

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL SANTA FE

PROYECTO FIN DE GRADO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



Estudio computacional y desarrollo de una secadora spray para leche de cabra

Desarrollado por: Lucas Donnet

Dirigido por: Dr. Santiago Márquez Damián

Santa Fe, 1 de mayo de 2024

*Estudio computacional y
desarrollo de una secadora spray para leche de cabra*

Desarrollado por: Lucas Donnet

Dirigido por: Dr. Santiago Márquez Damián

Proyecto Fin de Grado, 1 de mayo de 2024

Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Santa Fe

Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina

Agradecimientos

A mi familia y a mi novia por brindarme siempre su amor y apoyo, siendo responsables de la persona que soy hoy y siempre seré.

A mis compañeros de aula, quienes hoy son personas muy importantes para mí.

A la FRSF por formarme no solo como profesional, sino también como persona.

Al equipo de CIMEC e INLAIN, les agradezco por su ayuda para hacer realidad este proyecto.

A Matías Orué, gracias por ser un gran profesor y una gran persona.

A Santiago Márquez Damián, mi director, le agradezco por confiar en mí, por sus valores y por su incansable pasión por enseñar a pesar de los obstáculos.

Resumen

Este proyecto es el resultado de la investigación y desarrollo de una secadora spray de atomización rotativa. En primera instancia se investiga la fluidodinámica en el interior de una secadora spray existente con atomizador rotativo, donde resulta de interés estudiar la atomización del fluido y la evolución del secado en el recinto del equipo. Como aplicación se busca tener las herramientas necesarias para la comprensión del funcionamiento del atomizador de turbina, la evaluación de la calidad del spray generado y su proceso de secado con el fin de realizar un diseño mecánico y escalado del equipo desde su tamaño actual de laboratorio a una escala de pequeña industria local, que a su vez, cumpla con parámetros de proceso y normativas correspondientes.

Palabras clave: Secadora spray; leche de cabra en polvo; estudio computacional; atomización rotativa

Abstract

This project is the result of research and development of a rotary atomization spray dryer. In the initial stage, fluid dynamics are investigated within an existing spray dryer with a rotary atomizer. It is of interest to study fluid atomization and the drying process evolution within the equipment enclosure. The goal is to acquire the necessary tools for understanding the operation of the turbine atomizer, evaluating the quality of the generated spray, and its drying process. This, in turn, facilitates the mechanical design and scaling of the equipment from its current laboratory size to a scale suitable for a small local industry while complying with process parameters and relevant regulations.

Keywords: Spray dryer; Goat milk powder; Computational study; rotary atomization

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Panorama mundial de alimentación	1
1.2	Industria láctea Argentina	2
2	Definición del proyecto	9
2.1	Objetivos	9
2.2	Justificación del impacto	10
2.3	Requisitos legales y/o normativos	11
2.4	Antecedentes	12
3	Anteproyecto	13
3.1	Tecnología de secadoras spray	13
3.2	Selección del concepto	24
3.3	Flow Sheet	26
4	Estudio computacional	27
4.1	Relevamiento	27
4.2	Fluidodinámica en el interior del disco rotativo	28
5	Diseño mecánico	46

5.1	Determinación de parámetros geométricos y de funcionamiento	47
5.2	Proyecto civil: Cálculo estructural	82
6	Conclusión	87
7	Bibliografía	89
A	Catálogos	91
B	Tablas y gráficas	120
C	Planos	125

Índice de figuras

3.1	Secadora Spray ¹	14
3.2	Planta de secado por atomización. 1. Cámara de secado; 2. Calentador de aire; 3. Alimentación de producto; 4. Sistema de atomización; 5 y 6. Separador ciclónico; 7. Secado por lecho fluidizado; 8. Tablero de control. ²	15
3.3	Variantes geométricas del recinto de secado. Arriba: Cámara cilíndrica y casquetes cónicos de 40-60°. Abajo: A la izquierda con recinto horizontal y a la derecha con fondo plano ³	19
3.4	Pulverizador por toberas o inyectores. ⁴	20
3.5	Construcción de mecanismo atomizador. ⁵	22
3.6	Matriz de producto QFD.	25
3.7	FlowSheet.	26
4.1	Imágenes capturadas en INLAIN.	27
4.2	Variantes geométricas de discos rotativos	29
4.3	Vista anterior y corte de atomizador Nyro de INLAIN.	31
4.4	Sectorización del atomizador.	32
4.5	Malla de la geometría con celdas de cada bloque. 250.000 celdas.	33
4.6	Resultados obtenidos del postprocesamiento del campo de velocidades.	34
4.7	Modificaciones sobre malla. 250.000 celdas.	35

4.8	Geometría con 3 canales. 1.500.000 celdas.	37
4.9	Campo de velocidades en geometría con 4 canales.	38
4.10	Canales curvos mecanizados en el pleno de mezcla. Malla de fluido de los canales curvos. 50.000 celdas.	40
4.11	Malla de fluido correspondiente a la geometría completa de un solo canal. 300.000 celdas.	41
4.12	Postproceso de los resultados en paraView para observar la trayectoria del agua.	42
4.13	Postproceso en paraView. Simulaciones finales.	43
5.1	Diseño de planta de secado de leche.	46
5.2	Sistema de atomización rotativa.	51
5.3	Disposición de elementos de la transmisión. Motor eléctrico y multiplicador WEG.	54
5.4	Medidas nominales de diseño del eje.	56
5.5	Simulación mediante MEF de placa soporte.	59
5.6	Diseño final de la cámara de secado.	61
5.7	Soldaduras en la cámara de secado.	62
5.8	Instalación de motovibrador.	65
5.9	Diseño final del separador ciclónico.	67
5.10	Diseño final del separador de filtros plisados.	69
5.11	Unidad de tratamiento de aire. Filtrado y calefacción.	71
5.12	Vista en corte del modelo 3D. Recorrido de tubería de leche concentrada.	78
5.13	Tanques de almacenamiento de leche.	81

5.14 Tanques de alimentación y lavado CIP.	82
5.15 Primer modelado 3D de la estructura metálica	84

Índice de tablas

1.1	Tipo de empresa según volúmen de leche procesado	3
1.2	Cantidad de industrias por estrato y volúmen de leche	3
5.1	Datos del proceso	48
5.2	Parámetros del atomizador	52
5.3	Parámetros del atomizador	63

1.

Introducción

1.1. Panorama mundial de alimentación

En el contexto de esta propuesta, se invita a investigar sobre la problemática mundial más apremiante: el hambre. A lo largo de la historia, la humanidad ha evolucionado en la búsqueda del desarrollo de técnicas agrícolas, habilidades de caza y aprovechamiento de recursos, siempre con el objetivo de garantizar su supervivencia. Aunque los avances tecnológicos han traído consigo los niveles más altos de calidad de vida registrados hasta ahora, también han dado lugar a un aumento exponencial de la población.

En la actualidad, la premisa fundamental en la industria es clara: "no desechar, sino transformar". Esta premisa no solo busca minimizar el desperdicio, sino que también tiene el propósito de agregar valor a la cadena de producción de un país y, en última instancia, ofrecer nuevos productos en las góndolas de los mercados. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad, sino que también aborda directamente la crisis alimentaria mundial al aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles y fomentar prácticas responsables en la producción y distribución de alimentos.

Según indicadores de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura, el hambre mundial aumentó en 2020 bajo la sombra de la pandemia de COVID-19. La prevalencia mundial de la inseguridad alimentaria moderada o grave lleva creciendo lentamente desde 2014 y el aumento estimado en 2020 equivalió a la suma de los cinco años anteriores. Este mismo año, casi una de cada tres personas de la población mundial (2370 millones) careció de acceso a alimentos adecuados, lo que supone un aumento de casi 320 millones de personas con respecto al año anterior¹.

Por otro lado, otros organismos como el Banco Mundial, el Fondo Monetario

¹Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura

Internacional (FMI), el Programa Mundial de Alimentos (PMA) y la Organización Mundial del Comercio (OMC), determinaron que "las condiciones de seguridad alimentaria global en 2023 se están estabilizando lentamente, pero que las disparidades entre los grupos de ingresos van en aumento. Las cifras preliminares indican que la inseguridad alimentaria mundial pudo haber alcanzado un nivel máximo de 11,9 % entre 2020 y 2022. Existe el riesgo de que estas mejoras de la tasa de prevalencia se estanquen, y que se registre una nueva cifra récord de 943 millones de personas afectadas por inseguridad alimentaria grave de aquí a 2025.

De cara a 2028, se prevé que la población mundial en situación de inseguridad alimentaria grave llegará a 956 millones. En un escenario económico desfavorable, si los bancos centrales no logran controlar la inflación y aplican nuevas restricciones, presionando el crecimiento a la baja, esta cifra por poco no ascenderá a 1000 millones en el período de previsión"².

Resulta necesario nuestro aporte como profesionales, al sector productivo nacional, para su desarrollo y crecimiento en pos de lograr productos de mayor calidad y bajos costos para el alcance de cualquier persona en el mundo.

1.2. Industria láctea Argentina

En particular, el fin de este desarrollo es generar conocimiento asociado a un equipo directamente aplicable en la industria láctea, por lo que resulta fundamental conocer su estado actual y la proyección a futuro del mercado nacional e internacional.

La actividad láctea argentina se destaca por producir alrededor de 11.200 millones de litros de leche por año (1 % del PBI nacional), cifra que representa una facturación cercana a los 3.600 millones de dólares. Su participación dentro del sector agrícola es del 11 %. En referencia a la parte industrial de la cadena, la facturación de este eslabón es de 8.500 millones de dólares al año (1,6 % del PBI nacional) y la participación en el sector industrial es del 5 %. El sector lácteo argentino contribuye con el 1,8 % al PBI nacional y es capaz de dar trabajo directo, tanto primario como industrial, a 70.000 personas. Las exportaciones

²Fuente: Banco Mundial

lácteas ascienden a 1.100 millones de dólares, cifra que representa el 2% de las exportaciones totales nacionales³.

En la tabla 1.1 se puede apreciar cómo se clasifican las industrias lácteas de acuerdo al volumen de leche procesado por día. Para ello se han agrupado a las plantas industriales en tres categorías: pequeñas, medianas y grandes.

Estrato	Volúmen (litros/día)	%
Pequeñas	<5.000	46
Medianas	5.001 a 250.000	45
Grandes	>251.000	3
No reciben leche cruda	-	5
No elaboran	-	1

Tabla 1.1. Tipo de empresa según volúmen de leche procesado

Por otro lado, en la tabla 1.2 se presentan las industrias por estrato y volúmen de leche, y vemos que dentro del grupo de las pequeñas industrias el 38% se refiere a micro pymes que procesan menos de 1.000 litros de leche por día. Estas pequeñas plantas industriales procesan el 2,3% del total de leche, las medianas el 37% y las grandes el 60,7%.

Vol. por estrato (x1.000)	Bs. As	Córdoba	Entre Ríos	La Pampa	Santa Fe	Stg. del Estero	Total	Vol. de leche cruda (L/día)
<1	56	28	19	3	14	1	120	76.517
1 a 3	61	32	11	1	17	6	128	270.642
3 a 5	29	18	9	1	12	-	69	295.300
5 a 10	55	23	7	7	11	1	104	796.702
10 a 25	44	35	6	7	13	-	105	1.743.647
25 a 50	22	14	4	1	8	-	49	1.851.900
50 a 100	9	9	1	1	4	-	24	1.712.500
100 a 250	4	5	4	-	12	-	25	4.459.433
250 a 500	2	7	-	1	3	-	13	4.918.000
>500	3	4	-	-	2	-	9	12.327.000
Otras	19	11	5	-	4	-	39	-
Total	303	186	67	21	100	8	685	28.450.642

Tabla 1.2. Cantidad de industrias por estrato y volúmen de leche

³Fuente: Dirección Nacional Láctea - Ministerio de agricultura, ganadería y pesca de la nación

Si analizamos la cantidad de industrias lácteas y su participación en la producción podemos concluir que las industrias pequeñas tienen una baja incidencia en la producción total, a diferencia de las grandes y las medianas que, en conjunto, participan con casi el 98 % del volumen total procesado.

El 84 % de las plantas industriales procesan un volumen inferior a 50.000 l/día y son las que elaboran el 18 % del total de la leche. En cambio, el 16 % restante corresponde a industrias que procesan más de 50.000 l/día y elaboran el 82 % restante.

De las 685 industrias tratadas, casi el 90 % elaboran quesos y el 11 % restante elaboran otros productos distintos (yogures, leche en polvo, suero, postres, crema, manteca, dulce de leche, flanes).

Con respecto a la tecnología industrial, de las 685 plantas, el 53 % no posee pasteurizador, higienizadora o estandarizadora, y en un 70 % son pequeñas industrias. En cambio, existe un 47 % de industrias que sí poseen esta tecnología industrial y corresponden a un 74 % de empresas medianas.

Ese 53 % de las industrias no utilizan intercambiador de calor, ni estandarizan la leche, ni aprovechan la totalidad de los sólidos de la leche. Esto no implica que este grupo de plantas industriales, preponderantemente pequeñas, no pasteurice la leche. Ocurre que esta operación la realizan en las mismas tinas donde elaboran el queso. Este es el método de pasteurización más tradicional que a su vez requiere de mayor cantidad de tiempo, alto consumo de vapor y de agua con respecto a la tecnología de pasteurizadores a placas.

Analizando aspectos de la tecnología industrial disponible que interesa en este proyecto, se observa que el 70 % de las plantas de secado tienen tecnología de más de 10 años y algunas más de 30 años. Cabe destacar que existen muy pocas industrias con plantas de secado nuevas o relativamente nuevas⁴.

De lo anterior se puede ver que las pequeñas industrias son muchas, pero tienen grandes inconvenientes para crecer, ya sea por las elevadas inversiones requeridas en equipos y tecnología aplicada al tratamiento de la materia prima e instalación edilicia, como también por factores geográficos (lejanía de los centros urbanos en el NOA). Resulta una tarea compleja aunque necesaria, el desarrollo de un equipo funcional y a un precio de mercado accesible

⁴Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

para permitir a los pequeños productores desarrollar nuevos mercados.

1.2.1. ¿Por qué leche de cabra?

El origen de la raza caprina data de tiempos remotos, habiendo subsistido hasta la actualidad debido a la gran versatilidad que presenta, puede ser utilizada como alimento, proveedora de leche o bien utilizar su piel o pelo dando origen a lanas de alta calidad, como así también su adaptación a condiciones ambientales adversas.

La actividad referente a la cría y explotación del ganado caprino pertenece en su totalidad a los pequeños productores por dos motivos fundamentales:

- El ganado caprino se adapta a cualquier terreno, permitiendo el comienzo de actividades generadoras de ingreso en ambientes hostiles al surgimiento de otras actividades económicas,
- La cría y explotación del ganado caprino es agresiva hacia el medio ambiente, por lo que generalmente no se realiza esta actividad en los buenos campos.

En general, se asocia al ganado caprino a la actividad de subsistencia de muchas familias de productores cuando el suelo no permite generar otra actividad económica rentable, por lo que la explotación de ganado caprino muchas veces se realiza en regiones agroecológicas áridas y susceptibles a la degradación por sobrepastoreo.

En el mundo, se calcula que existen alrededor de 780 millones de cabezas de caprinos y la leche caprina sólo representa el 2 por ciento de la producción mundial de leche con un total aproximado de poco más de 12 millones de toneladas.

En nuestro país esta especie tiene sus orígenes desde la época de la colonización, siendo los españoles, que en la conquista la introdujeron principalmente como productora de carne y leche. Hoy en día hay 4,2 millones de cabezas caprinas y se procesan cerca de 2 millones de litros por día.

Existe hoy un mayor interés en los mercados de leches no tradicionales como una nueva opción en reemplazo de la leche de vaca. Esto favorecería la posibilidad de que la producción e industrialización de la leche se vea proyectada como un nicho para aquellos pequeños y medianos productores, que solo la utilizaban como un medio de subsistencia familiar.

La demanda internacional de productos en polvo se encuentra en continuo crecimiento por varios motivos, uno de ellos es que estos no requieren de transportes refrigerados y se prolonga la vida útil del alimento, lo que se traduce en una disminución de costos. Según el sitio web argentino "Producción animal", 'la producción de leche de cabra aumentó un 108,7% a nivel mundial, en el periodo 1988 – 2013, pasando de 8,8 millones a 18,4 millones de toneladas"⁵. Como se mencionó antes, la leche de cabra es hoy en día una alternativa a la leche de vaca, siendo la India el mayor importador de este producto en polvo y el más poblado del mundo.

La promoción de este producto traería beneficios no solo nutricionales sino también sociales y económicos, con un mercado creciente que demanda más y nuevos productos; a continuación se mencionan dichos beneficios nutricionales.

Lípidos

La grasa de la leche caprina no contiene aglutinina que es una proteína cuya función es agrupar los glóbulos grasos para formar estructuras de mayor tamaño. Esta es la razón por la que sus glóbulos, al estar dispersos, son atacados más fácilmente por las enzimas digestivas, incrementándose por lo tanto la velocidad de digestión. Aporta ácidos grasos esenciales, es decir, que el organismo no puede fabricar.

Asimismo, contiene una importante proporción de ácidos grasos de cadena corta y media, lo cual se ha asociado también con una mejor digestibilidad. Debido a las características mencionadas, esta leche requiere un menor trabajo digestivo, siendo este uno de los motivos por lo cual se la suele recomendar a personas que padecen enfermedades hepáticas, biliares o pancreáticas.

⁵Fuente: Facundo Sonatti (2017). "La cabra puede producir hasta un 10% de su peso vivo en leche"

Los contenidos de ácidos grasos esenciales y de cadenas cortas hacen de ésta un alimento saludable desde un punto de vista cardiovascular, así también es importante en la nutrición de infantes que presenten eczemas atípicos atribuidos a leches con un perfil anormal de ácidos grasos, especialmente el linolénico.

Por otro lado, poseen la capacidad de limitar y disolver los depósitos de colesterol sérico, lo cual se relacionaría con una disminución de las enfermedades coronarias, la fibrosis quística y los cálculos biliares, y presenta escasa proporción de grasas trans, factor que contribuiría a disminuir el colesterol “malo”⁶.

Proteína y aminoácidos

Es importante destacar que la leche caprina posee 18 de los 20 aminoácidos esenciales, denominados así porque el organismo no los puede sintetizar y es necesario incorporarlos a través de los alimentos.

Gracias a las propiedades de su fracción proteica, ha sido catalogada como exitosa en casos de post-gastroenteritis y de hipersensibilidad gastrointestinal. Algunos estudios han sugerido que el tamaño y la estructura molecular diferente de algunas proteínas (caseína y lactoalbúmina) en la leche de cabra, permitirían una mejor respuesta por parte de niños que presentan alergias asociadas a la leche de vaca. Dicho esto, cabe aclarar que sólo entre un 25 % y un 40 % de los pacientes sensibles a las proteínas de la leche de vaca tolerarían las proteínas de la leche de cabra⁷.

Minerales y vitaminas

Presenta aporte de calcio en cantidades similares a la leche vacuna, este mineral resulta sumamente importante por la capacidad de fortalecer los huesos. Además cumple otras funciones igualmente elementales como participar en la contracción muscular y ayudar a una buena coagulación de la sangre.

⁶Fuente: Ministerio de Agroindustria. Ficha 45.

⁷Fuente: Ministerio de Agroindustria. Ficha 45.

Contiene más potasio y un menor aporte de sodio, propiciando así un perfil benéfico de alimento respecto a la prevención de riesgos de hipertensión arterial. El alto contenido de cloro tiende a asociarse con las propiedades laxantes de la leche de cabra, y si bien no es fuente de hierro, este presentaría una mayor biodisponibilidad que la leche vacuna.

Aporta cantidades significativas de vitamina A, ácido fólico y riboflavina importante como un factor del crecimiento. El primero, la vitamina A, es importante para el desarrollo de la buena visión, para el crecimiento óseo y la diferenciación del tejido epitelial. Esta vitamina aumenta la función inmunitaria.

El segundo es un compuesto importante para la correcta formación de las células sanguíneas, componente de algunas enzimas necesarias para la formación de glóbulos rojos. El último, la Riboflavina (vitamina B2), participa en el crecimiento y la reproducción, mantiene en buen estado las membranas y mucosas del sistema respiratorio, es un nutriente esencial para los tejidos oculares y dérmicos y colabora con determinadas enzimas en la utilización del oxígeno celular ⁸.

⁸Fuente: Ministerio de Agroindustria. Ficha 45.

2. Definición del proyecto

2.1. Objetivos

Este proyecto tiene como fin la construcción de una secadora spray para leche de cabra, capaz de cumplir con los requerimientos de proceso que establece un proyecto proveniente del Centro de Investigación de Métodos Computacionales (CIMEC/CONICET-UNL). A su vez, se busca generar una base de conocimiento científico que permita entender el funcionamiento de dichos equipos y como dimensionarlos.

2.1.1. Objetivos generales

En primera instancia se investigará la fluidodinámica en el interior de una secadora spray existente con atomizador rotativo, donde resulta de interés estudiar la atomización del fluido y la evolución del secado en el recinto del equipo. Como aplicación se busca tener las herramientas necesarias para la comprensión del funcionamiento del atomizador de turbina, la evaluación de la calidad del spray generado, con el fin de realizar posteriormente un diseño mecánico y escalado del equipo desde su tamaño actual de laboratorio a una escala de pequeña industria local, que a su vez, cumpla con parámetros de proceso y normativas correspondientes.

2.1.2. Objetivos específicos

- Comprender cualitativamente el funcionamiento de una secadora spray existente y sus componentes.
- Generar una herramienta computacional que permita estudiar la fluidodinámica en el interior de un atomizador rotativo, evaluar la calidad del

spray generado y su proceso de secado.

- Escalar el tamaño del equipo existente a un tamaño que cumpla con un procesamiento de leche concentrada no menor a 100 L/h.
- Calcular y diseñar la cámara de secado, el sistema de atomización y el ciclón de separación de polvos.
- Calcular las unidades auxiliares (Unidad de tratamiento de aire, colector de polvos, lavado CIP).
- Calcular y diseñar la estructura metálica de soporte.
- Contemplar grado sanitario.
- Diseñar contemplando métodos de fabricación, montaje y mantenimiento.

2.2. Justificación del impacto

En América del Sur se estima una población de 86 millones de animales caprinos, donde Chile es el primer productor, y Argentina con aproximadamente 5 millones de cabezas ocupa el segundo lugar. Los rebaños están distribuidos en la región centro-oeste, patagónica y norte del país, siendo que la mayor concentración se localiza en la zona noroeste, donde se agrupa el 25 % de las existencias nacionales (CNA, 2002) y produce el 63 % del total de leche. Para el Noroeste Argentino (NOA) lo que comenzó como un sustento económico de productores, paulatinamente se está transformando en una importante fuente de ingresos para la región.

En cuanto a nuestra zona, la industria quesera es la principal actividad de los productores. La posibilidad de incorporar la producción de leche en polvo permitirá ampliar sustancialmente el plan de negocio de la región, porque permitiría absorber los excesos de producción estacionales. Sin embargo, hay aspectos importantes a considerar al momento del proceso de secado de la leche caprina, dado que en el tratamiento de esta debe tenerse en cuenta su contenido de proteína y la delicada constitución que posee.

La producción de leche de cabra posee una escala mucho menor a la bovina, y esto da lugar al mayor desafío que se presenta, que es diseñar un equipo de una escala mucho menor a los que existen en el mercado. Si bien se puede conseguir en la Argentina leche de cabra en polvo, el secado de esta se realiza en secaderos de leche bovina de una escala mayor, a los que se les da un uso compartido. Esto es un problema cuando el principal mercado para la leche de cabra son los consumidores que presentan características en su salud como alergia a la leche de vaca.

El presente proyecto propone iniciar con la investigación del funcionamiento y la optimización del diseño de una secadora spray existente en la planta piloto del Instituto Nacional de Lactología Industrial (INLAIN/FIQ-UNL) de baja escala, para luego generar la información para la construcción de un prototipo a una escala deseada, capaz de generar el secado de 200 litros por hora de concentrado de leche de cabra.

Con el desarrollo propuesto se podrá generar leche de cabra en polvo, absorbiendo la alta producción estacional y permitiendo contar con el producto todo el año, con la calidad y características necesarias. Se apunta también un sector de la economía, generando un valor agregado a un producto que actualmente se utiliza mayormente para la producción de quesos.

2.3. Requisitos legales y/o normativos

En toda insutria láctea predomina la necesidad de poseer una instalación sanitaria, ya que tratamos con productos de consumo humano. Para lograr aquello existen insituciones, como lo es el SENASA en la república Argentina, que está encargado sobre todo de la fiscalización y certificación de los productos y subproductos agroalimentarios.

Dado que el fin de este proyecto es diseñar una instalación, dicho diseño deberá ser sanitario, y para ello son de aplicación los siguientes reglamentos:

- Código alimentario argentino: Capítulo VIII, Alimentos lácteos. Art. 571: Definición y alcance del tratamiento de la leche en polvo.
- Decreto N° 408/997 - Reglamento técnico de identidad y calidad de la

leche UAT (UHT), aprobado por Resolución N° 78/994 MERCOSUR.

- Decreto 2687: habilitación y funcionamiento de los establecimientos lácteos.

Estas normas complementarán las conocidas en la carrera de ingeniería mecánica, donde ASME, ANSI, API e IRAM dan directrices del diseño mecánico, selección de cañerías y accesorios, materiales, etc.

2.4. Antecedentes

La información más relevante que hay disponible es la bibliografía de la antigua marca Nyro, pionero y fabricante de secadoras spray. Ofrece un vasto conocimiento basado en modelos matemáticos y mejoras obtenidas en sus años de experiencia.

También se consultarán trabajos en revistas técnicas de simulaciones similares a las requeridas en este proyecto, como así también un relevamiento de la secadora spray de escala laboratorio ubicada en el Instituto de Lactología Industrial (INLAIN-FIQ/UNL).

3.

Anteproyecto

3.1. Tecnología de secadoras spray

3.1.1. Principio de funcionamiento

La transformación de un producto líquido en un producto seco requiere la eliminación de prácticamente toda el agua, cuya cantidad excede muchas veces el peso del producto final. Durante el proceso de eliminación del agua, el producto tratado es sometido a grandes cambios en su estructura y apariencia física; al principio del proceso es un líquido diluido como el agua y al final un polvo seco.

Las secadoras spray (figura 3.1) operan sobre el principio de atomización, donde un líquido se convierte en pequeñas gotas o partículas finas mediante la pulverización en un dispositivo que se denomina atomizador. Estos equipos operan en conjunto con una serie de equipos auxiliares, como es el sistema de calentamiento del aire que será la fuente de calor para evaporar el agua contenida en la leche, el sistema de alimentación de producto que bombea desde un tanque de almacenamiento hacia el atomizador y sistemas de separación y tratamiento post-secado.

El objeto de una atomización del concentrado es crear la máxima superficie posible, sobre la cual tendrá lugar la evaporación. Cuanto más pequeñas las gotas, mayor la superficie y más fácil la evaporación, obteniendo así una mejor eficiencia térmica del secador. Debido al gran tamaño de la superficie de las gotas (1 l de concentrado será atomizado en $1,5 \times 10^{10}$ partículas de $50 \mu\text{m}$ con una superficie total de 120 m^2), el agua es evaporada casi instantáneamente, transformando las gotas en partículas de polvo.

Con respecto al secado, se busca que todas las gotas atomizadas sean de un tamaño uniforme, haciendo que el tiempo de secado sea el mismo para to-

das las partículas, obteniendo así un contenido uniforme de humedad. Sin embargo, en la práctica no se ha logrado todavía diseñar un atomizador que produzca una pulverización completamente homogénea, pero resulta ventajoso en miras a la densidad, dado que una pulverización totalmente homogénea daría lugar a un polvo de baja densidad específica, y por consiguiente un aumento en el material de embalaje. Esta disyuntiva se resuelve en la puesta en marcha de la planta.



Figura 3.1. Secadora Spray ¹.

Una planta de secado por atomización se muestra en la figura 3.2 y su operación es la siguiente: el concentrado es bombeado desde el tanque de alimentación de producto al dispositivo atomizador colocado en el dispersor de aire sobre la cámara de secado. El aire de secado es aspirado de la atmósfera a través de un filtro por un ventilador pasando luego al dispersor a través del calentador de aire. Las gotas atomizadas encuentran el aire caliente y la evaporación tiene lugar al mismo tiempo que se enfría el aire. A continuación del secado en la cámara, la mayor parte del producto seco cae y pasa a un sistema de transporte neumático y de enfriamiento.

Los finos, es decir las partículas con un diámetro pequeño, son arrastrados

¹Fuente: <https://www.sefluid.com/es/productos/secadora-por-pulverizacion/>

por los vahos, y es necesario por tanto pasar este a través de ciclones para separarlos. Los finos abandonan el ciclón por la base mediante un dispositivo de cierre y entran asimismo en el sistema neumático. Los vahos salen a la atmósfera por medio del ventilador de aspiración.

La instrumentación comprende la medida de la temperatura del aire de entrada y salida, así como el control automático de la temperatura de entrada mediante la variación de la presión del vapor o la cantidad de combustible o aire al calentador, y el control automático de la temperatura de salida mediante la variación de la cantidad de alimentación bombeada al dispositivo atomizador. Este sistema será tan complejo como la calidad del producto que se quiera obtener.

