funcionamiento es sencillo, el tornillo de apriete “p0_m20_a015.01-[..].prt” y su extensión el cilindro de fijación “p0_m20_a016.01-[..].prt”, presionan las juntas tóricas “r0_j20_a002-[..].prt” que tienden a expandirse axialmente.

En esta expansión se encuentran con el tubo del difusor (ver punto 2 en la siguiente imagen) que genera un apriete radial en dos puntos de manera que el tubo queda fijado por fricción con una fuerza y estanqueidad controlada por el tornillo de apriete moleteado que podemos encontrar en la parte inferior de esta pieza.



El apriete del tornillo moleteado y por lo tanto la fijación del tubo del contactor se puede realizar a mano sin ningún tipo de herramienta.

En la imagen anterior, he dibujado en líneas azules (punto 1) el recorrido del flujo a través del conjunto agitador-interconexión y agitador-salida.

4.2.5 Contactor – Difusor

Esta es una de las piezas más importantes del inyector, de ella depende que la disolución del gas en el vino sea buena o mala.

Existen varios tipos de difusores o contactores como se explicó en el apartado de fundamentos teóricos de los reactores químicos bifásicos en el **!Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Del difusor depende el tamaño inicial de la burbuja y la distribución de la fase gaseosa en el volumen de reacción. El trabajo de (Li, et al., 2009) explica la importancia de una distribución espacial de la fase gaseosa homogénea en todo el volumen de reacción.

Hay gran cantidad de literatura respecto al diseño de columnas de burbujeo y caracterización del tamaño de la burbuja (Martín del Campo, 2015). Recordemos que el tamaño de la burbuja es

determinante en la reacción ya que éste afecta directamente al tiempo de reacción (cuanto más grande la burbuja, más rápido asciende dentro de la botella y por lo tanto menor es el tiempo de reacción) y tiempo de contacto entre interfases (cuanto mayor es la burbuja, menor renovación de área interfase por lo tanto menor transferencia de masa). Ver la explicación de los parámetros controlables en la página **¡Error! Marcador no definido.** y los factores que influyen en la disolución en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Par el diseño del difusor, se ha utilizado un tubo de 6 mm de diámetro (1,5 mm de pared) por 250 mm de longitud del conocido fabricante Swagelok²⁷. Este fabricante dispone de distintas calidades y materiales pudiendo cortar avellanar y roscar los extremos según exigencias. El que mejor se ajusta a nuestro diseño es el tubo:

Tubo de instrumentación sin soldadura de 304/304L y 316/316L

Referencia
SS-T6M-S-1.5M-6ME
Descripción del producto
Tubo sin soldadura de Acero inox. 316/316L, 6 mm OD x 1.5 mm de pared x 6 Metros (Precio y pedido por metro; los pedidos son en múltiplos de 6 metros)

Especificaciones

General	
eClass (6.0)	37029000
Material del cuerpo	Acero Inoxidable
Tube OD	6 mm
Tube Wall Thickness	1.5 mm
UNSPSC (11.0501)	31231319
UNSPSC (17.1001)	40182406
UNSPSC (4.03)	40141818
UNSPSC (PGE)	401716AI

Figura 40. Tubo de acero para el difusor. Fuente Swagelok.

Otra cuestión importantísima es el micro taladrado de los orificios del difusor. La solución elegida ha sido Rofin²⁸

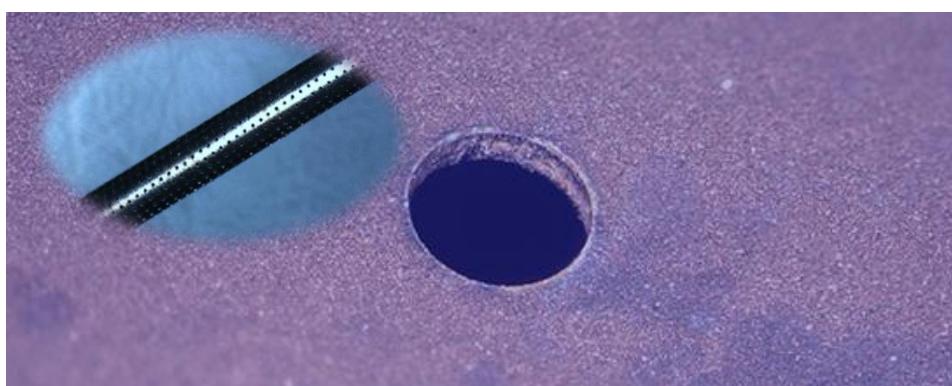


Figura 41. Micro taladrado láser de hasta 30 µm. Fuente Rofin.

²⁷ Swagelok tubos de acero: <https://www.swagelok.com/es-ES/catalog/Tubing-and-Tube-Accessories/Tubing>

²⁸ Micro taladrado láser: <http://www.rofin.es/es/aplicaciones-laser/microperforado-laser/#>

PROYECTO VIMO

La tecnología láser de Rofin permite taladrado de aceros de hasta 30 µm de diámetro.

4.2.5.1 Cálculos

En muchas de las consultas que he realizado para comprender como se caracteriza un reactor bifásico de columna de burbujeo hacen referencia al trabajo de (Akita, et al., 1974), donde relaciona las dimensiones de la burbuja inicial del gas (recordemos que a medida que se va produciendo transferencia de masa de la burbuja al líquido, las dimensiones de esta se van reduciendo), el área de la interfase y el coeficiente de transferencia de masa. Para los cálculos, me he basado en este trabajo.

Según los datos obtenidos experimentalmente por (Akita, et al., 1974 p. 86), el tamaño inicial de las burbujas no depende de las propiedades del sistema, como la tensión superficial, viscosidad del líquido o la densidad del gas. Los únicos factores que afectan al diámetro inicial de la burbuja (y en consecuencia al volumen y la superficie de esta) son el diámetro del orificio d_o , y la velocidad del gas a través del orificio u_o . cómo se indica en la siguiente ecuación:

$$\frac{d_{vs}^*}{d_o} = 1.88 \cdot \left(\frac{u_o}{\sqrt{g \cdot d_o}} \right)^{1/3} \quad (1.1.21)$$

donde:

d_{vs}^* : diámetro inicial de la burbuja.

d_o : diámetro del orificio.

u_o : velocidad a la salida del orificio.

g : aceleración de la gravedad.

Para controlar el tamaño inicial de la burbuja, los parámetros de diseño que afectan a la disolución y que vamos a poder modificar son el flujo a la salida del difusor (que afecta directamente a u_o) y el diámetro d_o , cantidad y distribución de los orificios microperforados en el difusor.

4.2.5.2 Diseño

El contactor – difusor está dividido en tres piezas principales:

- ✓ El tubo de acero de 250 mm de longitud y 6 mm de diámetro, que lleva el gas hasta el fondo de la botella.
- ✓ La base del difusor. Esta pieza sirve para unir el tubo de acero por un extremo y por el otro rosaremos el casquete.
- ✓ El casquete del difusor. Esta es la pieza por la que sale el gas en forma de burbujas. Para ello se han practicado una serie de micro taladros por láser cuyo diámetro hemos calculado en base a las simulaciones de dinámica de fluidos que veremos en el siguiente punto.

PROYECTO VIMO

El difusor está diseñado en dos piezas para permitir el intercambio fácil y rápido del casquete por otro con otras dimensiones o distribución de taladros. Esto nos da mucha flexibilidad a la hora de hacer pruebas con distintos difusores y nos facilita la labor de limpieza del casquete. Al tratarse de orificios muy pequeños, es posible que haya que hacer una limpieza regular de esta pieza.

En la siguiente imagen, se puede observar las piezas que forman el conjunto contactor – difusor:

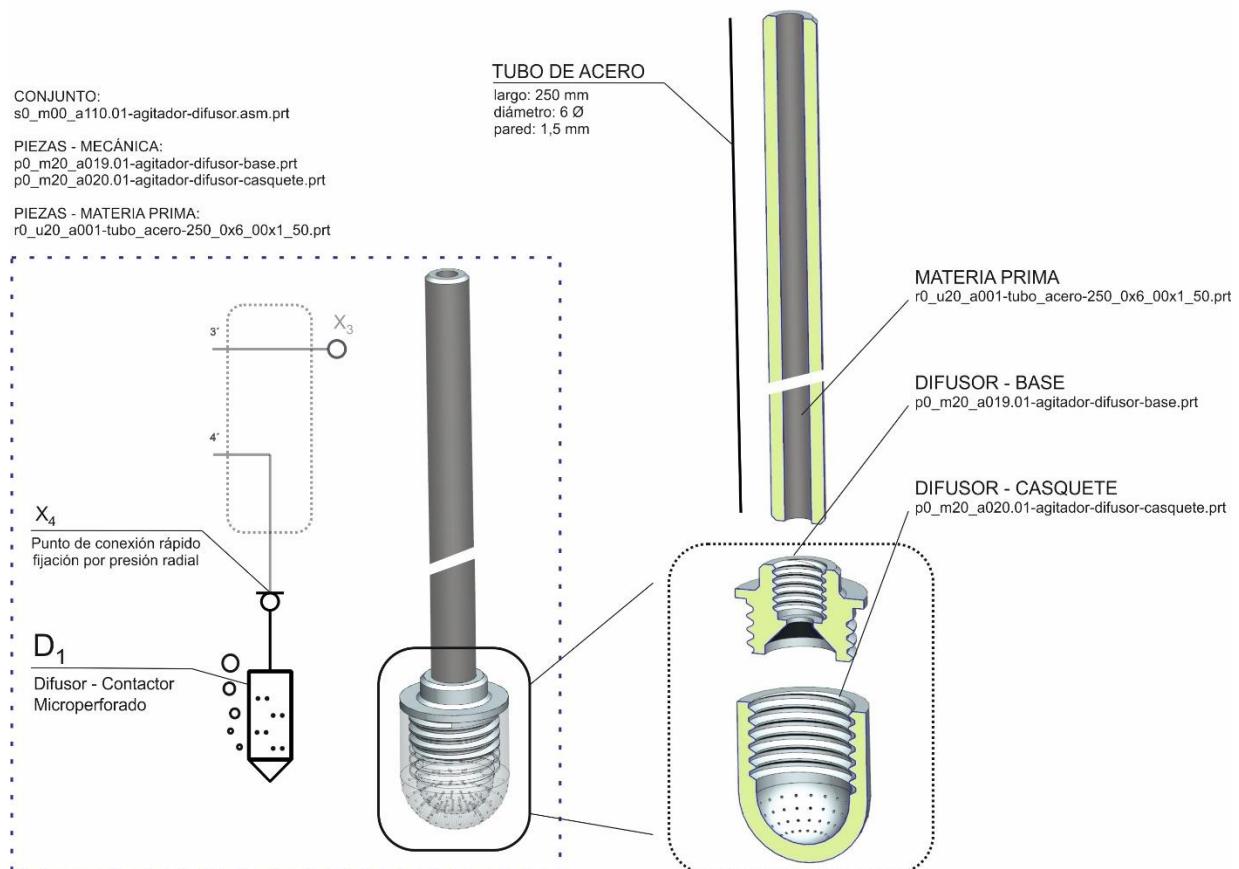


Figura 42. Contactor - Difusor. Despiece.

En la figura anterior, se puede apreciar como los taladros del casquete son radiales y con un ángulo sobre la horizontal negativo entre los -15° y -80° . Este ángulo de salida negativo impulsa el gas hacia el fondo de la botella obteniéndose una curva parabólica en la trayectoria de la burbuja que consigue dos cosas:

- El gas llega al vino situado por debajo del difusor hasta el fondo (proporcional al flujo de salida) y acentuándose para orificios con módulo de ángulo grandes.
- Conseguimos una distribución axial más homogénea del gas en todo el volumen de la botella. Es decir, tendremos burbujas más cerca de eje central (las que salgan por los orificios de mayor módulo de inclinación) y burbujas que se alejarán hacia las paredes de la botella (para las burbujas que salgan por los taladros de menor módulo de inclinación).
- El tiempo de reacción aumenta. Al ser una trayectoria parabólica el tiempo que está en contacto el gas y el vino es mayor que si las burbujas salen con un vector velocidad horizontal o positivo.

4.2.5.3 Simulación CDF

Tenemos que dimensionar los micro taladros en el difusor, para ello tenemos que modelar la columna de burbujeo y el difusor y aplicar un modelo de simulación de fluidos computacional válido para sistema.

Algunos de los trabajos que he utilizado como referencia y que podemos encontrar en el repositorio del proyecto, en la carpeta de documentos de referencia²⁹, son (Buwa, et al., 2002), (Sanyal, et al., 1999) o (D. Giavendoni, et al., 1997). En todos ellos se caracterizan y simulan columnas de burbujeo clásicas por medio de técnicas de simulación de fluidos computacional (Computational Fluid Dynamics, CFD).

Enfoqué la simulación hacia el análisis discretizado en el modelo Lagrangiano para la resolución de esta simulación.

Existen dos formas básicas de realizar un análisis de forma discreta (a intervalos) en un campo de flujo²⁹:

- Utilizar el modelo Euleriano, la observación del movimiento se centra en lugares del espacio a través del cual fluye. Es como ver la corriente de un río sentado a la orilla.
- Utilizar el modelo Lagrangiano, en el que la observación del movimiento se centra en la trayectoria de una parcela del campo fluido. Es como ver la corriente de un río desde un bote a la deriva.

Para poder aplicar el modelo discreto a nuestra simulación, el volumen de gas con respecto al líquido no puede ser superior al 10-12% (Fluent, 2001 págs. 19-3). Como sabemos que el volumen de vino en una botella Bordelesa es de 75 cl. y nuestro flujo máximo va a ser de 0,5 l/min:

$$v_{gas} = q_{max} \cdot t_{max} = 0,833 \text{ cl/seg} \cdot 9 \text{ seg} = 7,5 \text{ cl} \quad (1.1.22)$$

$$\frac{v_{gas}}{v_{líquido}} * 100 \leq 12 \rightarrow \frac{7,5}{75} \cdot 100 = 10\% < 12\%$$

donde:

v_{gas} : volumen del gas.

q_{max} : caudal máximo. $q_{max} = 0,5 \text{ l/min} = 0,833 \text{ cl/seg}$

t_{max} : Tiempo máximo que está el gas en el líquido. $t_{max} = 9 \text{ seg}$

$v_{líquido}$: volumen del líquido.

Por lo que podemos concluir que en las peores condiciones nuestro sistema cumple con la limitación y por lo tanto se puede aplicar el modelo discreto.

Este modelo nos permite obtener las líneas de flujo dentro del campo de simulación computacional por lo que podremos inyectar partículas de gas en este domino y ver cómo se comportan. Como

²⁹ Modelo Lagrangiano o Euleriano:

https://es.wikipedia.org/wiki/Especificacion_lagrangiana_y_euleriana_del_campo_de_flujo

PROYECTO VIMO

veremos más adelante, inyectaremos burbujas de distintos tamaños y analizaremos sus trayectorias a lo largo del tipo.

El ejemplo en el que me he basado para esta simulación es el tutorial C7 del manual (FloEFD, 2018 pág. 241)

En la carpeta de simulaciones²¹, se encuentran todos los archivos e informes completos de los resultados.

Simplificación del modelo

El primer paso para la simulación es simplificar el modelo como vemos en la siguiente imagen.

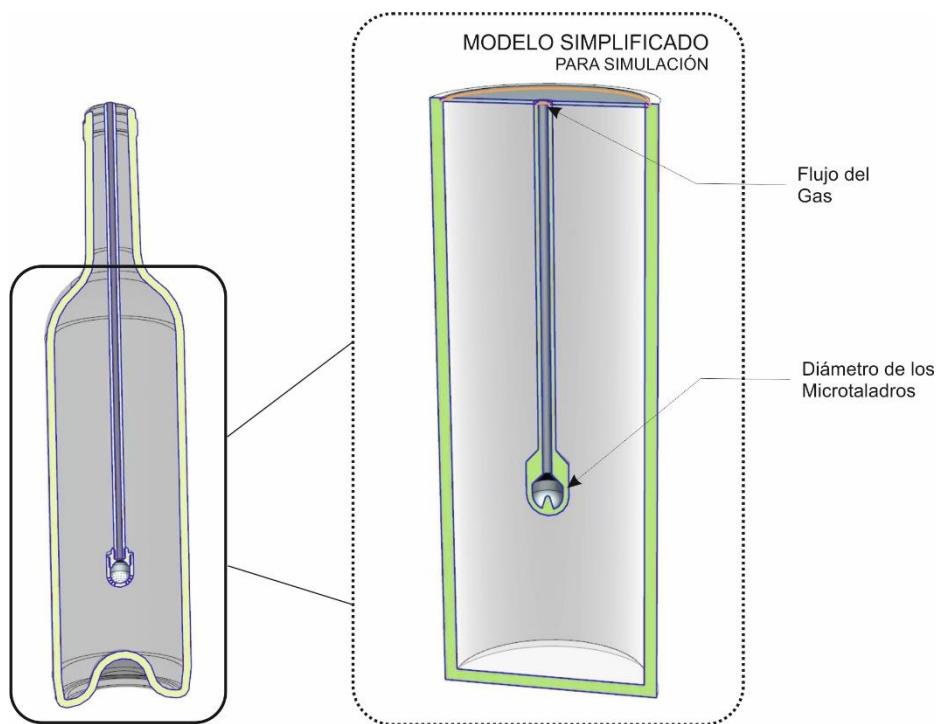


Figura 43. Difusor. Simulación. Modelo simplificado.

En este caso, vamos a simular cómo se comportan las partículas de gas (las burbujas) en función del flujo de entrada y el diámetro de los micro taladros (muestro las dos variables de entrada en la figura anterior). Para ello deberemos modelar el espacio entre el difusor y las paredes de la columna de burbujeo (la botella).

Configuración general

Realizaremos un análisis de tipo interior por lo debemos cerrar la parte superior de la botella para generar un dominio computacional finito. Ver imagen siguiente a la izquierda.

Tendremos en cuenta la gravedad y excluiremos el análisis las cavidades son condiciones de flujo como el interior del difusor.

PROYECTO VIMO

Utilizaremos dióxido de carbono (gas real) como elemento gaseoso y agua como fase líquida en un régimen de flujo laminar y turbulento. No contemplaremos posible cavitación en nuestra simulación.

Para simplificar, consideraremos paredes adiabáticas, no hay intercambio de calor entre la mezcla y el exterior y consideraremos que la reacción es isotérmica. Ver simplificaciones adoptadas en el punto **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Haremos uso de la tabla de rugosidades del anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.y estableceremos una rugosidad 1 μm en el acabado superficial de las paredes de la botella. Esta baja rugosidad es típica de los cristales pulidos.**

Las condiciones iniciales de presión y temperatura, según el estándar NIST para la definición de condiciones normalizadas de uso en termodinámica¹⁹, a 1 atm y 20,05°C respectivamente.

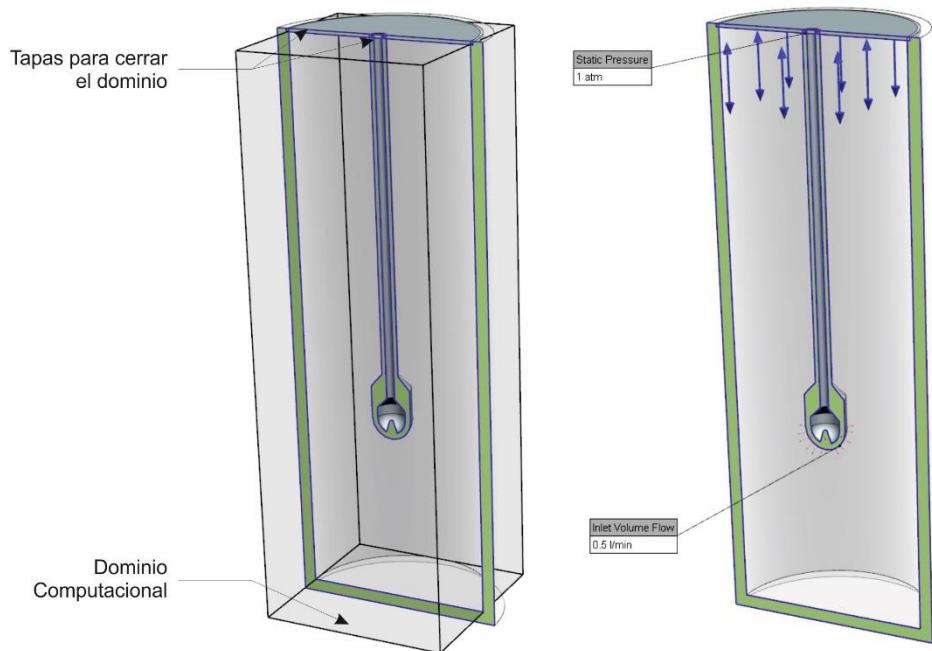


Figura 44. Difusor. Simulación. Dominio computacional y condiciones de contorno.

Condiciones de contorno y objetivos

Indicaremos al sistema las condiciones de contorno como vemos en la imagen anterior a la derecha:

- ✓ Presión ambiente de 1 atm, recordemos que la botella no queda cerrada por arriba cuando introducimos el agitador.
- ✓ A la salida del difusor indicaremos un flujo de entre 0,1 l/min a 0,5 l/min. Que es el rango de flujo que gas que ajustaremos a la salida del inyector.

También estableceremos los objetivos de convergencia de la simulación:

- ✓ La velocidad y la presión de entrada al dominio computacional. Es lo mismo que la presión y velocidad a la salida por los taladros del difusor.
- ✓ La velocidad a la salida del dominio. Esto es cuando acaba el líquido y el gas sobrante (no diluido) escapa al ambiente.

Con estos datos, ya podemos lanzar la simulación y obtener los resultados para las condiciones de contorno indicadas.

Estudio paramétrico de velocidad a la salida del difusor

Queremos ver como varia la trayectoria de la burbuja al variar el flujo y el diámetro del orificio, pero si nos fijamos en la fórmula (1.1.21) de la página 55, tenemos que calcular la velocidad a la salida del difusor.

La forma que he elegido es hacer el cálculo por métodos numéricos con un estudio paramétrico de nuestro difusor utilizando una sola variable de entrada (el flujo), discretizada en 5 valores y observar el valor de velocidad convergente a la salida.

El escenario y los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla y figura:

Puntos de Diseño					
	1	2	3	4	5
flujo [l/min]	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
velocidad [mm/s]	5,45	10,91	16,36	21,81	27,27

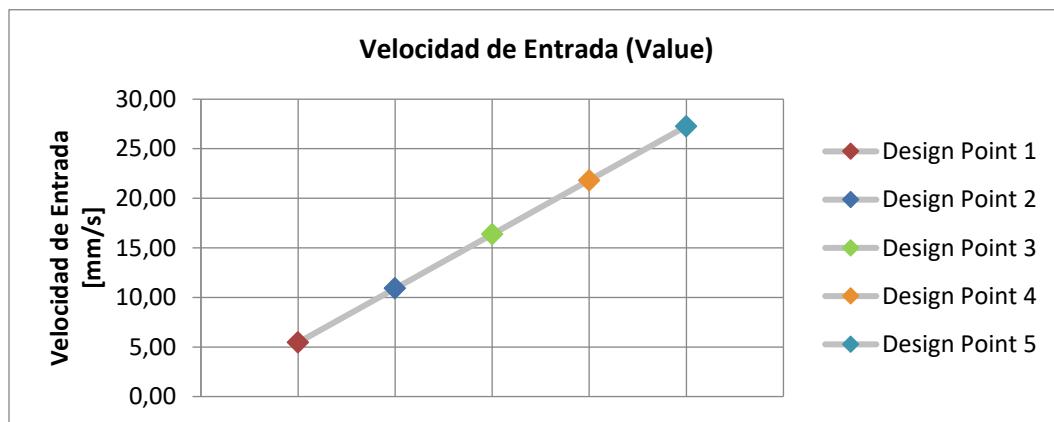


Figura 45. Difusor. Simulación. Velocidad de salida del difusor.

En la gráfica se aprecia claramente como la velocidad de salida del difusor (entrada al dominio de computación) es lineal y proporcional al flujo.

En las siguientes figuras podemos ver los resultados.

Velocidad de flujo

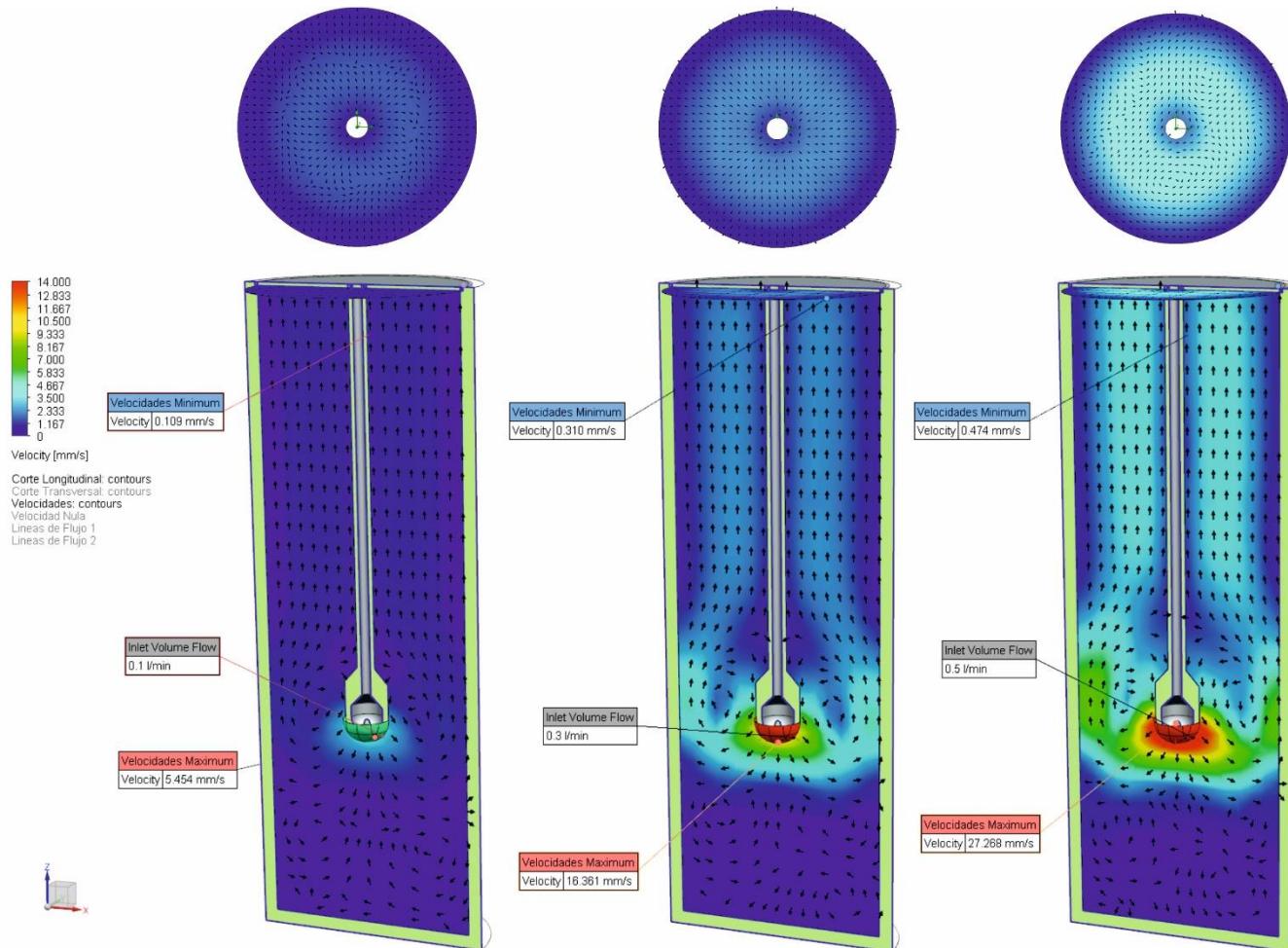


Figura 46. Resultados de velocidad. Para un flujo de 0,1, 0,3 y 0,5 l/min.

En esta gráfica, podemos ver los resultados de velocidad dentro del dominio computacional para tres flujos distintos.

Podemos ver un corte longitudinal (parte inferior) y otro transversal (parte superior) conservando la misma escala para las tres simulaciones. Me ha parecido interesante mostrar sobre la velocidad (magnitud coloreada) la dirección de esta por medio de unos pequeños vectores que nos indican la dirección del flujo.

En el corte transversal se observa claramente como la velocidad es menor en las paredes de la botella y en el tubo del difusor debido al rozamiento con estas.

En el corte transversal observamos una zona de rebufo o recirculación en los laterales del difusor que se acentúa con el aumento de flujo. Esta zona de “lavadora” puede resultar interesante para intensificar la reacción química en el vino

Líneas de flujo

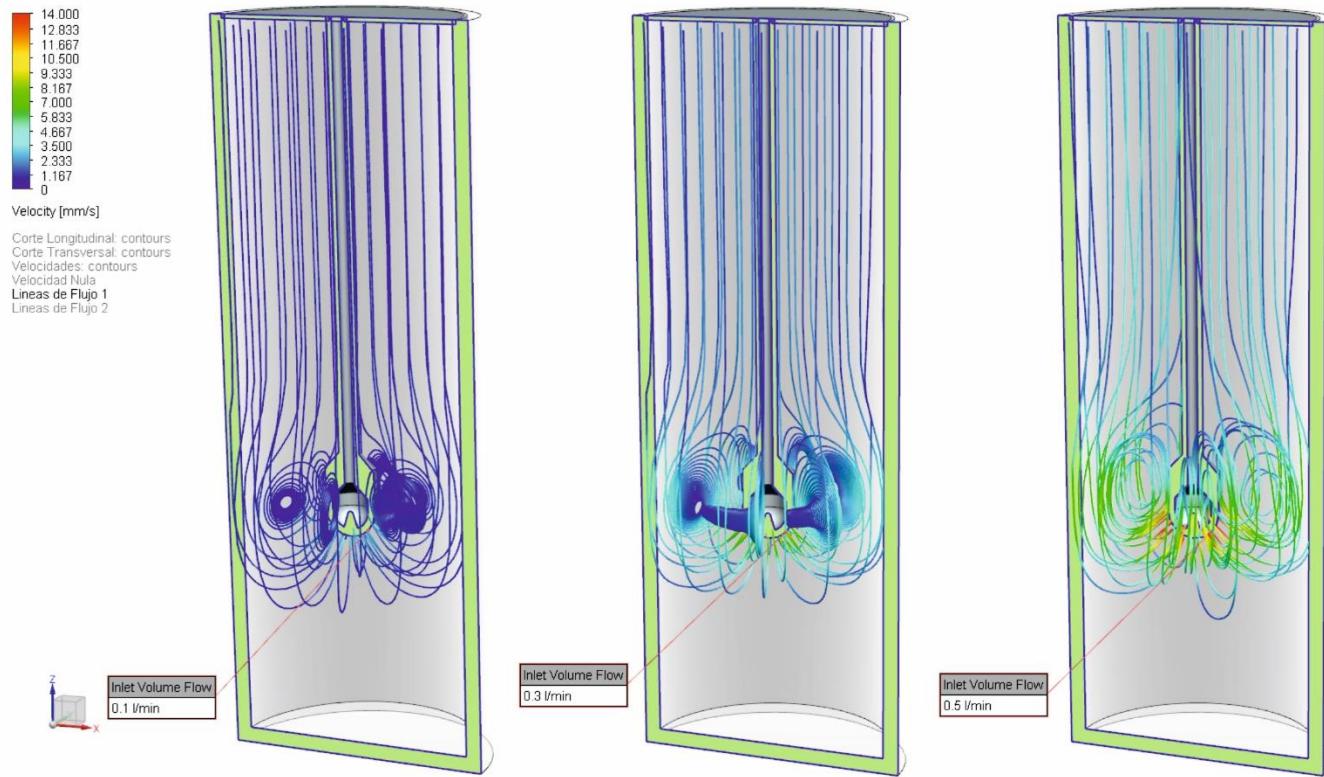
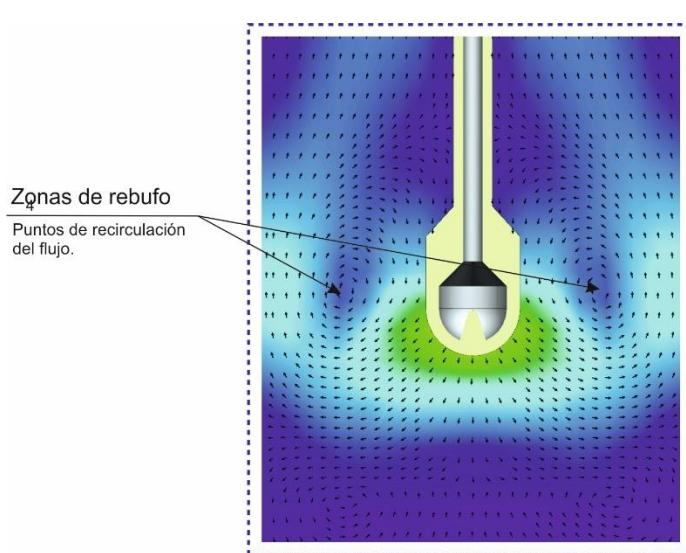


Figura 47. Líneas de flujo. Para un flujo de 0,1, 0,3 y 0,5 l/min.

En estas gráficas, muestro las líneas de flujo en el dominio computacional para 3 requerimientos de flujo a la salida del difusor.



Me ha parecido interesante mostrar este detalle donde se observa claramente como aparece un anillo de recirculación alrededor del difusor.

Esta circunstancia se aprecia con mayor claridad en la 1.1.1.1.1. Figura 47 donde se ve como las líneas de flujo dan vueltas en espiral alrededor del difusor para escapar finalmente hacia el exterior.

Es curioso como esta recirculación se acentúa a bajas y medias velocidades mientras que en el caso de requerimiento de flujo de 0,5 l/min los rebufos disminuyen considerablemente. Esto se debe a que el flujo entra en régimen turbulento al chocar con fuerza contra las paredes.

Figura 48. Detalle, recirculación de flujo.

Cálculo del diámetro inicial de las burbujas

Con la velocidad a la salida de los orificios del difusor calculada en el apartado anterior y basándome en el estudio de (Akita, et al., 1974) y la fórmula (1.1.21) de la página 55, podemos calcular el diámetro inicial de las burbujas.

Para ello he confeccionado la siguiente tabla Excel disponible en el directorio³⁰ del repositorio del proyecto en la carpeta de simulaciones:

Puntos de Diseño					
	1	2	3	4	5
Flujo [l/min]:	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
Velocidad, u_o [mm/s]:	5,45	10,91	16,36	21,81	27,27
Diámetro agujero, d_o [mm]	Diámetro inicial de la burbuja, d_{vs}^* [mm]				
0,05	0,19	0,23	0,27	0,30	0,32
0,10	0,33	0,42	0,48	0,53	0,57
0,15	0,47	0,59	0,67	0,74	0,80
0,20	0,59	0,75	0,85	0,94	1,01
0,25	0,71	0,90	1,03	1,13	1,22
0,30	0,83	1,05	1,20	1,32	1,42
0,35	0,94	1,19	1,36	1,50	1,61
0,40	1,05	1,33	1,52	1,67	1,80
0,45	1,16	1,47	1,68	1,85	1,99

Tabla 1.1.5. Tabla de resultados. Diámetro inicial de la burbuja en función del flujo y taladro.

De la fórmula (1.1.21) deducimos el diámetro inicial de la burbuja despejando d_o :

$$\frac{d_{vs}^*}{d_o} = 1.88 \cdot \left(\frac{u_o}{\sqrt{g \cdot d_o}} \right)^{1/3} \rightarrow d_{vs}^* = 1.88 \cdot d_o \cdot \left(\frac{u_o}{\sqrt{g \cdot d_o}} \right)^{1/3} \quad (1.1.23)$$

donde:

d_{vs}^* : diámetro inicial de la burbuja.

d_o : diámetro del orificio.

u_o : velocidad a la salida del orificio.

g : aceleración de la gravedad.

³⁰ Tamaño de la burbuja:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_simulaciones/cfd_04-difusor_1/estudio_parametrico-flujos_entrada

PROYECTO VIMO

He hecho los cálculos para 10 diámetros de micro taladrados distintos, de 50 a 500 μm , siendo el tamaño de burbuja resaltado en la tabla el que nos ofrece la mejor distribución superficial de gas en volumen de computación.

El procedimiento para determinar el diámetro de micro taladro que nos ofrece mejor distribución del gas en la botella lo explico detalladamente en el siguiente punto.

Estudio de partículas

Tenemos los diámetros iniciales de las burbujas y el flujo (y velocidad) a la salida de los micro taladros. Para decidir el diámetro que nos proporciona la mejor distribución de gas, he realizado un estudio de partículas.

En el campo computacional, he inyectado a la salida de los micro taladros partículas de dióxido de carbono con tres diámetros distintos (300, 500 y 1000 μm)

Hay que aclarar que el estudio de (Akita, et al., 1974) nos ofrece una fórmula para calcular el diámetro inicial de la burbuja que se ajusta a los experimentos que realizó, pero que este diámetro no es para todas las burbujas, sino que es la media probabilística de éstas. Por lo que para un flujo determinado podemos encontrarnos burbujas en un rango de tamaños y no sólo del que nos proporciona la fórmula.

Los resultados del análisis de partículas para tres flujos distintos los podemos ver en la siguiente figura:

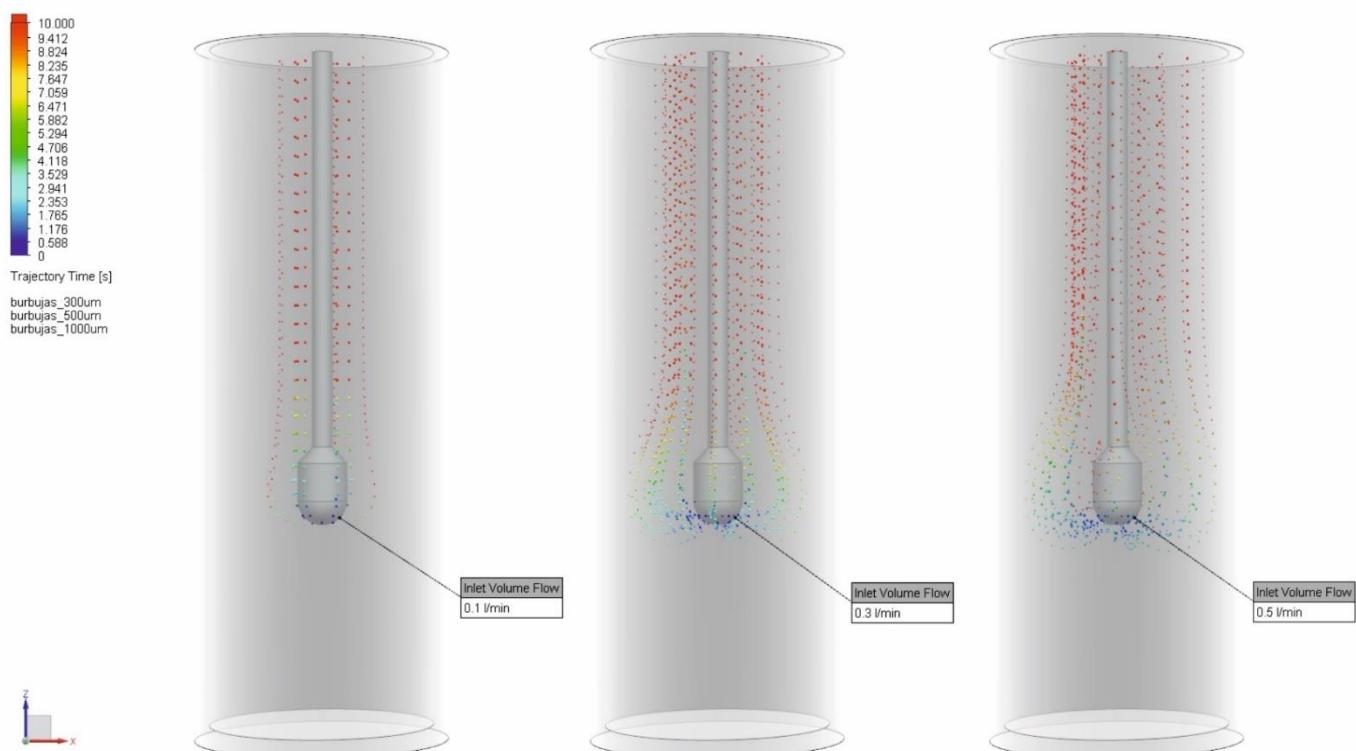


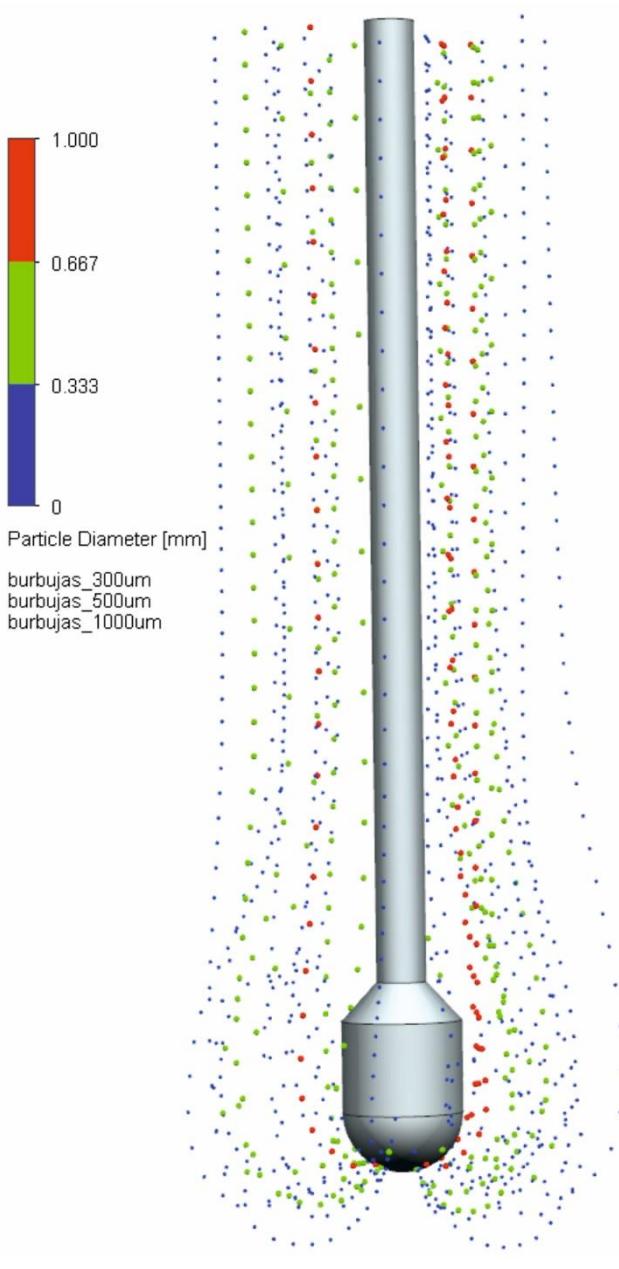
Figura 49. Análisis de partículas (burbujas). Para un flujo de 0,1, 0,3 y 0,5 l/min.

He tenido en cuenta la aceleración de la gravedad en el eje z y para las paredes he establecido como condición la absorción de las partículas, de forma que las trayectorias de las burbujas se detengan cuando entran en contacto con las paredes de la botella. Como sucede en una copa de vino espumoso, champán o cerveza.

He coloreado las burbujas con el tiempo desde el inicio de la trayectoria (tiempo de reacción).

Estadísticas de partículas

En la siguiente imagen, podemos ver el resultado del análisis estadístico de las trayectorias de las burbujas según su tamaño para un flujo de 0,5 l/min:



orificio	longitud [mm]	tiempo [s]	orificios	longitud [mm]	tiempo [s]
burbujas_300um			burbujas_500um		
#2	151	7,8	#11	149	5,6
#4	225	17,1	#12	154	7,3
#6	155	9,3	#13	153	6,7
#10	255	18,4	#14	150	6,0
#12	201	12,7	#15	152	5,5
#13	158	8,3	#16	151	6,5
#14	159	7,9	#17	158	6,0
#15	164	10,7	#18	159	6,2
#16	158	7,9	#19	157	5,9
#17	162	9,0	#20	161	6,9
#18	157	7,8	#21	152	5,9
#19	163	9,6	burbujas_1000um		
#20	162	9,0	#8	143	3,1
#21	161	9,3	#9	143	3,3
#22	167	8,7	#10	143	3,0
#23	170	10,0	#11	141	3,0
#24	168	10,6			
#25	161	8,7			

Figura 50. Análisis de partículas, estadísticas. Para burbujas de 0,3, 0,5 y 1 mm de diámetro.

PROYECTO VIMO

Por simplicidad y claridad a la hora de mostrar los resultados, he establecido el siguiente número de trayectorias:

- Para las burbujas de 0,3 mm. 25 trayectorias
- Para las burbujas de 0,5 mm. 20 trayectorias
- Para las burbujas de 1 mm. 10 trayectorias

El número total de trayectorias podría considerarse como el número de micro taladros practicados en el difusor.

En este caso, la imagen la he coloreado según el diámetro de las partículas para diferenciarlas adecuadamente. En la tabla de la imagen anterior he insertado algunas de las trayectorias de las burbujas que dan una idea del comportamiento de las trayectorias para el mismo diámetro de burbuja.

Resultados del estudio de partículas

Con los resultados volcados por el “solver” de Mentor para análisis de fluidos, hemos obtenido la velocidad y las líneas de flujo en el dominio computacional que nos han permitido insertar las partículas (por medio de este estudio de partículas) para ver cómo se comportan las burbujas de distintos tamaños ante distintos flujos. Obtenido los siguientes resultados:

- Distribución espacial:

En un corte longitudinal, lo primero que observamos en la 1.1.1.1.1.1. Figura 49, es que las burbujas no llegan al fondo para ningún caso de flujo y diámetro de burbuja. Esto es lógico ya que la densidad del dióxido de carbono es muy inferior a la del agua por lo que el empuje en el eje vertical que experimenta por la diferencia de presiones es muy alto. Observando la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, podemos deducir que la densidad relativa del dióxido de carbono es unas 500 veces superior a la del agua:

$$\rho = \frac{m}{V_{CO_2}} \Rightarrow \rho_{CO_2} = \frac{44,01 \text{ g/mol}}{22,26 \text{ l/mol}} = 1,977 \text{ g/l}$$
$$\rho_r = \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_{CO_2}} = \frac{1000 \text{ g/l}}{1,977 \text{ g/l}} \cong 500$$

donde:

- ρ : *densidad.*
- m : *masa.*
- V : *volumen.*
- ρ_r : *densidad relativa.*

Este efecto se hace más evidente con las burbujas grandes que ascienden casi verticalmente. Las burbujas de menor tamaño describen una trayectoria más parabólica.

PROYECTO VIMO

Este resultado nos indica que podría ser útil aumentar la longitud del tubo del difusor para que llegue al fondo.

En un corte transversal, observamos que las burbujas de mayor tamaño están más cerca del eje que las de menor tamaño para cualquier flujo. Y que a mayor flujo el campo de burbujeo se aleja del eje axial (1.1.1.1.1.1.Figura 49, flujo de 0,1 l/min) extendiéndose hacia las paredes según aumentamos el flujo (1.1.1.1.1.1.Figura 49, flujo de 0,5 l/min).

- Régimen de funcionamiento:

Establecíamos en el modelo adoptado (apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, regímenes de flujo) que el régimen flujo deseado para nuestro inyector es el de burbujeo o borboteo, estableciendo a bajos valores de flujo los límites de esta zona.

Observamos que pese a haber zonas de recirculación de flujos (ver detalle en la 1.1.1.1.1.1.Figura 48 más atrás), las partículas no quedan atrapadas en este rebuflo escapando rápidamente debido a su baja densidad respecto a la del líquido. Solamente se aprecia alguna pequeña burbuja atrapada para regímenes de flujo grandes.

Puede resultar interesante ver las animaciones del estudio de partículas donde se ven en movimiento las burbujas para distintos requerimientos de flujo. Las animaciones se encuentran en el repositorio del proyecto en el directorio simulación del difusor para los puntos de diseño 1, 3 y 5 correspondientes a los flujos de 0,1³¹, 0,3³² y 0,5³³ l/min respectivamente.

- Tiempo de reacción y longitud de trayectoria:

El análisis estadístico de las partículas nos permite calcular la longitud de trayectoria y el tiempo de reacción medio para cada tipo de partícula y el general. Con los datos de la tabla de la 1.1.1.1.1.1.Figura 50, podemos calcular estos resultados:

\varnothing burbuja [μm]	Σ Longitud [mm]	Σ tiempo [s]	volumen de gas [mm^3] $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$
300 μm	171,93	10,16	0,014
500 μm	154,16	6,23	0,065
1000 μm	142,67	3,08	0,524
Medias Totales	156,00	6,49	0,193

Tabla 1.1.6. Tabla de resultados medios estadísticos.