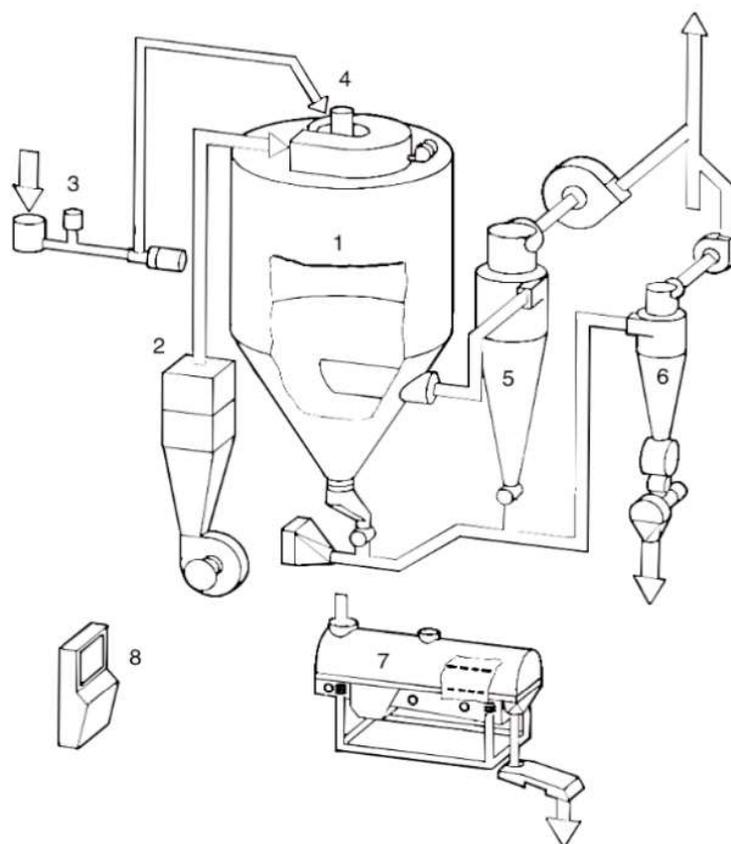


Figura 3.2. Planta de secado por atomización. 1. Cámara de secado; 2. Calentador de aire; 3. Alimentación de producto; 4. Sistema de atomización; 5 y 6. Separador ciclónico; 7. Secado por lecho fluidizado; 8. Tablero de control. ²

²Fuente: Nyro Powder Technology (2004). Tecnología de la leche en polvo.

3.1.2. Alimentación de producto

El sistema de alimentación consta de tanques de alimentación, filtros finos y bombas de alimentación.

En cuanto a la bomba de alimentación, esta transfiere el producto al atomizador ya sea directamente o a través de un tanque de alimentación constante. Las bombas más utilizadas son las rotativas de desplazamiento positivo, aunque las bombas de diafragma son adecuadas cuando los alimentos contienen sólidos insolubles de forma irregular.

Los tanques llamados "de retención", tienen un volumen suficiente para permitir el funcionamiento continuo de la planta, aunque el suministro de producto a los tanques pueda ser intermitente. Es bastante habitual utilizar un arreglo de dos tanques de almacenamiento alternativamente, asegurando así un suministro constante de producto al secador.

El filtro de alimentación es un componente de suma importancia ya que se deben eliminar todas las materias que puedan comprometer el rendimiento del secador por el bloqueo parcial o total del atomizador, incluso ayudando al rendimiento del precalentador de producto.

El sistema de alimentación debe estar diseñado para permitir una fácil limpieza y mantenimiento. Las tuberías normalmente están dispuestas para permitir el reciclaje del producto o fluidos de lavado CIP (Clean In Place) a través del sistema de alimentación completo a través de los tanques de retención. La elección de la tubería metálica depende de la alimentación. En los productos alimenticios, por ejemplo, se utiliza acero inoxidable. Las aplicaciones en el campo químico a menudo requieren tanques de retención con revestimiento especial y bombas, tuberías y accesorios de tuberías resistentes a la corrosión³.

3.1.3. Alimentación de aire de secado

El sistema de suministro de aire de secado involucra equipos y accesorios como lo son filtros, calentadores, compuertas, conductos y ventiladores.

³Fuente: K. Masters (1972)

El aire de suministro se filtra a menos que se pueda tolerar la posible contaminación resultante del producto secado por aspersión por el polvo en el aire, lo cuál no es común en productos alimenticios, siendo que el aire atmosférico es la fuente habitual de suministro. Los medios filtrantes son capaces de eliminar partículas en el aire de más de 5 micrones, pero es importante cumplir con los requisitos de normativas alimenticias al momento de su selección.

Los calentadores de aire existen del tipo directo o indirecto. Las fuentes de calor pueden ser vapor, fuel oil, gas o resistencias eléctricas. La selección depende del producto y de la disponibilidad de combustible. Para el caso de la leche, se trata de un producto que no puede someterse a condiciones de alta temperatura ni entrar en contacto con productos de combustión. Por lo tanto, se deben utilizar calentadores de aire indirectos.

Los ventiladores de suministro de aire son de tipo centrífugo. Se utilizan impulsores curvados hacia atrás ya que se logra un movimiento de aire de gran volumen a bajas presiones. de tuberías resistentes a la corrosión ⁴.

Dispensor de aire y cámara de secado

El aire ingresa a la cámara de secado a través del dispensor de aire. La función del dispensor de aire es proporcionar el calor necesario para el secado, controlar el viaje de las gotas/partículas durante el secado y eliminar la humedad vaporizada de la cámara. Cuando el dispensor de aire y el atomizador están ubicados juntos, el flujo de aire puede influir en la distribución del tamaño de las gotas del aerosol.

La función de la cámara de secado es proporcionar tiempos de residencia de aire/partículas para obtener los niveles de humedad deseados del producto seco sin degradación por calor ni depósitos no deseados en las paredes. La descarga del producto debe ser continua y el método de descarga debe ser conducente a la forma deseada de producto seco. Las cámaras de secado están diseñadas para descargar la mayor parte del producto en la base (descarga primaria del producto) o para transportar todo el producto con el aire de escape (vahos) a una unidad de separación y recuperación de producto (descarga total de producto).

⁴Fuente: K. Masters (1972)

Los diseños de secadores se dividen en tres categorías: secadores de flujo co-corriente, a contracorriente y de flujo mixto.

El primero suele tener un flujo de aire giratorio descendente. El dispersor de aire crea rotación de aire a través la de entrada tangencial y/o flujo del aire sobre paletas en ángulo (llamadas más adelante como "flappers"). El spray se aspira rápidamente con un movimiento giratorio similar.

En los secadores de flujo a contracorriente, el atomizador y el dispersor de aire están ubicados en extremos opuestos de la cámara de secado. El flujo contracorriente se restringe principalmente a la atomización por boquilla en torres altas y de diámetro estrecho. El dispersor de aire crea varios grados de rotación del aire al entrar a la cámara, pero debido a la altura de la cámara, el movimiento giratorio no se puede sostener en la región superior de la cámara.

En los secadores de flujo mixto, el aire y el producto están sujetos a condiciones de flujo tanto en contracorriente como en contracorriente durante el paso a través de la cámara de secado ⁵.

En cuanto a secado por atomización, existen en el mercado varios diseños de cámaras de secado y dos fuentes de energía para pulverizar la leche y formar una nube de gotas, que son toberas y disco rotativo. El tipo más común de cámara cilíndrica es la de cono de 40-60° para que el polvo pueda salir de la cámara por gravedad. También se ven cámaras con el fondo plano, en cuyo caso se necesita un raspador o un dispositivo aspirador para retirar el polvo de la cámara. Existen además cámaras horizontales tipo caja, que también operan con un sistema forzado (p. ej. raspador o tornillo) para retirar el polvo. Estos tipos de cámaras de secado se muestran en la Fig. 3.3.

3.1.4. Dispositivos de atomización

Un único método para eliminar el agua nunca puede ser óptimo a través de todo el proceso, ya que también la composición del producto difiere de un alimento al otro. En la industria alimenticia y láctea se han adoptado los métodos de deshidratación para obtener productos como la leche condensada, en evaporadores, y leche en polvo en secadoras spray.

⁵Fuente: K. Masters (1972)

⁶Fuente: Nyro Powder Technology (2004). Tecnología de la leche en polvo.

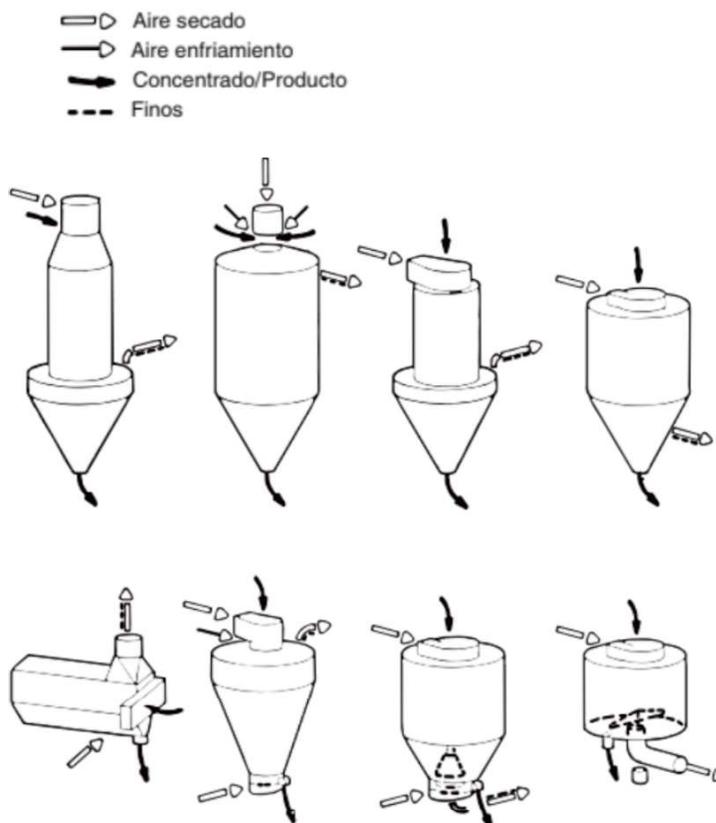


Figura 3.3. Variantes geométricas del recinto de secado. Arriba: Cámara cilíndrica y casquetes cónicos de 40-60°. Abajo: A la izquierda con recinto horizontal y a la derecha con fondo plano ⁶.

La selección del método para pulverizar la leche depende de muchos factores, entre los cuales podemos mencionar la viscosidad de la leche, los caudales a manejar y la versatilidad.

Atomizador de toberas

Las toberas a presión se dividen en dos grupos:

- Toberas de alta presión y baja capacidad
- Toberas de baja presión y alta capacidad



Figura 3.4. Pulverizador por toberas o inyectores.⁷

El primer grupo se utiliza principalmente en secadores tipo caja operando con secado en una etapa, y operan a una alta presión de 300-400 barg. Cada tobera tendrá una capacidad de 50-150 kg/h de concentrado con un contenido en sólidos de sólo 40-42%, si se quiere mantener una solubilidad razonable en el polvo. La planta tendrá por eso numerosas toberas provistas de pequeños orificios que fácilmente se obstruyen. Normalmente el polvo tiene una alta densidad, pero tiende a ser polvoriento ya que consiste de pequeñas partículas. Dado que se requiere un bajo contenido en sólidos el secado resulta al mismo tiempo costoso.

El segundo grupo, de una capacidad hasta 1000-1500 kg/h, ha incrementado su utilización a raíz del desarrollo del proceso de secado en dos etapas, donde la temperatura de la partícula es mucho más baja. Por eso se puede aumentar el contenido en sólidos al 48% y reducir la presión (150-200 barg) sin afectar la solubilidad haciendo así la atomización por toberas muy intere-

⁷Fuente: Spraying systems Co.

sante, también desde un punto de vista económico.

Las ventajas de las toberas a presión pueden resumirse así:

- Polvo con bajo contenido de aire ocluido
- Polvo de una alta densidad específica
- Mejor fluidez, especialmente para leche entera
- Menor tendencia a formar depósitos en la cámara de secado al tratar productos difíciles
- Producción de grandes partículas
- Si se usa un sistema doble de alimentación/toberas, la planta de secado puede operar continuamente 24 h/día durante semanas sin paradas, se lleva a cabo solamente una limpieza húmeda de la línea de alimentación/toberas después de 20 horas.

Atomizador de disco rotativo

En atomizadores rotativos el líquido es continuamente acelerado hacia el borde de la rueda atomizadora por fuerzas centrífugas producidas por la rotación, gracias al simple mecanismo de transmisión de potencia de un motor eléctrico a un eje central vinculado el disco, tal como podemos observar en la figura 3.5. El líquido es distribuido centralmente y luego se extiende sobre la rueda en una capa delgada, que es descargada a alta velocidad a su periferia. El grado de atomización depende de la velocidad periférica, las propiedades del líquido y el caudal de alimentación.

La rueda debe tener un diseño que permita al líquido alcanzar la velocidad periférica antes de la descarga. Con este fin frecuentemente las ruedas tienen canales de distinto diseño para evitar que el líquido se deslice por la superficie interna. Los canales también concentran el líquido en el borde del disco, produciendo allí una película líquida análoga a la producida en las toberas a presión. La rueda actúa como un ventilador y se succiona aire en el concentrado debido a la rotación. Diseños distintos de la rueda y las propiedades determinan la cantidad de aire que se incorpora en las gotas atomizadas.

⁸Fuente: Nyro Powder Technology (2004). Tecnología de la leche en polvo .



Figura 3.5. Construcción de mecanismo atomizador. ⁸

El atomizador rotativo se conoce y usa en la industria láctea desde hace muchos años por las siguientes ventajas:

- Capacidad flexible
- Manejo de grandes cantidades
- Manejo de concentrados altamente viscosos
- Diferentes diseños de la rueda dando distintas características en el polvo
- Contenido más alto de sólidos en la alimentación

Se ha demostrado que el tamaño de la gota no necesariamente permanece constante, si se producen iguales velocidades periféricas en las ruedas con diferentes combinaciones de diámetro y velocidad, y existe la tendencia de que las ruedas mayores producen las partículas más grandes, siendo iguales las demás circunstancias. Sin embargo, en la elección del diámetro de la rueda es mejor considerar la seguridad del atomizador, ya que las diferencias

en las características de la pulverización son insignificantes. Además resulta más fácil limpiar las ruedas de menor tamaño.

Por otro lado, el tamaño de la gota varía directamente según la viscosidad y se obtienen por eso partículas mayores con un aumento de la viscosidad de la alimentación. Para asegurar una atomización óptima normalmente la viscosidad se mantiene lo más baja posible, a menudo mediante el calentamiento del concentrado antes de la atomización. Con respecto a la granulometría de la gota, ésta se amplía cuando la viscosidad aumenta, efecto usado algunas veces cuando se desea aumentar la densidad del polvo.

3.1.5. Dispositivos de separación y transporte

La cuarta y última etapa de la operación de secado por aspersión es la separación del producto seco del aire. A la separación le sigue la retirada del producto del secador. Aquí, la etapa deberá cumplir dos requisitos importantes; (a) una recuperación económica de sólidos secos y (b) un escape libre de partículas en suspensión en el aire. La recuperación económica requiere la recuperación del producto en su forma más utilizable y/o más vendible.

El producto recuperado seco se transporta a su posterior procesamiento o a la zona de empaquetado. El producto recuperado húmedo puede reciclarse en el pretratamiento de alimentación de la secadora o simplemente considerarse como residuo. Como principal etapa de separación/recuperación se utilizan equipos secos de ciclones, filtros de mangas o precipitadores electrostáticos. Generalmente la calidad del producto no se ve afectada, aunque el efecto triturador del flujo a través de ciclones puede reducir el tamaño de las partículas de productos que exhiben estructuras frágiles.

Los ciclones se utilizan ampliamente debido a su bajo costo y su prácticamente total falta de mantenimiento. La eficiencia del ciclón normalmente es lo suficientemente alta con la mayoría de los productos secados por aspersión como para prescindir de la necesidad de una etapa secundaria. Sin embargo, hay que tener en cuenta que ni siquiera el ciclón de mayor eficiencia que funcione en condiciones operativas óptimas puede alcanzar el 100% de eficiencia y, si se requiere una separación completa, se deben utilizar sistemas alternativos.

Un sistema alternativo suele ser un filtro de mangas que es prácticamente 100 % eficiente. Sin embargo, la ventaja de ser una sola unidad que expulsa aire libre de polvo a la atmósfera se ve contrarrestada por las dificultades de mantenimiento.

Cuando todo el producto sale de la cámara es contenido en los vahos, las cargas de polvo son elevadas y se requiere una batería de ciclones de alta eficiencia para alcanzar altos grados de recuperación. Sin embargo, una eficiencia del 99,5 % todavía produce una pérdida de producto mensurable si las tasas de producción son altas. Cuando la recuperación completa en seco es esencial, es posible agregar un filtro de bolsa después de los ciclones o instalarlo para reemplazar los ciclones por completo⁹.

3.2. Selección del concepto

La elección del tipo de atomizador, por toberas a presión o por rueda rotativa, depende del tipo de producto a tratar, la producción horaria y el factor económico que está asociado a la inversión requerida por el cliente y el período de retorno de la misma.

En general, para leche descremada y leche entera normales, así como concentrado de suero cristalizado, es preferible la rueda rotativa para la atomización, mientras que, para productos en polvo de una densidad muy alta y leche entera instantánea y otros productos con altos contenidos de grasa, se deben utilizar las toberas.

En algunas empresas es imposible prever qué tipo de producto se producirá en el futuro, por lo que existe la tendencia de elegir secadoras que sean capaces de aplicar ambos sistemas, es decir que puedan ser directamente intercambiables.

Hasta aquí se pudo desarrollar las posibles soluciones para el secado de leche de cabra, donde se mencionaron algunas recomendaciones que permitirían tomar una decisión adecuada al momento de seleccionar el equipo. Se valorará además el uso de una matriz de producto QFD del modelo Kano (fig.

⁹Fuente: K. Masters (1972)

3.6) donde se evalúan las dos alternativas estudiadas: atomización mediante toberas o a presión, y atomización rotativa.

El modelo de Kano es un método de análisis que se encarga de la relación que existe entre las características o funciones de un producto y el nivel de satisfacción que estas proporcionan a los clientes. Estos parámetros sirven a las empresas y a las marcas para determinar la calidad de un producto.

El resultado final indica que la mejor alternativa es una secadora spray de atomización rotativa. Esto se debe en mayor medida a la menor complejidad del equipo, lo que guarda una relación directa con los costos de adquisición.

Las recomendaciones de la bibliografía y los resultados de este análisis acompañan la idea inicial de trabajar con este método de secado ya que, como se mencionó anteriormente, se estudia una secadora spray en INLAIN.

MATRIZ DE PRODUCTO						
Modelo Kano				Relacionamiento		
M Mandat3ria E Esperada A Atractiva				⊖ Cumple Mucho ○ Cumple medianamente ▲ Cumple poco		
Item	M3x. relacionamiento del item	Importancia relativa	Modelo Kano	Conceptos de producto Necesidades del cliente/producto	Secado por atomizaci3n en toberas	Secado por atomizaci3n rotativa
1	9	29	M	Secar leche de cabra	⊖	⊖
2	9	29	M	Producci3n horaria	⊖	⊖
3	9	6	A	Versatilidad	⊖	▲
4	3	18	E	Complejidad	▲	○
5	3	18	E	Precio/costo	▲	○
Limite superior					3	2
Medio					0	2
Limite inferior					2	1
M3x. relacionamiento de la columna					9	9
Peso de importancia					6	6
Importancia relativa %					49	51
Orden de actuaci3n/ nivel de importancia					2	1

Figura 3.6. Matriz de producto QFD.

3.3. Flow Sheet

Luego de recopilar la información necesaria para comprender el funcionamiento de una planta de secado de leche e identificar los componentes que se mejor cumplen con los requisitos del proceso de este proyecto, resulta el Flow Sheet ilustrado en la figura 3.7.

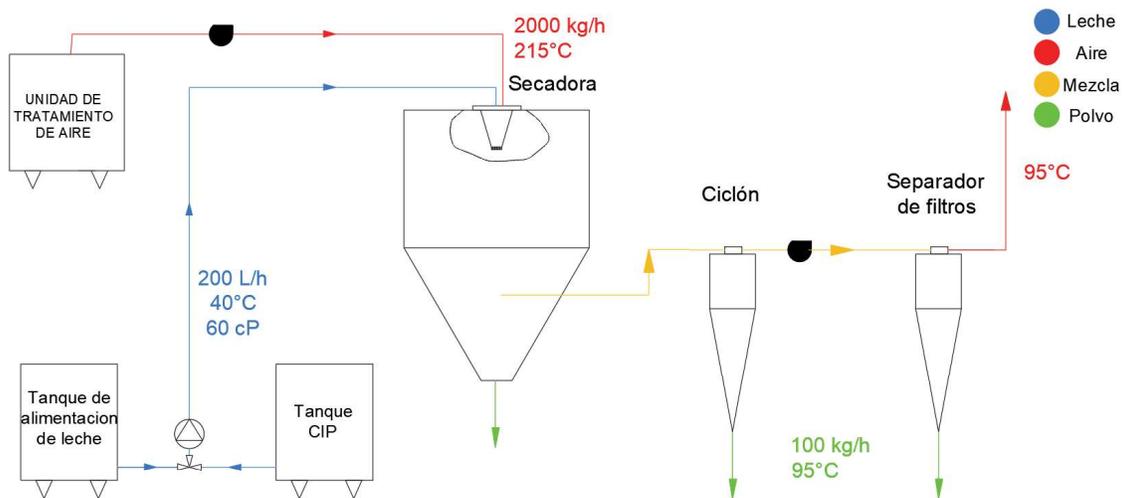


Figura 3.7. FlowSheet.

En el capítulo 4 se aborda el estudio computacional de la fluidodinámica del atomizador rotativo, donde se busca comprender su funcionamiento y obtener información necesaria para dimensionar atomizadores para diferentes escalas de producción y alta calidad de atomización.

Luego, en el capítulo 5, se lleva a cabo el diseño mecánico de todos los componentes ilustrados en el Flow Sheet

4. Estudio computacional

4.1. Relevamiento

El desarrollo de este proyecto cuenta, como mencionamos anteriormente, con una etapa significativa de investigación mediante estudios computacionales de mecánica de los fluidos. Esta, a su vez, fue el foco de mis prácticas profesionales supervisadas en CIMEC. Previo al comienzo de estas, se llevó a cabo una tarea de relevamiento e instrumentación de una secadora spray de escala laboratorio en el Instituto de Lactología Industrial (INLAIN), de la Facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional del Litoral (FIQ-UNL) con capacidad de proceso de 15 kg/h de concentrado, y que utiliza un atomizador del tipo rotativo. Allí obtuvimos resultados cualitativos y cuantitativos muy importantes, que dieron lugar a un gran cambio en nuestra manera de comprender el comportamiento del equipo.

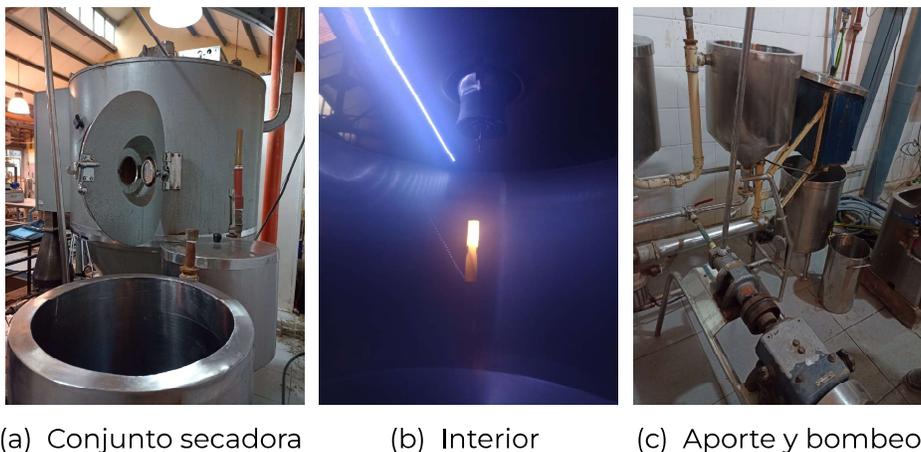


Figura 4.1. Imágenes capturadas en INLAIN.

Las partes del equipo se observan en la Figura 4.1, este se encuentra compuesto por un cuerpo principal cilíndrico-cónico donde se lleva a cabo el secado (a) y un pequeño tanque de almacenamiento con su bomba de alimentación

(c). El sistema de transmisión mecánica se encuentra en la parte superior del cuerpo cilíndrico, provisto de un conjunto motor eléctrico, poleas y correas para el movimiento del impulsor de aire y un motor eléctrico adicional para el accionamiento del atomizador con su caja de engranajes para alcanzar la velocidad de giro necesaria (b) en el interior del equipo. El tablero de comandos se encuentra a la izquierda (a) junto al quemador donde se calienta el aire para el secado.

Se recolectaron imágenes de video a partir de la colocación de una cámara en el interior del equipo, donde se observó (además de una aproximación de la fluidodinámica) que la presión de alimentación del producto en los canales del rotor era muy baja, lo cual indica que la bomba tiene un aporte nulo en la pulverización de producto. A su vez, se utilizó un anemómetro de hilo caliente provisto por el Laboratorio Industrial Metalúrgico (LIM) de nuestra facultad, para cuantificar la velocidad del aire en diferentes puntos del recinto del equipo, y así generar un mapeo que posteriormente serviría como información para generar las condiciones de borde de las simulaciones.

Luego de los relevamientos, existió un espacio para poder discutir los resultados con otros participantes del proyecto, e identificar cuáles eran los puntos a estudiar y cómo desarrollarlos. De allí surgieron dos problemáticas. La primera de ellas y muy evidente, generar una herramienta de cálculo numérico capaz de predecir la fluidodinámica aguas abajo del atomizador, el cual incluiría la geometría del recinto cilíndrico-cónico, y permitiría estudiar el proceso de secado. La segunda problemática, y la abarcada en este proyecto, surge por la falta de datos para generar las condiciones de borde a la salida del atomizador (tamaño de gotas, distribución del tamaño de gotas, y las componentes y magnitud de velocidad de salida). Se propuso estudiar el interior del atomizador rotativo con el objetivo de comprender el proceso de pulverización en su interior y luego obtener los datos mencionados anteriormente.

4.2. Fluidodinámica en el interior del disco rotativo

Estos rotores poseen formatos muy diversos, que dependen en gran parte del desarrollo de los fabricantes y que guardan relación con las propiedades del fluido a secar y la velocidad de rotación a desarrollar. En la Figura 4.2 se obser-

van dos mecanizados de atomizador típicos sin sus tapas, donde se aprecia que uno posee canales rectos y otro canales curvos. A su vez, ambos cuentan con un sector previo al ingreso a los canales, y es donde llega en primera instancia el fluido.



Figura 4.2. Variantes geométricas de discos rotativos

Para llevar a cabo los estudios correspondientes se utilizó OnShape, que es un software de CAD en la nube, y OpenFOAM, que es un software de mecánica de fluidos computacional (CFD) de código abierto. OnShape fue utilizado simplemente para relevar medidas de la geometría del rotor, mientras que en OpenFOAM se estudió la fluidodinámica resolviendo directamente las ecuaciones de Navier-Stokes.

Las ecuaciones de Navier-Stokes¹ para un flujo monofásico con densidad y viscosidad constantes son las siguientes:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v} \otimes \vec{v}) = -\vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot [\nu (\vec{\nabla} \vec{v} + \vec{\nabla} \vec{v}^T)] + \rho g \quad (4.1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \quad (4.2)$$

La solución de este par de ecuaciones no es sencilla porque no se dispone de una ecuación explícita para la presión. Uno de los enfoques más comunes es derivar una ecuación para la presión tomando la divergencia de la ecuación de momento y sustituyéndola en la ecuación de continuidad.

¹Márquez Damián, S. (2023). Mecánica de fluidos. Ecuaciones de Navier-Stokes. Apunte de cátedra "Mecánica de fluidos computacional", UTN-FRSF, Santa Fe, Argentina.

OpenFOAM utiliza el Método de Volúmenes Finitos para resolver las ecuaciones de Navier-Stokes. El método de volúmenes finitos es una técnica utilizada para resolver problemas que involucran ecuaciones diferenciales. La idea principal es dividir el área en pequeñas regiones llamadas *volúmenes finitos* o *celdas*, esto se llama *discretización del dominio*. Luego, se enfoca en entender lo que sucede dentro y alrededor de cada una de estas celdas. Cada celda se considera como un punto central donde se calculan y se representan las propiedades importantes, como la velocidad del fluido, la temperatura o la concentración de algún material ².

El propósito es poder estimar cómo cambian estas propiedades dentro de cada celda y cómo se relacionan con las celdas vecinas. Estas relaciones se traducen en ecuaciones algebraicas o diferenciales que representan cómo las propiedades cambian en función del tiempo y el espacio. Resolviendo estas ecuaciones para todas las celdas, podemos obtener una descripción aproximada de cómo evolucionan las propiedades en todo el dominio con el tiempo. Dicha aproximación es más representativa de la realidad cuanto mayor es el número de celdas en las que dividimos el dominio, aunque también aumentan los costos computacionales.

En la Figura 4.3 tenemos media vista en corte del conjunto completo del atomizador, formado por el rotor que tiene mecanizado 24 canales y una tapa que se atornilla al rotor. Juntos se vinculan a un árbol mediante ajuste cónico que transmite la potencia de un motor eléctrico, y en él se acoplan otros elementos como los rodamientos de grafito autolubricado, cobertor y distribuidor.