³¹ Animación para 0,1 l/min:

³² Animación para 0,3 l/min:

³³ Animación para 0,5 l/min:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/blob/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_simulaciones/cfd_04-difusor_1/4/animation_4.avi

PROYECTO VIMO

Estos resultados nos sirven para asegurarnos que cumplimos con la limitación de tiempo máximo del gas en la botella para flujo máximo (limitación impuesta a 9s), que establecimos al principio de esta simulación en la en la página 58.

- Diámetro y número de micro taladros:

Como ya adelantábamos en la Tabla 1.1.5, el diámetro que nos proporciona la mejor distribución de gas dentro del volumen computacional de la botella es el de 0,1mm o 0,15mm.

El número de micro taladros a realizar en el difusor, lo podemos calcular dividiendo el flujo de entrada medio por el volumen de gas medio por burbuja calculado en la tabla anterior y multiplicándolo por el número de burbujas que se generan por unidad de tiempo (dato empírico aproximado):

$$n = \frac{\dot{q}}{n_b \cdot v} \rightarrow n = \frac{0,25 \text{ l/min}}{200 \text{ burbujas/s} \cdot 0,193 \text{ mm}^3} = \frac{4167 \text{ mm}^3/\text{s}}{40 \text{ mm}^3/\text{s}} \cong 104$$

donde:

n : número de orificios.

\dot{q} : caudal medio.

v : volumen de burbuja medio.

n_b : número de burbujas por unidad de tiempo.

Esto nos dará el número de trayectorias de burbujas más aproximado al ideal para el rango de flujos dado, obteniendo una la distribución de gas lo más homogénea posible.

4.3 Diseño de la Base

En la siguiente ilustración, podemos ver las piezas que componen la base del inyector:

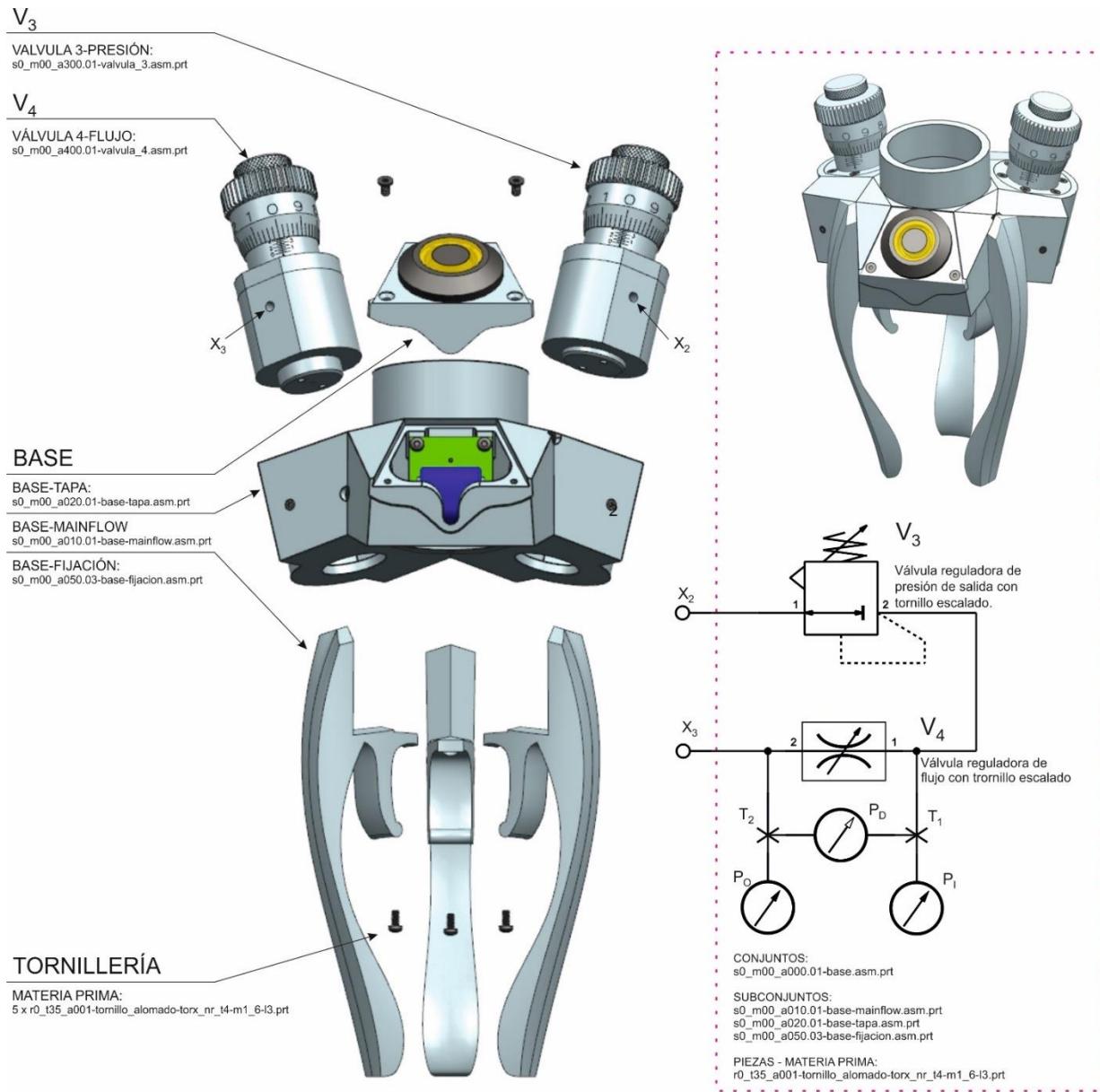


Figura 51. Base, vista de conjunto.

Como podemos observar en la figura anterior, la base está compuesta por:

- ✓ El conjunto base-mainflow.
- ✓ El conjunto base-tapa.
- ✓ El conjunto base-fijación
- ✓ Conjunto válvula 3, de control de presión.
- ✓ Conjunto válvula 4, de control de flujo.

PROYECTO VIMO

A su vez, estos conjuntos están divididos en subconjuntos y alguna materia prima que se relacionan de manera jerárquica como podemos ver en detalle en el navegador de ensamblaje del base:

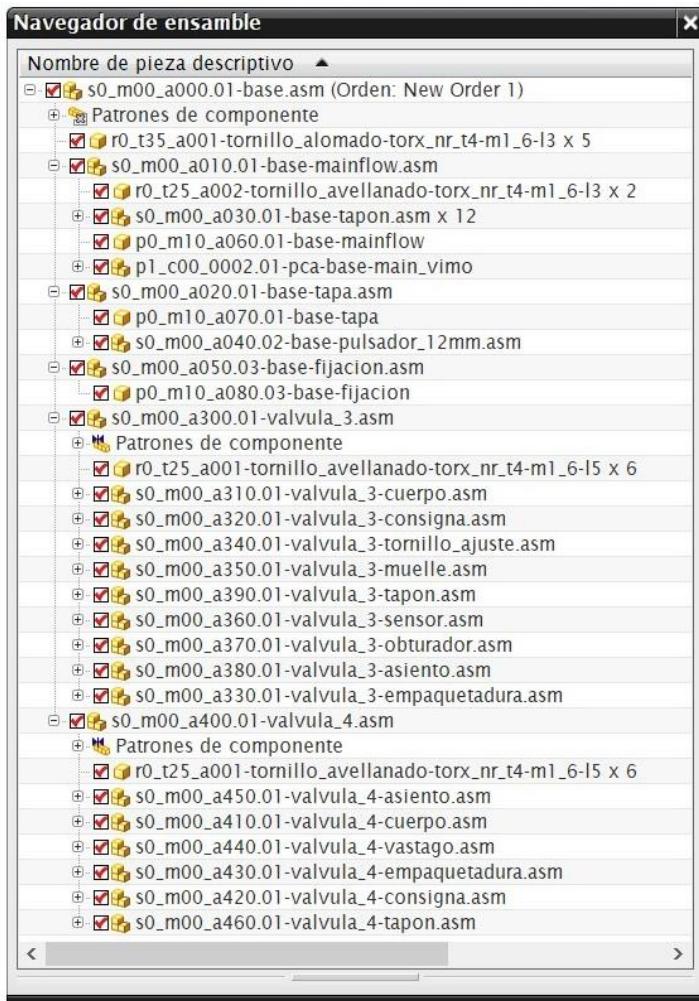


Figura 52. Base, piezas del ensamblaje.

He eliminado del navegador de ensamblaje las restricciones y las secciones.

En los siguientes puntos estudiaremos en detalle las distintas piezas (subconjuntos, piezas y materia prima) que forman la base.

4.3.1 Base - Mainflow

Esta pieza es la encargada de canalizar el gas, sustituye a los clásicos tubos, mangueras o latiguillos de conducción de fluidos. El guiado el gas por el interior de esta pieza hasta los sockets de las válvulas V_3 y V_4 , se realiza mecanizando un tocho de material bruto de forma que los huecos interiores llevan el fluido hasta donde necesitemos.

Este tipo de piezas que distribuyen el flujo mediante mecanizados interiores se conocen en fluidos como “mainflows” o “mainfolds” (colectores en inglés), y suelen tener compartimentos donde se insertan (roscadas o a presión) las válvulas.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo de colector de Swagelok:



Figura 53. Colector, canalización de flujos tocha. Fuente Swagelok.

Desde el agitador llega el gas por el punto de conexión x_2 que es canalizado hasta la entrada 1 de la válvula de regulación de presión de salida (válvula V_3). Al espacio donde se inserta la válvula lo vamos a denominar socket. A la salida de válvula V_3 , punto 2 de esta válvula, se encuentra otra canalización para llevar el fluido hasta la entrada 1 de la siguiente válvula, válvula V_4 de regulación de flujo. Y finalmente de la salida de la válvula de regulación de flujo (punto 2 de V_4), el gas es canalizado hasta el punto de conexión x_e donde entra de nuevo al agitador. Se puede seguir el recorrido en la 1.1.1.1.1.1. Figura 51 más atrás, aunque lo veremos las canalizaciones en detalle en el punto de diseño.

La mejor opción de mecanizado, para evitar pérdidas de flujo en este tipo de piezas, es el taladrado. Otro tipo de mecanizado como por ejemplo fresar dos mitades y luego unirlas con juntas, resultaría poco fiable. Así pues, he elegido taladrar el material para realizar los conductos.

Para realizar correctamente los taladros en el material, es necesario que la broca entre perpendicular a la superficie a taladrar, lo que ha supuesto un desafío en el diseño de esta pieza como explicaré en el siguiente punto.

Para cerrar las entradas de la broca, he utilizado tapones para tubo. Existen en el mercado numerosos tipos de tapones de distintas dimensiones y calidades.

PROYECTO VIMO

Esta vez me he basado en el catálogo de "The Lee Company"³⁴³⁵ para utilizar un diseño de referencia que podemos ver en la siguiente imagen:

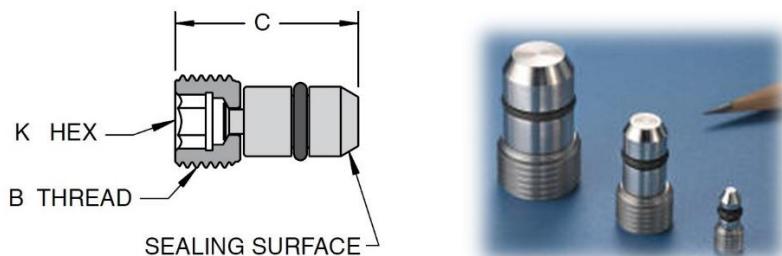


Figura 54. Tapones, para cerrar tubos. Fuente "The Lee Co".

4.3.1.1 Diseño

El diseño de esta pieza, ha sido especialmente difícil ya que para asegurar la mecanicazicón de los conductos, es necesario que la broca entre perpendicular a la cara de taladrado. Al tener que unir varios puntos internamente y de forma circular al eje central, la orientación de los planos en el plano transversal tiene que girar igualmente alrededor del eje.

Me he basado en un hexágono regular para modelar esta pieza, de manera que además de los planos OZX y OYZ ortogonales a 0° y 90° y su bisectriz a 45° , he generado planos a 15° , 30° y 60° . Todos las facetas del modelo están contenidas en estos planos.

En la siguiente imagen se puede apreciar el la planta el diseño hexagonal:

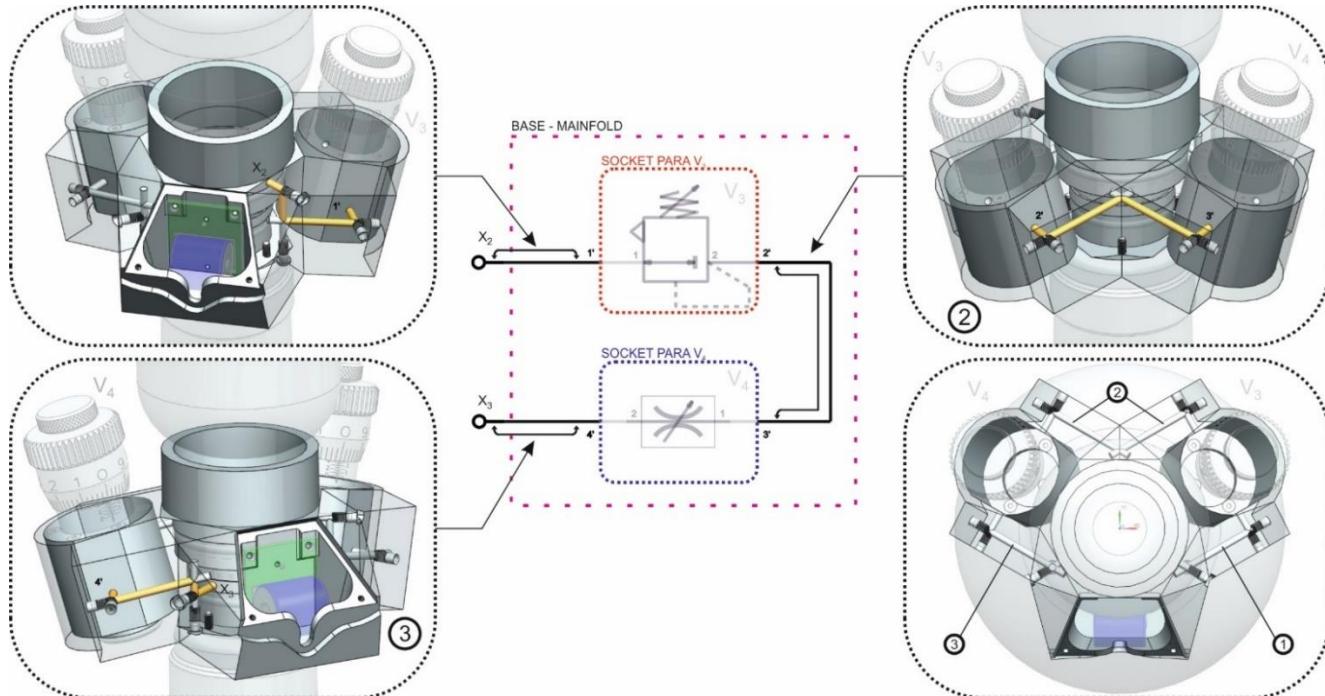


Figura 55. Base - Mainfold, canalizaciones internas. Y vista hexagonal de la planta.

³⁴ Tapones para tubo de The Lee Co: http://www.leeproducts.co.uk/press_release_archive_1.htm#prettyPhoto

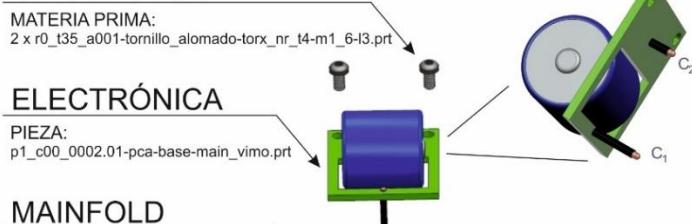
³⁵ Repositorio del proyecto: ./vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/tubos/

PROYECTO VIMO

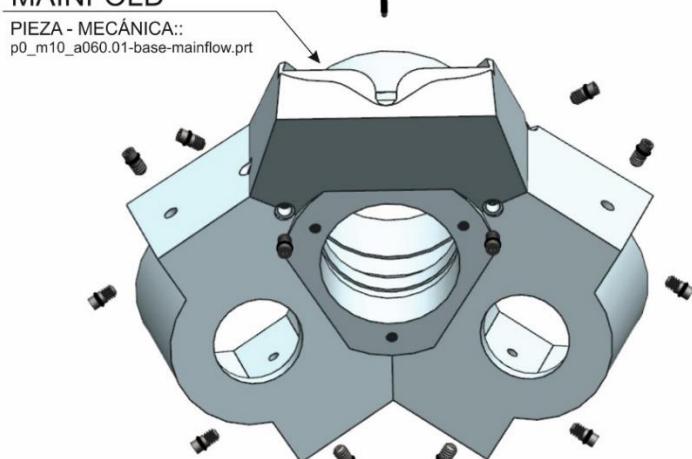
En la imagen anterior, se aprecia también que el hexágono deja tres sockets equidistantes a 120° , que aprovecho para posicionar la válvulas y la electrónica.

Para compactar el conjunto y hacer que las válvulas se acerquen al eje, la inserción de estas en el plano frontal está inclinada $\pm 15^\circ$ respecto a la vertical. En la Figura 51 más atrás se puede apreciar como la válvula V_3 tiene una inclinación de $+15^\circ$ y V_4 una inclinación de -15° respecto a la vertical.

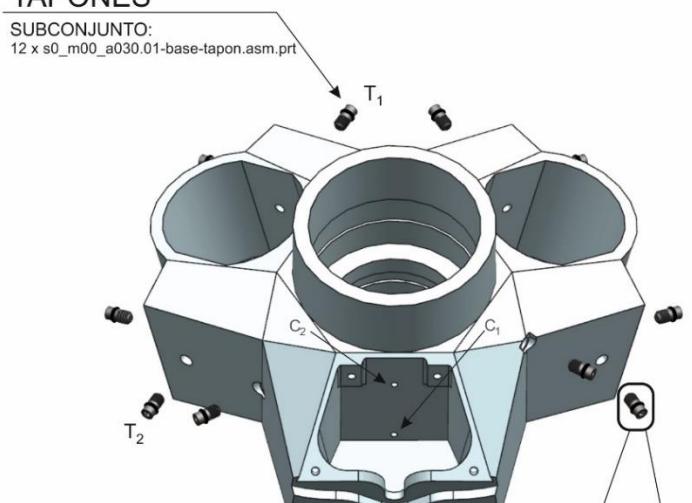
TORNILLERÍA



MAINFOLD



TAPONES



CONJUNTOS:
s0_m00_a010.01-base-mainflow.asm.prt

SUBCONJUNTOS:
12 x s0_m00_a030.01-base-tapon.asm.prt

PIEZAS - MECÁNICA
p0_m10_a060.01-base-mainflow.prt

PIEZAS - ELECTRÓNICA
p1_c00_0002.01-pca-base-main_vimo.prt

PIEZAS - MATERIA PRIMA:
2 x r0_t35_a001-tornillo_alomado-torx_nr_t4-m1_6-l3.prt

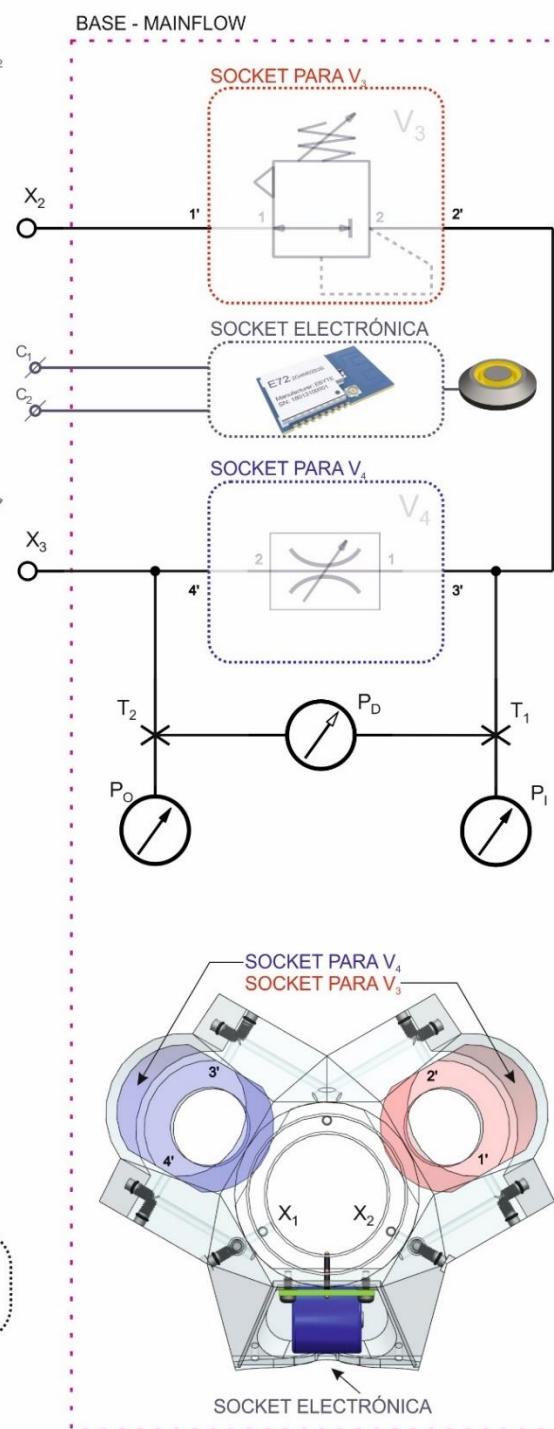


Figura 56. Base - Mainfold, piezas del ensamblaje.

PROYECTO VIMO

Como podemos observar en la figura anterior, el colector de la base (Mainflow o Mainfold) está compuesta por:

- ✓ Pieza base-Mainflow para fresado. Recuerdo que p0_m10_[..] en la referencia del archivo, hace mención a que se trata de una pieza mecánica de fabricación por fresado. Ver nomenclatura de las referencias en el anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde explico la codificación utilizada durante todo el proyecto.
- ✓ Tapones. En este caso no he elegido los tapones de The Lee Co, ver la Figura 54. En su lugar he diseñado unos a medida. Se trata de un espárrago de cabeza hexagonal con una junta tórica de materia prima.
- ✓ Tornillería de fijación de la electrónica. Según catálogo.
- ✓ Electrónica principal. La electrónica principal se explicará en el siguiente punto por ser un elemento de especial interés.

Canalización interna

En la Figura 55, vista anteriormente, he tratado de explicar cómo se realiza la canalización en el interior de la base.

En la ventana 1, arriba a la izquierda, resalto la trayectoria que sigue el gas desde la zona de entrada de alta presión x_2 a donde llega el gas desde el agitador. Por una serie de taladrados, bajamos la trayectoria de gas hasta el nivel de entrada de la válvula de regulación de presión V_3 en el socket resaltado en color rojo.

En la ventana 2, resalto como canalizo la salida del socket rojo a la entrada del socket azul de la válvula de regulación de flujo V_4 . Esta canalización está al mismo nivel por lo que podemos efectuarla con dos taladros únicamente.

En la ventana 3, resalto la transferencia de gas desde la salida de V_4 , al punto de conexión x_3 con el agitador. Este trayecto ya es en baja presión.

En la figura anterior, página 74, se puede observar en el despiece que a cada entrada del taladro se rosca un tapón para hacer estanco el circuito. Alternativamente, en los tapones t_1 y t_2 se pueden conectar sensores de presión absoluta o diferenciales para medir la presión es a la entrada P_i , a la salida P_o o para monitorizar el flujo mediante la presión diferencial P_d .

4.3.1.2 Electrónica principal

Me parece interesante mencionar un poco por encima la electrónica de control del inyector, sobre todo la parte de conectorización y la parte que afecta al diseño mecánico por su volumen como la batería, el botón, etc.