El primer paso para desarrollar esta herramienta de cálculo numérico es generar la malla de fluido donde se discretiza el dominio de estudio. Se decidió crear la geometría de un solo canal para comenzar con un modelo sencillo, lo que se justifica por la axisimetría del problema. A su vez, a la malla se le impone un movimiento angular con una velocidad de 1885 rad/s (18000 rpm), cuyo dato fue provisto el día de los relevamientos.

En OpenFOAM si queremos generar la malla, utilizamos la utilidad *blockMesh*. El principio detrás de *blockMesh* es descomponer la geometría del dominio en un conjunto de uno o más bloques hexaédricos tridimensionales.

²Márquez Damián, S. (2023). Método de los Volúmenes Finitos (MVF). Apunte de cátedra "Mecánica de fluidos computacional", UTN-FRSF, Santa Fe, Argentina.

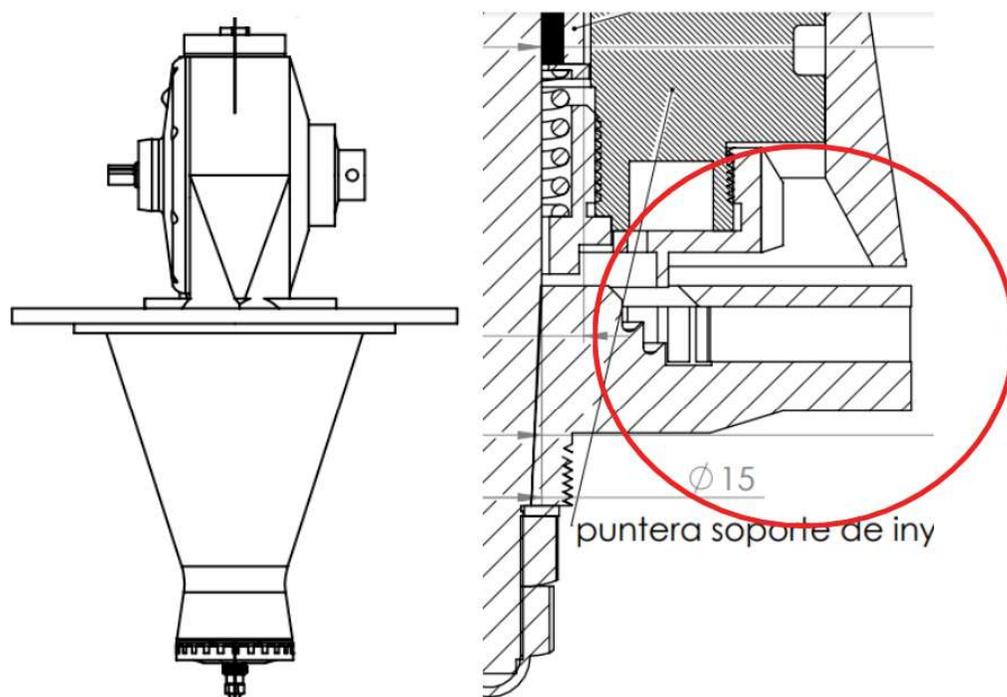


Figura 4.3. Vista anterior y corte de atomizador Nyro de INLAIN.

Los bordes de los bloques pueden ser líneas rectas, arcos o splines. La malla se especifica como una cantidad de celdas en cada dirección del bloque, información suficiente para que blockMesh genere los datos de la malla.

Para representar un solo canal del rotor, se traslada dicha geometría a un eje de coordenadas a partir del cual se pueda extraer las coordenadas de los vértices que forman la figura de interés e informarle estos a blockMesh. En la Figura 4.4 se observan 3 sectores bien diferenciados y que se analiza junto con la Figura 4.3. En color verde se ubica el sector 1, que es una precámara donde se distribuye uniformemente el líquido dosificado por la bomba y que no se encuentra en movimiento de rotación. El orificio de color rojo (sector 2) es uno de los 4 que posee mecanizada la precámara, espaciados 90° , y permiten el ingreso de producto al pleno de mezcla del rotor. Por último se localiza el recinto interior del atomizador, integrado por una zona de cuñas que recibe el producto y que se denomina a lo largo del trabajo como “pleno de mezcla”, y por otro lado tenemos los canales donde se desarrolla la atomización del fluido.

En primera instancia se busca estudiar el comportamiento del aire, por lo que

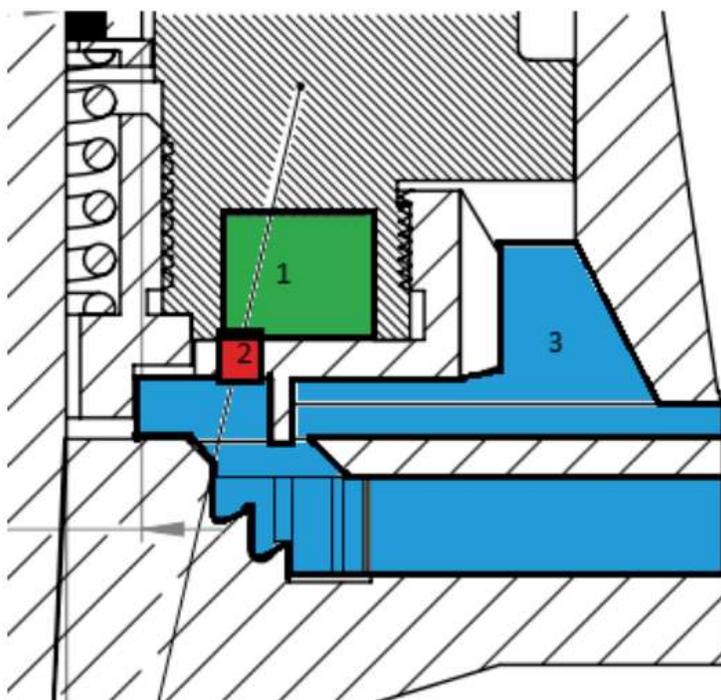


Figura 4.4. Sectorización del atomizador.

se dejó a un lado el sector número 1 y 2, y la zona de cuñas del sector 3, dado que no son relevantes, pero se incluye una porción de aire aguas abajo del canal del atomizador para obtener información del campo de velocidades y presiones a la salida.

Flujo a una sola fase: Aire

En particular, se busca conocer los efectos que se producen dentro del canal debido al flujo de aire y obtener conclusiones sobre la influencia de este en el proceso de atomización de cualquier producto. Uno podría asociar rápidamente este caso con una bomba centrífuga de aire, dado que se aprovecha la energía de la fuerza centrífuga para mover hacia afuera al fluido, pero en este caso no existen alabes capaces de otorgarle una dirección al movimiento del aire. Con esta premisa el resultado esperable es que las interacciones entre los álabes y el aire podrían generar patrones de flujo caóticos, áreas de alta y baja presión, por lo tanto efectos de mezcla y turbulencia, y no un flujo con una dirección determinada por el ángulo de incidencia de los álabes. Resulta entonces de interés estudiar el campo de velocidades restando la velocidad

tangencial ($v_t = \omega r$) y tratar de observar esos efectos caóticos en el interior del canal.

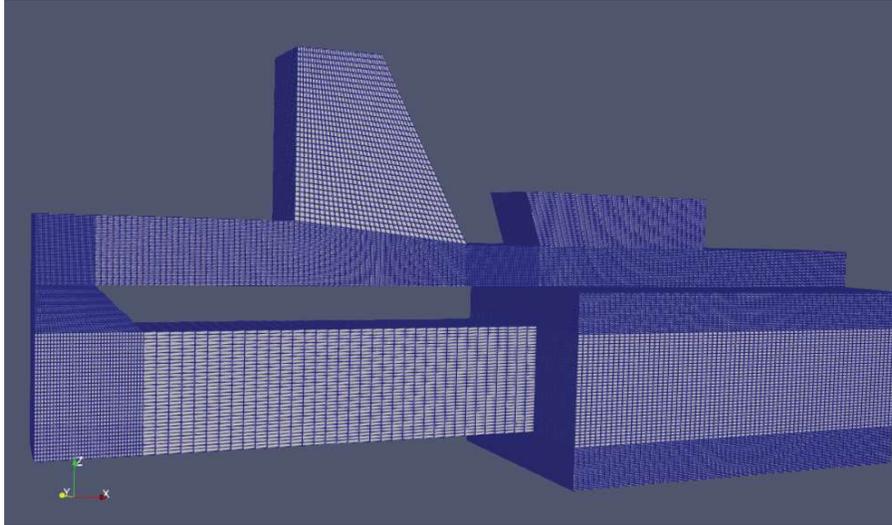


Figura 4.5. Malla de la geometría con celdas de cada bloque. 250.000 celdas.

Como se observa en la Figura 4.5, la malla no posee caras curvas, producto de la simplicidad del modelado inicial y tampoco se aprecia uniformidad en el paso de malla (aspecto muy importante que será tenido en cuenta posteriormente).

Una vez que se resuelve la geometría de un solo canal del rotor, se define en el software las condiciones de borde, solvers y esquemas numéricos. Como ya se mencionó, se inicia con simulaciones de una sola fase y flujo laminar de aire. Los mayores inconvenientes se encontraron en la implementación de las condiciones de borde dado que es necesario que estas sean representativas de la realidad para que los resultados sean correctos.

Al comenzar la simulaciones se ajustan parámetros en los esquemas numéricos y continuidad en el paso de malla para evitar puntos donde los gradientes de presión sean demasiado elevados; hay que recordar que el rotor gira a 18.000 rpm y hay cambios de dirección de 90° en la malla, y esto genera zonas de muy baja y alta presión que dificultan la convergencia de los resultados. Una vez finalizada la simulación, a los campos de velocidades y presiones que se obtienen hay que post-procesarlos y visualizarlos con un tercer software llamado *ParaView*, que es una herramienta capaz de interpretar los archivos generados por OpenFOAM visualizar los resultados obtenidos.

ParaView cuenta con una utilidad de interés, que es una calculadora capaz de efectuar operaciones algebraicas de cantidades escalares y vectoriales. Con esta ayuda se lleva a cabo el postproceso de interés, que consiste en restar la magnitud de la componente tangencial de la velocidad al campo de velocidades total. Dado que la velocidad tangencial varía con el radio y que por lo tanto afecta a cada celda del dominio en una cantidad determinada, y por otro lado, que solo interesa visualizar la resultante en el plano XY, se ejecuta un corte de la geometría en esa sección.

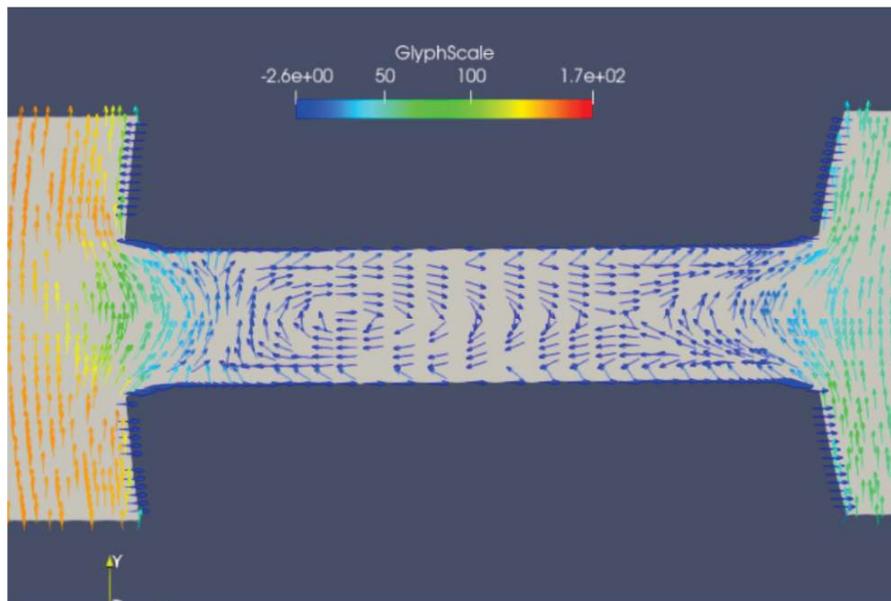


Figura 4.6. Resultados obtenidos del postprocesamiento del campo de velocidades.

Los vórtices generados en el interior de uno de los canales se muestra en la Figura 4.6, indicando el comportamiento aleatorio que tiene el aire con velocidades muy bajas. Esto permite concluir por el momento que el aire no desarrolla un papel fundamental en la atomización de los productos líquidos, pero aún se debe considerar una menor cantidad de hipótesis simplificadoras para finalizar el problema a una sola fase.

De aquí en adelante se trabajó fuertemente en mejorar la calidad de la malla y la exactitud de la geometría. Con esto queremos decir, por un lado, que añadimos caras curvas con radios correspondientes a los reales y logramos una simetría radial de la malla con el objetivo posterior de crear más cantidad de canales; por otro lado, al realizar dichas modificaciones tuvimos que retomar el problema de continuidad de paso de malla, dando como resultado la malla

de la figura 4.7.

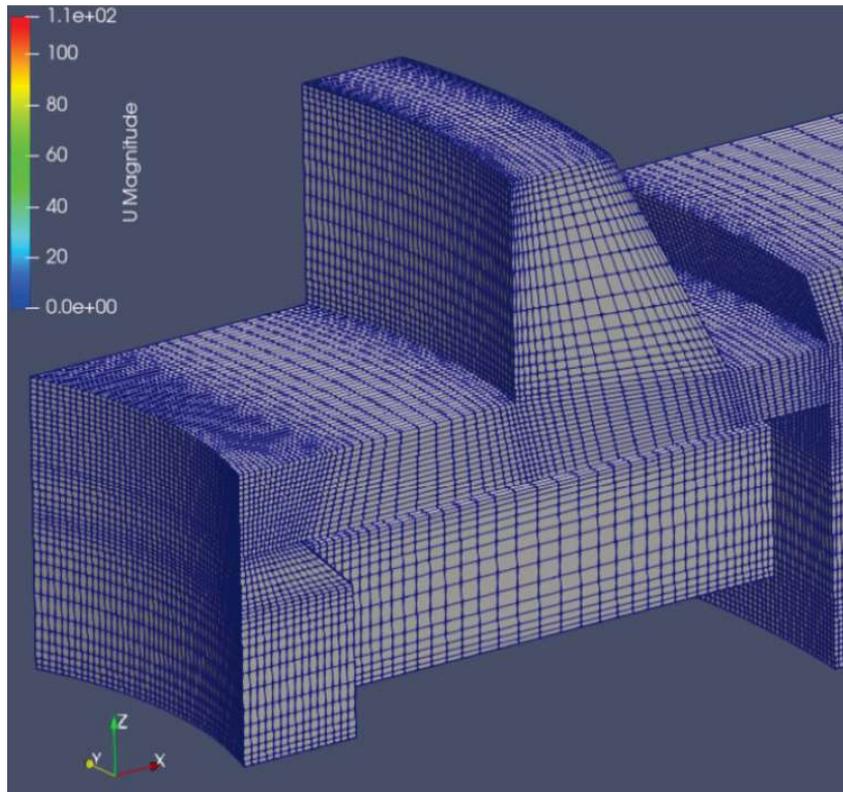


Figura 4.7. Modificaciones sobre malla. 250.000 celdas.

En cuanto a las hipótesis de las simulaciones, se decidió sumar un modelo de turbulencia con el objetivo de asegurar que no se estén perdiendo efectos significativos que con solvers de flujo laminar no se estén captando. En especial, se utiliza un modelo de turbulencia RAS denominado k-epsilon.

Los modelos de turbulencia RAS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) son herramientas matemáticas que se utilizan en la simulación de fluidos para predecir cómo se comporta el flujo turbulento en un sistema. En lugar de intentar resolver todos los detalles del flujo en cada punto, estos modelos se centran en describir cómo cambian las propiedades promedio del flujo a lo largo del tiempo.

El modelo k-epsilon es uno de los modelos RAS más sencillos y depende de las siguientes magnitudes:

- k (Energía cinética turbulenta): Debemos imaginar la turbulencia como

pequeños *remolinos* en el flujo. La energía cinética turbulenta (k) mide la intensidad de estos remolinos. Cuando los remolinos son fuertes, la energía k es alta; cuando son débiles, es baja.

- Epsilon (Tasa de disipación de energía): Los remolinos turbulentos pierden energía con el tiempo debido a la fricción y otros efectos. Epsilon (ϵ) mide qué tan rápido se disipa esta energía cinética turbulenta. Cuando ϵ es alto, significa que la turbulencia se desvanece rápidamente.

El modelo k-epsilon ayuda a predecir cómo cambian k y ϵ a medida que el flujo se mueve. Se basa en ecuaciones que describen cómo estas dos cantidades interactúan con las propiedades del fluido y las fuerzas en juego, como la viscosidad y la presión. Sin embargo, el modelo k-epsilon es una simplificación, y puede no ser muy preciso en flujos muy complejos o en situaciones específicas.

La parametrización y ajustes sobre la simulación con el solver turbulento no fueron una tarea fácil y se requirió de ayuda por parte de compañeros de CI-MEC que se dedican a resolver este tipo de problemas. El procedimiento de trabajo es tratar de generar un modelo inicial con el menor grado de error posible y comenzar a simular; llevar a cabo una simulación y luego ejecutar correcciones hasta conseguir una buena convergencia de la solución. Finalmente, con los postprocesos se interpretan los resultados para detectar la fidelidad del caso en estudio y también para identificar puntos con elevados gradientes o fenómenos no esperables.

Una vez que se consiguen los resultados esperados se crea un código capaz de mallar automáticamente una geometría de más canales con el uso de utilidades como “mergeMesh” y “stitchMesh” de OpenFOAM. Con esta geometría (figura 4.8) se tendrá en consideración la influencia de los canales vecinos y así acercarse con poco costo computacional a una geometría completa. El trabajo realizado sobre la malla permitió aprovechar la simetría radial y así replicar las coordenadas de la malla un ángulo determinado, reiteradas veces (las que sean de interés). Es importante notar que al multiplicar la cantidad de canales, también lo hace la cantidad de celdas en la misma magnitud.

Una vez lograda la malla con 2, 3 y 4 canales, comienzan las simulaciones desde la más simple a la más robusta, siempre con el objetivo de replicar los fenómenos observados anteriormente. En un principio los resultados para 2 y

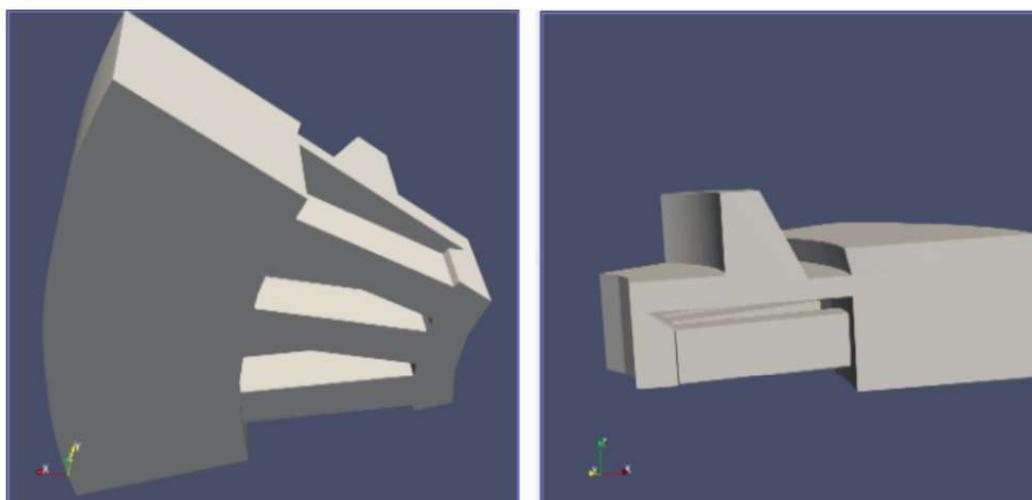


Figura 4.8. Geometría con 3 canales. 1.500.000 celdas.

3 canales no fueron los esperados, lo que dio lugar a correcciones y entender mejor los problemas. Para resolver la geometría con 4 canales se hizo unos ajustes en los esquemas numéricos debido a que la convergencia de la simulación no era buena, y los tiempos de cálculo eran altos, llegando en ocasiones a diverger la solución y finalizar el trabajo por errores numéricos. Luego de las correcciones y el postprocesado correspondiente, se logró replicar los resultados.

Nuevamente se obtuvo los resultados obtenidos con simulaciones en flujo laminar, lo que refuerza la sospecha inicial y confirma que el aire en el interior de los canales se encuentra prácticamente inmóvil durante la rotación. Esta característica del flujo de aire da a entender que no posee la capacidad de influir en las etapas de pulverización del producto y que hace necesario complejizar los estudios desarrollando una herramienta de cálculo para flujo multifásico, donde exista un acoplamiento de fases líquido-gas.

En la Figura 4.9 se observan los resultados postprocesados del campo de velocidades en el plano de interés. Como se vió anteriormente, la magnitud y dirección de los vectores de velocidad aguas arriba y aguas abajo del canal no son representativos de lo que sucede realmente, ya que los filtros aplicados de la calculadora de paraView afectan a todo el campo de velocidades.

Entrando en detalle a lo que sucede en el canal, la dirección de los vectores indica que hay aire que ingresa y egresa en ambos frentes, dando lugar a que en ambos sectores se formen vórtices. Para tomar dimensión de las magni-

tudes estudiadas, la velocidad máxima en ese sector no supera los 10 m/s

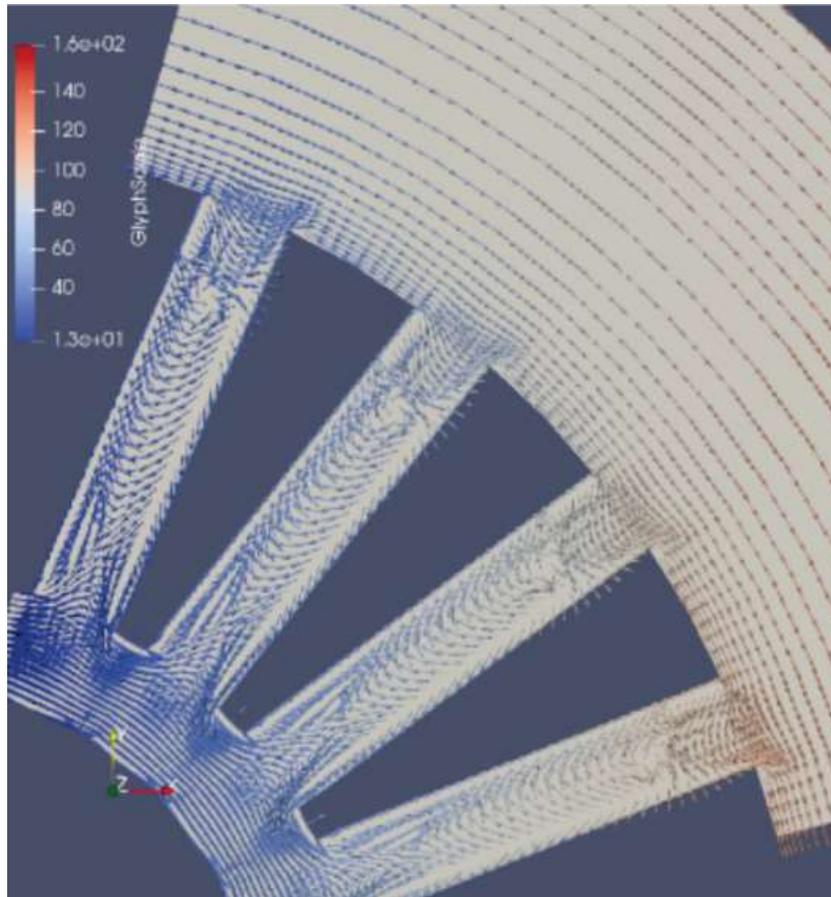


Figura 4.9. Campo de velocidades en geometría con 4 canales.

Estudio de flujo multifásico: Aire-leche

Un gran número de flujos que se encuentran en la naturaleza y la tecnología son una mezcla de fases. Las fases físicas de la materia son gaseosa, líquida y sólida, pero el concepto de fase en un sistema de flujo multifásico se aplica en un sentido más amplio. En el flujo multifásico, una fase se puede definir como una clase identificable de material que tiene una respuesta inercial particular y una interacción con el flujo y el campo potencial en el que está inmerso.

Por ejemplo, las partículas sólidas de diferentes tamaños del mismo material pueden tratarse como fases diferentes porque cada conjunto de partículas del mismo tamaño tendrá una respuesta dinámica similar al campo de flujo.

En el problema de flujo multifásico presente, se estudia un transitorio de dos fluidos separados por una interfase, y se busca estudiar finalmente el proceso de atomización de la leche desde el momento en que es dosificada al disco rotativo.

Previo a ejecutar las simulaciones, se esperaba como resultado poder observar que a medida que el atomizador rotaba, el fluido se debería estar acercando a los canales curvos en el pleno de mezcla a medida que se dosificaba. El momento del contacto es la situación clave, allí se espera observar:

- Efecto Centrífugo: Debido a la alta velocidad de rotación del atomizador, el agua tenderá a moverse hacia afuera debido a la fuerza centrífuga. Esto podría llevar al agua a distribuirse a lo largo del borde exterior.
- Formación de Chorros: El agua podría formar chorros o gotas más pequeñas a medida que es arrojada hacia los bordes exteriores debido a la fuerza centrífuga. Estos chorros podrían salir despedidos en varias direcciones.
- Salpicaduras: La interacción entre el agua que cae y la superficie del atomizador en movimiento podría generar salpicaduras y aerosoles de agua. Esto podría ser más pronunciado en los bordes exteriores donde la velocidad de rotación es mayor.
- Distribución Desigual: Dependiendo de cómo sea la dosificación, es posible que el agua se distribuya de manera desigual en los canales. Lugares con menor velocidad de rotación podrían tener una acumulación de agua, mientras que áreas con mayor velocidad podrían tener menos agua.
- Efecto coriolis: Debido a la rotación del atomizador, éste le imprime una componente de velocidad angular al fluido, lo que podría causar que el agua siga una trayectoria curva o parabólica en su camino a los canales.

En esta instancia fue necesario abordar la totalidad de la geometría que analizamos en la Figura N° 4.3 y 4.4, donde se mencionó la existencia de una zona denominada "pleno de mezcla". Allí se observan dos canales mecanizados con cierta curvatura y a continuación un piso previo al ingreso a los canales. En la Figura 4.10 se muestra, por un lado, una vista en corte de dicha zona y a la derecha la generación de la malla de la porción de fluido.

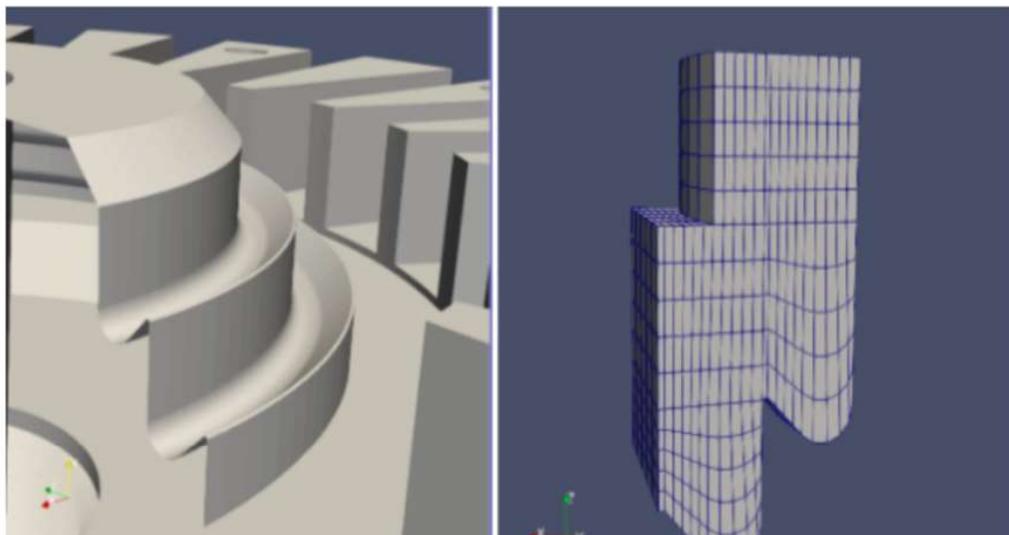


Figura 4.10. Canales curvos mecanizados en el pleno de mezcla. Malla de fluido de los canales curvos. 50.000 celdas.

Se puede notar que esta nueva malla fue generada por separado del bloque anterior, lo cual es una ventaja a la hora de trabajar y modificar archivos block-Mesh de OpenFOAM. Es necesario volver a aplicar las herramientas aprendidas de mergeMesh y stitchMesh, las cuales permiten unir dos mallas y eliminar las caras coincidentes para que pasen a formar parte del interior de la malla. El resultado de dicha tarea se aprecia en la Figura 4.11, donde se tiene por primera vez, la representación más real de un solo canal, lo que resulta ser algo innovador en este segmento de investigación.

Nuevamente surgieron los problemas de continuidad de paso de malla, y luego de resolverlos se aprendió a trabajar con una nueva herramienta llamada topoSet, que tiene la capacidad de operar sobre celdas, caras y puntos de la malla con diversos objetivos. En este caso interesa seleccionar las caras de las celdas que corresponden al ingreso de fluido, y poder allí definir de manera indirecta el caudal de entrada, dado que conociendo el área que representan las caras seleccionadas, podemos definir allí la velocidad de fluido (dato obtenido en el relevamiento de la secadora spray de INLAIN).