PROYECTO VIMO

En la siguiente imagen podemos ver una versión “dummy” de la pcb de control principal donde se aprecian los componentes que afectan al diseño mecánico:

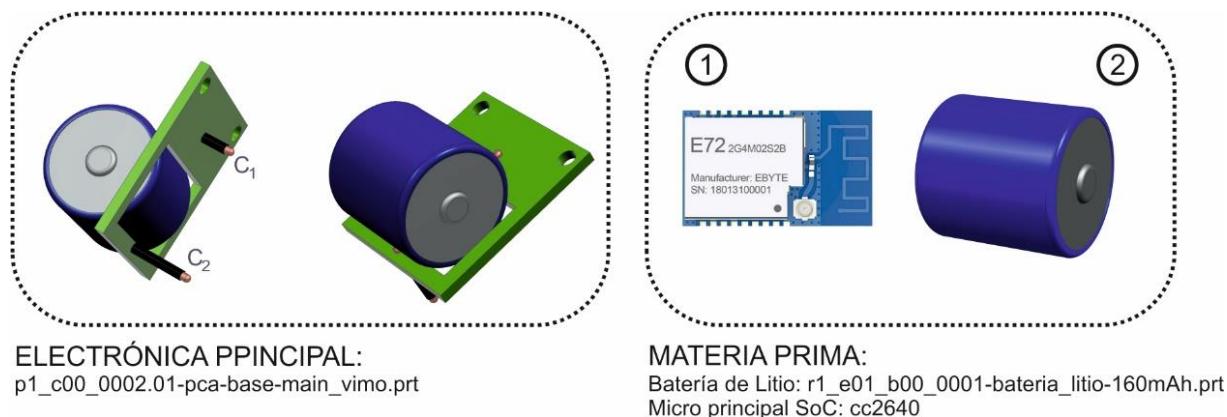


Figura 57. Electrónica principal y elementos electrónicos.

- Batería de Ion-Litio, modelo PBL8802 de Enix, ver el “datasheet” en el directorio [iError! Marcador no definido](#), se trata de una batería de gran capacidad recargable y de pequeño tamaño.
- Para el microprocesador principal, he elegido el SoC de Texas Instruments cc2640 [iError! Marcador no definido](#). por su reducido tamaño, su bajo consumo y su módulo de radio Bluetooth Low Energy que permitiría en un futuro acceder de forma inalámbrica al inyector. Otra de las ventajas es que este módulo viene certificado y encapsulado.
- Para la conectorización, he elegido conectores de tipo “pogopin” [iError! Marcador no definido](#), ver el apartado 4.2.3.2 más atrás, donde ya adelantaba el tipo de conector a utilizar y el tipo de conector.

En la siguiente imagen muestro cómo se establece el contacto entre la base y los electrodos del agitador (ver también 4.2.3.2). Los conectores pogopin tienen un muelle en su interior que hace que la punta se retraje cuando se inserta el agitador.

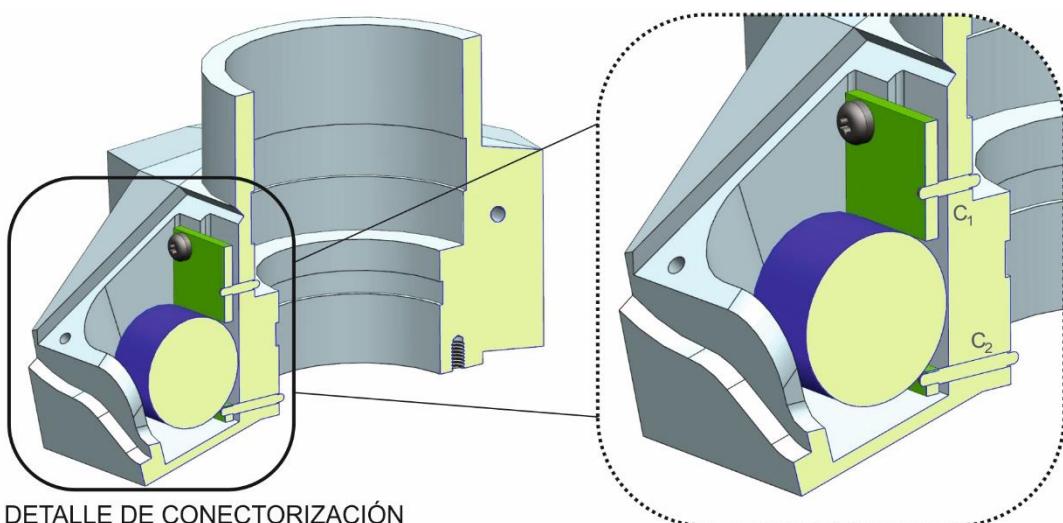


Figura 58. Electrónica principal, detalle de conectorización.

PROYECTO VIMO

4.3.1.3 Tapa

En la siguiente imagen muestro las distintas piezas del subconjunto base-tapa donde he realizado también un despiece del pulsador:

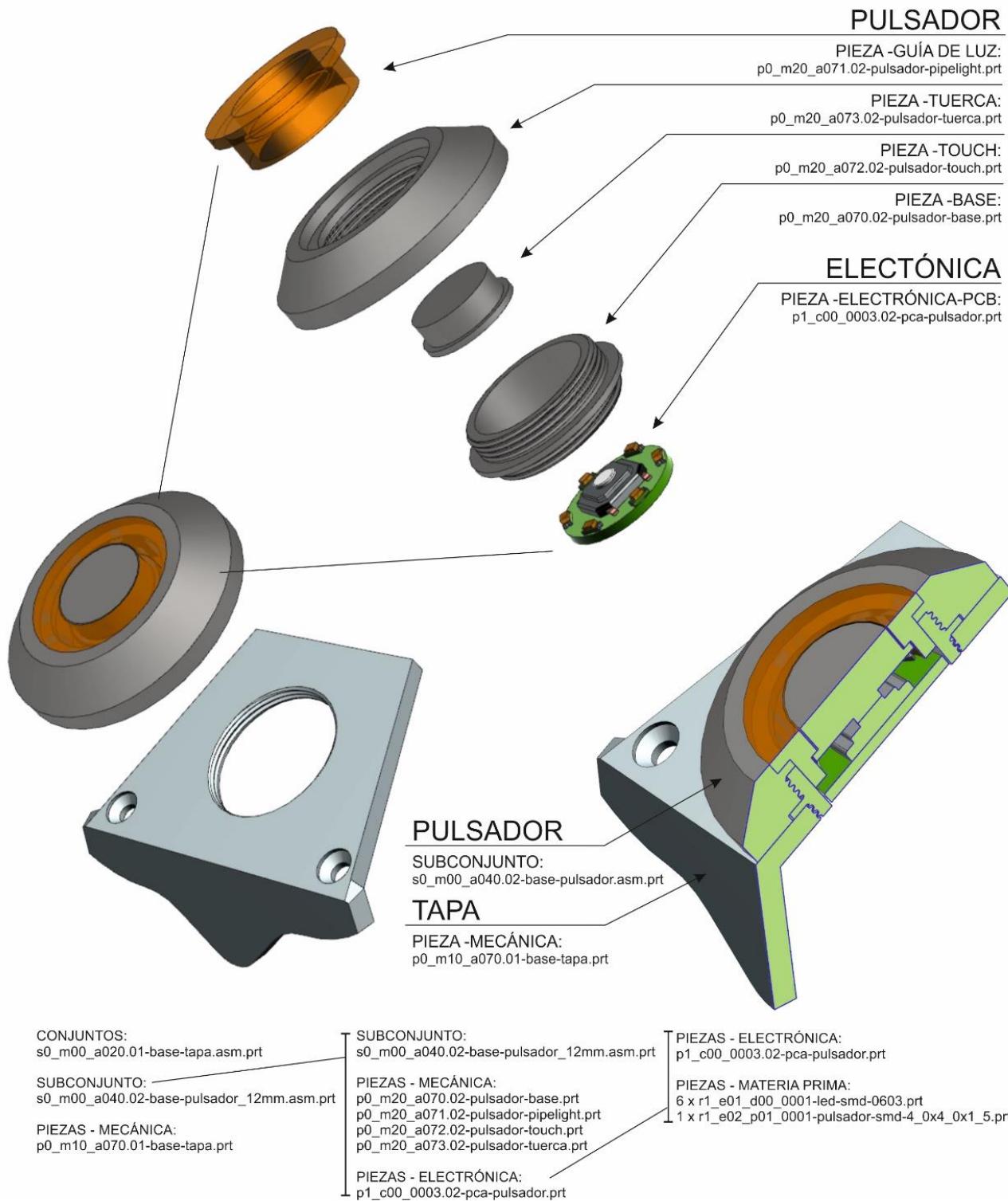


Figura 59. Tapa de la base con botón de activación.

PROYECTO VIMO

La tapa es el elemento estructural que cierra el socket donde se inserta la electrónica de control principal y donde se sitúa el pulsador de activación del inyector. La tapa se fija por medio de dos tornillos avellanados de ranura “torx” como se aprecia en la 1.1.1.1.1.1.Figura 51 de la página 70. Lo que más destaca de esta pieza es su botón que detallamos a continuación.

Botón paramétrico

Existen en el mercado gran cantidad de pulsadores de distintas calidades, formas y tamaños^{Error!} Marcador no definido. pero no he encontrado un botón de bajo perfil que se adapte a nuestro inyector, por lo que al final decidí modelarlo a medida.

En esta ocasión me pareció interesante realizar un modelo con un ensamblaje paramétrico de manera que modificando el diámetro del pulsador tipo botón se adaptaran todas las piezas del ensamblaje al nuevo diámetro. Para ello establecí relaciones paramétricas entre las distintas piezas del pulsador.

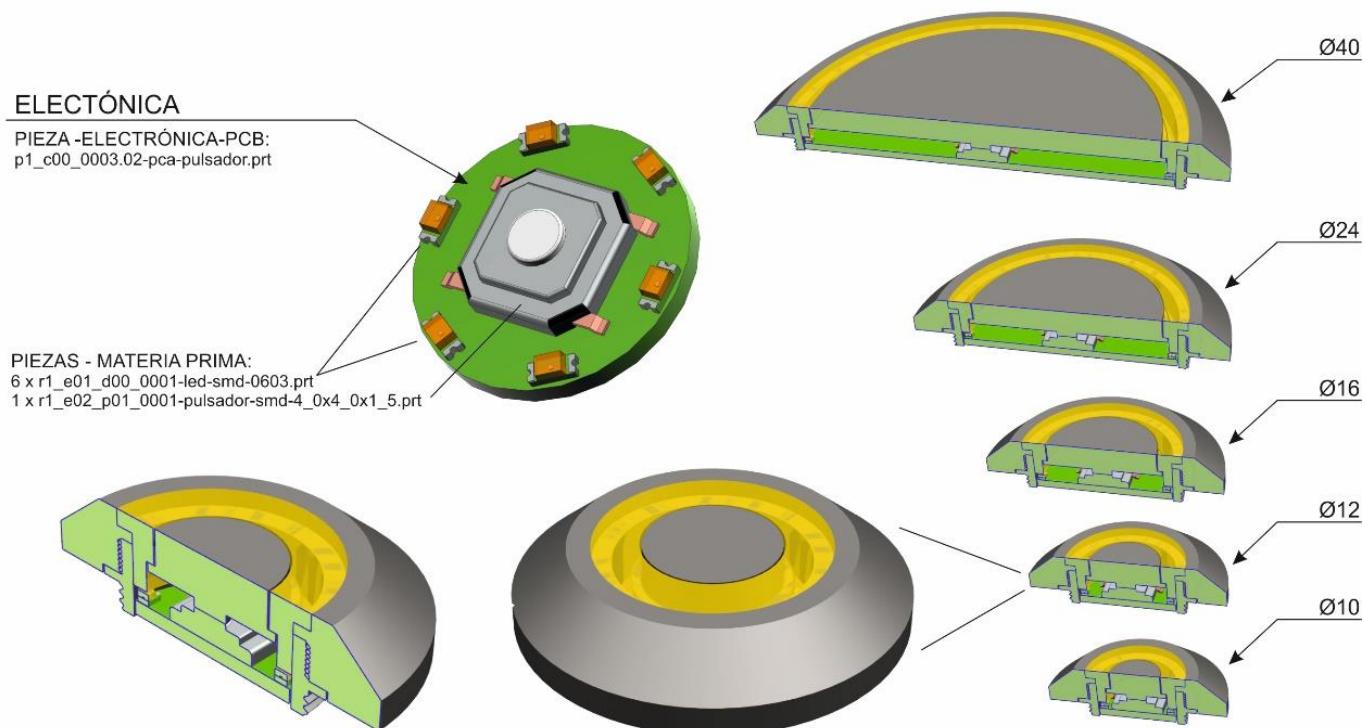


Figura 60. Botón. Modelo de ensamblaje paramétrico.

En la figura anterior, muestro distintos modelos del pulsador para varios diámetros de pulsador estándar. El diámetro que mejor se acomoda a nuestro diseño es el ø12 mm.

En la figura, también muestro el diseño de un circuito impreso (“printed circuit board, pcb” en inglés) “dummy” donde sólo muestro los componentes electrónicos limitantes con el diseño mecánico del pulsador tipo botón. El trazado de las pistas y diseño de la pcb quedan fuera del ámbito de este proyecto.

4.3.2 Base – Fijación

Esta pieza es en sí misma una cánula de centrado y fijación de la base a la botella. Facilita la inserción del agitador a la vez que mantiene la base fuertemente anclada a la garganta de la botella. Ver las instrucciones de montaje en la 1.1.1.1.1.Figura 2 de la página 8.

BASE - FIJACIÓN

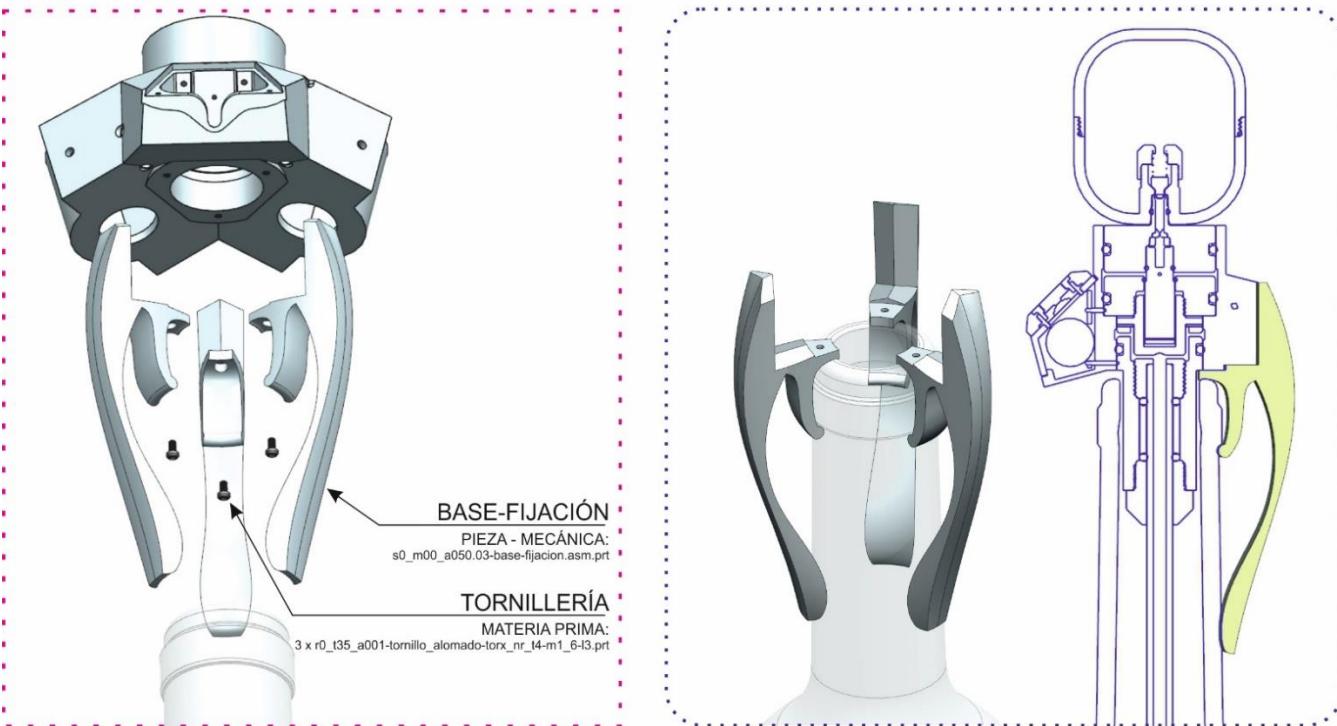


Figura 61. Fijación de la base. Montaje.

La cánula de centrado se fija a la base por medio de tres tornillos de cabeza alomada y ranura “torx” como se aprecia en la figura anterior. El conjunto base y fijación se acoplan al cuello de la botella de tipo Bordelesa de 28 mm de diámetro haciendo “click”, en la ranura exterior de la boquilla. Se puede apreciar la fijación en la figura anterior a la derecha.

Modelado por superficies

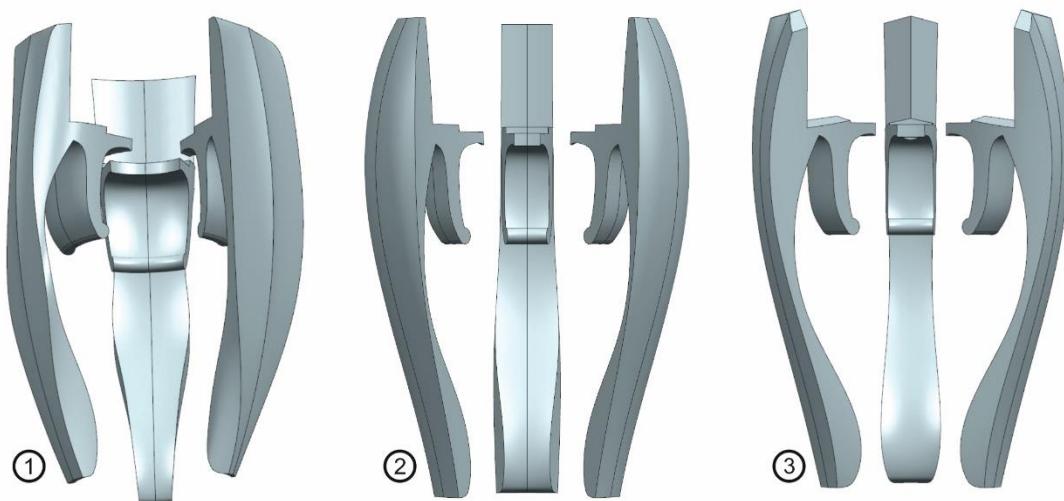
Para el diseño de esta pieza he utilizado las potentes herramientas de melado por superficies del software con el que he realizado este proyecto.

Utilizando superficies hemos realizado varios deseños como los que podemos ver en la siguiente imagen:

- ✓ s0_m00_a050.01-base-fijacion.asm.prt. Modelo de mayor superficie con una mayor presión en el cuello de la botella.
- ✓ s0_m00_a050.02-base-fijacion.asm.prt. Modelo de base rectangular con apriete intermedio.
- ✓ s0_m00_a050.03-base-fijacion.asm.prt. Modelo final elegido con mejor estética.

PROYECTO VIMO

Los modelos obtenidos se pueden encontrar en el directorio de piezas del diseño³⁶, nótense que el prefijo .01 .02 y .03 en la referencia del archivo, hacen referencia a la versión.



DISTINTOS DISEÑOS DE FIJACIÓN:
1 - s0_m00_a050.01-base-fijacion.asm.prt
2 - s0_m00_a050.02-base-fijacion.asm.prt
3 - s0_m00_a050.03-base-fijacion.asm.prt

Figura 62. Tres tipos de fijación de la base. Modelado por superficies.

4.3.3 Base - Válvula 3, reguladora de presión

El diseño de esta pieza es el más complejo de todo el proyecto por su elevado número de piezas y su precisión.

El referente para el diseño ha sido de nuevo Swagelok³⁷ y sus fantásticos manuales que explican el funcionamiento de las válvulas con todo tipo de detalles.

Una válvula reguladora de presión se encarga de mantener una presión de salida constante para variaciones no deseadas de la presión de entrada. Para ello, disponen de un elemento sensor que puede ser un diafragma o un pistón en el que a un lado tienen una fuerza de carga F_s ejercida por un muelle que establece la consigna y en el otro lado tiene la fuerza ejercida por el fluido que circula F . Ver siguiente figura donde se explica el funcionamiento.

Existen dos tipos básicos de reguladores de presión:

- Reguladores reductores de presión también conocidos como reguladores de presión de salida. En el que la presión de entrada es reducida y mantenida lo más constante posible ante cambios de presión y caudal de entrada. Esto se consigue cuando la fuerza del fluido F , es igual o ligeramente menor a la fuerza de carga F_s establecida en la consigna. En este momento el obturador está abierto. Figura de la izquierda.

³⁶ https://github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_cad/3d_device/3d_mec_prt

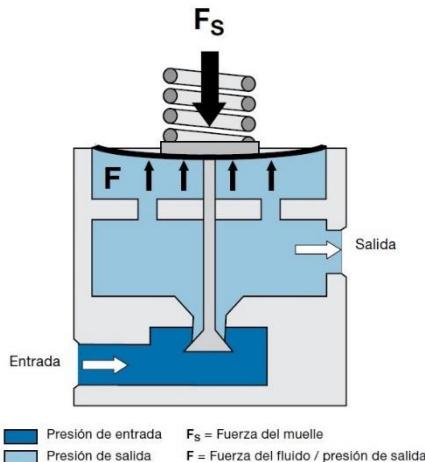
³⁷ Catálogos de Swagelok:

https://github.com/0dr4d3k/vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/micro_valvulas/swagelok.com

PROYECTO VIMO

- Reguladores de contrapresión o reguladores de presión de entrada. Cuya misión es mantener la presión de entrada por debajo de la presión de consigna abriendo el obturador cuando la presión en la estrada ejercida por el flujo F es mayor que la de consigna F_s y cerrando el paso cuando F es menor que F_s .

Reguladores reductores de presión



Reguladores de contrapresión

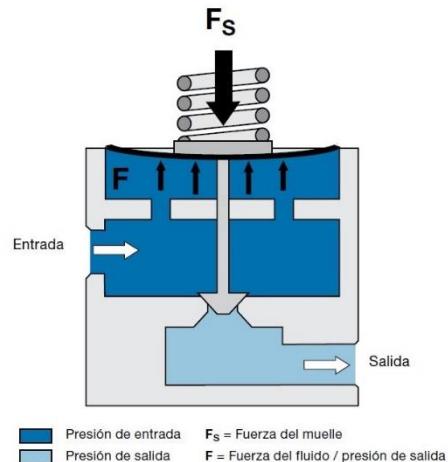
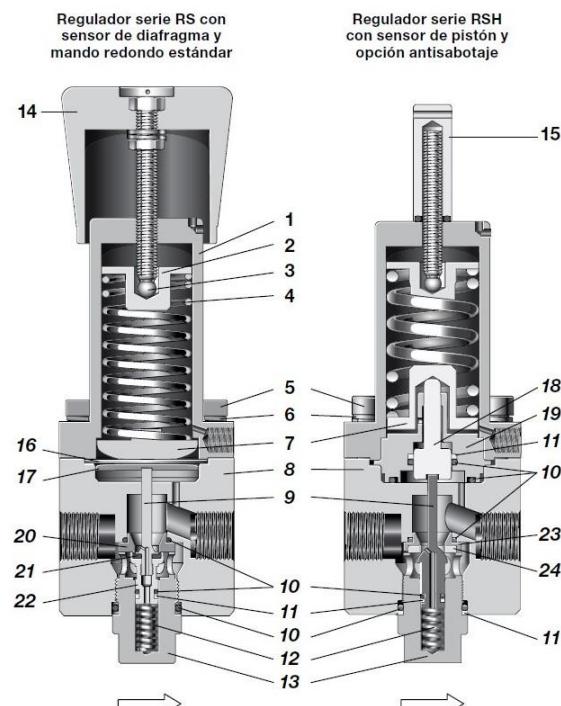


Figura 63. Tipos de reguladores de presión. Fuente Swagelok.

En nuestro caso, tenemos que mantener constante la presión a la salida de V3 ante distintos requerimientos de flujo y ante posibles variaciones de la presión de entrada por lo que nuestra válvula reguladora de presión será reductora o de regulación de presión de salida.

Materiales de construcción



	Componente	Material / Especificación
1	Carcasa del muelle	Acero inox. 316L / A479
2	Guía del muelle	
3	Bola	Acero inox. 420 (Endurecido)
4	Muelle de regulación	Acero inox. 302 / A313
5	Tornillo de la carcasa	A4-80
6	Anillo del tornillo de la carcasa	A4
7	Guía inferior del muelle	Acero inox. 316L / A479
8	Cuerpo	
9	Obturador	Acero inox. 316L / A479
RSH	RSH	Acero inox. S17400 / A276 o Acero inox. 431
10	Juntas tóricas	EPDM, FKM o nitrilo
11	Anillo soporte	PTFE
12	Muelle del obturador	Acero inox. 302 / A313
13	Tapón del cuerpo	Acero inox. 316L / A479
14	Conjunto del mando redondo con tornillo de ajuste, tuercas, arandelas	ABS rojo con A2-70
15	Opción antisabotaje con junta tórica, tornillo de fijación	Acero inox. 316L y A2-70 (Misma junta tórica que ítem 10)
<i>Solo diafragma</i>		
16	Diafragma	EPDM, FKM o nitrilo
17	Placa del diafragma	Acero inox. 316L / A479
<i>Solo pistón</i>		
18	Pistón	
19	Placa del pistón	Acero inox. 316L / A479
20	Asiento	
21	Cierre del asiento	EPDM, FKM o nitrilo
22	Carcasa del obturador	Acero inox. 316L / A479
23	Asiento	Acero inox. 316L / A479
24	Cierre del asiento	PEEK o PCTFE
Lubricante húmedo: Con base de silicona y con base de hidrocarburo sintético		

Figura 64. Reguladores de presión, sensor a muelle. Fuente Swagelok.

PROYECTO VIMO

Nuestro tipo de sensor va a ser de diafragma o de membrana porque son los más adecuados para el rango de presiones de nuestro inyector.

He utilizado como válvula de referencia las series RS(H)4, RS(H)6 y RS(H)8 de reguladores de presión de salida con sensor de muelle del fabricante Swagelok. En la página anterior podemos ver esta serie.

4.3.3.1 Cálculos

Para dimensionar nuestro muelle, utilizaremos siguiente fórmula:

$$[Fs]_{max} \leq [F]_{max} \rightarrow l_{max} \cdot R \leq P_{max} \cdot A \quad (1.1.24)$$

donde:

$[Fs]_{max}$: fuerza de consigna o de carga ejercida por el muelle.

$[F]_{max}$: fuerza ejercida por la presión del flujo.

l_{max} : compresión máxima del muelle.

R : constante del muelle.

P_{max} presión máxima del flujo.

A área del sensor.

4.3.3.2 Diseño

La válvula 3 se inserta en el socket situado a la derecha de la base. A este socket le llega desde el agitador el gas proveniente de la bombona. En la siguiente imagen podemos observar la posición correcta de la válvula de regulación de presión:

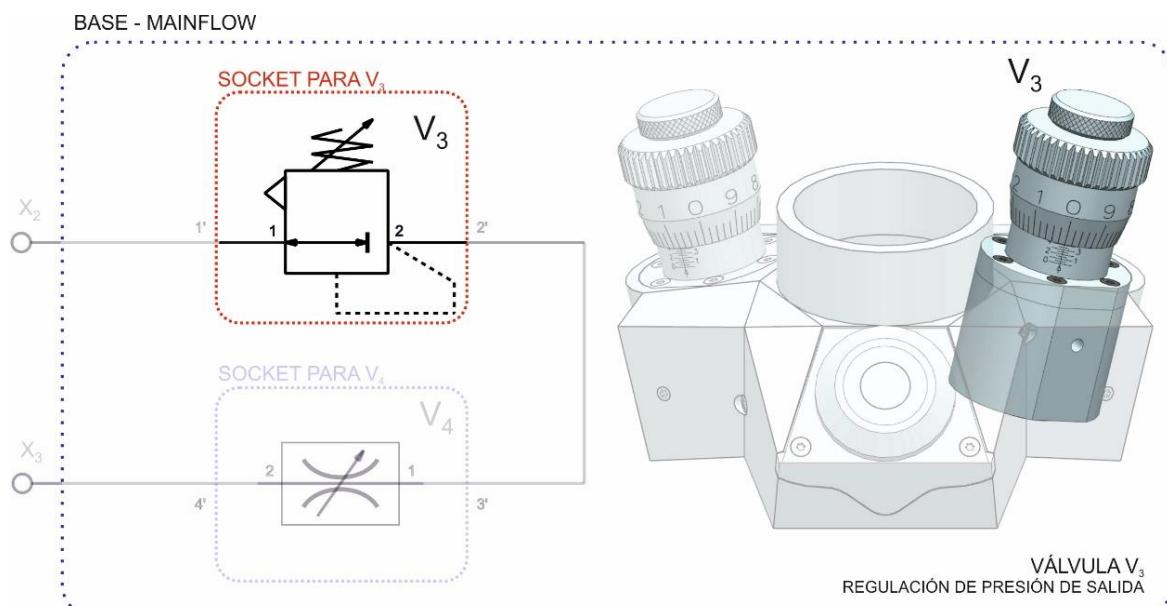
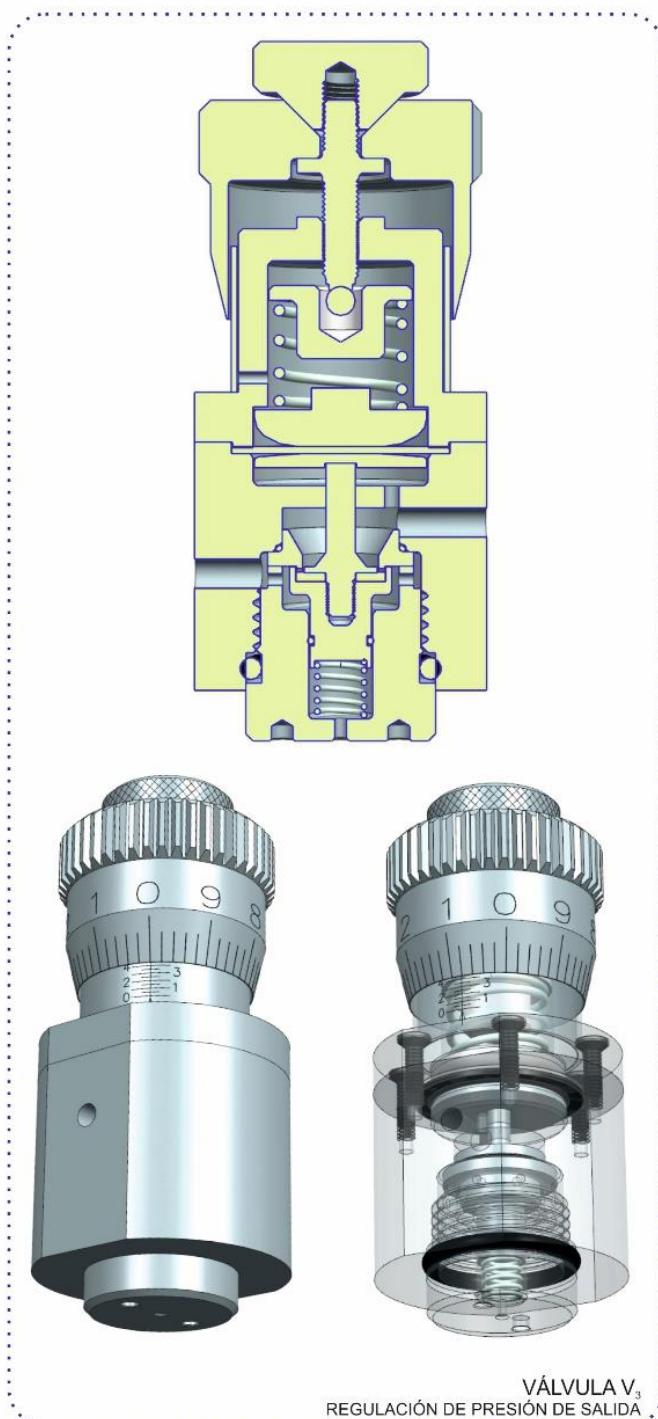


Figura 65. Válvula 3, vista de posición.

PROYECTO VIMO

CONJUNTO:
s0_m00_a300.01-valvula_3.asm.prt



SUBCONJUNTOS:

- s0_m00_a310.01-valvula_3-cuerpo.asm.prt
- s0_m00_a320.01-valvula_3-consigna.asm.prt
- s0_m00_a330.01-valvula_3-empaquetadura.asm.prt
- s0_m00_a340.01-valvula_3-tornillo_ajuste.asm.prt
- s0_m00_a350.01-valvula_3-muelle.asm.prt
- s0_m00_a360.01-valvula_3-sensor.asm.prt
- s0_m00_a370.01-valvula_3-obturador.asm.prt
- s0_m00_a380.01-valvula_3-asiento.asm.prt
- s0_m00_a390.01-valvula_3-tapon.asm.prt

PIEZAS - MATERIA PRIMA:
6 x r0_t25_a001-tornillo_avellanado-torx_nr_t4-m1_6-l5.prt

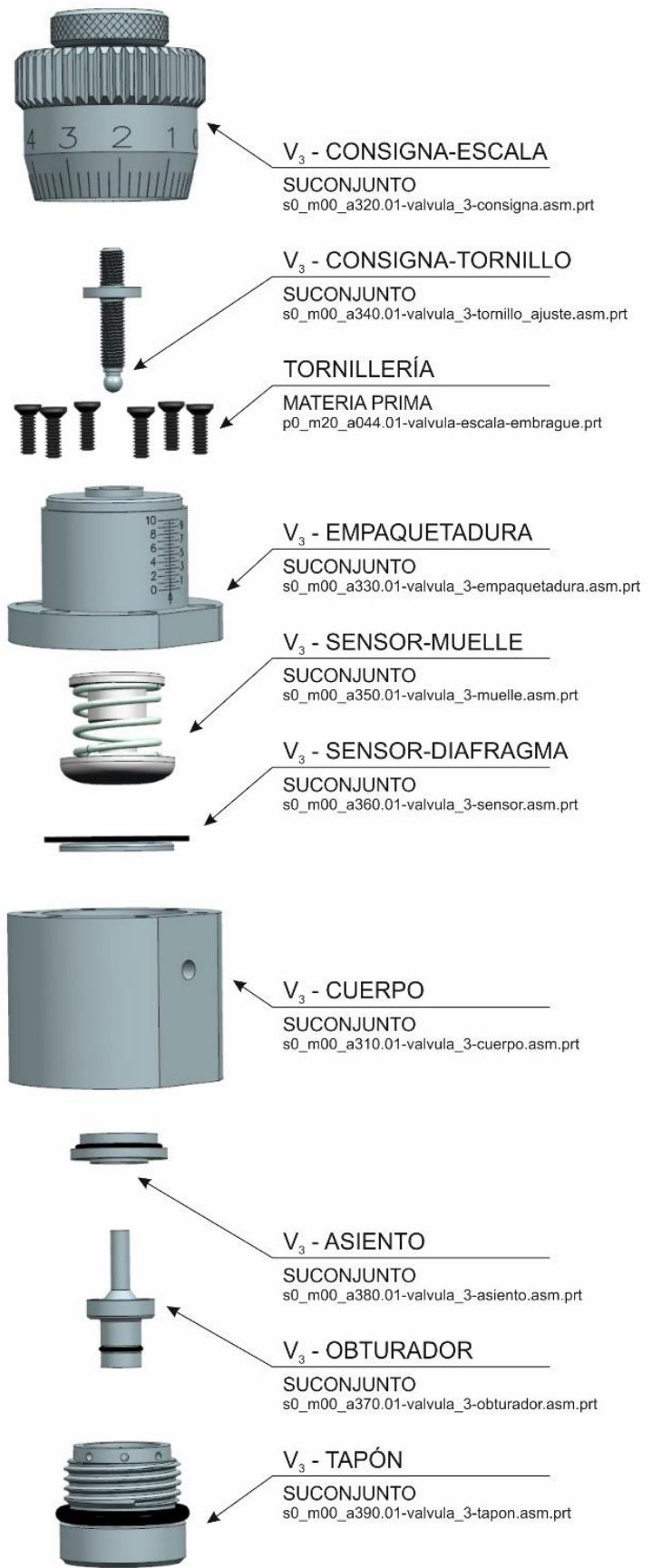


Figura 66. Válvula 3, vista de conjunto.

PROYECTO VIMO

En la figura anterior podemos observar la gran cantidad de piezas que tiene esta válvula. A continuación, muestro el navegador de ensamblaje donde he eliminado restricciones posicionales y secciones por claridad.

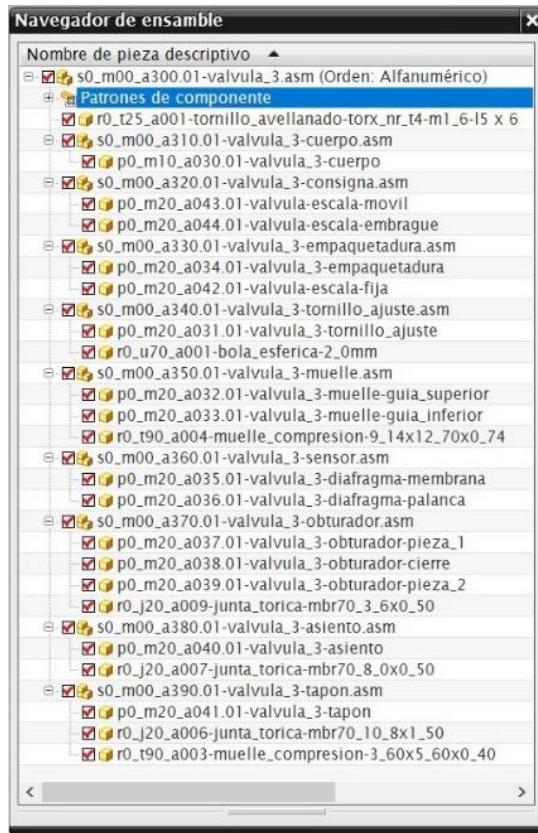


Figura 67. Válvula 3, piezas del ensamblaje.

Los subconjuntos que forman la válvula de regulación de presión los veremos en las siguientes páginas

Consigna

Este elemento es común para las válvulas V₃ y V₄. Existen dos versiones para la escala móvil, una prepara para grabado láser y la otra para mecanizado mediante fresado. El tornillo escalado nos va a permitir un ajuste muy fino, teniendo en cuenta que la escala es de 0 a 9 dividida cada sección en 5 partes tenemos una precisión de ojo humano de:

$$p = \frac{M}{e \cdot o} \rightarrow p = \frac{0,35 \text{ mm/vuelta}}{(50 \text{ pasos/vuelta}) \cdot 2} = 3,5 \text{ } \mu\text{m/paso} \quad (1.1.25)$$

donde:

p: precisión.

M: paso de rosca. Para M2 fina es 0,35 mm vuelta

e: compresión máxima del muelle.

PROYECTO VIMO

o: factor del ojo humano es de 2. Capaz de distinguir 1/2 de escala.

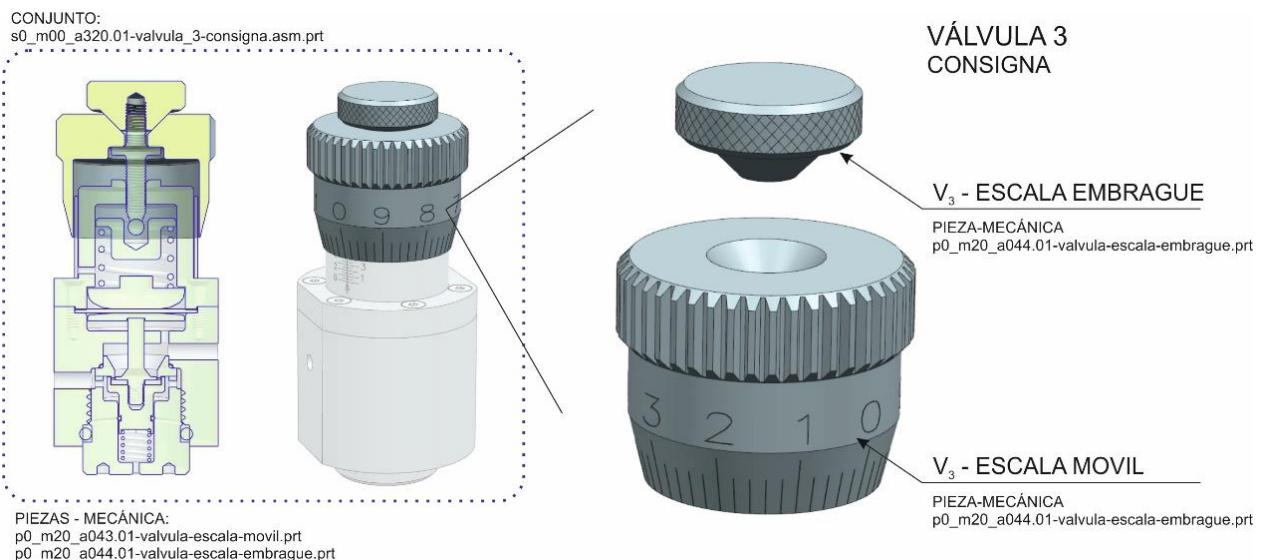


Figura 68. Válvula 3, consigna.

La consigna dispone de una pieza de embrague que permite fijar el cero de la escala.

Empaqueadura

Este conjunto tiene dos piezas:

- ✓ La empaquetadura propiamente dicha que es la que cierra y hace estanco el conjunto. Para ajustar correctamente la empaquetadura hay que ir apretando los tornillos enfrentados con una presión creciente. Así evitamos romper la junta de estanqueidad.
- ✓ La escala fija, también disponible para grabado por láser o mecanizado contiene la escala que marca el origen para la escala móvil.

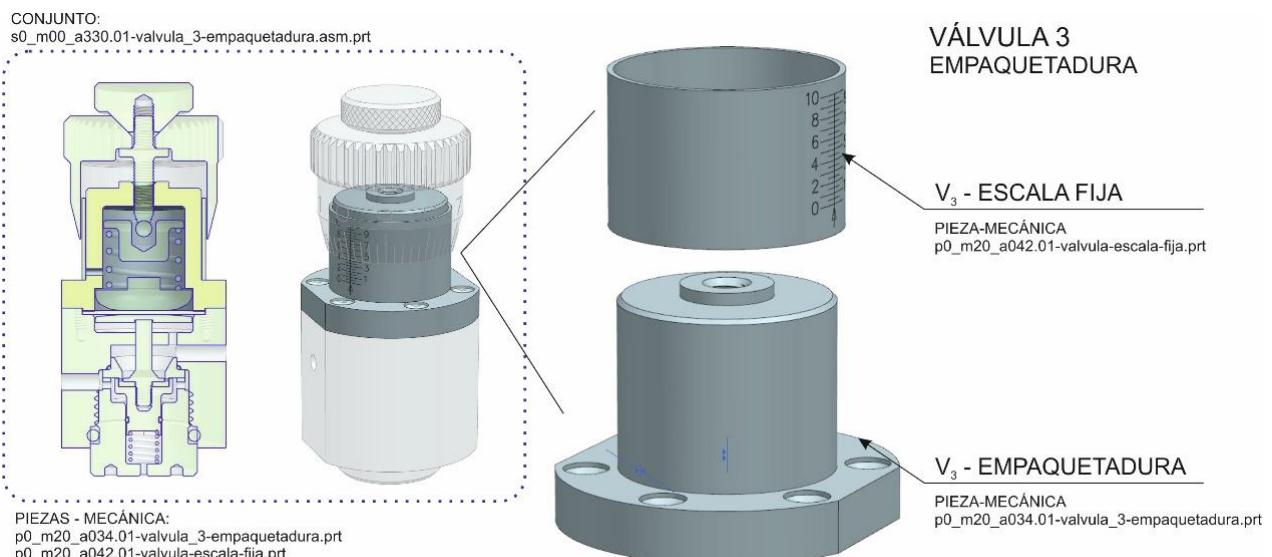


Figura 69. Válvula 3, empaqueadura.

Tornillo de ajuste

El tornillo de ajuste, está compuesto por el tornillo fijado a la consigna y una bola que hace de rótula sin rozamiento entre el tornillo y el muelle del sensor.

Este tornillo transmite el movimiento circular sobre la consigna a el muelle que efectúa la carga F_s sobre el elemento sensor. En la siguiente imagen podemos ver las partes que lo componen:

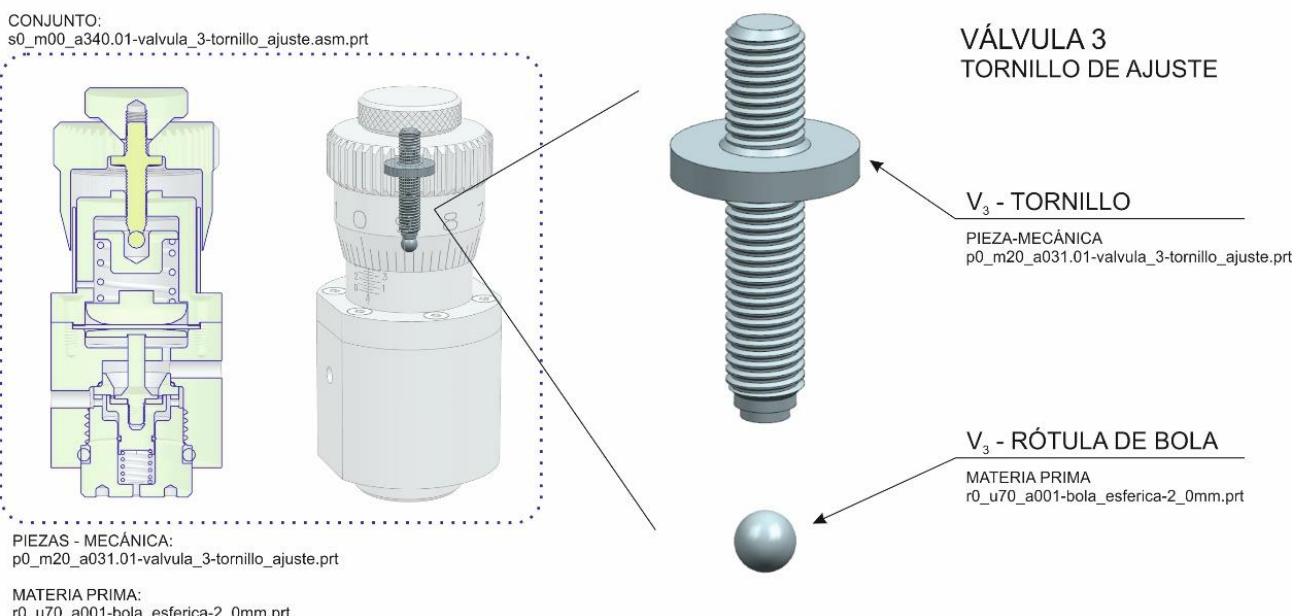


Figura 70. Válvula 3, tornillo de ajuste.

Muelle del sensor

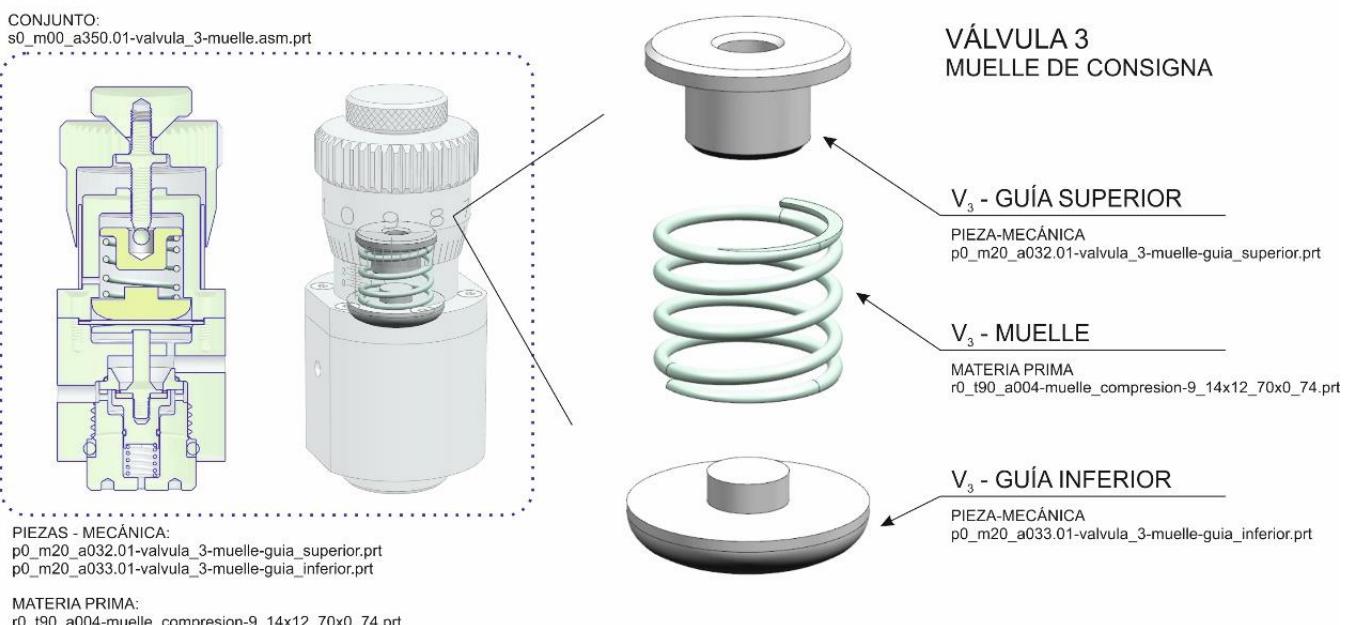


Figura 71. Válvula 3, muelle del sensor.