El primer paso para resolver cualquier problema multifásico es determinar cuál de los regímenes proporciona algunas pautas generales para determinar los modelos apropiados para cada régimen, y cómo determinar el grado de acoplamiento de interfase para flujos que involucran burbujas, gotas o par-

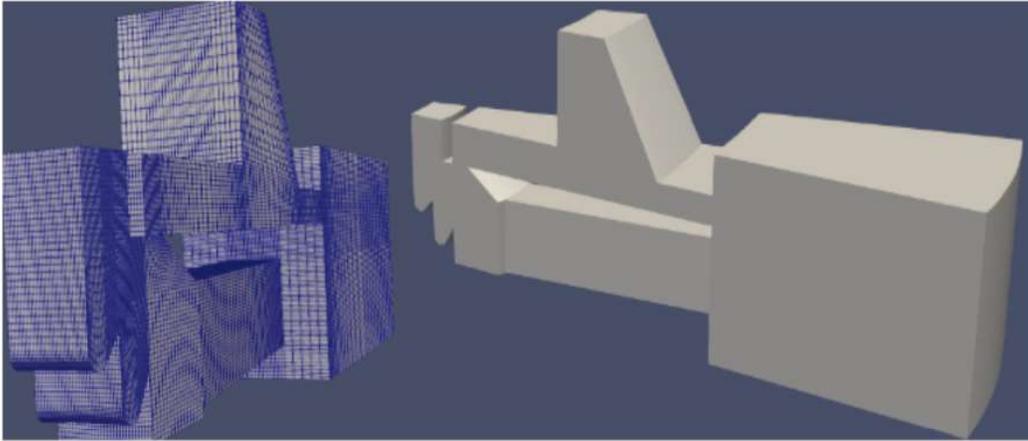


Figura 4.11. Malla de fluido correspondiente a la geometría completa de un solo canal. 300.000 celdas.

tículas, y el modelo apropiado para diferentes cantidades de acoplamiento.

Los regímenes de flujo multifásico se pueden agrupar en cuatro categorías: flujos gas-líquido o líquido-líquido; flujos gas-sólido; flujos líquido-sólido; y flujos trifásicos. En este caso, al tratarse de leche como producto principal, rodeado de aire, trataremos un flujo gas-líquido.

Actualmente existen dos enfoques para el cálculo numérico de flujos multifásicos: el enfoque Euler-Lagrange y el enfoque Euler-Euler.

Particularmente interesa el enfoque de Euler-Euler, donde las diferentes fases se tratan matemáticamente como continuos interpenetrados. Dado que el volumen de una fase no puede ser ocupado por las otras fases, se presenta el concepto de fracción de volumen relativa de fases. Se supone que estas fracciones de volumen son funciones continuas del espacio y el tiempo y su suma es igual a uno. Las ecuaciones de conservación para cada fase se derivan para obtener un conjunto de ecuaciones que tienen una estructura similar para todas las fases. Estas ecuaciones se cierran proporcionando relaciones constitutivas que se obtienen a partir de información empírica.

Según el desarrollador del software ANSYS FLUENT, para el caso de superficies libres como es el actual, se recomienda utilizar el modelo VOF (Volume of fluid). Este modelo es una técnica de seguimiento de superficie aplicada a una malla euleriana fija. Está diseñado para dos o más fluidos inmiscibles donde la posición de la interfaz entre los fluidos es de interés. En el modelo

VOF, los fluidos comparten un único conjunto de ecuaciones de momento y la fracción de volumen de cada uno de los fluidos en cada celda computacional se rastrea en todo el dominio.

El algoritmo de dos fases utilizado es interFoam, y se basa en el método del volumen de fluido (VOF).

Las primeras simulaciones, que fueron exitosas en términos de estabilidad numérica, no coincidieron con los resultados esperados. Surgió un fenómeno en el que los orificios de dosificación parecían moverse en conjunto con el rotor, a pesar de que esto no era el caso en la realidad. Como resultado, el agua generaba una estela continua al ser dispersada, dejando una trayectoria visible debido a la rotación incorrecta de los orificios.

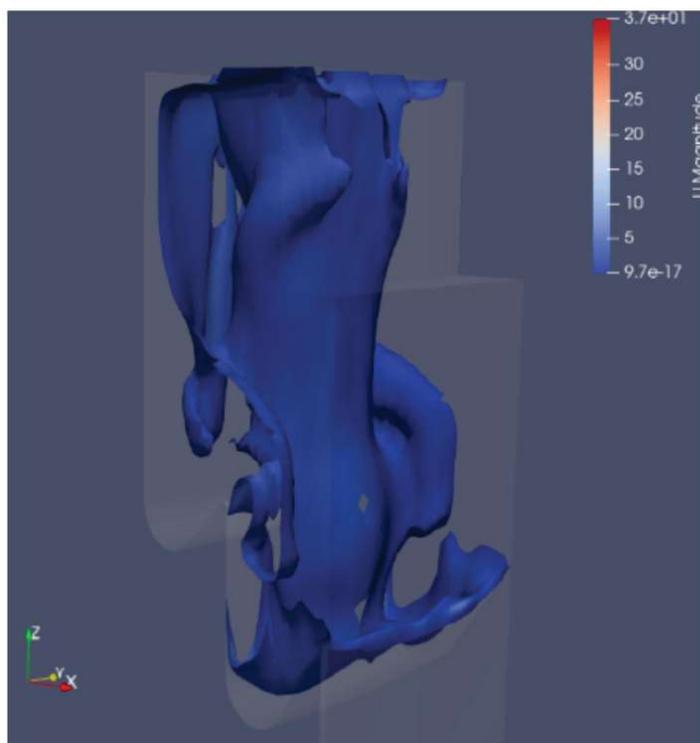


Figura 4.12. Postproceso de los resultados en paraView para observar la trayectoria del agua.

Para resolver este inconveniente se llevo a cabo una simulación a rotor detenido, y así poder visualizar cómo el agua cae, acercándose a los canales, aunque en este caso sin esperar que las gotas salgan rápidamente despedidas. La finalidad era corroborar que el caso fue correctamente seteado y así

no trasladar errores a simulaciones posteriores. El resultado correcto se refleja en la Figura 4.12.

La metodología para continuar fue igual que antes. Replantear las condiciones de borde, estudiando cuidadosamente las disponibilidades del software y las mejoras tras reiteradas iteraciones en simulaciones.

Un punto muy importante que se descubrió, es que esta geometría y la fracción de líquido, se encontraban en una relación de compromiso con las fuerzas e interacciones moleculares. Cabe mencionar que el diámetro del atomizador es de 120 mm. Por otro lado, fue necesario incluir una gran cantidad de dominio de aire aguas abajo del atomizador, logrando que la presión de referencia impuesta por OpenFoam, no afecte al campo de presión y velocidades dentro del atomizador.

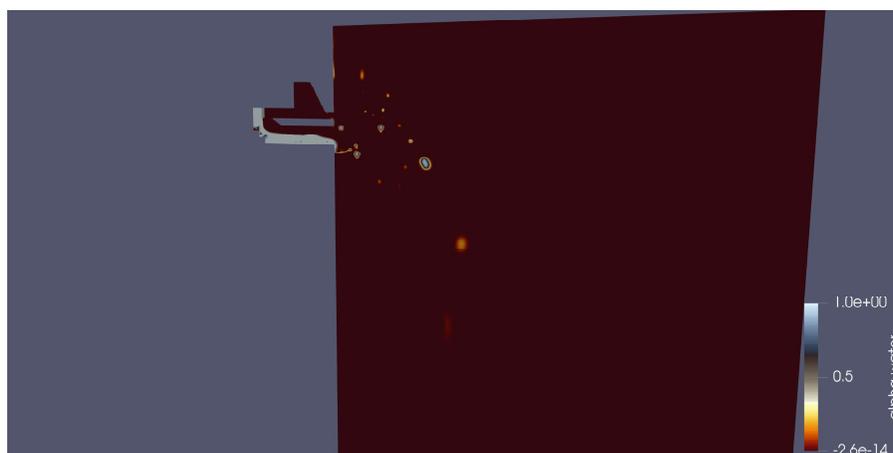


Figura 4.13. Postproceso en paraView. Simulaciones finales.

Los últimos resultados obtenidos, se ilustran en la figura 4.13. En ella se puede apreciar el gran cambio en el tamaño del dominio, lo que podríamos decir que es la malla de la cámara de secado. Aún existen grandes dificultades para obtener una simulación correcta, aunque se han dado grandes avances.

Dada la complejidad del problema en cuestiones físicas, computacionales y por los tiempos estipulados por el proyecto, se decidió dar un cierre a este apartado en este punto.

Una problemática muy común en la transferencia del conocimiento a las empresas por parte de las instituciones científicas, radica en la baja comprensión del principio de funcionamiento de los equipos en estudio, o incluso de la in-

gnerancia del verdadero problema por parte del comitente. Es importante trabajar en reconocer los síntomas superficiales de un problema, pero más aún comprender su raíz y los principios científicos involucrados.

Este trabajo comenzó de una manera similar, donde el conocimiento del funcionamiento operativo de la secadora no alcanzaba para resolver la tarea del escalado del mismo. Con las visitas, relevamientos y trabajo de investigación, se hayaron valiosos resultados que ayudarán a comprender el principio físico detras de una secadora spray.

El primer hallazgo fue durante los relevamientos, uno de los más importantes a lo largo de todo el proyecto, y tuvo que ver con la nula influencia de la presión de bombeo en el proceso de separación y atomización de gotas a lo largo del atomizador de turbina. Se observó que el producto es dosificado a los canales prácticamente por gravedad y estos nunca se encontraban llenos; esto fue posible gracias a la posibilidad de encender la bomba de producto sin accionar el atomizador rotativo. A partir de allí se modificaron los criterios que se tenían para plantear un problema de mecánica computacional, que eran erroneos dado que se pensaba lo contrario.

Al analizar los videos capturados durante el proceso de atomización, se pudo observar claramente el flujo de la nube de gotas, caracterizado por una marcada componente tangencial. Esta observación inicial proporcionó una visión fundamental de la función de los flapers de aire en el proceso de atomización. Los flujos tangenciales indican la dirección y el control del aire en el proceso de secado.

Durante la etapa de estudio computacional, el siguiente hallazgo fue la influencia insignificante del aire en los canales del atomizador durante el proceso de pulverización. A pesar de las suposiciones previas sobre la importancia del flujo de aire en la atomización, los resultados mostraron que la velocidad del aire a lo largo de los canales es muy baja (1-5 m/s) y se forman vortices que indican que hay zonas de velocidad nula.

Además, se determinó una distribución del tamaño de gotas de aproximadamente 100 micrómetros, cuyo dato será fundamental para el dimensionamiento de los separadores ciclónicos y para posteriores estudios computacionales aguas abajo del atomizador de turbina.

Finalmente, se identificó un conflicto entre la magnitud de la geometría del

sistema de atomización y la interacción molecular entre las partículas. Este conflicto sugiere que, a pesar de las consideraciones geométricas, las fuerzas moleculares pueden tener un impacto significativo en el proceso de atomización.

5.

Diseño mecánico

A continuación se presenta la memoria de cálculo y descriptiva de todos los componentes necesarios para llevar a cabo el secado de la leche de cabra. Para seguir un orden de diseño, se comienza con un balance de masas y energía que permite determinar el caudal de aire y posteriormente diseñar la cámara de secado.

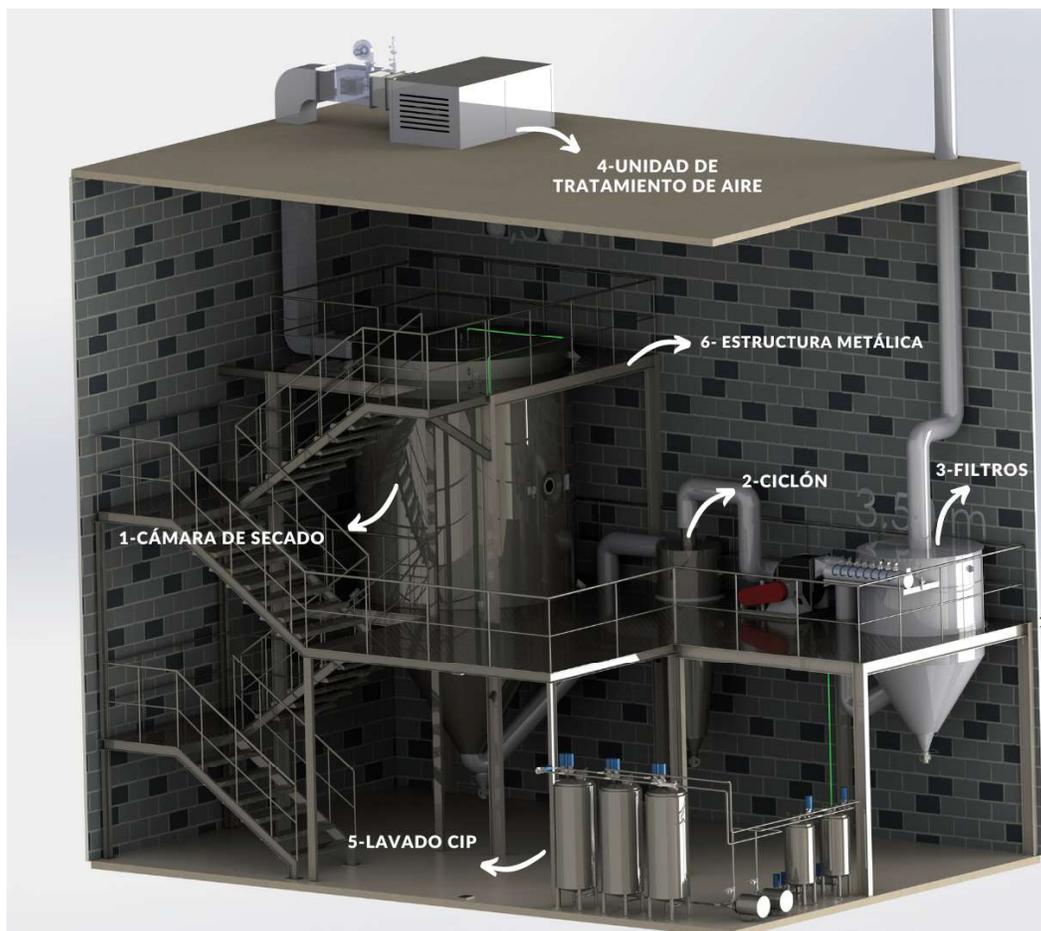


Figura 5.1. Diseño de planta de secado de leche.

Este proyecto se resume en la figura 5.1, donde se ubica dicha cámara (1). Posteriormente se dimensiona el separador ciclónico (2), un filtro previo a la sa-

lida por chimenea (3), una unidad de tratamiento de aire (4) para el ingreso de aire de secado, un sistema de lavado CIP (5) y finalmente la estructura metálica (6) que soporta todos estos componentes. Dicha figura, al igual que muchas otras en este apartado, fueron logradas a partir del renderizado de imágenes de Solidworks una vez diseñadas las piezas y ensamblajes. Solidworks permite incluir texturas y tonalidades de materiales.

5.1. Determinación de parámetros geométricos y de funcionamiento

Una variedad muy amplia de combinaciones posibles de geometrías de cámara y técnicas de atomización hace imposible desarrollar un procedimiento de diseño generalmente válido. Esto, sumado a los diversos tipos de fuentes de calor disponibles, direcciones relativas de los flujos de aire de pulverización y secado, características físicas y químicas del producto que se seca, características del producto final, etc., hace obligatorio realizar estudios de planta piloto o CFD antes de diseñar una unidad a gran escala.

A pesar de ello y de los numerosos supuestos simplificadores explícitos o implícitos en el procedimiento que se propone a continuación, es posible realizar cálculos de diseño razonables. En este apartado se desarrolla el procedimiento de diseño para el secado por aspersion propuesto por A. S. Mujumdar y V. Jog¹, particularmente aplicado a leche de cabra.

En la tabla 5.1 se definen los principales parámetros de funcionamiento, y que darán lugar a la ejecución del procedimiento.

5.1.1. Performance de la secadora

El diseño del equipo se puede comenzar a resolver desde el punto de vista del producto, es decir, el diseño del sistema de atomización, o a partir del flujo de aire de secado, con la determinación del caudal o flujo másico. A continuación, el procedimiento comienza desde este último.

¹A. S. Mujumdar y V. Jog (1977). A simple procedure for design of a Spray Dryer.

Referencia	Parámetro	Valor y unidad
-	Sólidos en alimentación	%50
-	Humedad en el polvo	%3- %5
\dot{m}_L	Flujo de alimentación	200 kg/h
\dot{m}_{Ls}	Flujo de leche en polvo	100 kg/h
t_{a1}	Temp. de ingreso de aire de secado	215 °C
t_{a2}	Temp. de salida de aire de secado	95°C
t_{Ls1}	Temp. de ingreso de leche	60°C
t_{Ls2}	Temp. de salida de leche	80°C
$c_{p_{agua}}$	Calor específico del agua	1 kcal/kg°C
$c_{p_{aire}}$	Calor específico del aire	0,24 kcal/kg°C
$c_{p_{polvo}}$	Calor específico del polvo	0,40 kcal/kg°C
λ	Calor latente de vaporización del agua	540 kcal/kg

Tabla 5.1. Datos del proceso

Se plantea entonces un balance de masas y energía entre el ingreso y la salida de la cámara de secado, para obtener así el caudal de aire de secado y su contenido de humedad. Por lo tanto tenemos dos ecuaciones y dos incógnitas.

Balance de masas

En el ingreso a la cámara de secado tenemos aire y producto, ambos con cierto contenido de humedad. Mientras que en la salida tenemos aire y polvo de producto con un nuevo contenido de humedad. De aquí se puede obtener una expresión para conocer la humedad del aire a la salida de la cámara a partir de los datos de entrada.

$$\dot{m}_{a1} \cdot X_{a1} + \dot{m}_{L1} \cdot X_{L1} = \dot{m}_{a2} \cdot X_{a2} + \dot{m}_{L2} \cdot X_{L2} \quad (5.1)$$

donde \dot{m}_a = Flujo másico de aire de secado kg/h; \dot{m}_L = Flujo másico de leche kg/h; X = Humedad absoluta [kg agua/kg leche]

Dado un ingreso de aire de secado sin humedad, resulta:

$$X_{a2} = \frac{\dot{m}_{L1} \cdot X_{L1} - \dot{m}_{L2} \cdot X_{L2}}{\dot{m}_{a1}} \quad (5.2)$$

Balance de energía

Con un planteo similar al anterior, esta vez se pone foco en la transferencia de energía que existe para que el aire de secado pueda evaporar el agua contenida en la leche concentrada. El aire y la leche ingresan a una determinada temperatura y salen con otra. De estas ecuaciones podremos obtener una expresión para calcular el flujo másico de aire de secado y la temperatura de salida.

En el ingreso

$$\dot{m}_a \cdot [c_{p\text{aire}} \cdot t_{a1} + X_{a1} \cdot \lambda] + \dot{m}_{Ls} \cdot [c_{p\text{polvo}} \cdot t_{Ls1} + X_{L1} \cdot c_{p\text{agua}} \cdot t_{agua1}] \quad (5.3)$$

En la salida

$$\dot{m}_a \cdot [c_{p\text{aire}} \cdot t_{a2} + X_{a2} \cdot \lambda] + \dot{m}_{Ls} \cdot [c_{p\text{polvo}} \cdot t_{Ls2} + X_{L2} \cdot c_{p\text{agua}} \cdot t_{agua2}] \quad (5.4)$$

Igualando (5.3) y (5.4) y reemplazando (5.2) correspondientemente

$$\begin{aligned} \dot{m}_a \cdot [c_{p\text{aire}} \cdot t_{a1} - t_{a2}] = & \dot{m}_{Ls} \cdot c_{p\text{polvo}} \cdot (t_{Ls1} - t_{Ls2}) + \dot{m}_{Ls} \cdot c_{p\text{agua}} \cdot (X_{L2} \cdot t_{agua2} - X_{L1} \cdot t_{agua1}) + \\ & \lambda \cdot \dot{m}_a \cdot (X_{a2} - X_{a1}) \end{aligned} \quad (5.5)$$

Reemplazando los datos conocidos, resulta $\dot{m}_a = 1997 \left[\frac{\text{kg aire}}{\text{h}} \right]$; $X_{a2} = 0,0483 \left[\frac{\text{kg agua}}{\text{kg V a h o s}} \right]$

5.1.2. Sistema de atomización

A partir de los conocimientos obtenidos en la visita al INLAIN y la posterior investigación desarrollada en el capítulo 4, es posible comenzar a diseñar el mecanismo de atomización rotativa.

El punto de partida del diseño es el diámetro y N° de RPM del disco, aunque también es necesario identificar los componentes de este mecanismo, que se detallan a continuación y se ilustran en la figura 5.2:

- Disco rotativo
- Disco con pleno de mezcla
- Soporte de buje de grafito
- Soporte de rodamientos
- Cobertor (campana)
- Soporte estructural

De los componentes mencionados, únicamente el disco rotativo se encuentra en movimiento giratorio durante su funcionamiento, los restantes son estáticos y vinculados entre sí al soporte estructural, que es una placa de media pulgada de espesor. Todos los componentes deben ser fabricados en acero inoxidable AISI 304.

El disco rotativo se vincula al eje mediante ajuste cónico y se asegura por debajo con tuercas autofrenantes para respetar el grado alimenticio. Inmediatamente después se encuentra el resto de los componentes ensamblados entre sí y unidos al soporte superior, aunque evitando el contacto con el disco rotativo.

Este sub-ensamblaje de componentes estáticos posee una unión roscada entre el pleno de mezcla y el soporte de grafito, que a su vez contienen un resorte de compresión que mantiene en posición al buje. A continuación, una serie de tubos soldados forman una sola pieza que permite conectar ese sub-ensamblaje al soporte de rodamientos superior.

El soporte de rodamientos está pensado para alojar un rodamiento de bolas fijo en todas direcciones, y otro con libertad de movimiento axial para permitir dilataciones del eje en esa dirección. Para fijar el rodamiento inferior axialmente, se diseñó una tapa que al ser roscada empuja al rodamiento contra la pared del soporte.

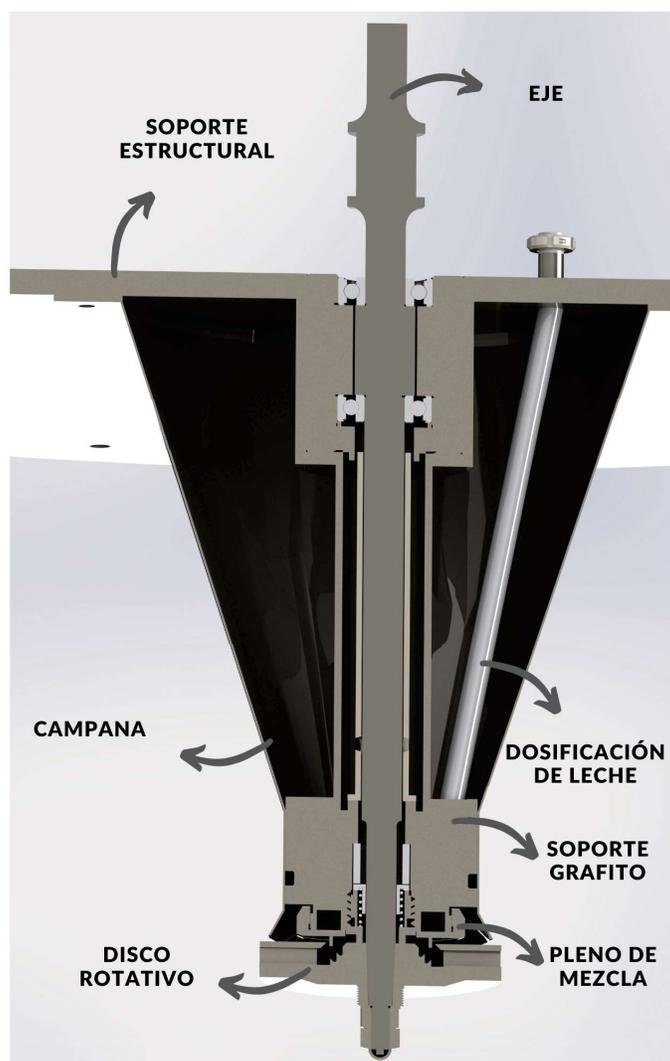


Figura 5.2. Sistema de atomización rotativa.

La alimentación de leche se da a través de un tubo de 7/16" de diámetro, que atraviesa la placa superior y llega al soporte del buje de grafito para finalmente dosificar el producto en el pleno de mezcla.

La campana cobertora posee un ajuste contra el soporte del buje de grafito y un o'ring para evitar el paso de producto a zonas donde no es posible realizar limpiezas.

Tamaño de atomizador y velocidad de rotación

Determinar el tamaño del atomizador es el primer paso en el diseño mecánico de una secadora spray. La bibliografía no es concisa al respecto, y como gran parte de la temática, los resultados obtenidos parten de experiencias empíricas o aproximaciones mediante CFD.

Se puede determinar el tamaño del disco rotativo a partir de una correlación empírica² (5.6) y de los valores adoptados por los principales fabricantes de secadoras spray.

$$M_P = \frac{\dot{m}_L}{n \cdot h} \left[\frac{lb}{min \cdot in} \right] \quad (5.6)$$

Dicha correlación nos presenta la variable M_P , que representa la carga de líquido por cada canal del atomizador. Este es función de la producción horaria o flujo de alimentación \dot{m}_L en libras por minuto, del número de canales "n" y de su tamaño en pulgadas "h". Para obtener resultados deseables, se debe obtener valores de $0,20 < M_P < 2$.

En la tabla 5.2 encontraremos algunos de los parámetros propuestos, que fueron elegidos en base a antecedentes e iteraciones en el cálculo para cumplir con el rango de aplicación de la carga de líquido por canal (M_P). Cabe mencionar que el número de RPM del atomizador considera el correcto funcionamiento tanto como la seguridad de los elementos mecánicos (a mayor diámetro de atomizador, menor número de RPM, pero mayor producción horaria).

Referencia	Parámetro	Valor y unidad
d	Diámetro del atomizador	12,7 cm
n	Nº de canales	24
N	RPM	18.000
h	Altura de canales	8 mm

Tabla 5.2. Parámetros del atomizador

$$M_P = \frac{441 \left[\frac{lb}{h} \right]}{60 [min] \cdot 24 \cdot 0,315 [in]} = 0,97 \left[\frac{lb}{min \cdot in} \right] \quad (5.7)$$

²Fuente: A. S. Mujumdar y V. Jog

Transmisión de potencia

Según los autores A. S. Mujumdar y V. Jog, un valor de 0,22 hp/kg de alimentación por minuto proporciona una estimación bastante precisa del consumo de energía del atomizador para aplicaciones que requieren un bajo grado de atomización, es decir, partículas de 200-600 micrones. Para un alto grado de atomización (partículas de 5 a 20 micrones), la potencia requerida aumenta hasta 1,1 hp/kg de alimentación por minuto.

Para el presente caso, el consumo de energía para la atomización se estima con un valor intermedio a los mencionados anteriormente, de 0,50 HP/kg de alimentación por minuto para obtener gotas de 100 micrones de diámetro. Resulta entonces un consumo de energía de 2,50 HP solamente para atomizar la leche. Si consideramos un factor de servicio de 1,5 (de trabajo continuo y severo) para seleccionar la transmisión, se requeriría finalmente de 4 HP.

La reconocida marca WEG, ofrece una serie de multiplicadores a engranajes con una relación de transmisión de 6,61:1 como máximo. Ingresando a su catálogo de la serie "Multiplicadores MG" podemos seleccionar el modelo adecuado y verificar la potencia admisible.

$$P = \frac{Mta \cdot Ns}{6320} \quad (5.8)$$

donde P es la potencia admisible en CV, Mta es el momento de torsión del equipo accionado y Ns son las RPM de salida del multiplicador.

En este caso conocemos la potencia a transmitir, por ende despejamos el momento torsor a aplicar:

$$Mta = \frac{P \cdot 6320}{Ns} = \frac{4,05[CV] \cdot 6320}{18000} = 1,42Nm \quad (5.9)$$

Se opta por utilizar un motor eléctrico trifásico de 2 polos, cuyas rpm de salida equivalen a 3000. De esta manera, para obtener las rpm de funcionamiento del rotor, es necesario una relación de transmisión de $i = 6:1$. En el catálogo se debe seleccionar entonces el modelo MG132 con $i = 6$. El torque máximo soportado por la caja es de 140 Nm, 100 veces mayor.

En la figura 5.3 se ilustra el ensamblaje de los componentes seleccionados

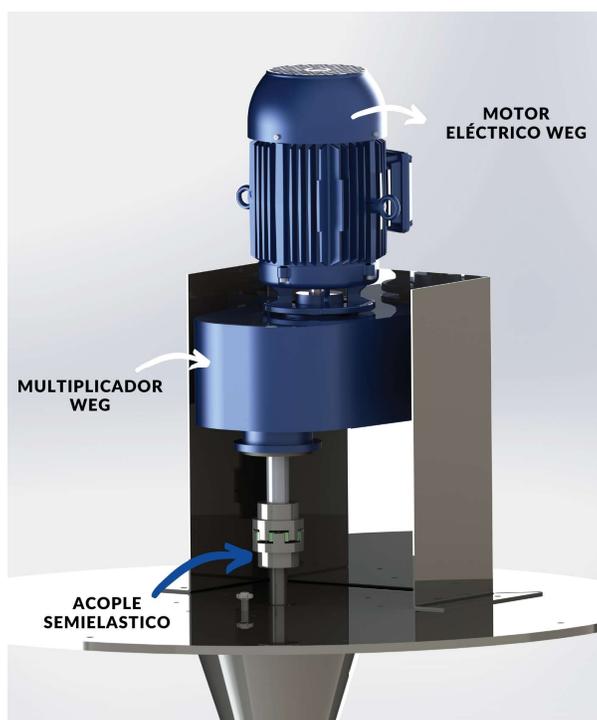


Figura 5.3. Disposición de elementos de la transmisión. Motor eléctrico y multiplicador WEG.

para obtener la velocidad de giro deseada. Tanto el multiplicador como el motor eléctrico son de la marca WEG, a quién se debe solicitar el conjunto como una única unidad "motor-multiplicador". Por otro lado, para evitar posibles desalineaciones se instala un acople semielástico con diámetros de entrada y salida de acuerdo al eje del multiplicador y el eje del atomizador respectivamente.

Tal como se obtuvo anteriormente, el momento torsor soportado por el eje es de una magnitud baja, aunque es necesario verificar las dimensiones de las chavetas y también los esfuerzos de torsión en el eje.

Verificación de chaveta

Para conectar ejes, un elemento de máquina típico es una chaveta plana. Estas se dimensionan en función del momento torsor a aplicar, para que verifiquen los máximos esfuerzos admisibles de cizalladura y compresión (ecuación 5.10 y 5.11 respectivamente), y que la longitud de la chaveta no sea mayor

a 2,4 veces el diámetro del eje.

$$Mta = \frac{\tau_{adm} \cdot b \cdot L \cdot \varnothing}{2} \quad (5.10)$$

donde τ es el esfuerzo máximo de corte, b el ancho de la chaveta, L el largo de la chaveta.

$$Mta = \frac{\sigma_{adm} \cdot t \cdot L \cdot \varnothing}{4} \quad (5.11)$$

donde σ es el esfuerzo máximo de compresión, y t el alto de la chaveta.

Haciendo uso de la bibliografía, Faires³ recomienda utilizar para el eje de 25 mm de diámetro, una chaveta cuyas dimensiones son $b=6,4$ mm y $t=4,9$ mm (tabla AT19). Se opta por utilizar chaveta de acero inoxidable AISI 304, cuya tensión admisible de compresión es $\sigma = 1150 \text{kg/cm}^2$, y la tensión admisible de corte es $\tau = 690 \text{kg/cm}^2$.

Reemplazando los valores en las ecuaciones 5.10 y 5.11, adoptamos la mayor longitud de chaveta.

$$L_{corte} = \frac{Mta \cdot 2}{\tau_{adm} \cdot b \cdot \varnothing} = \frac{16 \text{kgcm} \cdot 2}{1150 \text{kg/cm}^2 \cdot 0,64 \text{cm} \cdot 2,5 \text{cm}} = 0,018 \text{cm} \quad (5.12)$$

$$L_{compresion} = \frac{Mta \cdot 4}{\sigma_{adm} \cdot t \cdot \varnothing} = \frac{16 \text{kgcm} \cdot 4}{690 \text{kg/cm}^2 \cdot 0,49 \text{cm} \cdot 2,5 \text{cm}} = 0,075 \text{cm} \quad (5.13)$$

Comercialmente no es posible adoptar una chaveta con longitudes tan pequeñas, por lo que, respetando las condiciones geométricas, se establece una longitud de 1,5 veces el diámetro del eje, es decir 37,5 mm.

Verificación del eje sometido a esfuerzos de torsión.

Los esfuerzos admisibles del material acero inoxidable AISI 304, son los siguientes:

³Faires, V. M. (2011). Diseño de elementos de máquinas.

- k_f : Coeficiente de entalla de la sección más desfavorable (chavetero) = 0,7
- $\sigma_{adm} = 1150 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0,7 = 805 \text{ kg/cm}^2$
- $\tau_{adm} = 0,6 \cdot \sigma_{adm} = 483 \text{ kg/cm}^2$
- G : modulo transversal del acero = 807692 kg/cm^2
- $\theta_{adm} = 3,2 \text{ }^\circ/\text{m} = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ rad/cm}$

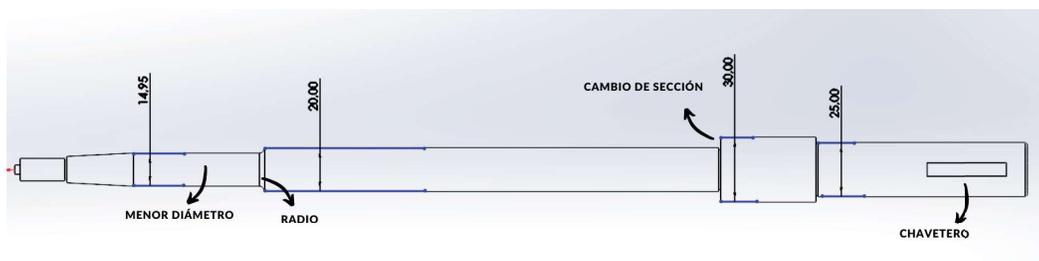


Figura 5.4. Medidas nominales de diseño del eje.

Para dimensionar un eje por resistencia y deformación se utiliza la ecuación 5.14 y 5.15 respectivamente.

$$\varnothing = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot Mta}{\pi \cdot \tau_{adm}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 16 \text{ kgcm}}{\pi \cdot 483 \text{ kg/cm}^2}} = 5,5 \text{ mm} \quad (5.14)$$

$$\varnothing = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot Mta}{\pi \cdot G \cdot \theta_{adm}}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 16 \text{ kgcm}}{\pi \cdot 807692 \text{ kg/cm}^2 \cdot 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ rad/cm}}} = 7,7 \text{ mm} \quad (5.15)$$

De la figura 5.4 se corrobora que el eje se encuentra sobredimensionado.

Selección de rodamientos

Las cargas actuantes sobre el eje son puramente axiales si no existe desalineación, lo que provocaría una fuerza en la dirección radial debido a la acción centrífuga. Dada la elevada velocidad de giro del atomizador, es muy importante reducir al mínimo este inconveniente; para ello se debe disponer de 3

elementos de rodadura, que en este proyecto son 2 rodamientos de bola y 1 buje de grafito.

El buje de grafito tiene como objetivo reducir o compensar las desalineaciones existentes, como así también mitigar fenómenos asociados a las elevadas temperaturas. Hoy en día existen grafitos autolubricados, que permiten trabajar sin necesidad de instalar un sistema de lubricación de aceite.

Los rodamientos a bola fueron elegidos ya que son la clase de rodamiento que mejor se comporta ante cargas en diferentes direcciones. En principio la carga es puramente axial, en particular, el peso propio del eje y el peso del disco atomizador que alcanzan una magnitud de 5 kg (se evaluará sobre una carga de 15 kg). El resto de los elementos están soportados por otras conexiones a la placa superior. Al desconocer las magnitudes de las cargas radiales, los rodamientos a bolas son una elección que permite ponerse del lado de la seguridad.

En vistas del mantenimiento, se espera una vida útil (ecuación 5.16) no menor a un año y medio, para permitir realizar un cambio de una vez al año (momento en el que se aprovecha a realizar mantenimiento completo de la instalación). En términos de horas, esto equivale a unas 15000.

$$L_{10H} = \frac{10^6 \cdot L_{10}}{60 \cdot n} \quad (5.16)$$

donde

- L_{10H} : Vida nominal (con 90 % de fiabilidad) medida en horas de funcionamiento.
- L_{10} : Vida nominal (con 90 % de fiabilidad) medida millones de revoluciones.
- n : velocidad de giro en RPM.

Despejando L_{10}

$$L_{10} = \frac{60 \cdot n \cdot L_{10H}}{10^6} = \frac{60 \cdot 18000 \text{RPM} \cdot 15000}{10^6} = 16200 [\text{millones de revoluciones}] \quad (5.17)$$

Dadas las dimensiones del eje y las rpm a cumplir, se selecciona de manera inicial, el rodamiento de bolas SKF 61905. En el catálogo se encuentran sus medidas y cargas admisibles. Siendo la carga estática de 6,55 kN. Con ello, podemos verificar su vida útil, con una ecuación corregida para rodamientos de bolas, y por consiguiente el rodamiento utilizado en el otro extremo del soporte queda verificado dado que posee mayor capacidad de carga estática (SKF 6204).

$$L_{10H} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{Pi} = \frac{10^6}{60 \cdot 18000} \cdot \left(\frac{655kg}{15kg}\right)^3 = 21812h \quad (5.18)$$

Verificación de esfuerzos en placa superior

Como elemento de soporte de todos los componentes del atomizador, se diseñó una placa de acero inoxidable de media pulgada de espesor. El fin de este es, además de soportar los elementos, dar rigidez a la transmisión de potencia. El motor eléctrico y la caja multiplicadora si no están correctamente instalados pueden generar vibraciones que perjudiquen la transmisión.

Dada la cantidad de perforaciones que posee la placa, y la compleja distribución de la carga, se decide verificar su resistencia a partir de una simulación mediante el método de elementos finitos en el mismo software que se realizó el diseño (Solidworks), asumiendo algunas simplificaciones pero aumentando la carga sometida al doble de su magnitud.

Las condiciones de borde corresponden a una sujeción fija en los orificios roscados, mientras que la carga de 600 kg es uniformemente distribuida dentro de una línea de partición circular, representando el sector ocupado por los componentes del atomizador.

Los resultados obtenidos corresponden a una tensión máxima según teoría de Von Mises de $1 \cdot 10^8 N/m^2$ en las cercanías de los orificios, siendo $2 \cdot 10^8 N/m^2$ la resistencia máxima del material, por lo que tenemos un factor de seguridad igual a 4 (se utilizó el doble de carga y la tensión de trabajo es la mitad de la tensión admisible). La máxima deformación es igual a 0,49 mm en el centro de la placa.

Se anexaron además 4 canchales de izaje según norma DIN 580, de medida

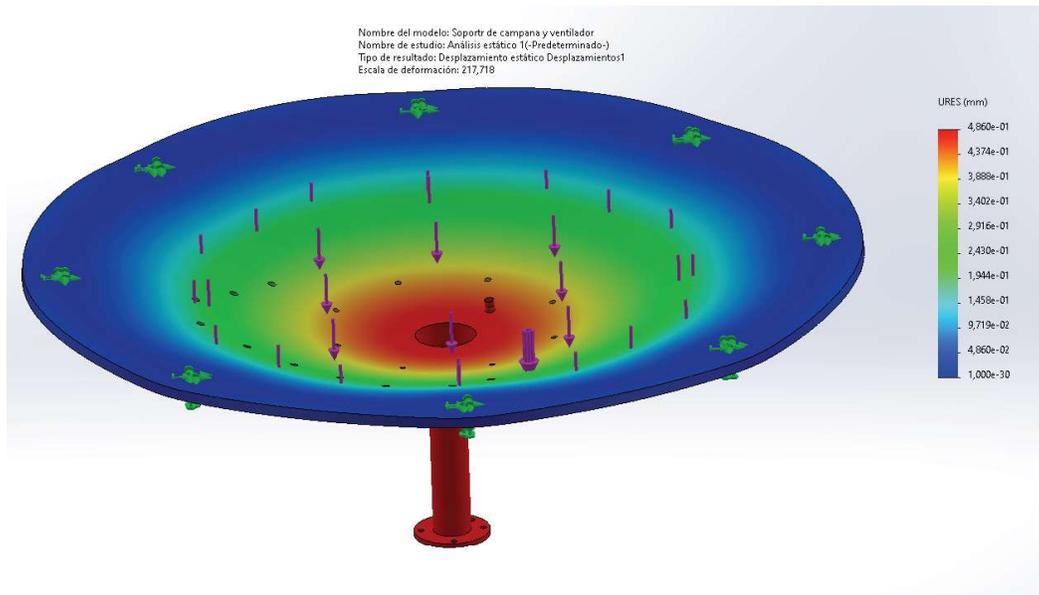


Figura 5.5. Simulación mediante MEF de placa soporte.

nominal M20 cuya carga máxima es de 1200 kg para cada una. Se encuentran distribuidos uniformemente en la placa, para permitir su transporte e instalación.

5.1.3. Cámara de secado

A continuación se hace uso de dos nuevas correlaciones postuladas (ec. 5.19 y 5.20) que permiten el dimensionamiento de la cámara spray.

Frazer, Eisenklam, Dombrowski⁴

$$R_{max} = 7,48 \cdot \frac{d^{0,21} \cdot \dot{m}_L^{0,20}}{N^{0,16}} \quad (5.19)$$

donde R_{max} es la distancia radial en pies a la que el 99 % del spray cae 0,91 metros por debajo del atomizador, d es el diámetro del atomizador en pulgadas, \dot{m}_L el flujo de alimentación en libras por minuto y N el número de RPM.

Herring, Marshall⁵

⁴A. S. Mujumdar y V. Jog (1977). A simple procedure for design of a Spray Dryer.

⁵A. S. Mujumdar y V. Jog (1977). A simple procedure for design of a Spray Dryer.

$$R_{99} = 11,87 \cdot \frac{d^{0,20} \cdot \dot{m}_L^{0,25}}{N^{0,16}} \quad (5.20)$$

donde R_{99} es la distancia radial en pies que incluye el 99 % de la masa de pulverización, y los demás parámetros comparten las mismas unidades que R_{max} .

Los resultados expresados en unidades del sistema internacional son, $R_{max} = 1$ m y $R_{99} = 1.75$ m. Para determinar finalmente el diámetro de la cámara de secado, se debe guardar relación con el tiempo de residencia del producto, donde a su vez se establece la altura requerida por el equipo.

Tiempo de residencia en la cámara de secado y altura requerida

Las cámaras de secado están diseñadas para manejar un volumen de aire que contiene suficiente calor para secar las gotas de pulverización y para proporcionar un tiempo de residencia en el aire suficiente para que las gotas se sequen hasta obtener partículas del contenido de humedad deseado. En los secadores comerciales se encuentran tiempos de residencia que oscilan entre 3 y 50 segundos.

Las curvas de velocidad de secado para una gota pueden brindar información sobre el tiempo de residencia mínimo necesario para el secado, pero debido a la diferencia en las características de evaporación de una sola gota y las aspersiones, los requisitos de tiempo de residencia se basan en pruebas de plantas piloto. Para muchos productos secados en secadores de flujo co-corriente y flujo de aire giratorio, los tiempos de residencia varían de 20 a 40 segundos.

Para definir el tamaño de la secadora, es necesario complementar el análisis con la altura requerida para cumplimentar con el tiempo de residencia del producto en la cámara de secado. La altura requerida se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$h = v \cdot t \quad (5.21)$$

donde h es la altura requerida en metros, v es la velocidad promedio del aire

de secado en m/s, y t es el tiempo de residencia del producto en segundos.

$$v = \frac{\dot{V}}{A} \quad (5.22)$$

donde \dot{V} es el flujo volumétrico de aire en m^3/s , y A es el área transversal de la cámara de secado en m^2 .

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_a \cdot V_n}{3600} \quad (5.23)$$

donde \dot{m}_a es el gasto de aire de secado en kg/h (obtenido anteriormente), y V_n es el volúmen específico del aire en m^3/kg a la temperatura de ingreso a la cámara de secado.



Figura 5.6. Diseño final de la cámara de secado.

La geometría final debe mantener una relación de aspecto entre el diámetro y la altura, en la que intervienen tanto factores constructivos como de

proceso; para garantizar que la velocidad del aire no sea excesivamente rápida como para obtener depósitos de producto en las paredes, o demasiado lenta como para quemar el producto, se estima dicha relación en $1 < d/h < 1,75$. Finalmente se opta por definir el tiempo de residencia en 25 segundos y el diámetro de la cámara de secado en 2,75 m y una altura cilíndrica de 3 m. El tiempo de residencia es un valor que se encuentra en el rango recomendado por la bibliografía, y surge de realizar algunas iteraciones en el cálculo para obtener las dimensiones de la cámara de secado que cumplan con la relación planteada anteriormente.

En la figura 5.6 se observan aspectos constructivos, siendo de doble camisa para poder instalar aislaciones en el interior y evitar la pérdida de energía hacia el exterior; a su vez se elige un espesor de pared de 3 mm para ofrecer resistencia y rigidez a la estructura. Sobre el cierre de la cámara se instala el ducto de ingreso de aire de secado con geometría espiral.

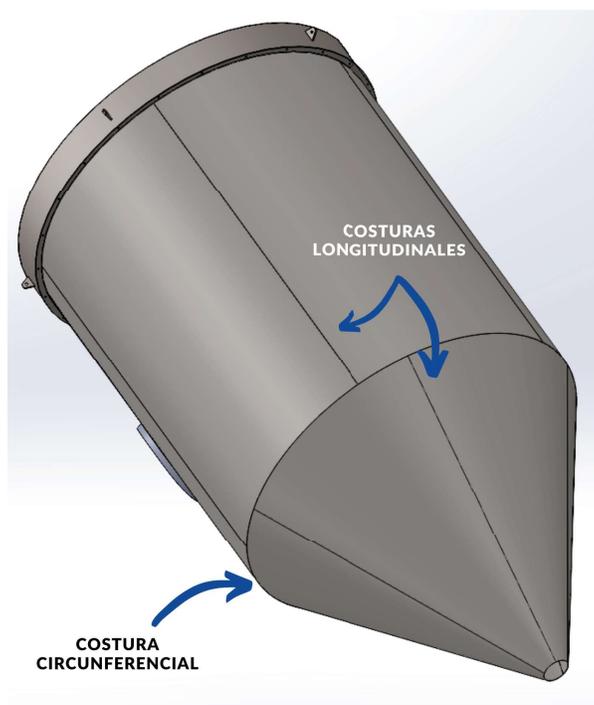


Figura 5.7. Soldaduras en la cámara de secado.

Por otro lado, el diseño fue pensado para ser fabricado con materia prima provista por la empresa FAMIQ. En particular, las chapas de 3 mm de espesor se deberán solicitar en medidas de 1,25 m x 3 m, 7 unidades para la envolvente cilíndrica; y de 1,50 m x 3 m, 5 unidades para el casquete cónico. La figura 5.7

ilustra la ubicación de las soldaduras longitudinales y circunferenciales, que deberán ser pulidas para mantener el mayor grado de sanidad posible.

Para fabricar la chapa cobertora de aislantes se requieren 8 unidades de la primera chapa, y 6 unidades de la segunda para el casquete cónico, con la diferencia de que los cobertores serán de 1 mm de espesor.

Sistema de seguridad contra explosiones - Presión admisible

Se sabe que la leche, de cualquier origen animal, posee un determinado contenido de grasa, y es debido a ello que existe la posibilidad de que ocurran explosiones dentro de la cámara de secado.

Como método de seguridad, es necesario instalar un componente conocido como "tapa de contra explosión", que funciona como fusible o elemento de sacrificio ante un repentino aumento de presión debido a una eventual explosión. Esta tapa debe comunicarse a un sistema de ventilación que permita el escape de los gases y en consecuencia la disminución de la presión en la cámara.

En este apartado no se selecciona dicho elemento, pero a continuación se realiza una verificación de la presión admisible de la envolvente cilíndrica y cónica de la cámara de secado, según la división 1, sección 8 del código ASME de recipientes sometidos a presión interior.

En la tabla 5.3 se presentan algunos parámetros ya definidos anteriormente, y que podrán sufrir alguna modificación luego de realizar la verificación.

Referencia	Parámetro	Valor y unidad
-	Material	AISI 304
S	Tensión admisible	1150 kg/cm^2
t	Espesor	3 mm
E	Eficiencia de junta	0,7 (Sin radiografiar)

Tabla 5.3. Parámetros del atomizador

La ecuación 5.24 permite obtener el espesor de pared necesario para soportar las condiciones de diseño del proyecto de una envolvente cilíndrica, y la ecuación 5.25 para un casquete cónico. En este caso se despeja de la ecuación

la presión de trabajo, que se convierte en la presión admisible.

$$t_{cilindro} = \frac{P_{trabajo} \cdot R_o}{S \cdot E + 0,4 \cdot P_{trabajo}} \quad (5.24)$$

$$t_{cono} = \frac{P_{trabajo} \cdot D_o}{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot (S \cdot E + 0,4 \cdot P_{trabajo})} \quad (5.25)$$

Despejando

$$P_{adm.cilindro} = \frac{t \cdot S \cdot E}{R_o - 0,4 \cdot t} = \frac{0,3cm \cdot 1150kg/cm^2 \cdot 0,7}{150cm - 0,4 \cdot 0,3cm} = 1,75kg/cm^2 \quad (5.26)$$

$$P_{adm.cono} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha) \cdot S \cdot t}{\varnothing - t \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot \cos(\alpha)} = \frac{2 \cdot \cos(30) \cdot 1150kg/cm^2 \cdot 0,3cm}{275cm - 0,3cm \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot \cos(30)} = 2,15kg/cm^2 \quad (5.27)$$

Se debe solicitar entonces, una tapa cuya presión admisible no supere al menor de los resultados. En este caso, se opta por definir una presión admisible de $1,50 \text{ kg/cm}^2$, dando un margen de seguridad frente a la resistencia de la envolvente cilíndrica.

Sistema de autolimpieza de paredes

A raíz del dimensionamiento de la cámara spray y de las características del polvo a manejar, es necesario incluir un sistema o conjunto de componentes capaz de mantener limpias las paredes de la cámara.

Como se mencionó anteriormente, el diámetro de la cámara se encuentra dentro de un rango de tamaño que permite que gran parte de las gotas atomizadas puedan viajar sin golpear las paredes del recipiente, aunque esto no asegura que alguna de ellas queden adheridas en forma de polvo o líquido en las cercanías al atomizador. Por otro lado, el polvo con cierto grado de humedad puede tender a aglomerarse y aumentar el rozamiento contra las paredes de la cámara aumenta la adherencia contra ellas.

Por estas razones, se recomienda la instalación de motovibradores. Estos son motores eléctricos con contrapesos montados en ambos extremos del eje

de rotación, que a su vez están desbalanceados y, por lo tanto, su centro de masa no coincide con el centro de rotación. El giro de los contrapesos excéntricos genera una fuerza centrífuga que actúa sobre el eje del motor; como consecuencia, esta fuerza centrífuga genera vibración en el motor que luego es transmitida hacia una estructura o una máquina.

Se instalarán 4 motovibradores a la altura del atomizador y 3 motovibradores en el cono. Vibrotech comercializa un modelo de interés (MVE 300/3M) que posee un motor monofásico de 2 polos y de frecuencia de vibración ajustable.

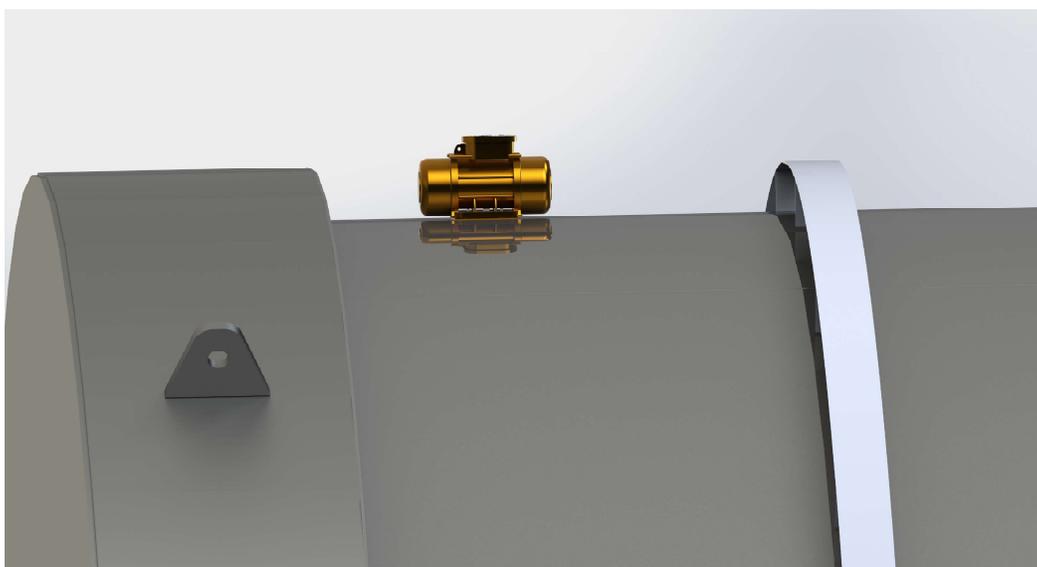


Figura 5.8. Instalación de motovibrador.

5.1.4. Separador ciclónico

El aire de secado siempre contiene una pequeña cantidad de polvo (10-30 %) a la salida de la cámara, y por eso es necesario por razones económicas, pero también a causa de los problemas ambientales, limpiar el aire de secado separando las partículas del polvo. Esta fracción de polvo se denomina normalmente "finos", ya que representan en general las partículas más pequeñas.

El ciclón tiene ventajas obvias, por ejemplo la alta eficiencia cuando su construcción es adecuada, su mantenimiento es sencillo ya que no hay partes móviles, y además es de limpieza fácil.

El polvo y el aire entran tangencialmente en el ciclón a velocidades iguales. Ambos descienden girando en forma espiral hacia la base del ciclón separando el polvo hacia la pared. El polvo sale por la base del ciclón mediante un dispositivo de cierre, mientras que el aire limpio asciende en forma de espiral a lo largo del eje central del ciclón y sale por la parte superior.

Al diseñar un ciclón, deben considerarse varios parámetros clave con el fin de obtener la máxima eficiencia. Esta se logra si se cumplen las siguientes relaciones:

$$\frac{\text{diámetro del ciclón}}{\text{diámetro del ducto de salida}} = 3 \quad (5.28)$$

$$\frac{\text{altura del ciclón}}{\text{diámetro del ducto de salida}} = 10 \quad (5.29)$$

$$75 \text{ mmca} < \Delta P < 200 \text{ mmca} \quad (5.30)$$

donde ΔP es la caída de presión a través del separador ciclónico en milímetros de columna de agua, y su magnitud puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta P = \left(\frac{\dot{m}_a}{6700} \right)^2 \cdot \frac{1}{d^4} \cdot (T + 273) \cdot \frac{760}{P_{atm}} \quad (5.31)$$

donde d es el diámetro del sector cilíndrico del separador en metros; T es la temperatura del aire; P_{atm} es la presión atmosférica. Se propone un diámetro de ciclón de 0,75 m, y resolviendo la ecuación (5.16) se obtiene $\Delta P = 138[\text{mmca}]$, cumpliendo con los requisitos y determinando así las dimensiones restantes:

$$\Delta P = \left(\frac{2000 \text{ kg/h}}{6700} \right)^2 \cdot \frac{1}{(0,75 \text{ m})^4} \cdot (215^\circ + 273^\circ) \cdot \frac{760}{760} = 138 \text{ mmca} \quad (5.32)$$

$$\varnothing_{\text{ducto de salida}} = 250 \text{ mm}; \text{ altura}_{\text{ciclón}} = 2500 \text{ mm}$$



Figura 5.9. Diseño final del separador ciclónico.

Verificación del diseño

La figura 5.9 ilustra el diseño final de este separador ciclónico, donde se observa el mismo criterio de diseño que la cámara de secado, con doble camisa para aislar el equipo térmicamente. En la zona inferior el polvo obtenido será recolectado por una válvula rotativa que impide el paso del aire.

Echeverri Londoño (2006), postula un parámetro de funcionamiento muy importante en el diseño de los ciclones, llamado “velocidad de saltación” (V_s), para explicar porque la eficiencia de colección algunas veces descende con incrementos en la velocidad de entrada. El mismo autor recomienda que la relación entre la velocidad de ingreso del aire al ciclón y la velocidad de saltación sea menor a 1,35. Si esta relación es mayor, puede ocurrir que algunas partículas no puedan ser separadas por el equipo y sea necesaria la implementación de otra etapa de separación.

$$V_s = \frac{4,913 \cdot W \cdot K_b^{0,4} \cdot D_C^{0,067} \cdot \sqrt[3]{V_i^2}}{\sqrt[3]{1 - K_b}} \quad (5.33)$$

donde W es una velocidad equivalente, K_b es la relación entre el ancho del ingreso al ciclón y el diámetro de este último (en este caso se toma el diámetro del ducto circular como el ancho del ingreso), D_c es el diámetro del ciclón, y V_i es la velocidad de ingreso (15 m/s).

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot g \cdot \mu \cdot (\rho_p - \rho)}{3 \cdot \rho^2}} \quad (5.34)$$

en la cuál, ρ_p es la densidad del polvo de leche (1350 kg/m^3), ρ es la densidad del gas portador (1 kg/m^3), y μ es la viscosidad dinámica del gas portador ($2,13 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$).

Reemplazando todos los valores conocidos, resulta una velocidad de saltación de 13,82 m/s y por lo tanto una relación de velocidades V_i/V_s ,

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{15 \text{ m/s}}{13,82 \text{ m/s}} = 1,08 \quad (5.35)$$

Se verifica el correcto funcionamiento del separador ciclónico.

5.1.5. Separador sanitario de filtros plisados

Aún habiendo separado los finos en la etapa de ciclones, estos no son 100 % eficientes, por lo que todavía escapan pequeñas partículas por chimenea. Este porcentaje es menor al 1 % en este proyecto, pero en grandes producciones horarias resulta una gran pérdida económica, acompañada de contaminación ambiental.