PROYECTO VIMO

Este muelle es el que proporciona la fuerza de carga al sensor. A mayor compresión, mayor fuerza de carga por lo tanto mayor presión a la salida.

El conjunto está formado por tres piezas, el muelle y los soportes de adaptación en los extremos.

El soporte superior, tiene un agujero con fondo cónico que sirve de asiento a la bola (rótula) del tornillo de ajuste vista anteriormente.

En la parte inferior hay otro soporte que distribuye la fuerza de carga F_s de forma uniforme sobre la membrana del sensor.

Cuerpo

Como su nombre indica es la pieza que forma el cuerpo de la válvula sobre la que se fijan todas las demás.

El cuerpo tiene dos orificios por donde entra y sale el flujo y dos cámaras: la de paso de caudal (cámara inferior en la siguiente figura) y la de regulación en la que se encuentra el elemento sensor (parte de arriba en la siguiente figura).

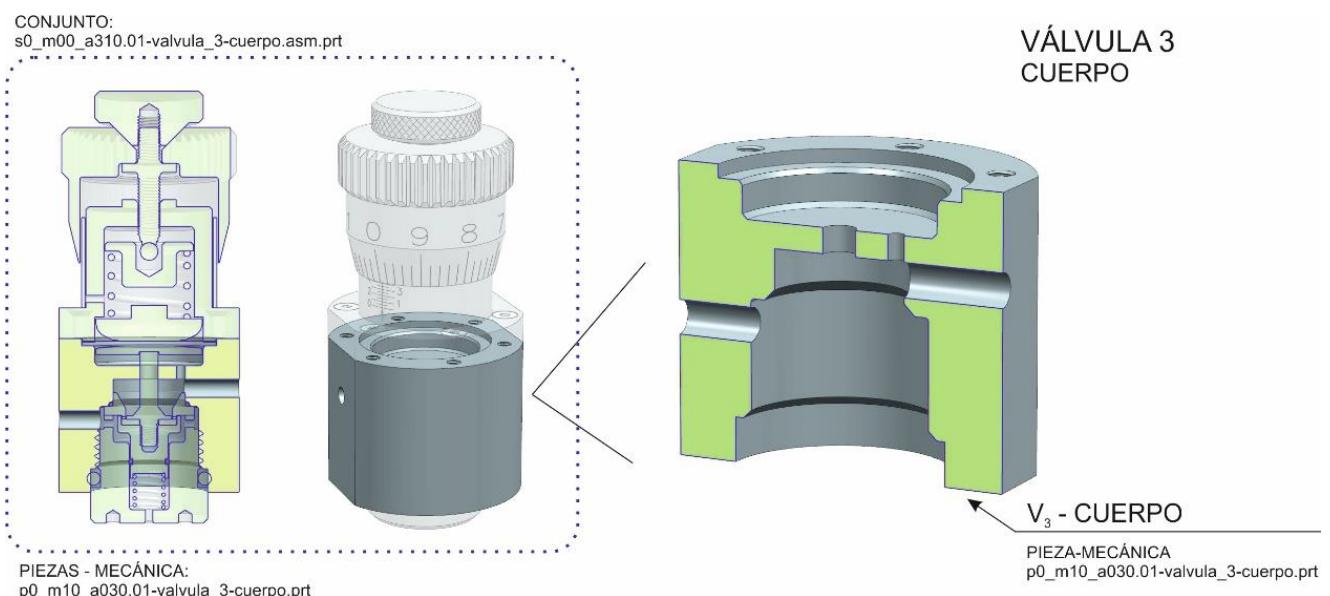


Figura 72. Válvula 3, Cuerpo.

Sensor

El elemento sensor en este caso es de diafragma fabricada con un polímero elastómero tipo EPDM, FKM o Nitrilo. Esta membrana actúa como un tímpano transmitiendo la fuerza de un lado a otro de la cámara del sensor y a la vez permitiendo el cierre estanco de la válvula.

Si nos fijamos en la siguiente figura, esta membrana hace de junta estanca entre el cuerpo y la empaquetadura.

En la parte estanca de la cámara del sensor, hay una pieza llamada palanca que permite transmitir la fuerza al obturador sin dañar la membrana del sensor

PROYECTO VIMO

Esta pieza suele estar fabricada en acero inoxidable o algún polímero de gran dureza tipo PEEK o NYLON.

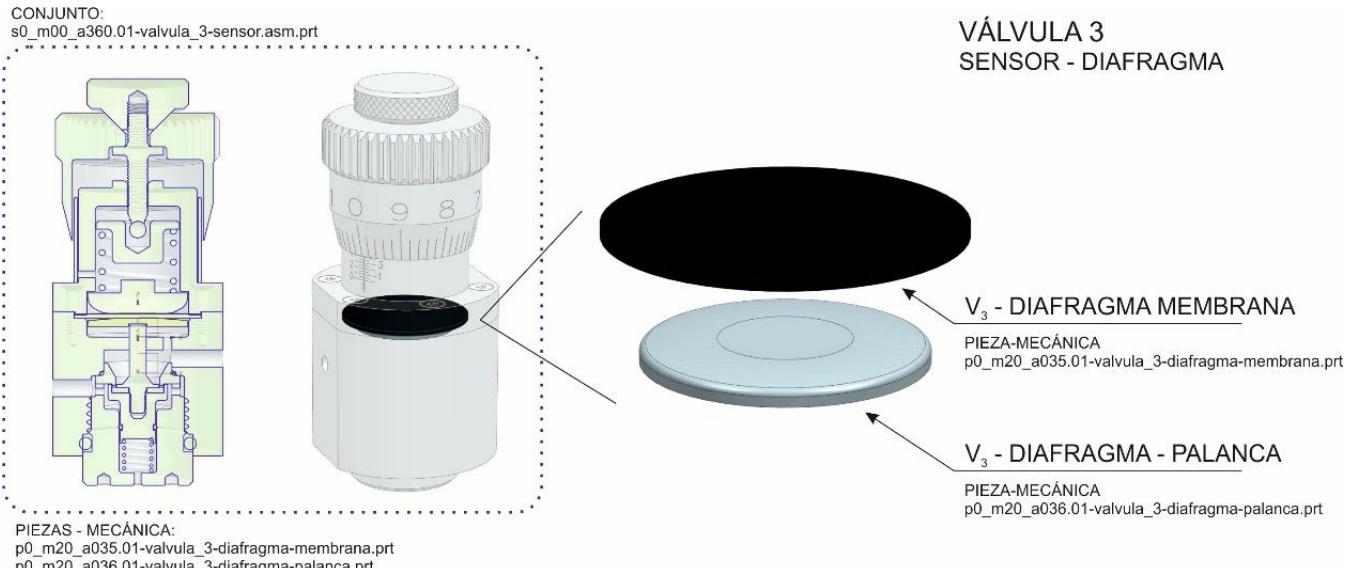


Figura 73. Válvula 3, elemento sensor.

Asiento

Sobre esta pieza descansa el obturador cuando la fuerza ejercida por el flujo F, es superior a la de consigna F_s.

La fijación se realiza por la presión axial ejercida por el tapón sobre esta pieza y para asegurar la estanqueidad se posiciona una junta tórica entre esta pieza y el cuerpo de la válvula de regulación de presión de salida.

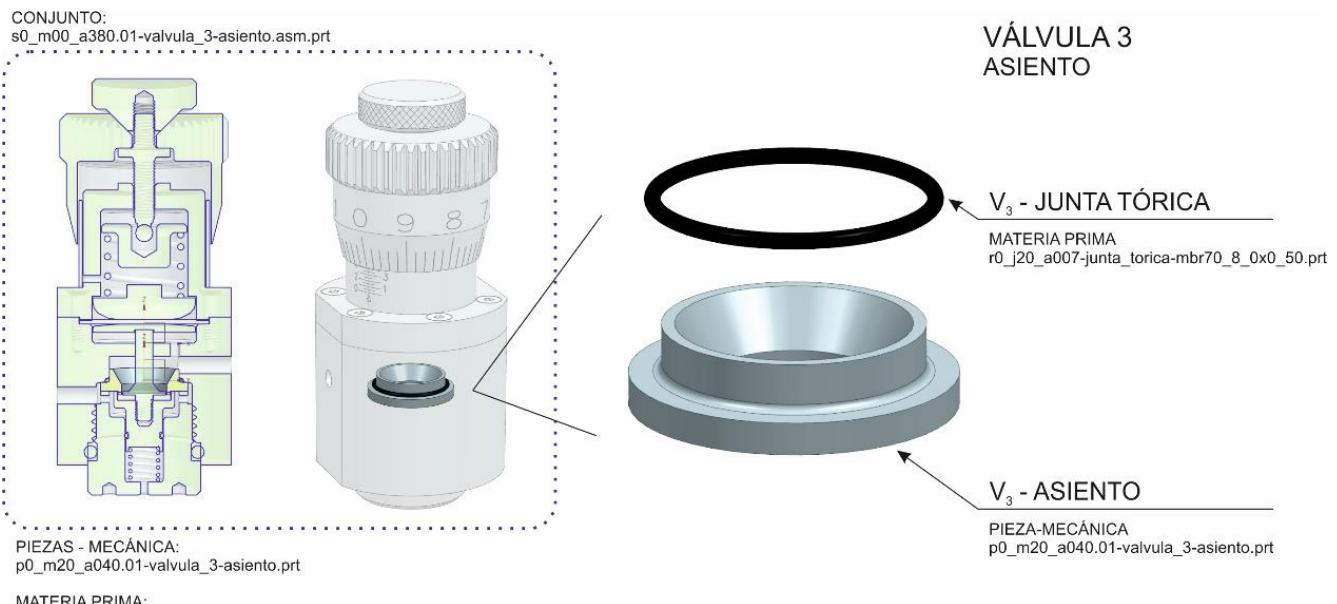


Figura 74. Válvula 3, asiento.

Obturador

Este elemento es el que cierra el paso de flujo cuando la presión del flujo a la salida es mayor que la presión de consigna establecida por el tornillo – muelle al hacer girar el tornillo moleteado. La pieza “cierre” es la que entra en contacto con la pieza “asiento” para impedir o cerrar el paso de flujo.

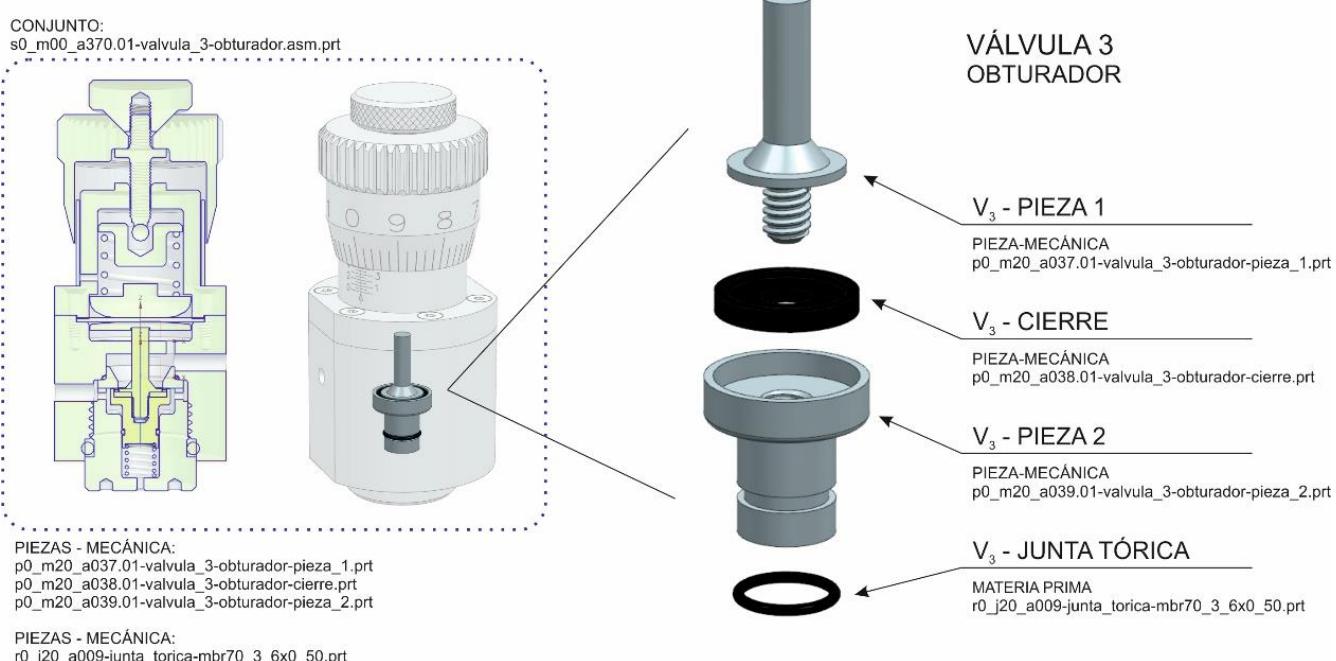


Figura 75. Válvula 3, obturador.

Tapón

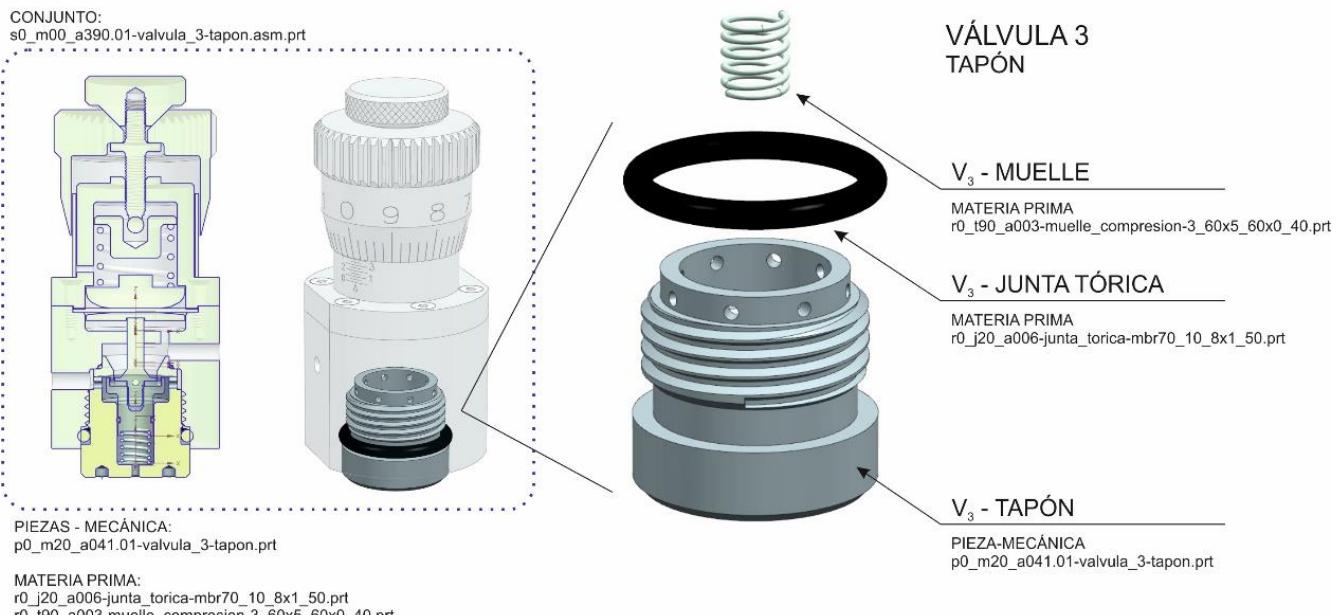


Figura 76. Válvula 3, tapón.

4.3.4 Base -Válvula 4, reguladora de caudal

Adentrarse en el mundo de las válvulas de regulación de flujo ha sido muy constructivo y excitante. A través de los catálogos de Swagelok he conocido los distintos tipos de válvulas de regulación de flujo, sus principales piezas (y nombres con los que se denominan) y características constructivas (coeficientes de caudal, diámetros de orificios, materiales, etc.) entre otras cosas.

El tipo de válvulas elegido es el de tipo aguja por su capacidad de control para flujos pequeños y la válvula de referencia en este caso ha sido una mezcla de estas dos series del catálogo de Swagelok:

- La serie O, 1, 18, 20 y 26 que es una válvula de aguja con bonete integrado^{38 37}. Como podemos ver en las siguientes imágenes.

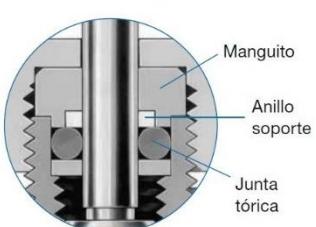


Figura 77. Válvula 4, de aguja con bonete integrado. Fuente Swagelok.

Es un tipo de válvula que se ajusta perfectamente a nuestras necesidades de flujo y presión. El bonete integrado confiere una gran robustez a la válvula, la rosca se mecaniza del vástago se mecaniza en el propio cuerpo de la válvula por lo que nos ahorraremos una pieza (el bonete) haciendo el conjunto más barato y fácil de construir. En contra, la rosca queda expuesta al flujo. Ver imagen anterior.

En cuanto a la empaquetadura, he decidido hacer un cierre por junta como el que se muestra en la siguiente imagen, pero en lugar de utilizar una junta tórica, utilizo una junta plana. Lo veremos más adelante en el diseño de la válvula.

Cierres mediante junta tórica



Material de la junta tórica	Temperatura de servicio °C (°F)	Indicador de la junta tórica	Indicador del conjunto	Referencia básica del conjunto
Buna C	-53 a 121 (-65 a 250)	-BC	BC70	-9K-0 (Series O y 20)
Buna N	-28 a 121 (-20 a 250)	-B	BN70	-9K-14 (Serie 1 con orificio de 0,172 pulg)
Etileno propileno		-E	EP70	-9K-16 (Serie 1 con orificio de 0,250 pulg)
FKM fluorocarbono	-28 a 232 (-20 a 450)	-V	VA70	-9K-18 (Serie 18)
Kalrez®	-12 a 176 (10 a 350)	-KZ	KZ00	
Silicona	-28 a 121 (-20 a 250)	-SI	SI70	

Figura 78. Válvula 4, empaquetadura. Fuente Swagelok.

³⁸ Ver datasheet de Swagelok: "MS-01-164-valvulas_aguja-bonete_integral.pdf"

PROYECTO VIMO

Para la elección de los materiales de cada una de las piezas, he utilizado como referencia los propuestos por el fabricante:

Materiales de construcción	Serie	Materiales del cuerpo de la válvula						
		Calidad/Especificación ASTM						
		Acero inox. 316	Latón	Acer al carbono	Aleación 400			
1 a Mando de barra	18	Aluminio anodizado 2024/B221 o A209						
Pasador del mando		Acero al carbono/A108						
Tornillo de sujeción		Acero al carbono recubierto de cadmio						
1 b Mando redondo	O y 1	Fenólico con inserto de latón						
Tornillo de sujeción		Acero al carbono recubierto de cadmio						
1 c Mando	20K	Aluminio anodizado 7129/B221						
Tornillo de sujeción		Acero al carbono recubierto de cadmio						
1 d Mando de barra	20V y 26	Acero inox. 316/A276						
Pasador del mando, Tornillo de sujeción		S17400/A564						
2 Tuerca de la empaquetadura	Todas	Acero inox. 316/A276	Latón 360/B16	12L14/A108	Aleación 400/B164			
3 Manguito	O, 1,① y 20	Acero inox. 304/A240, A167						
4 Muelles de empaquetadura	Todas ^②	S17700/A693						
5 Casquillo	Todas	Acero inox. 316/A240, A276, B783						
6 Empaquetadura superior	Todas	PFA/D3307						
7 Empaquetadura inferior								
8 Manguito inferior	Todas	Acero inox. 316/A240			Aleación 400/B127			
9 a Vástago de regulación	O, 1, y 18	Acero inox 316 recubierto de cromo ^③ A276	Acero inox. 316/A276	PCTFE/D1430	Aleación 400/B164			
9 b Vástago en V	Todas							
9 c Vástago asiento blando	Todas							
Obturador	PCTFE/D1430							
10 Tuerca de panel	O, 1, y 18	Acero inox. 316	Latón 360/B16	Acero inox. 316				
11 a Cuerpo	O, 1, y 18	Acero inox. 316/A182	Latón 377/B283	Recubierto de cadmio 11L17/A108	Aleación 400/B564			
11 b Cuerpo	20 y 26	Acero inoxidable 316/A479	—					
Lubricante	Todas	Con base de disulfuro de tungsteno y fluorocarbono						

Los componentes húmedos se indican encursiva.

La tabla muestra las válvulas con mandos estándar. Consulte MANDOS en la página 8, para conocer las opciones de los mismos.

① Válvulas serie 1 con orificio de 4.4 mm (0,172 pulg).

② Series O, 20 y 1 con orificio de 4.4 mm (0,172 pulg)—2 muelles; Series 18, 20 y 1 con orificio de 6.4 mm (0,250 pulg)—3 muelles.

③ Obturadores de regulación y en V; roscas del vástago de asiento blando.

Figura 79. Válvula 4, piezas y materiales. Fuente Swagelok.

- La otra serie que he utilizado como referencia para el diseño, son las válvulas de aguja para regulación de precisión, series S, M, L y 31^{39 37} que son válvulas especialmente diseñadas para control preciso de flujos.

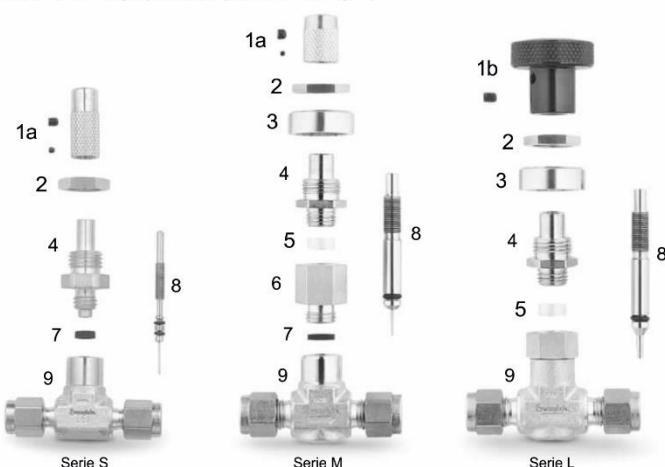
En concreto, me he basado en las series S, M y L para control de flujo de precisión para bajas presiones. En la figura de la página siguiente muestro estas series de válvulas con los nombres que reciben las piezas y los materiales con los que se fabrican y que nos servirán para determinar los materiales que vamos a utilizar nosotros en nuestro diseño.

En esta imagen, también se aprecia (pate baja) como la rosca del vástago queda aislada del flujo principal de manera que no se ve afectada por posibles reacciones corrosivas.

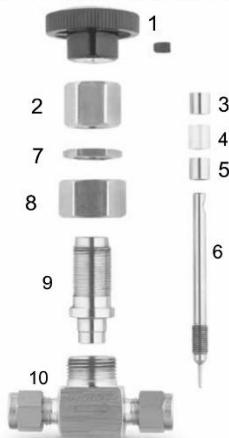
³⁹ Ver datasheet de Swagelok: "MS-01-142-valvulas_aguja-precisión.pdf"

PROYECTO VIMO

Válvulas de baja presión (Series S, M y L)



Válvulas de alta presión (Serie 31)



Componente	Material del cuerpo de la válvula	
	Latón	Acero inox. 316
	Calidad/Especificación ASTM	
1a Mando	Latón cromado con neblina de plata 360/B16	Acero inox. 300/A276
Tornillo del mando Tornillo de bloqueo①	Aleación de acero cubierta de aceite ligero y óxido negro/ANSI 18.3	
1b Mando	Aluminio anodizado verde 6061-T651/B211	
Tornillo del mando	Aleación de acero cubierta de aceite ligero y óxido negro/ANSI 18.3	
2 Tuerca de montaje en panel	Latón cromado con neblina de plata 360/B16	Acero inox. 316/A479—S, M; Acero inox. 316/B783—L
3 Manguito del bonete	Acero inox. 316 sinterizado	
4 Bonete	Latón cromado con neblina de plata 345/B453	Acero inox. 316/A479
5 Anillo guía del vástago	PTFE relleno de fibra de vidrio	
6 Extensión del cuerpo②	Latón cromado con neblina de plata 345/B453	Acero inox. 316/A479
7 Cierre del cuerpo②	Buna N	FKM fluorocarbono
8 Vástago	Acero inoxidable S17400/A564—S; Acero inoxidable 316/A479—M, L	Acero inox. recubierto de cromo duro S17400/A564—S Acero inox. recubierto de cromo duro 316/A479—M, L
Juntas tóricas	Buna N	FKM fluorocarbono
9 Cuerpo	Latón cromado con neblina de plata 377/B283	Acero inox. 316/A182
Lubricantes	Con base de disulfuro de molibdeno; con base de silicona	

Componente	Calidad/Especificación ASTM
1 Mando	Fenólico/D4617
Tornillo de sujeción	Acero recubierto de níquel-cadmio
2 Tuerca de la empaquetadura	Acero inox. 316/A276
3 Casquillo superior	
4 Empaquetadura	PTFE/D1710
5 Casquillo inferior	Acero inox. 316/A276
6 Vástago	Acero inox. 440C/A276
7 Tuerca del panel	Acero inox. 316/B783
8 Tuerca de unión	Acero inox. 316/A276
9 Bonete	Acero inox. 316/A479
10 Cuerpo	
Lubricante	Anti-gripado de níquel con portador de hidrocarburo

Los componentes húmedos se indican en cursiva.

① Adhesivo anaeróbico

② Válvulas serie M modelos recto y doble.

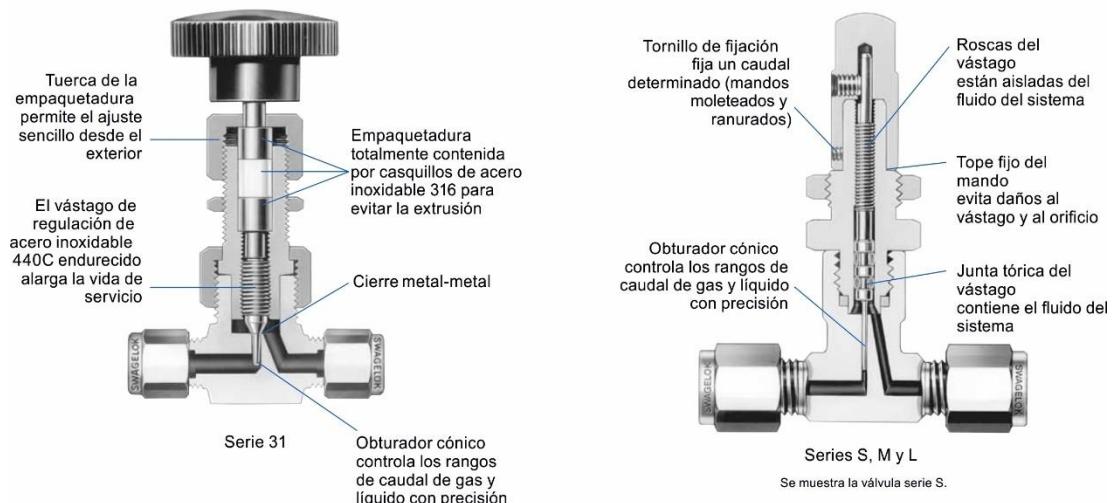


Figura 80. Válvula 4, series de precisión. Fuente Swagelok.

4.3.4.1 Diseño

Como marca la norma para un buen diseño (diseño eficiente), he intentado en la medida de lo posible utilizar o reciclar piezas ya utilizadas en otras partes del proyecto, en concreto en el diseño de la válvula 3.

Se observará que he mantenido piezas enteras y que las formas de ambas válvulas son muy parecidas. De hecho, a primera vista parecen iguales, siendo el interior completamente diferente.

Otra norma diseño que he aplicado es la facilidad de escalar y/o modificar el diseño. Es decir, he hecho un diseño que permita cambiar piezas determinantes por otras sin tener que cambiar toda la válvula. Por ejemplo, si queremos controlar más caudal (mayor C_v), podríamos cambiar el asiento y el vástago solamente. Esto va en detrimento del número de piezas.

En la figura de la página siguiente, podemos ver las piezas que tiene esta válvula. A continuación, muestro el navegador de ensamblaje donde he eliminado restricciones posicionales y secciones por claridad.

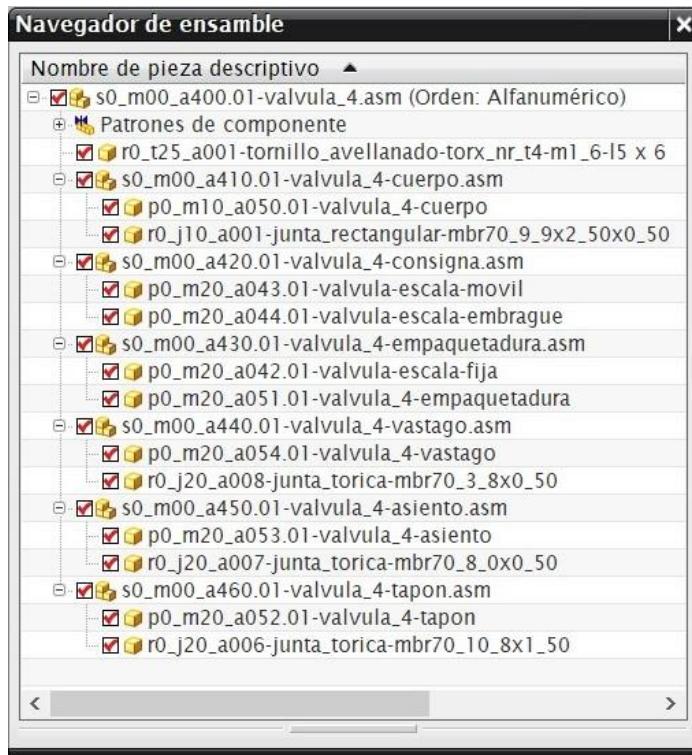


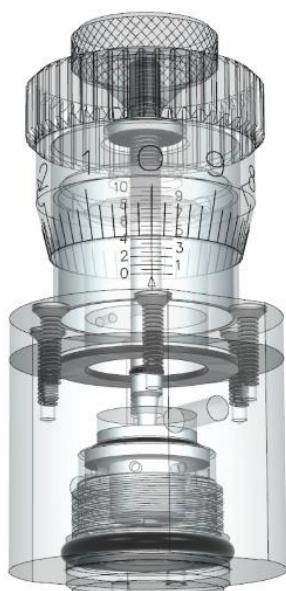
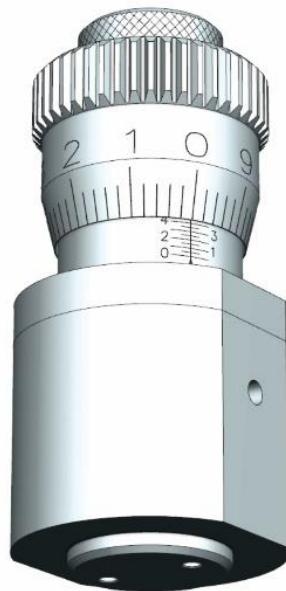
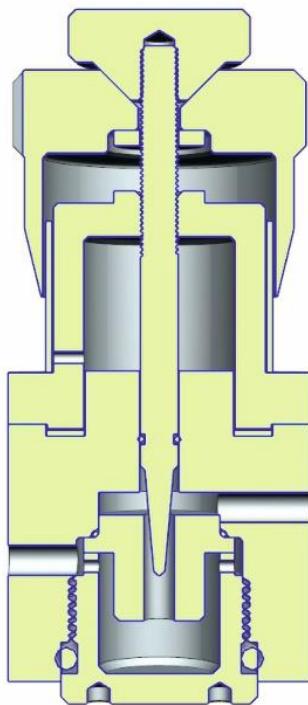
Figura 81. Válvula 4, piezas del ensamblaje.

Podemos ver que el chasis de la válvula piezas: consigna, empaquetadura, cuerpo y tapón son muy parecidos a los diseñados para la válvula de regulación de flujo (V_3). De hecho, la consigna, la empaquetadura, el tapón y la tornillería son las mismas (o prácticamente iguales).

Podemos observar también, como el órgano regulador está formado sólo por dos piezas: vástago y asiento. Por lo que podríamos cambiar solo estas piezas para tener una válvula completamente distinta.

PROYECTO VIMO

CONJUNTO:
s0_m00_a400.01-valvula_4.asm.prt



VÁLVULA V₄
DE AGUJA PARA CONTROL DE FLUJO

SUBCONJUNTOS:

s0_m00_a410.01-valvula_4-cuerpo.asm.prt
s0_m00_a420.01-valvula_4-consigna.asm.prt
s0_m00_a430.01-valvula_4-empaquetadura.asm.prt
s0_m00_a440.01-valvula_4-vastago.asm.prt
s0_m00_a450.01-valvula_4-asiento.asm.prt
s0_m00_a460.01-valvula_4-tapon.asm.prt

PIEZAS - MATERIA PRIMA:

6 x n0_t25_a001-tornillo_avellanado-torx_nr_t4-m1_6-l5.prt

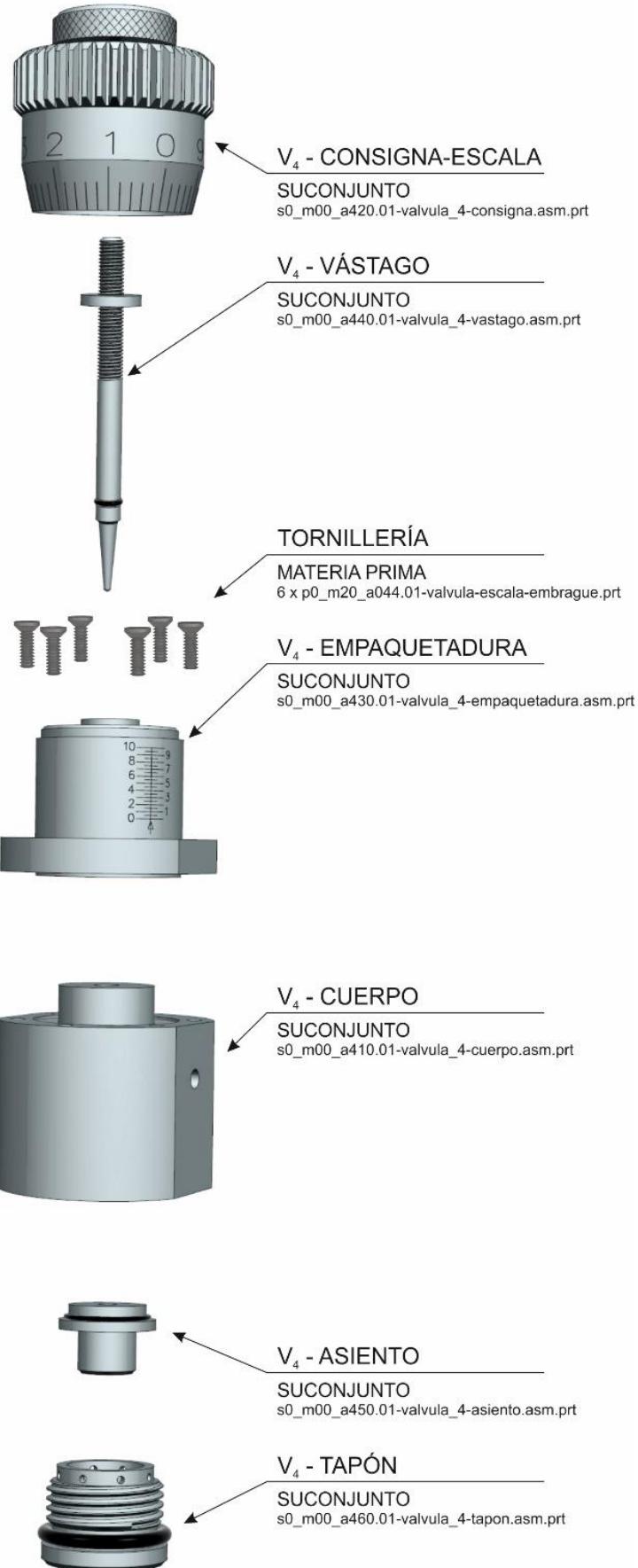


Figura 82. Válvula 4, vista de conjunto.

PROYECTO VIMO

La válvula 4 se inserta en el socket situado a la izquierda de la base. A este socket le llega el gas desde la salida de la válvula V_3 y se encamina hacia el agitador en el punto de conexión x_2 . En la siguiente imagen podemos observar la posición correcta de la válvula de regulación de caudal:

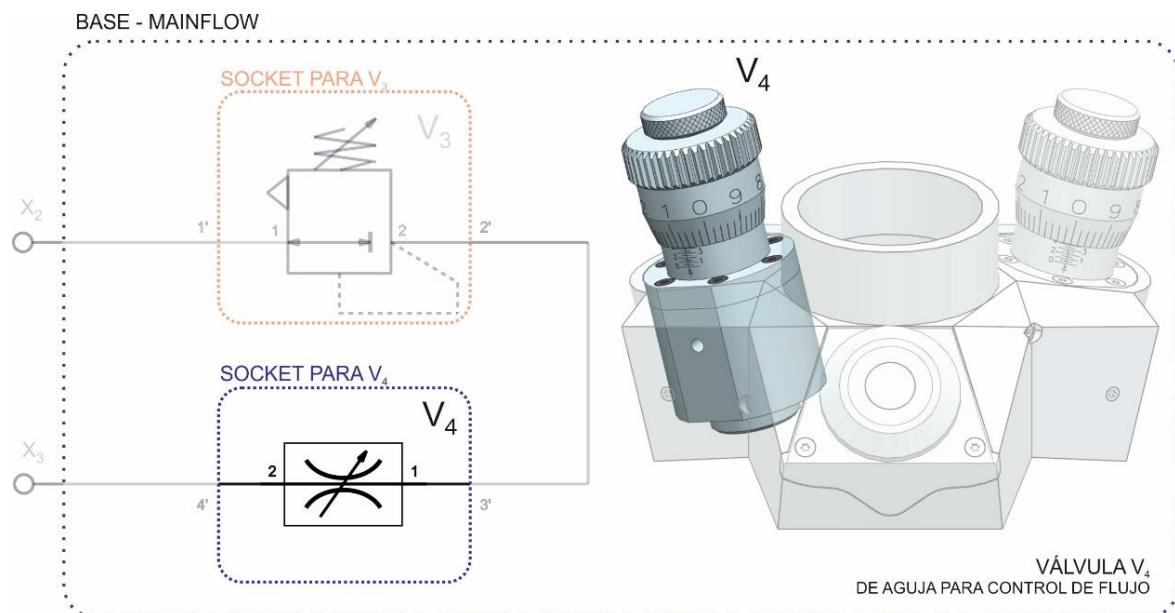


Figura 83. Válvula 4, vista de posición.

Los subconjuntos que forman la válvula de regulación de flujo los veremos en las siguientes páginas donde explicaré alguna cualidad interesante.

Consigna

Este elemento es común para las válvulas V_3 y V_4 y ya lo expliqué en el apartado 4.3.3.2 (ver la 1.1.1.1.1.1.Figura 68, en la página 85) por lo que no voy a repetirlo, simplemente voy a mostrar cómo queda al posicionarlo en la válvula V_4 en la página siguiente, 1.1.1.1.1.1.Figura 85.

La precisión del tornillo se mantiene, ver fórmula (1.1.25).

$$p = \frac{M}{e \cdot o} \rightarrow p = \frac{0,35 \text{ mm/vuelta}}{(50 \text{ pasos/vuelta}) \cdot 2} = 3,5 \mu\text{m/paso}$$

Pero el número de vueltas en este caso cambia ya que el recorrido de vástago en la garganta de V_4 es distinto al recorrido de la consigna en la válvula V_3 , en este caso el recorrido es:

$$n = \frac{l_o}{M} \rightarrow n = \frac{7 \text{ mm}}{0,35 \text{ mm/vuelta}} = 20 \text{ vueltas} \quad (1.1.26)$$

donde:

n : número de vueltas de la consigna.

M : paso de rosca. Para M2 fina es 0,35 mm vuelta

l_o : recorrido máximo del vástago en la garganta. 7 mm en V_4

PROYECTO VIMO

En la siguiente figura, muestro la válvula V₄ para distintos recorridos del vástagos. En la parte izquierda muestro el vástagos a su máximo recorrido, 7mm (válvula completamente abierta) y a la derecha la misma válvula con el vástagos desplazado 0 mm (válvula completamente cerrada):

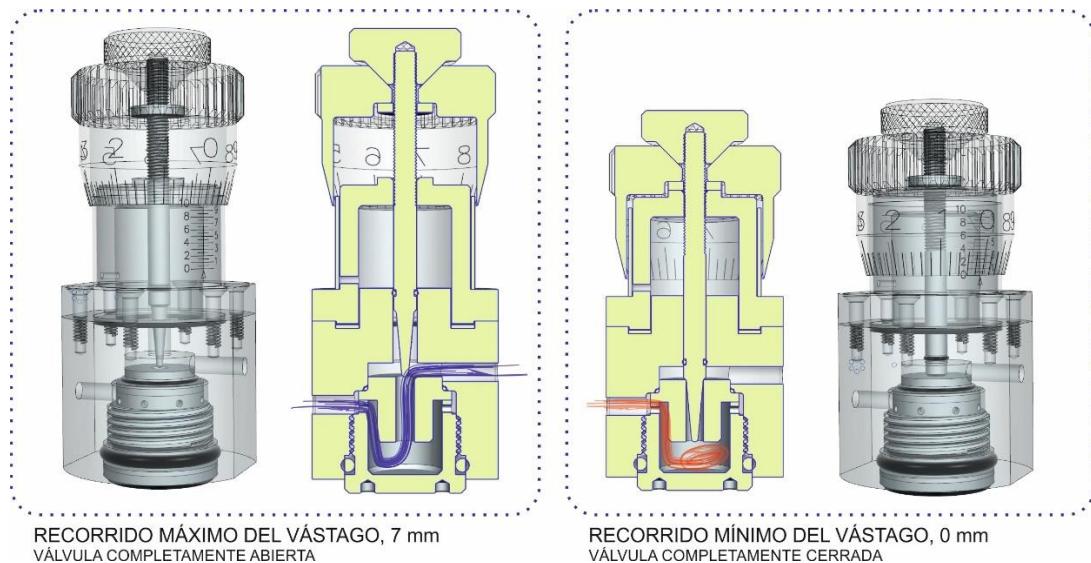


Figura 84. Válvula 4, recorrido del vástagos.

Aprovecho para comentar que en el modelo he puesto restricciones de cota en todas las partes móviles de manera que en cualquier momento podemos posicionar el sistema en la configuración deseada, como he hecho para realizar la ilustración anterior.



Figura 85. Válvula 4, consigna.

En la figura anterior, podemos ver la consigna que dispone de una pieza de embrague que permite fijar el cero de la escala.

PROYECTO VIMO

Empaqueadura

Este conjunto tiene dos piezas:

- ✓ La empaquetadura propiamente dicha que es la que cierra y hace estanco el conjunto.
- ✓ La escala fija, que es exactamente la misma que la explicada en el punto 4.3.3.2, 1.1.1.1.1. Figura 69 de la página 85.

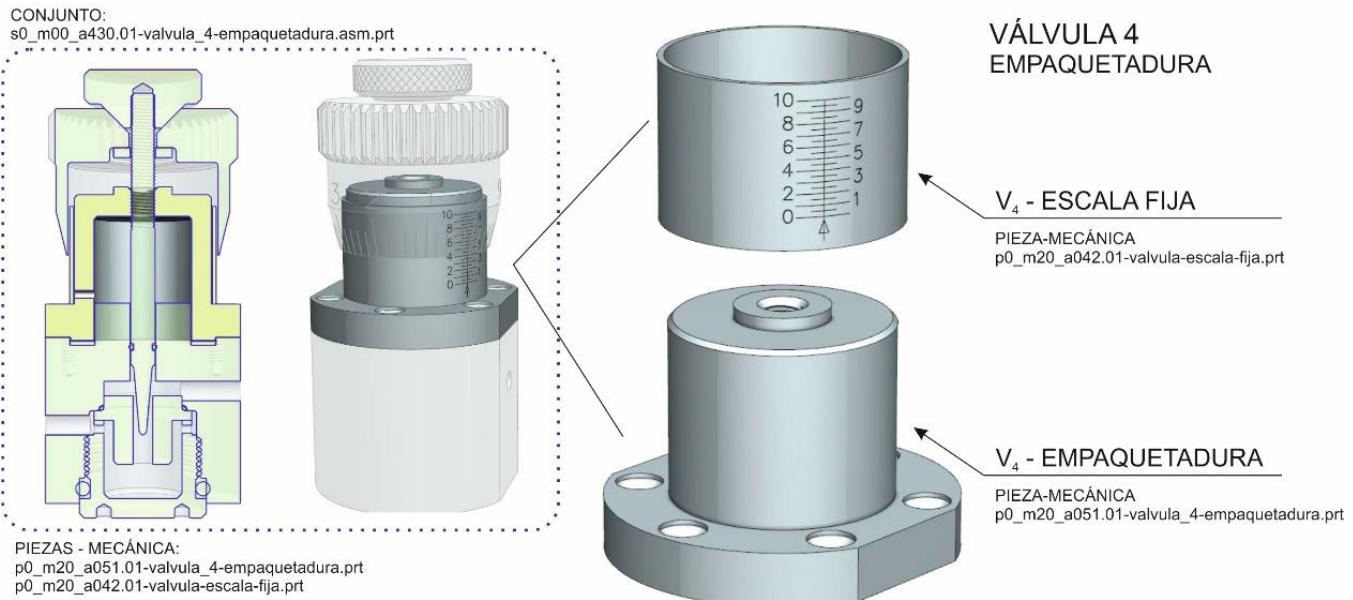


Figura 86. Válvula 4, empaquetadura.

Cuerpo

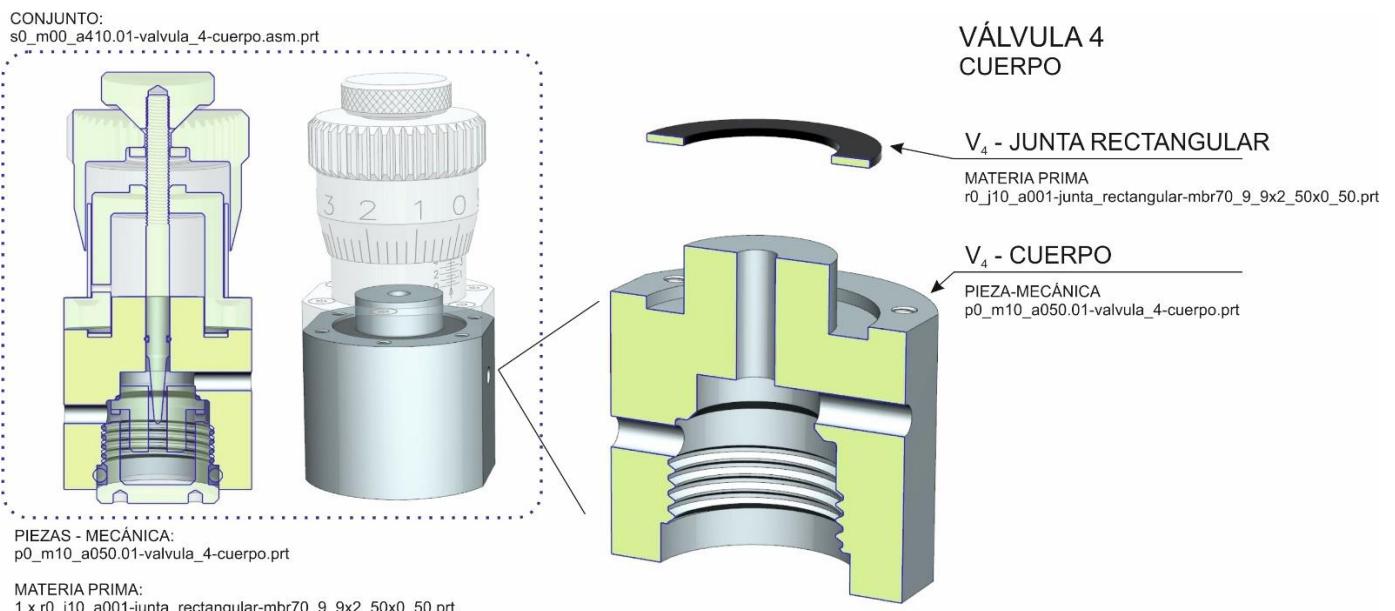


Figura 87. Válvula 4, Cuerpo.