Para resolver este problema se diseñó un separador de grado alimenticio que separa los polvos a partir de filtros plisados (figura 5.10). Este es un recipiente cilíndrico-cónico encamisado, dentro del cual se instalan 4 filtros; estos permiten tratar $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ de aire. A su vez, es necesaria la limpieza continua de estos filtros con la capacidad de llevarse a cabo sin parar la planta; se instala

entonces, un sistema de aire comprimido que permite introducir periódicamente pulsos de aire a contracorriente de alta presión (4 bar).

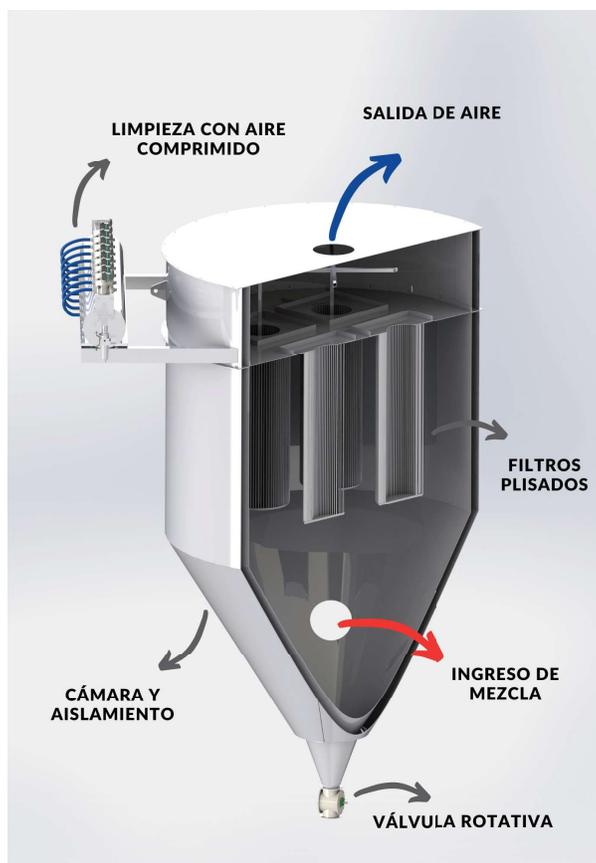


Figura 5.10. Diseño final del separador de filtros plisados.

El diseño de este equipo parte del conocimiento de que es instalado aguas abajo del ventilador, por lo que este trabajará con presión manométrica positiva. Esto dió lugar a que el ingreso del aire sea desde abajo atravesando los filtros.

A su vez, como el polvo será captado por los filtros plisados y que la eficiencia del sistema de limpieza de aire comprimido no sea 100 % eficiente, es necesario pensar en el mantenimiento de dichos filtros. Para ello, el cuerpo del colector de polvos esta compuesto por una envolvente cilindrica principal de un tamaño similar a la longitud de los filtros, y de un cabezal cilindrico desmontable mediante bulones, para permitir la inspección y mantenimiento de todos los componentes. Para la correcta colección de los polvos, el diseño tiene en cuenta un casquete cónico de 60° con un cierre mediante válvula rotativa para dosificar el producto colectado.

Puede resultar factible la instalación de un motovibrador en el bastidor para acompañar al efecto del aire comprimido para extraer los polvos adheridos a los filtros.

Los filtros plisados se montan en un bastidor que separa la envolvente cilíndrica principal (donde el aire contiene polvos) del casquete cilíndrico (donde el aire está limpio). Si se deseara retirar los filtros, sería necesario retirar el casquete cilíndrico y finalmente desatornillar los filtros del bastidor.

Se seleccionó un filtro de la marca "Çasiba", cuyo modelo es CASIBA 4710-CAR-STXL. Sus características se adjuntan en el anexo de catálogos, aunque la recomendación principal es instalar filtros bolsa de grado alimenticio de la marca "Filtron", de los cuáles no fue posible obtener datos de funcionamiento.

A continuación, el aire está listo para pasar por chimenea, siendo el filtro el último equipo en la línea de aire posterior a la cámara de secado. En el próximo apartado se dimensionan los equipos de la línea de aire aguas arriba de la cámara de secado.

5.1.6. Unidad de tratamiento de aire - U.T.A.

Actualmente las instituciones que regulan las industrias lácteas imponen requerimientos muy estrictos con el fin de asegurar una operación limpia. Por lo general el aire debe ser prefiltrado y suministrado por un ventilador separado a la sala de máquinas, la sala debe estar bajo presión para prevenir la entrada de aire no filtrado, el grado de filtración y la posición del filtro dependen de la temperatura final del aire de proceso.

La práctica corriente es⁶ :

- Productos lácteos en general:
 - Prefiltración EU4 \approx 35 % eficiencia
 - Filtración aire principal EU7 \approx 90 %
 - Filtración aire secundario EU9 $>$ 95 %

- Productos lácteos infantiles:

⁶Fuente: Nyro Powder Technology (2004). Tecnología de la leche en polvo.

- Prefiltración EU6 \approx 70 % eficiencia
- Filtración aire principal EU9 >95 %
- Filtración aire secundario EU11 >99 %

Estos datos ofrecidos por el mayor fabricante de secadoras spray es realitvo, dado que cada país posee sus propias regulaciones y la calidad del producto a obtener exige diferentes condiciones de filtrado. Sin más, es importante consultar las normativas vigentes de la región e incluso de los países a los que se desea exportar dichos productos.



Figura 5.11. Unidad de tratamiento de aire. Filtrado y calefacción.

Para resolver el problema de tratamiento de aire, se propone seleccionar una Unidad de Tratamiento de aire (UTA), aunque en este proyecto no se ahonda en detalles de cálculo. Como se ilustra en la figura 5.11, este consiste de un chasis en el que se instala una serie de pre-filtros (EU4) y filtros (EU9), y el ventilador de impulsión de aire de secado. Luego debería seguir una etapa de enfriamiento capaz de deshumidificar el aire y así posteriormente pasar a la etapa de calentamiento indirecto. Estos requerimientos mínimos, junto con el caudal y temperatura de aire de secado, son los datos que se deben ofrecer a un fabricante para que suministre una solución adecuada.

En los siguientes apartados se dimensiona de manera simple la potencia de un quemador, y los tamaños de ventiladores requeridos para manejar el aire.

Calefactor de aire de secado

Un quemador para calentamiento de aire, es un sistema donde a un cierto caudal de aire, tomado por una unidad ventiladora, se le agrega la energía desarrollada por la combustión de un sistema apto para tal fin.

A continuación se plantea un balance de energía para posteriormente poder seleccionar un quemador que funcionará con gas natural como combustible.

$$Q_{aire} = Q_{comb} \quad (5.36)$$

$$\dot{m}_a \cdot c_{p_{aire}} \cdot \Delta T = G_{comb} \cdot PCI \quad (5.37)$$

siendo ΔT la diferencia de temperatura entre el aire atmosférico (promedio de 20°C) y el aire de secado (215°C); y PCI el poder calorífico inferior del gas natural, de 8000 kcal/kg. El aporte de energía y el gasto de combustible necesario resultan:

$$Q_{aire} = 2000 [kg/h] \cdot 0,24 [kcal/kg^{\circ}C] \cdot (215^{\circ}C - 20^{\circ}C) = 93600 \frac{kcal}{h} \quad (5.38)$$

$$G_{comb} = \frac{2000 [kg/h] \cdot 0,24 [kcal/kg^{\circ}C] \cdot (215^{\circ}C - 20^{\circ}C)}{8000 [kcal/kg]} = 8,63 \frac{kg_{comb}}{h} \quad (5.39)$$

En Argentina se encuentra un proveedor de quemadores llamado American Burners, que ofrece un equipo de gran eficiencia en su serie de quemadores MJ3. Estos son ideales para sistemas de horneado, secadores, y para calentamiento directo de aire de procesos o sistemas de aire acondicionado, en los cuales se requiere que el aire este libre de aldehídos y de monóxido de carbono. Son muy aptos para eliminar los contaminantes de los efluentes de chimeneas y pueden emplearse tanto en cámaras de combustión como en ductos.

Dada la necesidad de adquirir un equipo que ofrezca mayor energía que la necesaria teórica y la posibilidad del equipo de poder modular su funcionamiento, se selecciona el modelo MJ3 de caja bridada con ventilador de combustión pero sin ventilador de proceso, de 100.000 a 250.000 kcal/h. Además,

el fabricante recomienda velocidades de aire de 5 a 20 m/s para que la combustión sea perfecta.

Ventiladores

Como se mencionó en el apartado 3.1.3, el movimiento a través del secador se realiza mediante ventiladores centrífugos. En un diseño de secador por aspersión se utilizan uno o dos ventiladores principales. Para las secadoras que funcionan con un solo extractor de aire, la cámara de secado está bajo una alta presión negativa. Sin embargo, la mayoría de los diseños de secadores por aspersión, y este en particular, funcionan con los dos sistemas de ventiladores principales.

Además del ventilador de extracción, se monta un ventilador en el lado de entrada de la cámara de secado. Este ventilador fuerza la entrada de aire de secado a través del calentador de aire y el dispersor de aire.

Al utilizar el sistema de dos ventiladores, se obtiene una mayor flexibilidad en el funcionamiento de la presión de la cámara. El ventilador de suministro tiene un tamaño que equilibra el ventilador de extracción y la cámara puede funcionar a una presión cercana a la atmosférica si es necesario. La presión de la cámara de operación a menudo controla la carga de aire en polvo en el aire de escape que sale de la cámara.

A partir de la selección del equipo de calentamiento de aire, se delimitan ciertos parámetros geométricos de la instalación y que serán analizados a continuación.

Haciendo uso de la ecuación de Darcy (5.40) para el cálculo de pérdida de carga debido a la fricción en una tubería llena, del caudal de alimentación de aire y del tamaño de las cañerías, podremos seleccionar un ventilador centrífugo adecuado.

$$J = \frac{f \cdot l_{\text{calculo}} \cdot v^2}{\varnothing \cdot 16,35} \quad (5.40)$$

En primer lugar se define la velocidad de transporte del aire para cumplir con los requisitos del quemador y que a su vez resulte en una velocidad eco-

nómica. Para ello se adopta una velocidad de 15 m/s, resultando entonces el siguiente tamaño de cañería:

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{1700m^3/h}{3600s \cdot 15m/s} = 0,031m^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \varnothing^2 \rightarrow \varnothing = 200mm$$

Para obtener el factor de fricción se hace uso del diagrama de Moody donde ingresamos con el número de Reynolds y la rugosidad relativa del material, que en este caso es chapa de acero inoxidable.

$$Re = \frac{\varnothing \cdot v}{\nu} = \frac{0,20m \cdot 15m/s}{3,45 \cdot 10^{-5}m^2/s} = 86957 \quad (5.41)$$

siendo ν la viscosidad cinemática del aire a 215 °C. Resulta un flujo de aire turbulento. Además, la rugosidad relativa para un ducto de acero inoxidable de 200 mm de diametro de acero es $8 \cdot 10^{-6}$. Ingresando al diagrama de Moody, el factor de fricción resulta:

$$f = 0,0186$$

Por otro lado, la longitud de cálculo es la sumatoria de los metros lineales de cañería, llamado longitud geométrica, y la longitud equivalente de perdida de carga aportada por los accesorios y cambios de dirección.

$$L_{geométrica} = 10m \text{ (Layout)}$$

$$L_{equivalente} = \sum (Curvas_{90^\circ} + Valvula_{mariposa}) = 2 \cdot 10m + 3m = 23m$$

$$L_{calculo} = L_{geométrica} + L_{equivalente} = 10m + 23m = 33m$$

Finalmente se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación 5.19, resultando la siguiente perdida de carga:

$$J = \frac{0,0186 \cdot 33m \cdot (1m/s)^2}{0,20m \cdot 16,35}$$

$$J = 42mmca = 1,67SP$$

El proveedor seleccionado es Chicago Blowers, que cuenta con distribución oficial en Argentina. Ingresando a su catálogo de ventiladores centrífugos, se selecciona en primera instancia de acuerdo al tamaño, considerando que tenemos un ducto de 200 mm de diámetro. Dado que ofrecen las curvas de funcionamiento de los ventiladores según el tamaño de la impulsión de aire, se ingresa a la curva del modelo de 9 pulgadas.

Size 9 LS - Punto de funcionamiento en 4 SP/1000 CFM → 1800 RPM Y 1130 HP

Del mismo modo que para la línea de aspiración, se hace uso de la ecuación de Darcy (5.40) para el cálculo de pérdida de carga debido a la fricción en una tubería llena.

Se mantiene la velocidad de transporte del aire, por ende se determina el mismo diámetro de ductos. En el caso del factor de fricción, tenemos un cambio en la viscosidad del aire, dado que al atravesar la etapa de secado, su temperatura baja hasta los 95°C.

$$Re = \frac{\varnothing \cdot v}{\nu} = \frac{0,20m \cdot 15m/s}{2,306 \cdot 10^{-5}m^2/s} = 130095 \quad (5.42)$$

siendo ν la viscosidad cinemática del aire a 95°C. Resulta un flujo de aire turbulento. Además, la rugosidad relativa para un ducto de acero inoxidable de 200 mm de diámetro de acero es $8 \cdot 10^{-6}$. Ingresando al diagrama de Moody, el factor de fricción resulta:

$$f = 0,017$$

Por otro lado, la longitud de cálculo es la sumatoria de los metros lineales de cañería, llamado longitud geométrica, y la longitud equivalente de pérdida de carga aportada por los accesorios y cambios de dirección.

- $L_{geometrica} = 15m$ (P&ID)
- $L_{equivalente} = \sum (Curvas_{90^\circ} + Valvula_{mariposa}) = 4 \cdot 10m = 40m$
- $L_{calculo} = L_{geometrica} + L_{equivalente} = 15m + 40m = 55m$

Finalmente se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación 5.19, resultando la siguiente pérdida de carga:

$$J = \frac{0,017 \cdot 55m \cdot (15m/s)^2}{0,20m \cdot 16,35}$$

$$J = 64mmca = 2,53SP$$

Además, es necesario sumar la pérdida de carga asociada al separador ciclónico y al separador de polvos con filtros plisados, cuya magnitud es de 104 mmca y 24 mmca respectivamente; dando un total de 192 mmca, lo que es igual a 7,56 SP.

El proveedor seleccionado es Chicago Blowers Ingresando a su catálogo de ventiladores centrífugos, se selecciona en primera instancia de acuerdo al tamaño del mismo, considerando que tenemos un ducto de 200 mm de diámetro. Dado que ofrecen las curvas de funcionamiento de los ventiladores según el tamaño de la impulsión de aire, se ingresa a la curva del modelo de 9 pulgadas.

Size 9 LS - Punto de funcionamiento en 7 SP/1032 CFM → 2300 RPM Y 3 HP

5.1.7. Selección de componentes: Línea de leche y lavado CIP

Al momento de diseñar la instalación para el transporte del producto, se debe tener en consideración el tratamiento de la etapa anterior. Sin importar el origen de la leche (vaca o cabra), el tipo de leche (entera o descremada), o incluso si el producto es suero, todos son sometidos a procesos de tratamientos térmicos, en evaporadores y pasteurizadores. En el primero, se busca aumentar concentración de sólidos (48-50% es apta para la atomización), y en el último se reduce la concentración bacteriológica.

El concentrado al abandonar la última etapa del evaporador es líquido, pero su viscosidad puede diferir dependiendo de la composición, la termosensibilidad de las proteínas, pre-tratamiento, temperatura y contenido en sólidos.

Los concentrados de leche entera son en general menos viscosos que los de leche descremada, y como regla general se puede decir que la viscosidad no debería exceder a los 60 y 100 cP, respectivamente, si se quiere una atomización óptima. Por supuesto, es posible tratar viscosidades mayores en el secador, pero no sin una reducción de la capacidad (mala atomización - grandes gotas) y el resultado será siempre un producto de menor calidad.

La composición tendrá una influencia en la viscosidad, especialmente sobre el contenido proteínico en relación al contenido de lactosa. Por otro lado, si la leche está sometida a un tratamiento térmico elevado antes de la evaporación, se obtendrá una viscosidad más alta del concentrado. La temperatura del concentrado tendrá, por supuesto, una influencia directa en la viscosidad, y una temperatura más alta significa menor viscosidad.

Sin embargo, lo anterior establece solamente la influencia directa de algunos parámetros en la viscosidad. Una de las principales influencias es el tiempo, es decir la viscosidad es una función del tiempo, también llamado espesamiento por envejecimiento. Esto quiere decir que la viscosidad aumentará si se deja reposar el concentrado durante algún tiempo. Será por ello que se utilizarán dos tanques de almacenamiento cuya capacidad no excede los 30 minutos de funcionamiento de la secadora, y se deberá intercalar el funcionamiento de cada tanque cada 4 horas, lavando químicamente el que está en deuso.

Cálculo de pérdida de carga: Atomización de leche

Del mismo modo que se obtuvo la pérdida de carga en cañerías de aire para la ventilación, también se dimensiona la instalación de leche. Para ello se re-toma la ecuación de Darcy (5.40), donde se busca una velocidad económica de transporte del fluido, y considerando la alta viscosidad del concentrado y una condición sanitaria es que se debe seleccionar una bomba adecuada.

Se propone utilizar tuberías de media pulgada de diámetro nominal y 1,5 mm de espesor de pared (trayecto de color verde en figura 5.12). FAMIQ es el pro-



Figura 5.12. Vista en corte del modelo 3D. Recorrido de tubería de leche concentrada.

veedor principal en Argentina de la materia prima, y comercializa tuberías bajo norma ASTM A-544, que establece un diámetro nominal igual al diámetro exterior.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \varnothing^2 \rightarrow \varnothing = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0097[m])^2 = 7,39 \cdot 10^{-5}[m^2]$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,2[m^3/h]}{3600[s] \cdot 7,39 \cdot 10^{-5}[m^2]} = 0,75[m/s]$$

Resulta una velocidad de transporte baja ya que se prevee una alta pérdida de carga asociada a la viscosidad de la leche, que se analiza a continuación.

La viscosidad de la leche concentrada tomada como referencia es 60 cp, y la densidad es de 1070 kg/m^3 , por lo que podemos obtener la viscosidad cinemática de la leche concentrada y posteriormente el número de Reynolds:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,060 \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]}{1070 \frac{kg}{m^3}} = 5,61 \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (5.43)$$

$$Re = \frac{\varnothing \cdot v}{\nu} = \frac{0,0097[m] \cdot 0,75[m/s]}{5,61 \cdot 10^{-5} [m^2/s]} = 130 \quad (5.44)$$

Como era de esperar dada la alta viscosidad de la leche, se obtiene un flujo laminar, por lo que no es necesario acudir al diagrama de Moody para obtener el factor de fricción de la cañería; se puede estimar mediante una sencilla expresión:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{130} = 0,492 \quad (5.45)$$

Para completar la ecuación de Darcy aun se necesita obtener la longitud de cálculo, para lo cual se acude al P&ID y tabla de pérdidas de carga de accesorios, ambas adjuntas en el anexo.

- $L_{geometrica} = 13[m]$ (P&ID)
- $L_{equivalente} = \sum (Curvas_{90^\circ} + Valvula_{retencion}) = (7 \cdot 0,3[m]) + 5[m] = 7,10[m]$
- $L_{calculo} = L_{geometrica} + L_{equivalente} = 13[m] + 7,10[m] = 20[m]$

Nuevamente se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación 5.19, resultando la siguiente pérdida de carga:

$$J = \frac{0,492 \cdot 20[m] \cdot (0,75[m/s])^2}{0,0097[m] \cdot 2 \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 29,90[m] \quad (5.46)$$

Para seleccionar correctamente una bomba aún resta considerar la altura de elevación de la leche hasta el atomizador, por lo que resulta la siguiente altura manométrica:

- $H_{manometrica} = J + H_{elevacion} = 29,90[m] + 6,50[m] = 36,40[m] = 3,60[bar]$

Conociendo la presión de funcionamiento y el caudal podríamos ingresar a una curva de funcionamiento de cualquier bomba. Considerando la alta viscosidad de la leche concentrada y el reducido caudal, no resulta práctico utilizar una bomba centrífuga; se recomienda el uso de una bomba de desplazamiento positivo, en particular una bomba lobular. Para el caso, se consulta el catálogo del conocido fabricante Inoxpa, que comercializa bombas de grado sanitario, del cual resulta el siguiente modelo:

- Bomba INOXPA SRL 0-10. Horizontal. Union DIN 11851. Variador de velocidad en 324 RPM

Cálculo de pérdida de carga: Lavado CIP

En toda instalación sanitaria, la limpieza de los equipos es un requerimiento obligatorio para evitar la proliferación de bacterias que puedan dañar el producto o materia prima. Es por ello que debe pensarse toda instalación con la capacidad de ser lavada mediante agua y soluciones ácidas y alcalinas. En la figura 5.9 se puede observar el diseño y disposición de los tanques de alimentación de leche junto al cuadro de bombas y válvulas que conforman el sistema de lavado CIP.

Los tanques de almacenamiento de leche poseen una capacidad de 70 L, equivalente a unos 20 minutos de funcionamiento de la secadora spray. En el caso de los tanques CIP se tiene una capacidad de 250 L y fue pensado para agotarse también al cabo de 20 minutos, aunque dependiendo de la solución a aplicar, se podrá optar por recircular durante cierto tiempo el producto del mismo.

Como se puede observar en la figura 5.8 y 5.9, todos los tanques son cilíndricos con casquetes tori esféricos en los extremos y encamisados para mantener la temperatura de los productos dentro de los mismos. A su vez se incorporaron puertas de inspección y bochas de lavado CIP de 360° para lograr una acción mecánica.

Para el dimensionamiento de las bombas centrífugas también se optó por elegir a Inoxpa como proveedor. Una es utilizada para limpiar los tanques de almacenamiento de leche, y la restante para retornar las soluciones a los tanques o a las tuberías de efluentes (no estudiadas en este proyecto). En la figu-



Figura 5.13. Tanques de almacenamiento de leche.

ra 5.9 también puede observarse múltiples válvulas mariposa actuadas electroneumáticas, las que permitirán operar las combinaciones deseadas tanto para el tanque de almacenamiento a lavar, como la solución a aplicar.

La consideración principal para el dimensionamiento de las bomba de lavado CIP es la presión requerida en la bocha de lavado de 360°, que según el proveedor FAMIQ, es de 2,50 bar. Para dimensionar la bomba de retorno de soluciones sería recomendable el uso de una bomba autocebante, muy útil en estos casos. El caudal determinado es de $2,80 \text{ m}^3$, que establece una demora de 20 minutos para el vaciado de los tanques de 250 L.

Se define un diámetro de cañería de 1 pulgada, a partir de lo cual se estima la pérdida de carga en estos pequeños tramos ($J = 1 \text{ m}$) y la altura de elevación deseada ($H = 2 \text{ m}$), y finalmente se seleccionó las siguientes bombas de los

catálogos de INOXPA (se adjunta en anexo las curvas de funcionamiento):

- Bomba centrífuga INOXPA: HIGINOX SE-28 - C90L. $\varnothing_{impulsor} = 170mm$. 2950 RPM.
- Bomba centrífuga INOXPA: ESTAMINOX EFI 2 - 90S. $\varnothing_{impulsor} = 100mm$. 1450 RPM.



Figura 5.14. Tanques de alimentación y lavado CIP.

5.2. Proyecto civil: Cálculo estructural

5.2.1. Layout y determinación de cargas

Dadas las dimensiones de la cámara de secado spray obtenidas en el apartado 5.1.2 y del espacio requerido por los equipos auxiliares (separadores de

polvo, tanque de almacenamiento y transporte) se vuelve necesario diseñar una estructura capaz de sostener dichos componentes y a su vez dar espacio para tareas de inspección y mantenimiento.

Esto a su vez debe complementarse con un estudio de factibilidad para construir un edificio donde se destine dicha estructura o planificar con un layout existente. Para este proyecto se parte de la hipótesis de que se instalaran los equipos en una planta nueva.

Se propone entonces diseñar una estructura metálica que contenga dos niveles. Además de la planta baja, se contará con un primer piso ubicado a 3 metros de altura, y será donde los operarios podrán realizar tareas de mantenimiento e inspección a los separadores de polvo y se encontrarán a la mitad de la altura de la cámara spray, que posee una puerta de inspección. Finalmente, un segundo piso a 6 metros respecto al suelo, donde se podrá acceder al mecanismo de atomización, ingreso de aire de secado y de producto.

Luego de un diseño avanzado de la cámara spray y separadores de polvo, se obtiene un valor estimado de las cargas actuantes en la estructura, que se detallan a continuación:

- Peso de la cámara de secado: 3000 kg
- Peso de separadores de polvo (ciclón y filtros): 2000 kg
- Peso de 10 operarios: 1000 kg
- Peso propio de la estructura

Para distribuir el peso de los equipos, se dispone de una serie de anclajes, quienes recibirán en primera instancia la carga y luego la transmitirán a la estructura por medio de pernos. A su vez, se llevarán a cabo uniones abulonadas entre perfiles de montaje en el sitio de emplazamiento.

En la figura 5.10 se presenta un boceto previo para determinar las dimensiones principales de la estructura. Resultando de una altura de 6 metros y un espacio para ubicar la cámara spray de 3,50 metros de lado. Para completar el primer nivel se dispone de un espacio de 3,50 metros de ancho y 6 metros de largo.

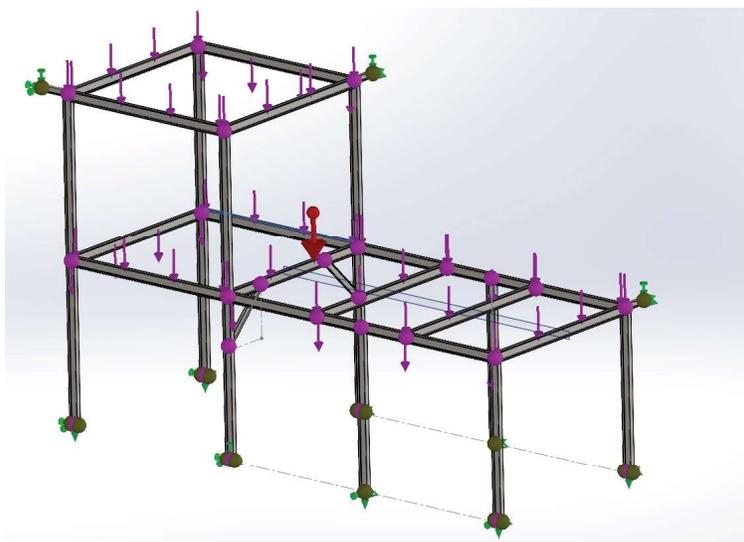


Figura 5.15. Primer modelado 3D de la estructura metálica

En la ecuación 5.47 se determina la carga transmitida a los 8 vínculos (4 en cada piso para repartir la carga), donde se tomó la peor condición, siendo este el peso de la cámara de secado (3000 kg) junto con 10 operarios (1000 kg).

$$C_1 = \frac{4000kg}{2[\text{pisos}] \cdot 4[\text{apoyos}]} = 500kg \quad (5.47)$$

5.2.2. Dimensionamiento por solicitaciones de flexión

Para la simplificación de los cálculos se adopta la carga C_1 actuando sobre cada viga actuando como carga puntual centrada. El perfil será dimensionado a flexión para aquellas vigas que están sometidas a dicha carga. Por otro lado, la sección más crítica se encuentra en el primer nivel, donde se comparte la carga de apoyo de la cámara de secado y la carga de los equipos separadores. Este último será analizado posteriormente.

Las propiedades del material seleccionado corresponden a la norma IRAM- IAS U500-503/12. Grado F-24.

$$Mf_{max} = P \cdot \frac{L}{2} = 500[kg] \cdot \frac{350[cm]}{2} = 87500[kg \cdot cm] \quad (5.48)$$

El factor de seguridad será tal que la tensión de diseño alcance el 25% de la tensión de fluencia.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{fluencia}}{\eta} = \frac{2400 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{4} = 600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \quad (5.49)$$

La sección del perfil es normal doble T (I.P.N), que proporciona la mayor resistencia a flexión con la menor área de sección requerida.

$$Wf = \frac{Mf_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{87500[kg \cdot cm]}{600 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 145,833cm^3 \quad (5.50)$$

A partir del catálogo de tablas de materiales ofrecido por ArcelorMittal - Acindar, resulta un perfil I.P.N 180, cuyo modulo resistente a flexión es de 161 cm^3 ; inmediatamente superior al valor de cálculo.

Se propone incluir perfiles de refuerzo en la zona mencionada anteriormente para reducir la sollicitación en dicha viga. Finalmente se ejecutó un simple analisis mediante el método de elementos finitos para obtener resultados aproximados a los teóricos y observar los cambios al aplicar las mejoras. Se obtiene un factor de seguridad homogéneo en toda la estructura.

Flecha máxima

$$f = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I_x} = \frac{500[kg] \cdot (350[cm])^3}{192 \cdot 2,10 \cdot 10^6 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \cdot 1450[cm^4]} = 0,37mm \quad (5.51)$$

Verificación a sollicitación de pandeo

$$I_{min} = \frac{P_k \cdot l^2}{E \cdot \pi^2} = \frac{1000[kg] \cdot (300[cm])^2}{2,10 \cdot 10^6 \cdot \pi^2} = 4,35cm^4 \quad (5.52)$$

5.2.3. Uniones abulonadas

Resistencia al corte

La resistencia nominal R para un bulón será la resistencia a rotura por corte Fvu multiplicada por el área del vástago Ab y por el número de secciones de corte m que tenga el bulón según el tipo de junta. Esto siempre que el corte se produzca en secciones que no pertenezcan a la parte roscada del vástago.

⁷

La resistencia a rotura por corte Fvu es aproximadamente el 60% de la resistencia a rotura por tracción Fu según comprobaciones experimentales.

Las fórmulas y valores dados por el CIRSOC 301-EL se derivan inicialmente de la AISC-LRFD (versión 1986) según el siguiente razonamiento:

$$R_d = \phi \cdot R_n = \phi \cdot m \cdot (0,60F_u) \cdot A_o = 0,65 \cdot m \cdot 0,60 \cdot F_u \cdot A_o = 0,39 \cdot m \cdot F_u \cdot A_o \quad (5.53)$$

Conociendo $C_1/2$ la carga en los apoyos, $m = 2$ el número de planos de corte sin involucrar rosca, 4 el número de pernos por junta y $850 [kg/cm^2]$ la tensión admisible de diseño para un bulón de acero grado ASTM A325, resulta el siguiente diámetro:

$$A_o = \frac{\pi}{4} \cdot \varnothing = \frac{R_d}{0,39 \cdot 2 \cdot 4 \cdot F_u} \quad (5.54)$$

$$\varnothing = 0,50[cm] \quad (5.55)$$

Se selecciona un diámetro comercial nominal de 1/2 pulgada, al cual le corresponde un diámetro de vástago de 0,515 cm.

⁷Fuente: CIRSOC 301-EL (1986)

6.

Conclusión

Es evidente que la comprensión del funcionamiento de una secadora spray y la predicción de su comportamiento ante la variación de múltiples actores, no es una tarea sencilla. En este proyecto se logró recopilar información de gran valor de diversos autores reconocidos, obteniendo así una introducción a la temática de manera concreta pero concisa.

En cuanto al objetivo principal, se logró diseñar una secadora spray para leche de cabra capaz de procesar 200 [L/h] de leche concentrada. El dimensionamiento del equipo contempla la capacidad actual de producción de leche de los tambos de la región y su crecimiento a futuro, dado que los datos del mercado indican una suba en las exportaciones de los productos en polvo, por ende un incentivo a la inversión por parte de los productores agropecuarios.

Respecto a la etapa de investigación y estudios mediante mecánica de fluidos computacional, la complejidad de los problemas a resolver impidieron alcanzar la meta final, que era evaluar la calidad del spray generado por el atomizador de turbina y posteriormente la evolución del secado en la cámara. De igual manera, se logró una mejor comprensión del funcionamiento de estos equipos en el relevamiento llevado a cabo en el INLAIN.

Esto último es de gran importancia a la hora de elegir los modelos numéricos, hipótesis simplificadoras y las condiciones del borde impuestas para obtener una representación real del problema. Se destaca el hecho de que la bomba de producto no es parte del proceso de atomización, sino que el mismo llega al disco atomizador prácticamente a una presión atmosférica; este hecho fue malinterpretado en estudios anteriores. Por otro lado, se obtuvo un tamaño de partícula de gota atomizada de 100 micrometros, que será utilizada a futuro como un tamaño de distribución normal. Finalmente, el avance de mayor relevancia fue la generación de geometrías de mallas del atomizador de turbina del equipo existente en el INLAIN, con un grado de fidelidad y calidad de malla muy alto, lo que marca un precedente en la temática y en el ámbito

de la investigación.

Se espera a futuro dar continuidad a los estudios a partir de los modelos multifásicos generados, y obtener resultados que puedan ser validados mediante la bibliografía existente y nuevos ensayos experimentales en el equipo de laboratorio. Este trabajo tiene la potencialidad de generar conocimiento teórico y práctico para el desarrollo de nuevas secadoras para la industria nacional, con la capacidad de adaptarse a las necesidades cambiantes del mercado y las pequeñas industrias lácteas.

Se cumplieron los objetivos planteados para la etapa de diseño mecánico, haciendo énfasis en el desarrollo de la cámara de secado y el sistema de atomización del producto. Conforme se avanzaba, la complejidad y la importancia de los equipos principales y auxiliares se hacían conocer. Resultó de gran importancia realizar consultas con profesores que han trabajado con dichos equipos para obtener consejos y detalles que no se dan a conocer en la bibliografía.

Particularmente, se logró dimensionar el diámetro de la cámara de secado en conjunto con el diámetro del atomizador de turbina para permitir que el secado del producto sea adecuado. Gracias a un inicial balance de energía y masas, fue posible dimensionar cada uno de los componentes auxiliares, dando mayor relevancia al ciclón separador de polvos. A la unidad de tratamiento de aire y al colector de polvos de filtros plisados se les dió un menor grado de profundidad debido a las recomendaciones de docentes, por la complejidad e importancia que competen en el conjunto.

Finalmente, se calculó y diseñó una estructura metálica con uniones abulonadas para dar soporte a todos los equipos. Cada componente en este proyecto fue diseñado dando prioridad al método de fabricación, al aspecto sanitario y a la capacidad de montaje en planta.

7.

Bibliografía

- 1- Casillas, A. L. (1988). Máquinas, cálculo de taller. (34a ed.). MELSA - pinto (Madrid).
- 2- Faires, V. M. (2011). Diseño de elementos de máquinas. (7a ed.). LIMUSA (México).
- 3- Fox, R. W., McDonald, A. T. (1995). Introducción a la mecánica de fluidos. (2a ed.). McGRAW-Hill (México).
- 4- García, C. A. (1996). Termodinámica técnica (5a ed.). ALSINA (Argentina).
- 5- IRAM (2017). Manual de normas IRAM de Dibujo Tecnológico. (33a ed.) IRAM (Argentina).
- 6- Da Silva Telles, P. C (2006). Tubulações industriais, Cálculo. (9a ed.). Livros Técnicos e Científicos Editora S.A (Brasil).
- 7- Nyro A. S. (2004). Tecnología de la leche en polvo (5a ed.). (Copenhague)
- 8- K. Masters (1972). An introduction to Principles, Operational Practice and Applications. Leonard Hill Books. (Dinamarca)
- 9- A. S. Mujumdar y V. Jog (1977). A simple procedure for design of a Spray Dryer. Journal of the institution of Engineers, vol 57. (India)
- 10- Márquez Damián, S. (2023). Método de los Volúmenes Finitos (MVF). Apunte de cátedra "Mecánica de fluidos computacional", UTN-FRSF, (Santa Fe, Argentina).
- 11- Márquez Damián, S. (2023). Mecánica de fluidos. Ecuaciones de Navier-Stokes. Apunte de cátedra "Mecánica de fluidos computacional", UTN-FRSF. (Santa Fe, Argentina).
- 12- Ministerio de Agroindustria (2015). Leche de cabra: Propiedades y benefi-

cios. Nutrición y educación alimentaria - Ficha 45 (Argentina).

13- Ministerio de agricultura, ganadería y pesca (2019). Estado de situación de la industria láctea argentina para la definición de políticas públicas 2016-2018 (Argentina).

A.

Catálogos



Image may differ from product. See technical specification for details.

61905

Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Descripción general

Dimensiones

Diámetro interno	25 mm
Diámetro exterior	42 mm
Ancho	9 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	7.02 kN
Capacidad de carga estática básica	4.3 kN
Velocidad de referencia	36 000 r/min
Velocidad límite	22 000 r/min

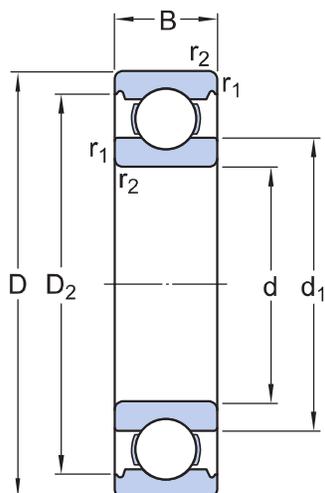
Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Clase de tolerancia	Normal
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin

Logística

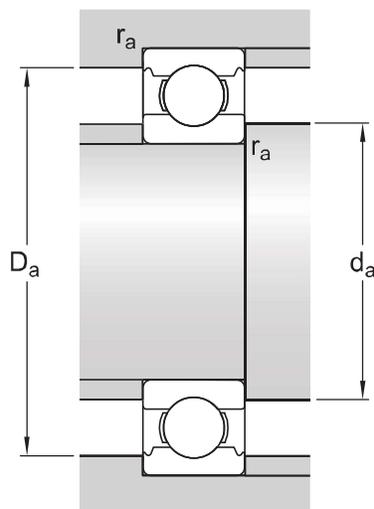
Peso neto del producto	0.0413 kg
Código eClass	23-05-08-01
Código UNSPSC	31171504

Especificación técnica



Dimensiones

d	25 mm	Diámetro interno
D	42 mm	Diámetro exterior
B	9 mm	Ancho
d_1	≈ 30.25 mm	Diámetro del resalte
D_2	≈ 37.7 mm	Diámetro del rebaje
$r_{1,2}$	min. 0.3 mm	Dimensión del chaflán



Dimensiones de los resaltes



Image may differ from product. See technical specification for details.

6204

Rodamiento rígido de bolas

Los rodamientos rígidos de una hilera de bolas son especialmente versátiles, tienen una baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibraciones, lo que permite alcanzar altas velocidades de giro. Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos.

- Diseño sencillo, versátil y robusto
- Baja fricción
- Capacidad de alta velocidad
- Soportan cargas radiales y axiales en ambos sentidos
- Requieren poco mantenimiento

Descripción general

Dimensiones

Diámetro interno	20 mm
Diámetro exterior	47 mm
Ancho	14 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	13,5 kN
Capacidad de carga estática básica	6,55 kN
Velocidad de referencia	32 000 r/min
Velocidad límite	20 000 r/min
Clase de rendimiento SKF	SKF Explorer

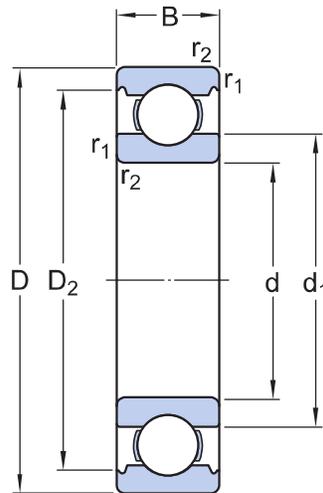
Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Clase de tolerancia	Clase P6 (P6)
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin

Logística

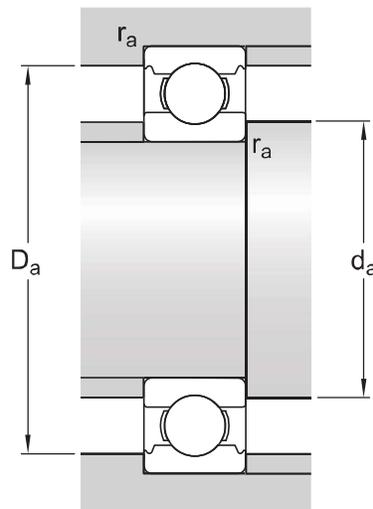
Peso neto del producto	0,102 kg
Código eClass	23-05-08-01
Código UNSPSC	31171504

Especificación técnica



Dimensiones

d	20 mm	Diámetro interno
D	47 mm	Diámetro exterior
B	14 mm	Ancho
d_1	≈ 28.8 mm	Diámetro del resalte
D_2	≈ 40.59 mm	Diámetro del rebaje
$r_{1,2}$	min. 1 mm	Dimensión del chaflán



Dimensiones de los resaltes

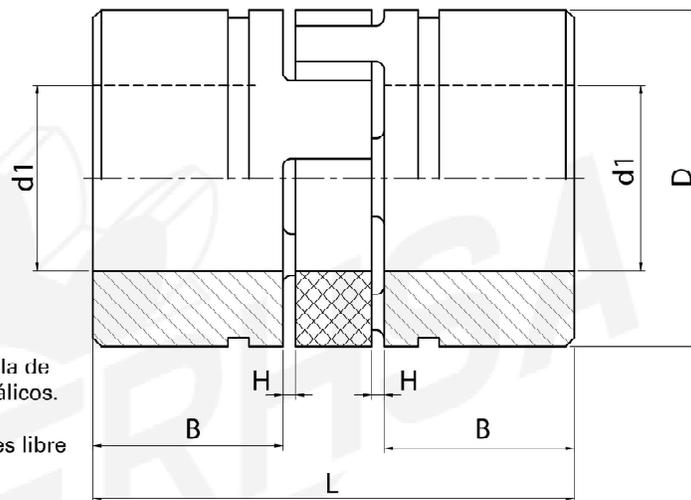
ACOPLAMIENTOS ELASTICOS

selección - dimensiones - mantenimiento



DIMENSIONES

FL



Acoplamiento elástico FL

Este acoplamiento consta de una estrella de elastómero contenida por 2 cubos metálicos.

Es económico, absorbe vibraciones y es libre de mantenimiento.

MODELO	CAPACIDAD				DIMENSIONES (mm)						
	n_{max} RPM	N_{nom}/rpm HP/RPM	M_t Nm	Peso kg	$d1\ max$	D	B	F	H	K	L
FL 19	14000	0.0014	10	0.33	25	40	25		2		64
FL 24	10600	0.0050	35	0.66	32	55	30		2		77
FL 28	8500	0.0135	95	1.2	40	65	35		2.5		90
FL 38	7100	0.0271	190	2.3	48	80	45	66	3	37	111
FL 42	6000	0.0377	265	3.6	55	95	51	75	3	40	125
FL 48	5600	0.0441	310	4.8	62	105	56	85	3.5	45	140
FL 55	4750	0.0504	410	7.4	74	120	65	90	4	52	160
FL 65	4250	0.0890	625	11	80	135	75	115	4.5	61	181
FL 75	3550	0.1823	1280	18	95	160	95	135	5	69	205
FL 90	2800	0.3418	2400	30	110	200	100	160	5.5	81	245

MULTIPLICADOR MG

La línea de Multiplicadores MG fue proyectada para multiplicar las rotaciones de los equipos que necesitan RPM elevadas. Este equipo tiene posibilidades de multiplicación que van de 2,33x1 a 6,62x1. Los engranajes cilíndricos con dientes helicoidales templados, cementados y rectificadas garantizan la calidad del producto.



Forma de Construcción	02
Posiciones de Montaje	03
Cálculo para la Obtención de la Potencia Admisible en los	
Multiplicadores de Velocidad Geremia (mg)	04
Multiplicadores de Velocidad para Bombas, Eje de Salida Tipo JM	05
Multiplicadores de Velocidad para Bombas, Eje de Salida Tipo JP	06
Ejes Chaveteados	07
Notas	08

GENERAL

GS

GSD

GSA

GSDA

GO

GA

GC

GD

GD
NO PLANETARIO

GD
LOCAL SALIDA

GK

GK
NO PLANETARIO

GH

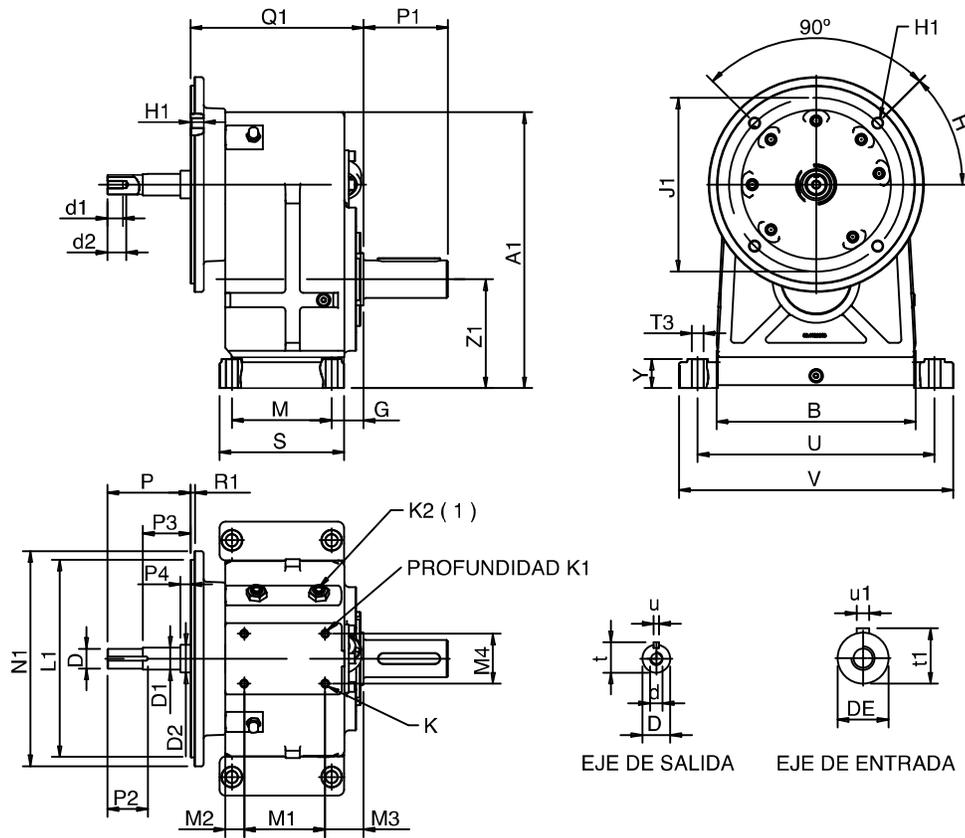
GU

GU
NO PLANETARIO

MG

GMAX

MULTIPLICADORES DE VELOCIDAD PARA BOMBAS, EJE DE SALIDA TIPO JM



MODELO	A1	B	DE ⁶	G	M	M1	M2	M3	M4	P1	Y	S	t1	T3	U	u1	V	Z	Z1
MG 112	269	218	35	50	92	-	-	-	-	60	22	140	38	13	250	10	298	207	112
MG 132	350	285	40	58	110	100	11	35	66	80	27	150	43	17	335	12	385	272	145
MG 180	443	320	60	51	160	130	30	61,5	80	135	47	200	64	19	380	18	440	327	175

Dimensiones relativas de salida del multiplicador

MODELO	d	d1	d2	D ⁶	D1	D2	H	H1	H2	J1	K
MG 112	3/8" - 16-2B	19,00	28,00	22,21	25,40	31,75	90°	3/8" - 16-2B	-	149,20	-
	3/8" - 16-2B	19,00	28,00	22,21	25,40	44,45	90°	1/2" - 13-2B	-	184,20	-
MG 132	1/2" - 13-2B	25,00	38,00	31,73	34,92	44,45	90°	1/2" - 13-2B	25	184,20	M12
MG 180	1/2" - 13-2B	25,00	38,00	31,73	34,92	44,45	45°	5/8" - 11-2B	21	279,40	M12

MODELO	K1	K2	L1	N1	P	P2	P3	P4	Q1	R1	t	u
MG 112	-	-	114,30	165	108,15	42	73,15	16,00	166,00	4	24,26	4,76
	-	-	215,90	225	108,15	42	73,15	16,00	168,50	4	24,26	4,76
MG 132	15	R1/4" Gás	215,90	225	133,35	65	76,35	16,00	277	6,3	34,55	6,35
MG 180	20	R1/4" Gás	317,50	345	133,35	65	76,35	16,00	277	6,3	34,55	6,35

(1) El sistema de refrigeración se deberá solicitar al momento de la compra.



Nr.:

Fecha: 27-MAR-2024

HOJA DE DATOS

Motor trifásico de inducción - Rotor de jaula

Cliente :
Línea del producto : W22 Carcasa de Hierro Gris - Premium Efficiency - IE3

Carcasa : 100L
Potencia : 3 kW
Frecuencia : 50 Hz
Polos : 2
Rotación nominal : 2915 rpm
Deslizamiento : 2,83 %
Voltaje nominal : 220/380 V
Corriente nominal : 10,6/6,16 A
Corriente de arranque : 85,1/49,3 A
Ip/In : 8,0
Corriente en vacío : 5,18/3,00 A
Par nominal : 9,83 Nm
Par de arranque : 240 %
Par máxima : 330 %
Categoría : ---
Clase de aislación : F
Elevación de temperatura : 80 K
Tiempo de rotor bloqueado : 9 s (caliente)
Factor de servicio : 1,00
Régimen de servicio : S1
Temperatura ambiente : -20°C - +40°C
Altitud : 1000 m
Protección : IPW55
Masa aproximada : 35 kg
Momento de inercia : 0,00641 kgm²
Nivel de ruido : 67 dB(A)

	Delantero	Trasero	Carga	Factor de potencia	Rendimiento (%)
Rodamiento	6206 ZZ	6205 ZZ	100%	0,85	87,1
Intervalo de lubricación	---	---	75%	0,79	86,5
Cantidad de grasa	---	---	50%	0,67	85,0

Observaciones:

Rendimiento de acuerdo con el método indirecto de IEC 60034-1:2007 con pérdidas aleatorias de la carga determinadas de las medidas.

Ejecutante

Verificado

CASIBA 4710-CAR-STXL

Filtro de alta eficiencia para equipos recolectores de polvo y humos



- Diseñado para trabajar en forma vertical.
- De fácil instalación y reemplazo.
- Excelente performance energético.
- Óptimo desprendimiento del polvo.
- Mejor uso del medio filtrante y efectividad de filtrado.
- Mayor vida útil.
- Excelente performance energético.

▪ Descripción

Los cartuchos **CASIBA 4710-CAR-STXL** poseen un elevado desempeño y una larga vida útil gracias al uso eficiente de su medio filtrante. Es el más avanzado medio filtrante para ser utilizado en sistemas equipados con mecanismos de limpieza mediante pulsos secuenciales de aire comprimido a contracorriente.

▪ Características Constructivas

El nuevo **Poly Tech Media® MERV 11** (color verde) con fibras impregnadas con siliconas para elevar su resistencia a la humedad, es el más avanzado medio filtrante para ser utilizados en sistemas equipados con mecanismos de limpieza mediante pulsos secuenciales de aire comprimido a contra corriente, asegura una eficiencia del 99.95% en la retención por peso de partículas de 0,5 μ y mayores.

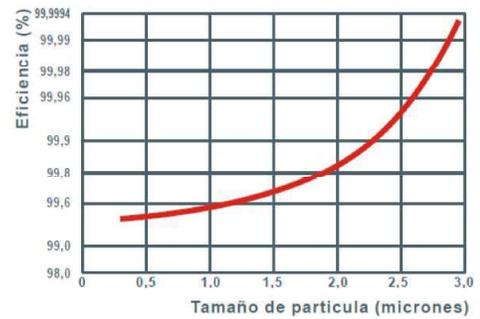
Constructivamente sus pliegues están separados en forma uniforme, esto es lo que permite obtener una más fácil y efectiva limpieza, baja pérdida de carga y una larga vida útil.

El cordón helicoidal exterior y su tubo interno de metal desplegado, aseguran la inmovilidad del medio filtrante y al mismo tiempo una elevada elasticidad en el momento de su limpieza neumática.

□ Pérdida de carga Vs. Caudal



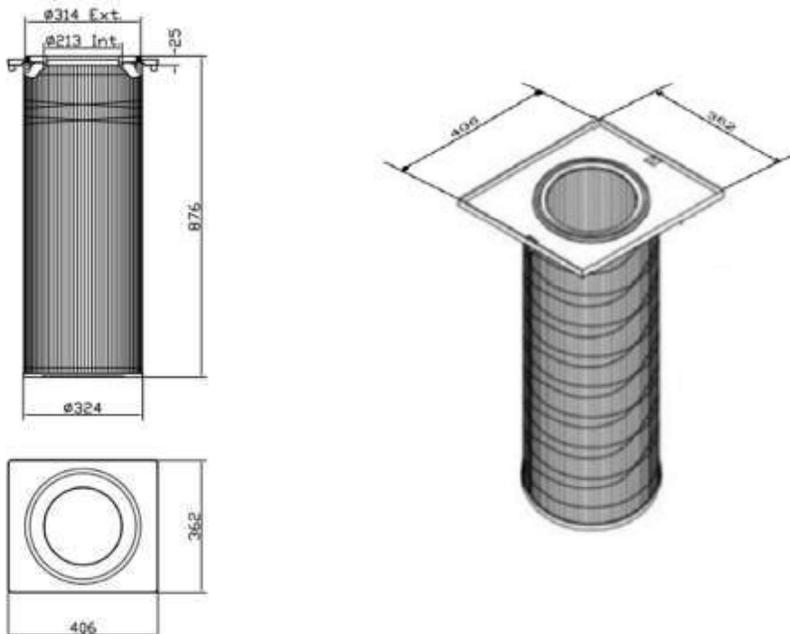
□ Eficiencia de retención



▪ **Especificaciones Técnicas**

- Eficiencia: 99,99% en la retención de partículas de 0,5 μ y mayores determinado por peso. Índice MERV 11 ASHRAE 52.2
- Permeabilidad al aire: 457-640 m³/m³h a 125 Pa.
- Resistencia al estallido: Mullen Burst (SECO) 2,8 Bar |(AIM) 1,4 bar Mínimo
- Sello: Burlete piramidal con ranura de encastre inyectado en una única pieza.
- Cabezal de sujeción y tapa: Construidos en chapa de acero pregalvanizada en usina calidad comercial.
- Temperatura de operación: 71°C
- Temperatura máxima: 82°C (Durante breves y esporádicos Períodos de tiempo)

▪ **Dimensiones Generales (en mm)**



▪ **Aplicaciones Frecuentes**

- Procesos de granallado y de arenado.
- Transporte neumático de polvos.
- Aplicación de metales por spray a la llama.
- Recorte de papel y textiles.
- Control de Humos de soldadura.
- Polvos farmacéuticos.
- Operaciones de lijado y pulido.
- Corte de metales por plasma.
- Manufactura de fibra de vidrio.
- Fundiciones de metales.
- Molienda de minerales.
- Carga y descarga de cereales.
- Aplicación de desmoldantes.
- Fraccionamiento y molienda de talco.
- Fraccionamiento y pesado de ingredientes.
- Pigmentos y otros materiales tóxicos.
- Emisiones de tóner y negro de humo.
- Fraccionamiento y descarga de agroquímicos.

▪ **Cómo especificar**

Filtro rígido de alta eficiencia MERV 11, marca CASIBA modelo 4710-CAR-STXL para ser usado en sistemas de filtrado y recolección de polvo con sistema de sacudido y limpieza mediante pulsos secuenciales de aire comprimido a contracorriente.

Todos los datos y/o valores que están incorporados en este documento son exclusivamente de referencia. Para mayor información contáctese con nuestro Departamento Técnico. Asegúrese de estar utilizando la revisión actualizada del documento. Casiba S.A. actualiza en forma continua sus productos, conforme se van sucediendo los avances tecnológicos. La última revisión la encontrará en el www.casiba.ar

REV. 1 – JUN/2013



SLR

Bomba Lobular Rotativa



APLICACIÓN

La bomba SLR es una bomba lobular rotativa de desplazamiento positivo y diseño sanitario para instalaciones de las industrias lácteas, alimentarias, bebidas, cosmética, farmacéutica y química fina.

Es una bomba ideal para manejar todo tipo de fluidos tanto de baja como de alta viscosidad y para cubrir necesidades de filtración y embotellaje. Los productos que contienen sólidos delicados, como el caso de cuajadas, se pueden bombear sin dañarlos gracias a unos lóbulos de diseño especial.

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS

La bomba lobular rotativa SLR es una bomba eje libre. Está constituida principalmente por un cuerpo con tapa fabricadas en microfusión de acero inoxidable, unos rotores en forma trilobular que llevan una fijación de diseño sanitario.

La bomba lobular SLR está equipada con un cierre mecánico simple externo, equilibrado y de diseño sanitario C/ SiC/EPDM. En aplicaciones donde sea necesario también se puede utilizar otros materiales.

La bomba está autorizada para incorporar el símbolo 3-A.

Nota: Consultar las opciones de la bombas autorizadas para incorporar el símbolo 3-A.



Standard Number 02-12

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Materiales

Piezas en contacto con el producto	1.4404 (AISI 316L)
Soporte de rodamientos	GG 25
Juntas en contacto con el producto	EPDM

Cierre mecánico

Parte giratoria	Carburo de silicio (SiC)
Parte estacionaria	Grafito (C)
Juntas	EPDM

Acabado superficial

Interno	Ra ≤ 0,8 µm
Externo	Mate

Conexiones

DIN 11851

Limites de operación

Presión máxima de trabajo	1600 kPa (16 bar)	232 PSI
Temperatura máxima trabajo (EPDM)	-10°C a 120°C	14°F a 248°F
Temperatura, tiempo máximo limpieza SIP	140°C durante 30 min	284°F

Bomba	Volumen a 100 rev. [l]	Caudal máximo [m³/h]	Presión máxima diferencial [bar]	Velocidad máxima [rpm]
SLR 0-10	1,03	0,6	10	950
SLR 0-20	2,1	1,2	10	950
SLR 0-25	3,0	1,7	5	950
SLR 1-25	10,0	5,7	10	950
SLR 1-40	13,9	7,9	5	950
SLR 2-40	23,4	13,3	10	950
SLR 2-50	30,1	17,1	5	950
SLR 3-50	67,7	29,3	10	720
SLR 3-80	95,3	41,2	5	720
SLR 4-100	217,2	52,1	8	400
SLR 4-150	321,2	77,2	5	400
SLR 5-125	554,7	133,1	8	400
SLR 5-150	662,2	158,9	5	400

OPCIONES

Cierre mecánico en SiC/SiC o TuC/SiC.