PROYECTO VIMO

Esta pieza que forma el cuerpo de la válvula sobre la que se fijan todas las demás.

El cuerpo tiene dos orificios por donde entra y sale el flujo y una cámara donde se encuentra el órgano regulador. En este caso el órgano regulador está formado por el asiento y el vástago que veremos a continuación.

Para asegurar la estanqueidad de la armadura, en la parte superior del cuerpo se sitúa una junta plana. El apriete sincronizado de los tornillos, repartirá la presión de forma uniforme por esta junta sin dañarla.

La junta rectangular, se puede comprar en los distribuidores habituales de juntas. Ver el anexo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se especifican fabricantes de juntas.

Vástago

Las válvulas reguladoras de flujo de aguja se caracterizan por tener un vástago con un final cónico que se asemeja a una aguja (de ahí el nombre). Una aguja es un obturador cónico.

El tamaño y forma de la aguja junto con el desplazamiento axial producido por la rosca determinan la precisión y capacidad de flujo de la válvula. Por regla general, a menor pendiente en el cono, mayor precisión en el rango de variación y a mayor longitud del cono, mayor rango de control.

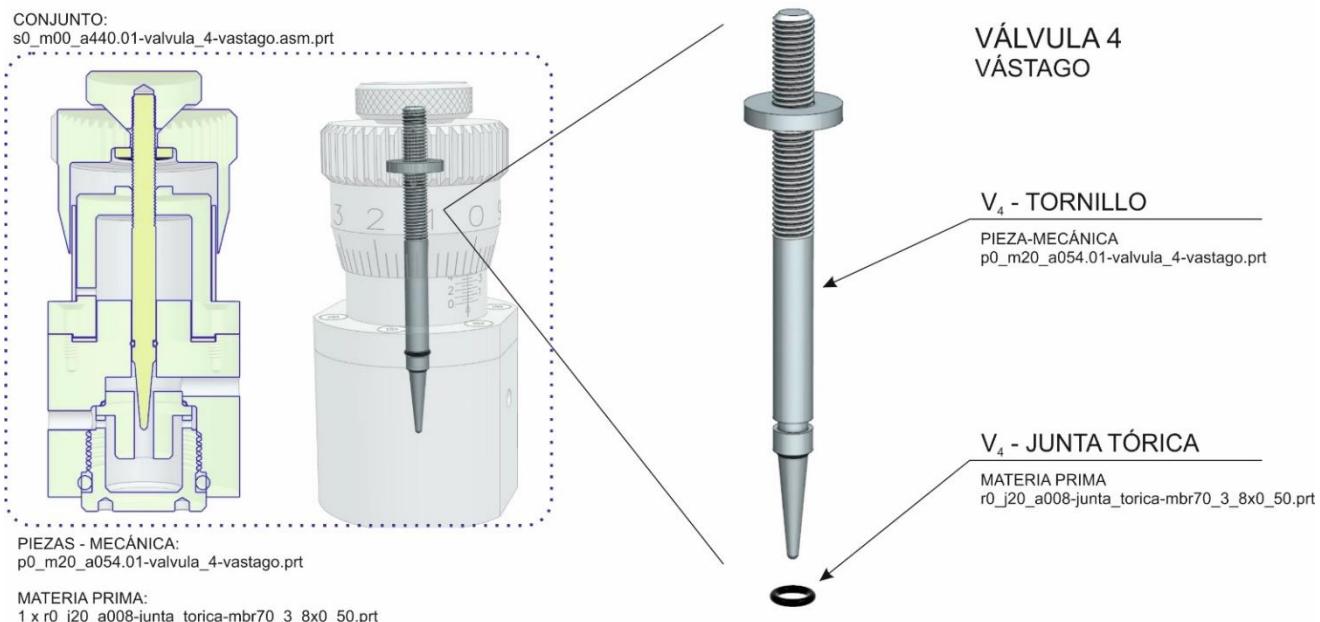


Figura 88. Válvula 4, Vástago.

Junto al asiento (pieza siguiente), conforman el órgano regulador de la válvula. Como se indicó al inicio de este tema. Se ha pensado el diseño para permitir un fácil acceso a los elementos internos de manera que:

- ✓ Facilitamos la limpieza y mantenimiento.
- ✓ Podemos intercambiar el órgano regulador (vástago-asiento) para tener una válvula con distintas características.

PROYECTO VIMO

Asiento

Junto con el vástago, conforman el órgano regulador de la válvula. El diámetro y profundidad de la garganta, debe estar en sintonía con el cono del vástago. Para bajas presiones se suelen utilizar asientos blandos. Ver la siguiente figura:

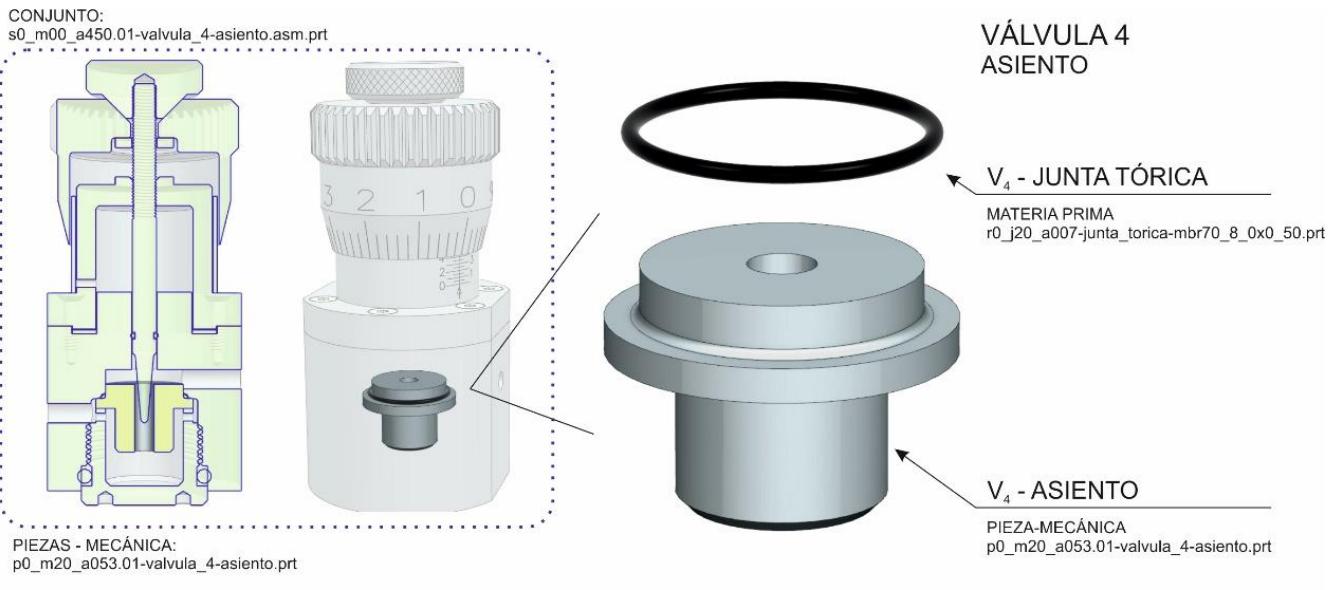


Figura 89. Válvula 4, Asiento.

Tapón

El tapón fija el asiento y permite el acceso al órgano regulador por la parte inferior de la válvula. En la siguiente figura muestro las partes del tapón:

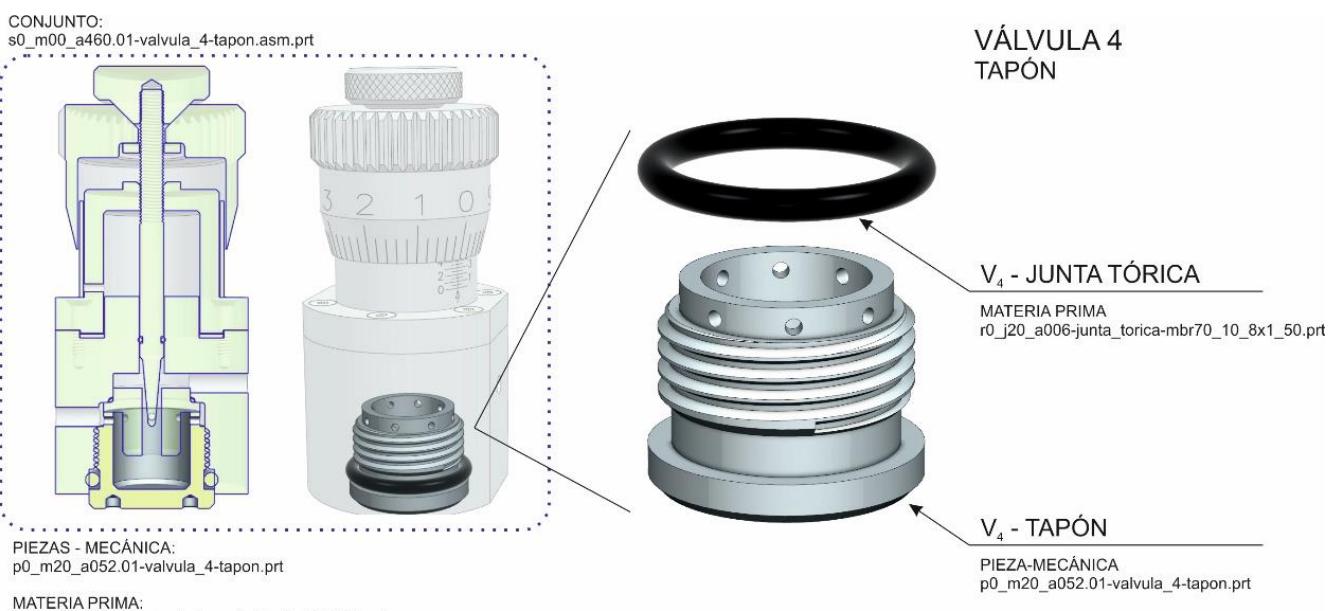


Figura 90. Válvula 4, Tapón.

4.4 Columna de burbujeo

El mundo de la enología es muy amplio y más complejo de lo que parece. Lo que en principio parece un tema simple (como por ejemplo las dimensiones de una botella de vino), resulta que está rigurosamente controlado y restringido.

En concreto, y sólo en el estado español, la norma que se aplica a la botella de vino Bordelesa es la UNE 126-201, y para el perfil de gargantilla se aplica la norma UNE 126-403. En Francia, para el perfil de la gargantilla, utilizan la norma NI H 35- 100.

Para vino seco se suele utilizar la botella tipo Bordelesa de 75cl. (puede haber cinco modelos diferentes, según su dimensión y peso). Su perfil de gargantilla (cuello de la botella) es de tipo 28 mm y, comúnmente, el gollete tiene un diámetro de apertura de $18,5 \pm 0,5$ mm. En la siguiente figura, muestro las dimensiones con las que he modelado la botella Bordelesa:

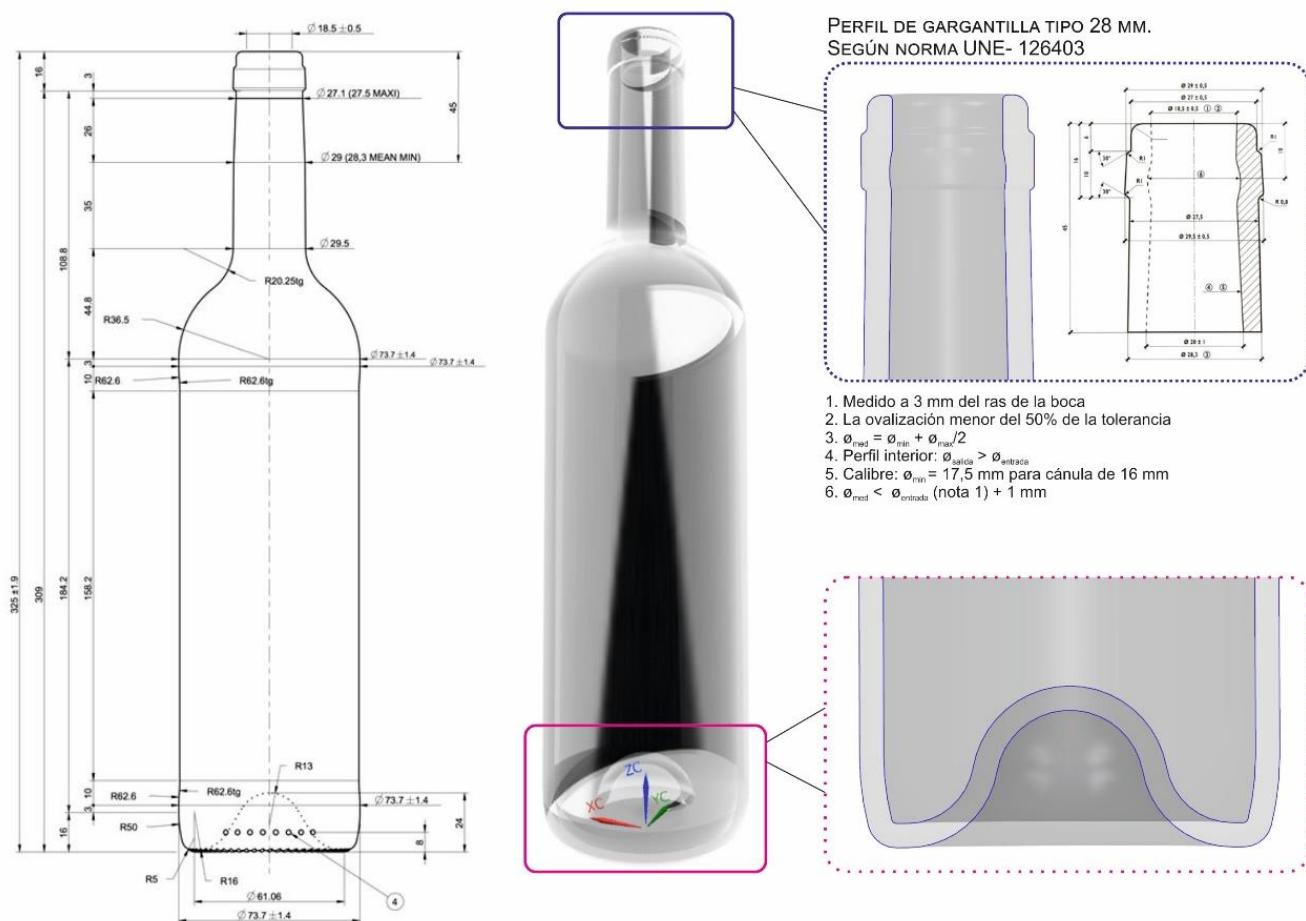


Figura 91. Botella de vino Bordelesa. Columna de burbujeo.

La documentación recopilada está en el repositorio del proyecto en la carpeta^{40 41}.

⁴⁰ vimo/tree/dev/M40001_vimo_dev/M40001_vimo_dev_doc/raw_parts/botella_bordolesa

⁴¹ <https://www.ceresnet.com/ceresnet/esp/taponero/tema4-3.html>

5 Relación de gastos imputados al proyecto

Los gastos imputados al proyecto RED entre octubre 2017 y 31 de septiembre de 2018 entran dentro de las categorías:

- a) Personal propio (SFICE) dedicado a las tareas descritas anteriormente (Tarea 1 ... Tarea 6)
- b) Servicios externos de consultoría técnica: Soporte necesario para acometer el estudio de la tarea 6 para la integración del sistema de propulsión: necesidades para diseño de nuevo chasis y necesidades para integración en dron comercial.

En el siguiente diagrama se detalla el esfuerzo destinado al desarrollo de las tareas conforme a la planificación del proyecto. En la tercera columna se detalla el esfuerzo en personas-mes, así como la duración de cada tarea dentro del periodo subvencionable.

T	Descripción	PMs	Periodo	Dur
1	Análisis, dimensionado y cálculos de sistemas de propulsión	0,5	1/9/17-30/11/17	2
2	Estudio de tecnologías y arquitecturas de hibridación	0,5	1/9/17-30/11/17	2
3	Cálculos, diseño e ingeniería de propulsión para 4h	2	1/12/17-30/4/18	5
4	Validación de parámetros simulados, testeo en banco	1,5	1/3/18-30/6/18	4
5	Ánálisis de resultados para detalle de mejoras	0,5	1/7/18-30/8/18	2
6	Estudio técnico de adaptaciones para integración en dron comercial	1	1/8/18-30/9/18	2

En la siguiente tabla se detalla la dedicación de personal de SFICE, con un coste medio P1=6,25€/h y P2=13 €/h

PROYECTO VIMO

	Coste total personal		10 596 €
P1	Periodo de la tarea		
T1	1/9/17-30/11/17	80	
T2	1/9/17-30/11/17	48	
T3	1/12/17-30/4/18	72	
T4	1/3/18-30/6/18	106	
T5	1/7/18-30/8/18	26	
T6	1/8/18-30/9/18	28	
P1	Total horas dedicación	360	Coste P1 2 250 €
P2	Periodo de la tarea		
T1	1/9/17-30/11/17	8	
T2	1/9/17-30/11/17	31	
T3	1/12/17-30/4/18	268	
T4	1/3/18-30/6/18	191	
T5	1/7/18-30/8/18	70	
T6	1/8/18-30/9/18	74	
P2	Total horas dedicación	642	Coste P2 8 346

Personal asignado al proyecto:

Raquel Embid es Ingeniera técnica mecánica, máster en Ingeniería mecánica, por la Universidad de Zaragoza. Está contratada en SFICE a media jornada.

Esther Albertín es ingeniera química por la Universidad de Zaragoza y responsable de Raquel Embid en SFICE.

Dentro del proyecto RED Esther Albertín inicia y orienta las tareas a realizar, con una supervisión técnica de los análisis, resultados y desarrollos realizados por Raquel Embid en las tareas 2, 3, 5 y 6.

El desarrollo de la tarea 1 recae principalmente en Esther Albertín. El desarrollo de los ensayos (tarea 4) está repartido entre ambas personas, si bien hay mayor esfuerzo dedicado por parte de Raquel Embid para la monitorización y preparación de los mismos.

En la tarea 6 de estudio técnico el esfuerzo destinado por el personal de SFICE, incluyendo análisis de diseño 3D de chasis a realizar por Raquel Embid, se ha de ver complementado por expertos externos que deberán realizar el aporte necesario en conocimientos técnicos para la integración en sistemas convencionales. Esta partida de presupuesto se presenta como oferta de consultoría técnica.

Se incluye como documento anexo el último recibo de nómina del personal imputado al proyecto y la oferta por servicios de consultoría técnica externa para dar soporte a la finalización de la tarea 6 y enlace con siguientes actividades del proyecto.

PROYECTO VIMO

Ordenante SFICE INNOVATIVE MINDS SL AV SALVADOR ALLENDE, 29 E PLANTA 00000 - ZARAGOZA 50015	Fecha emisión 17-05-2018	Fecha valor pago 18-05-2018
IBAN		
	ES14 0081 2111 4000 0119 7028	
Por cuenta de Referencia		
Beneficiario Cuenta ES0502392037840032617326 ESTHER ALBERTIN	BIC banco del beneficiario EVOBESMMXXX Banco del beneficiario EVO BANCO S.A.	
España Referencia	Tipo de gastos COMPARTIDOS	
Observaciones NÓMINA ABRIL 2018	Referencia 258467400	
Nominal EUR - 980,00 Contravvalor -	Canal origen INTERNET	Fecha valor de cargo en cuenta 17-05-2018
		Líquido EUR - 980,00



2111 ZARAGOZA, JUAN PABLO II 03-05-2018
Tel: 976758964 Fax: 976753620

Documento emitido electrónicamente
Valido solo o acuerdo con los registros del Banco

Ordenante SFICE INNOVATIVE MINDS SL AV SALVADOR ALLENDE, 29 E PLANTA 00000 - ZARAGOZA 50015	Fecha emisión 03-05-2018	Fecha valor pago 04-05-2018
IBAN		
	ES14 0081 2111 4000 0119 7028	
Por cuenta de Referencia		
Beneficiario Cuenta ES7401826909300201531435 RAQUEL EMBID CNO LAS TORRES 45 ZARAGOZA ESPAÑA Referencia	BIC banco del beneficiario BBVAESMMXXX Banco del beneficiario BANCO BILBAO VIZCAYA ARGENTARIA SA	
Observaciones NÓMINA ABRIL 2018	Tipo de gastos COMPARTIDOS	
Nominal EUR - 726,22 Contravvalor -	Referencia 254505467	
	Canal origen INTERNET	Fecha valor de cargo en cuenta 03-05-2018
		Líquido EUR - 726,22

6 Anexo I: Resultados del diagnóstico previo con la herramienta HADA

7 Referencias

- Akita, Kiyomi and Fumikate, Yoshida. 1974.** *Bubble Size, Interfacial Area, and Liquid-Phase Mass Transfer Coefficient in Bubble Columns*. Tokushima; Kyoto : Kyoto University and Tokushima University, 1974. p. 8. Vol. 13. 1.
- Buwa, Vivek V. and Ranade, Vivek V. 2002.** *Dynamics of gas-liquid flow in a rectangular bubble column: experiments and single-multi-group CFD simulations*. Pune, India : Chemical Engineering Science, 2002. Vol. 57, Industrial Flow Modelling Group (iFMg). 4715-4736.
- 2019** Calculadora: Rango de Flujo de Aire a Través de un Orificio <https://www.tlv.com/global/LA/calculator/air-flow-rate-through-orifice.html>
- 2019** Cilindros de tomo de muestras en miniatura <https://www.swagelok.com/es-ES/product/Sample-Cylinders/Miniature-Sample-Cylinders>
- 2019** Control Valve Sizing [cti controltech https://www.cti-ct.com/https://www.cti-ct.com/article_90_Control-Valve-Sizing.cfm](https://www.cti-ct.com/https://www.cti-ct.com/article_90_Control-Valve-Sizing.cfm)
- Cruz, Francisco Javier Arregui de la, et al. 2017.** *Apuntes de mecánica de fluidos*. Valencia : Universidad Politecnica de Valencia, 2017. 78-84-9048-359-6.
- D. Giavendoni, María and A. Saita, Fernando. 1997.** Estudio del Desplazamiento de una Interfase Líquido-Gas Usando el Método de Elementos Finitos. Casos Plano y Aximétrico. Barcelona : Univertstat Politecnica de Catalunya, 1997, Vols. 13,4.
- 2018** FloEFD Tutorial Software Versión 17 Mentor <http://hebergement.u-psud.fr/master2dfe/IMG/pdf/tutorial.pdf>
- 2019** Fluid Flow Basics of Throttling Valves https://www.cashco.com/https://www.controlglobal.com/assets/Media/MediaManager/RefBook_Cashco_Fluid.pdf
- Li, Guang, Yang, Xiaogang and Dai, Gance. 2009.** *CFD simulation of effects of the configuration of gas distributors on gas–liquid flow and mixing in a bubble column*. China : Chemical Engineering Science, 2009. p. 13. Vol. 64. 5104-5116.
- M. White, Frank. 1979.** *Mecanica de Fluidos*. Madrid : McGraw-Hill, 1979. ISBN: 84-481-4076-1.
- 2001** Manual de Fluent ANSYS <http://www.afs.enea.it/http://www.afs.enea.it/fluent/Public/Fluent-Doc/PDF/>
- Martín del Campo, Lopez Eduardo. 2015.** Reactores Multifásicos, Columnas de Burbujeo. *Repositorio Institucional*. Facultad de Química, 2015.
- Pazmiño Mayorga, Jaime A., et al. 2017.** *Determinación del coeficiente de descarga de un prototipo tubo de Venturi construido para uso académico en laboratorio*. [ed.] Polo del conocimiento. Ecuador : Universidad de Ecuador, 2017. Vol. 2. ISSN: 2550 - 682X.
- 2019** Polímeros plásticos *Plásticos técnicos* <http://www.erica.es/web/plasticos-tecnicos/>
- Sanyal, Jayanta, et al. 1999.** *Numerical simulation of gas-liquid dynamics in cylindrical bubble column reactors*. [ed.] Chemical Engineering Science. St. Louis : Washington University, 1999. Vol. 54. 5071-5083.
- Shahda, Joseph. 2010.** Predicting Control Valve Noise in Gas and Steam Applications. www.dresser.com. [Online] ControlGlobal.com, 3 11, 2010. https://www.plantservices.com/assets/Media/1003/WP_Valve.pdf.
- Situación de la industria vinícola aragonesa del siglo XX*. **Estella Álvarez, Concepción. 2008.** Madrid : s.n., Junio de 2008, STVDIVM, Revista de Humanidades, págs. 245-271. ISSN: 1137-8417.