Además del cierre mecánico simple, están disponibles otros tipos de obturación: cierre refrigerado (quench), cierre doble, junta de labios (FPM o PTFE), estopada, junta tórica.

Juntas en FPM o PTFE.

Válvula de seguridad en tapa frontal o by-pass exterior.

Lóbulos de cuña.

Cámara de calefacción.

Bote aislamiento.

Soporte vertical.

Boca rectangular.

Varios tipos de accionamientos y protecciones (motoreductor con posibilidad de variador de frecuencia, motovariador de poleas o mecánicos).

Carretilla y/o cuadro eléctrico.

Conexiones Clamp, SMS, RJT, etc.

Disponible en versión ATEX.

OPCIONES BOMBA AUTORIZADA 3A

Conexiones: CLAMP-OD, CLAMP-DIN, DIN11864.

Obturación: cierre mecánico simple.

Materiales del cierre mecánico: C/SiC y SiC/SiC.

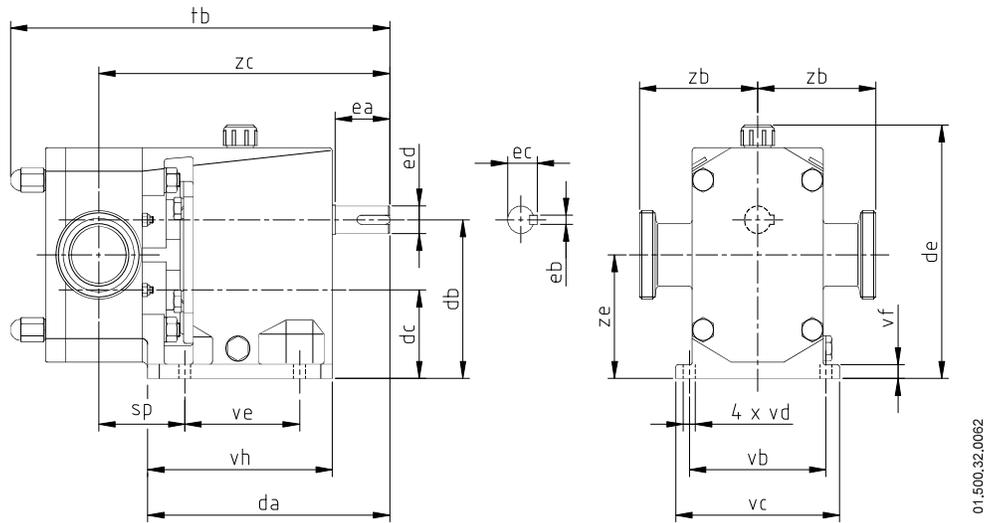
Juntas tóricas: EPDM y FPM.

Soporte: horizontal y vertical.

Drenaje: vertical Clamp-OD.

DIMENSIONES

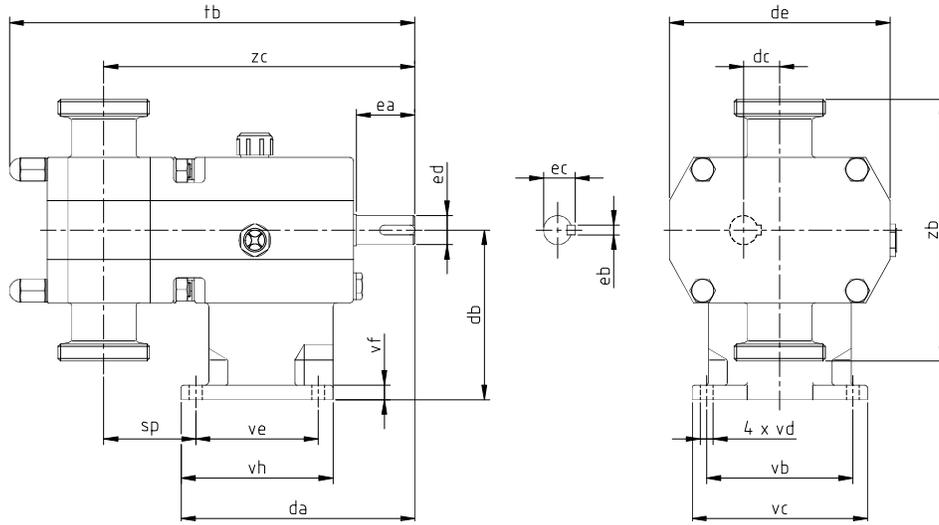
Bomba	DN	DIN 11851	SMS	CLAMP OD
		zb		
SLR 0-10	10 / 1/2"	64,0	-	70,0
SLR 0-20	20 / 3/4"	67,0	-	77,0
SLR 0-25	25 / 1"	72,0	62,0	72,0
SLR 1-25	25 / 1"	94,5	91,5	94,0
SLR 1-40	40 / 1/2"	99,5	100,0	99,0
SLR 2-40	40 / 1/2"	107,0	108,0	106,5
SLR 2-50	50 / 2"	108,0	108,0	106,0
SLR 3-50	50 / 2"	135,5	135,0	133,5
SLR 3-80	80 / 3"	137,5	139,5	133,5
SLR 4-100	100 / 4"	170,0	170,0	161,5
SLR 4-150	150 / 6"	180,0	-	168,0
SLR 5-125	125 / 5"	225,0	-	218,0
SLR 5-150	150 / 6"	230,0	-	218,0



01.500.32.0062

Bomba	da	db	dc	de	ea	eb	ec	ed	sp	tb	vb	vc	vd	ve	vf	vh	zc	ze	kg
SLR 0-10									61	253							213		11,5
SLR 0-20	160	80	40	138	30	5	16,2	14	64	261	102	118	9	50	9	65	216	60,0	12
SLR 0-25									68	269							220		13
SLR 1-25									64	280							218		16
SLR 1-40	187	112	62	186	40	6	21,6	19	70	292	115	135	9	85	10	145	224	87,0	17
SLR 2-40									74	337							261		26
SLR 2-50	221	140	78	224	50	8	27,0	24	80	349	125	150	11	105	12	169	267	109,0	28
SLR 3-50									91	430							348		61
SLR 3-80	297	190	97	289	80	10	41,4	38	101	452	170	210	13	130	14	214	360	143,5	65
SLR 4-100									92	627							505		150
SLR 4-150	433	240	120	366	110	16	58,9	55	117	677	260	290	18	280	15	320	530	180,0	165
SLR 5-125									118	793							660		375
SLR 5-150	567	350	178	508	140	18	64,3	60	130	818	380	420	18	373	29	423	672	264,0	395

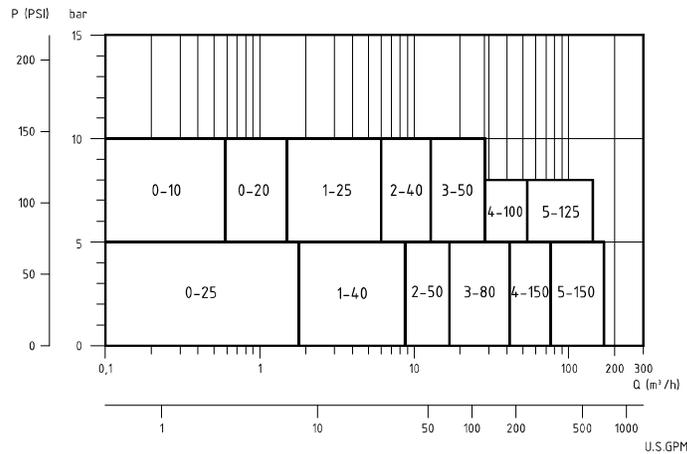
DIMENSIONES CON SOPORTE VERTICAL



01.500.32.0063

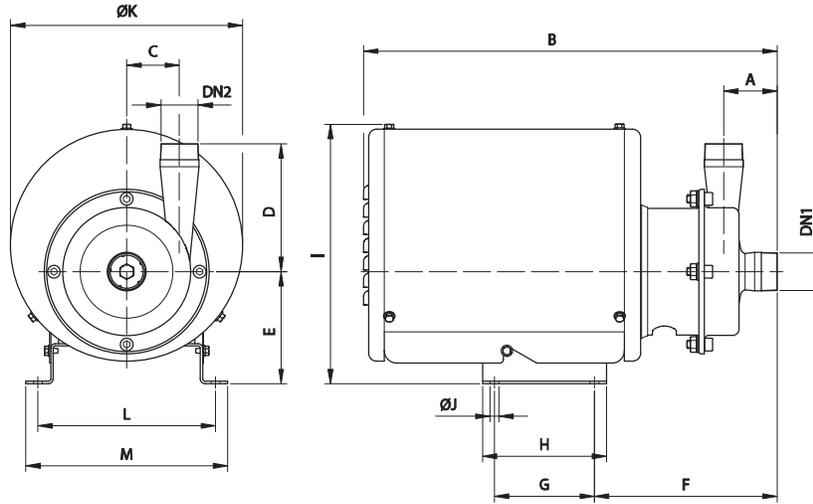
Bomba	da	db	dc	de	ea	eb	ec	ed	sp	tb	vb	vc	vd	ve	vf	vh	zc	kg
SLR 0-10									61	253							213	11,5
SLR 0-20	160	80	20	115	30	5	16,2	14	64	261	102	118	9	50	9	65	216	12
SLR 0-25									68	269							220	13
SLR 1-25	165	112	25	160	40	6	21,6	19	64	280	115	135	9	85	10	105	218	16
SLR 1-40									70	292							224	17
SLR 2-40	200	140	31	190	50	8	27,0	24	74	337	125	150	11	105	12	130	261	26
SLR 2-50									80	349							267	28
SLR 3-50	280	190	46,5	250	80	10	41,4	38	90	430	170	210	13	130	14	170	347	61
SLR 3-80									101	452							359	65
SLR 4-100	433	225	60	330	110	16	58,9	55	92	627	260	345	18	280	10	320	505	150
SLR 4-150									117	677							530	165
SLR 5-125	567	280	86	470	140	18	64,3	60	118	793	380	500	18	373	28	423	660	375
SLR 5-150									130	818							672	395

ÁREA DE SELECCIÓN



01.500.32.0064

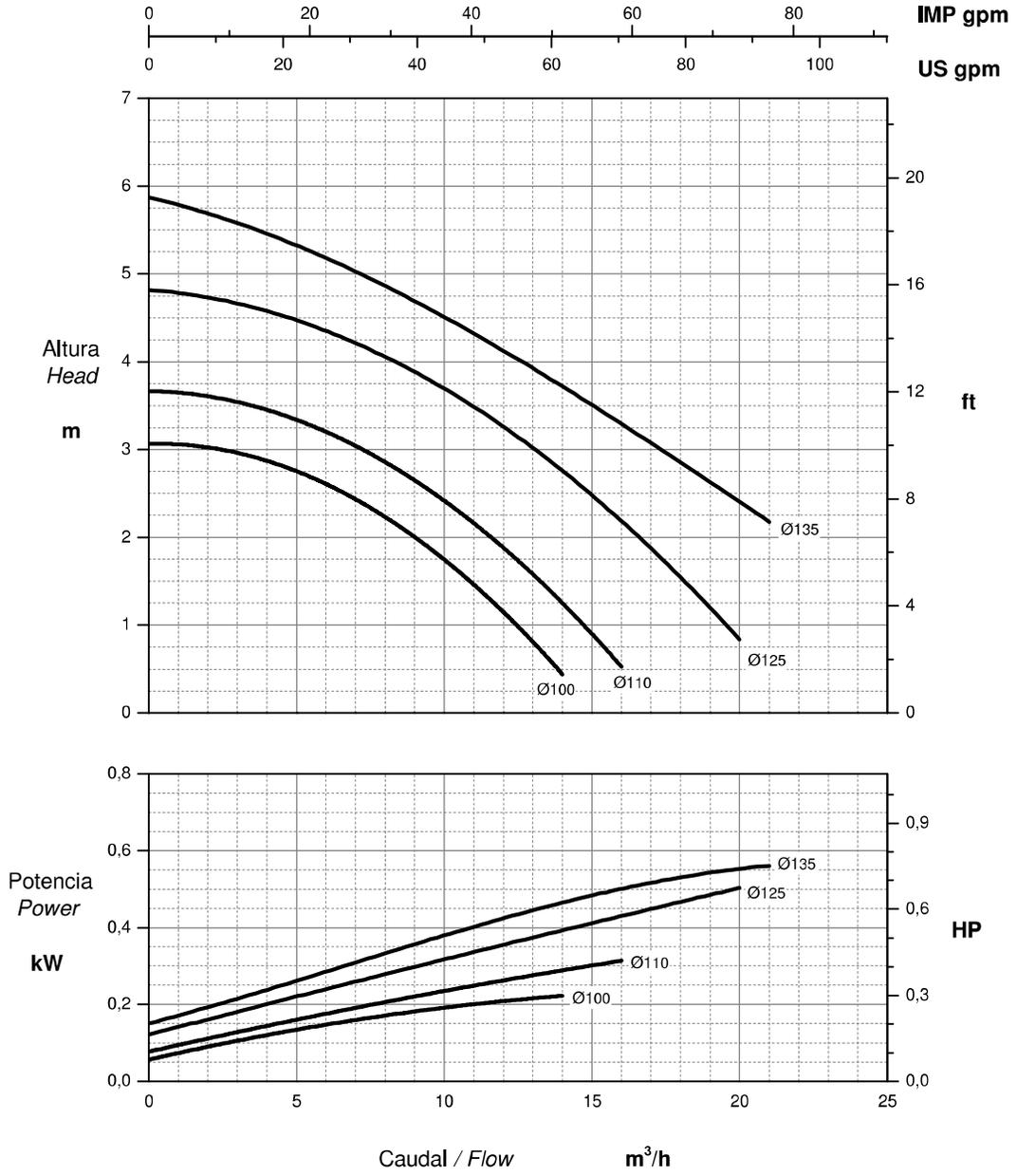
I Dimensiones Estampinox EFI con recubrimiento



Tipo bomba	Motor	kW	rpm	DN1	DN2	A	B	C	D	E	F	G	H	I	ØJ	ØK	L	M	kg
EFI 0	71	0,25	1450	R 1	R 3/4	60	430	36	100	115	195	90	110	260	7	230	182	202	11
	71	0,37	2900			430	115			195	90	110	260	7	230	182	202	11	
EFI 1	80	0,55	1450	R 1 1/2	R 1	64	500	48	110	130	206	125	155	314	11	290	222	252	17
	80	0,75	2900			500	130			206	125	155	314	11	290	222	252	18	
EFI 2	90S	1,1	1450	R 1 1/2	R 1 1/2	67	517	66	160	140	229	125	155	334	11	290	222	252	24
	90L	2,2	2900			517	140			229	125	155	334	11	290	222	252	26	
EFI 3	100	2,2	1450	R 2	R 2	70	600	92	192	160	253	140	170	375	13	350	278	308	39
	112	4	600			172	260			140	170	388	13	350	278	308	44		
	112	5,5	2900			600	172			260	140	170	388	13	350	278	308	48	
	132S	7,5	730			192	302			178	214	425	13	400	317	347	78		

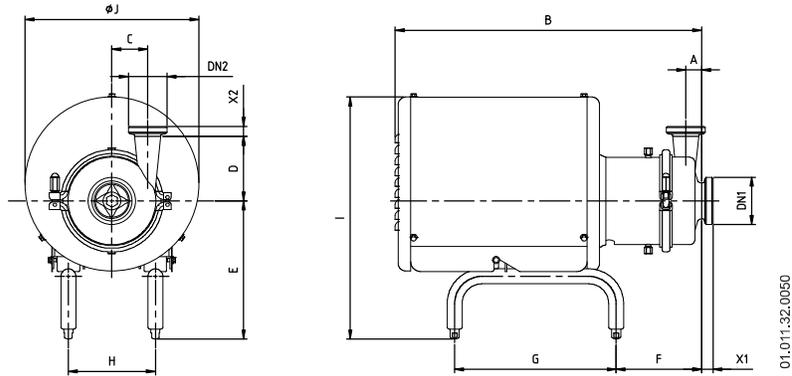


 <p>INOXPA[®]</p> <p>CURVAS CARACTERÍSTICAS PUMP PERFORMANCE CHARACTERISTICS</p>	Rodete / Impeller Abierto / Opened	Ø Boca asp. / Pump inlet 1 1/2"	Bomba / Pump ESTAMPINOX EFI 2
	Número de palas / Blade number 5	Ø Boca imp. / Pump outlet 1 1/2"	
	Ø Max. rodete / Ø Max. impeller 135 mm	Ø Min. rodete / Ø Min. impeller 100 mm	Velocidad / Speed 1450 rpm



Tolerancia según ISO 9906:1999 Anexo A / Permissible tolerance ISO 9906:1999 Annex A
Los datos hacen referencia a agua limpia a 20°C / Performance data refer to clear water at 20°C

DIMENSIONES MR



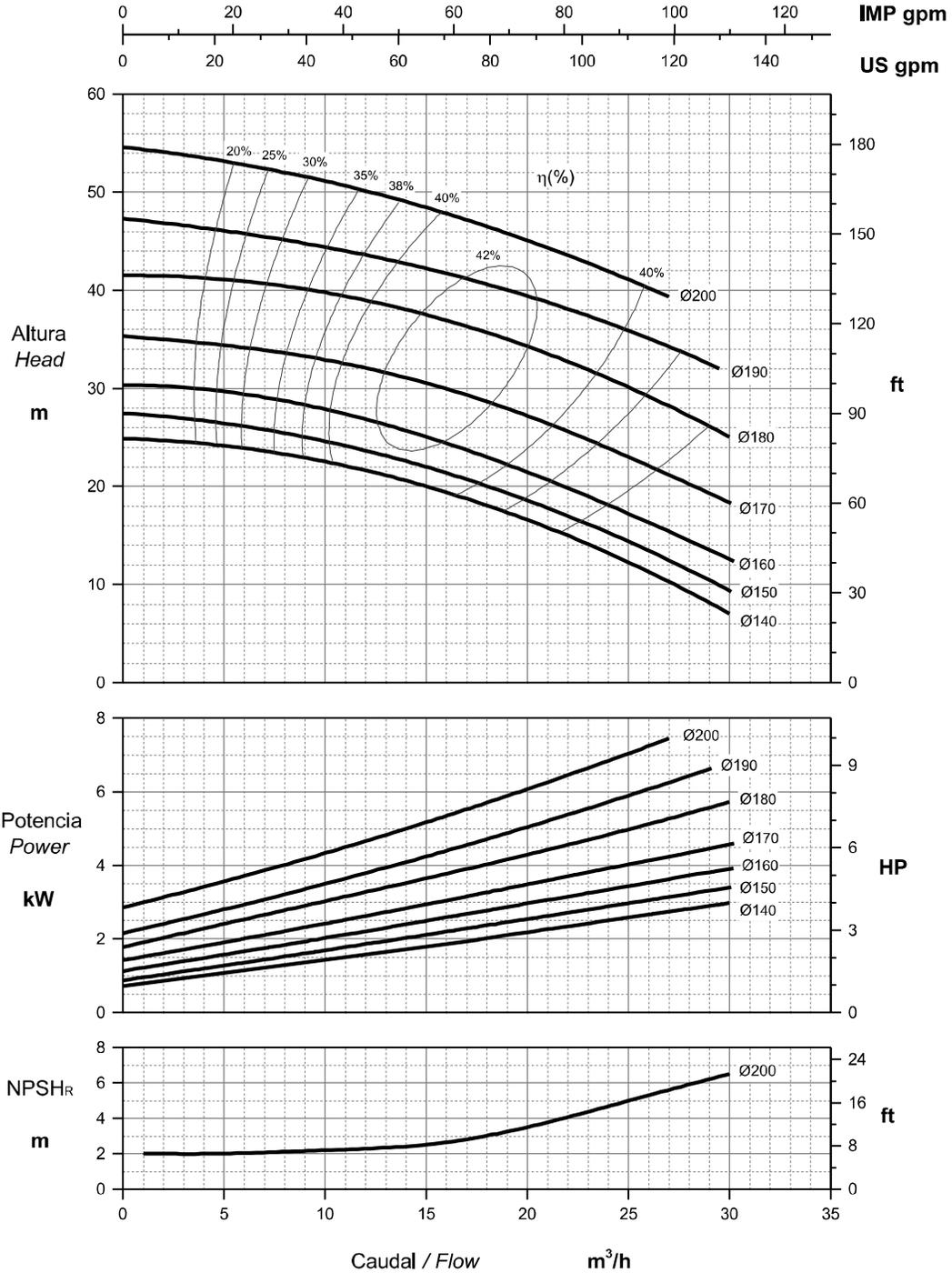
Bomba	DIN 11851					SMS					CLAMP OD				
	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D	DN1	DN2	X ₁	X ₂	D
SE-15	40	32	26	22	78	38	38	23	23	78	1½"	1½"	14	14	78
SE-20	50	40	23	20	120	51	38	23	23	102	2"	1½"	21	29	102
SE-26	65	50	23	20	130	76	51	27	23	130	3"	2"	29	15	130
SE-28	40	40	33	27	138	38	38	23	23	108	1½"	1½"	28	29	108
SE-35	65	50	26	24	151	76	51	27	23	134	3"	2"	29	29	134
SE-36	100	65	38	27	155	104	76	30	27	155	4"	3"	22	29	155

Bomba	Motor				A	B	C	E	F	G	H	I	ØJ	kg	
	Tamaño	kW	rpm												
SE-15	A	0,25	1450		29	443	55	203	116	250	112	350	230	16	
		0,37												17	
		0,55	2950											24	
	B	0,75			74	532	217	152	275	132	405	132	415	290	26
		1,1													30
		1,5													32
SE-20	C	1,1	1450		32	535	74	217	162	275	132	415	290	31	
		1,5												33	
		2,2	2950											45	
	D	3			106	610	266	160	325	175	480	175	490	350	51
		4													52
		5,5													58
SE-26	E	5,5			72	617	72	278	173	325	175	490	350	73	
		7,5												81	
		1,1	1450											38	
	C	1,5			32	528	106	227	154	275	132	415	290	37	
		2,2												39	
		3	2950											50	
SE-28	D	4			32	605	106	266	151	325	175	480	350	57	
		5,5												63	
		7,5												78	
	E	7,5			72	733	106	293	185	375	216	530	400	400	86
		5,5													86
		1,1	1450												38



CURVAS CARACTERÍSTICAS
PERFORMANCE CURVES

Rodete / Impeller Abierto / Opened	Ø Boca asp. / Pump inlet DN-40	Bomba / Pump SE-28
Número de palas / Blade number 5	Ø Boca imp. / Pump outlet DN-40	
Ø Máx. rodete / Ø Max. impeller 200 mm	Ø Min. rodete / Ø Min. impeller 140 mm	Velocidad / Speed 2900 rpm



Los datos hacen referencia a agua limpia a 20°C / Performance data refer to clear water at 20°C

Tolerancia según ISO 9906:1999 Anexo A / Permissible tolerance ISO 9906:1999 Annex A

ICF Performance

Size 7 LS/WF

Wheel Diameter **12-1/4"**
 Inlet Diameter **7"**
 Outlet Area **0.267 sq. ft.**

RPM Limits @70F

SQI WF

Wheel	5000	4850
Shaft	4200	5574

CFM	OV FPM	2' SP		3' SP		4' SP		5' SP		6' SP		7' SP		8' SP		10' SP		12' SP		14' SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP												
320	1200	1581	20	1910	30	2192	42	2442	54												
374	1400	1607	23	1929	34	2207	47	2454	60	2680	74	2889	89								
427	1600	1639	26	1952	39	2225	52	2470	67	2693	82	2900	97	3094	1.13						
481	1800	1678	31	1981	44	2248	58	2489	74	2710	90	2915	1.06	3107	1.23	3460	1.59				
534	2000	1722	35	2015	50	2275	65	2512	81	2729	96	2932	1.16	3122	1.34	3473	1.72	3792	2.11	4066	2.53
587	2200	1771	40	2054	56	2308	72	2539	89	2753	1.07	2952	1.26	3140	1.45	3488	1.85	3805	2.26	4098	2.70
641	2400	1824	46	2098	63	2344	80	2570	98	2780	1.17	2976	1.36	3162	1.56	3505	1.98	3820	2.42	4111	2.87
694	2600	1881	53	2146	71	2385	89	2605	1.08	281.0	1.27	3003	1.48	3186	1.69	3526	2.22	3837	2.58	4126	3.05
748	2800	1940	60	2197	79	2429	98	2644	1.18	2845	1.39	3034	1.60	3214	1.82	3549	2.27	3857	2.75	4144	3.24
801	3000	2003	68	2251	88	2477	1.08	2687	1.29	2883	1.51	3068	1.73	3245	1.96	3575	2.43	3879	2.93	4164	3.44
854	3200	2067	77	2308	98	2528	1.19	2732	1.42	2924	1.64	3106	1.87	3279	2.11	3604	2.60	3904	3.12	4185	3.65
908	3400	2134	86	2368	1.08	2582	1.31	2781	1.55	2969	1.78	3147	2.03	3316	2.27	3635	2.78	3932	3.31		
961	3600	2203	97	2429	1.20	2638	1.44	2832	1.69	3016	1.93	3190	2.19	3356	2.44	3670	2.97	3962	3.52		
1015	3800	2274	1.09	2493	1.33	2696	1.58	2886	1.83	3065	2.09	3236	2.36	3399	2.63	3707	3.17	3995	3.74		
1068	4000	2345	1.21	2559	1.47	2756	1.73	2942	1.99	3117	2.26	3285	2.54	3445	2.82	3748	3.39	4031	3.97		
1121	4200	2419	1.35	2626	1.61	2819	1.89	3000	2.16	3172	2.45	3335	2.73	3493	3.02	3790	3.61	4069	4.22		
1175	4400	2493	1.50	2695	1.78	2883	2.06	3060	2.34	3228	2.64	3388	2.94	3543	3.24	3835	3.85	4109	4.48		
1228	4600	2569	1.66	2765	1.95	2948	2.24	3121	2.54	3286	2.84	3443	3.15	3595	3.46	3882	4.10	4152	4.75		
1282	4800	2645	1.83	2837	2.13	3016	2.44	3185	2.74	3346	3.06	3500	3.38	3649	3.70	3931	4.36	4196	5.03		
1335	5000	2722	2.02	2909	2.33	3084	2.64	3249	2.96	3407	3.29	3558	3.62	3704	3.96	3982	4.64				
1388	5200	2800	2.22	2983	2.54	3154	2.87	3315	3.20	3470	3.53	3618	3.88	3761	4.22	4034	4.93				
1442	5400							3383	3.45	3534	3.79	3680	4.14	3820	4.50	4088	5.23				
1495	5600							3452	3.71	3600	4.07	3743	4.43	3881	4.80	4144	5.54				
1549	5800							3521	3.99	3667	4.36	3807	4.73	3942	5.11						
1602	6000							3592	4.28	3735	4.66	3872	5.04	4005	5.43						
1655	6200							3663	4.59	3804	4.98	3939	5.38	4069	5.78						
1709	6400							3736	4.92	3874	5.32	4006	5.73								

On this size fan, V-belt driven operation above 3600 RPM not recommended. The performance shown is for fan with outlet duct. V-belt drive loss not included. NOTE: The performance tables above are for LS and WF wheels.

Size 9 LS/WF

Wheel Diameter **15-5/8"**
 Inlet Diameter **9"**
 Outlet Area **0.43 sq. ft.**

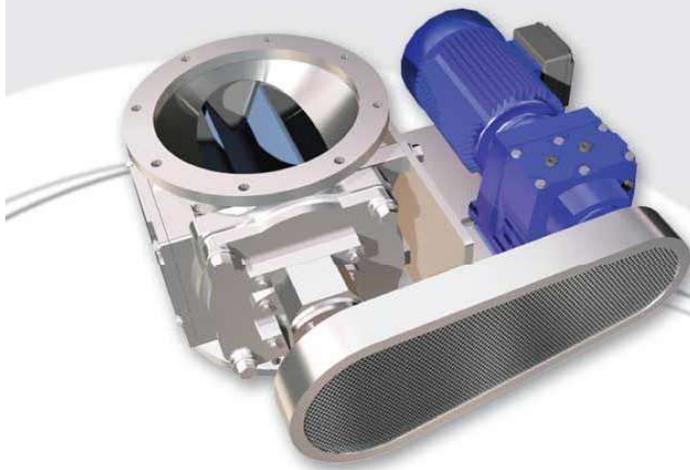
RPM Limits @70F

SQI WF

Wheel	4645	3790
Shaft	3656	3989

CFM	OV FPM	2' SP		3' SP		4' SP		5' SP		6' SP		8' SP		10' SP		12' SP		14' SP		16' SP	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP										
516	1200	1239	32	1497	49	1718	68	1915	87												
602	1400	1259	37	1511	55	1730	76	1924	97	2101	1.20										
689	1600	1284	42	1530	63	1744	85	1936	1.08	2111	1.32	2425	1.83								
774	1800	1314	49	1552	71	1761	94	1951	1.19	2124	1.45	2435	1.99	2712	2.57						
860	2000	1348	57	1578	80	1783	1.05	1968	1.31	2139	1.58	2447	2.16	2722	2.77	2972	3.42	3204	4.09		
946	2200	1386	65	1608	90	1807	1.16	1989	1.44	2157	1.73	2461	2.34	2734	2.98	2982	3.66	3212	4.36	3427	5.09
1032	2400	1427	74	1642	1.01	1835	1.29	2013	1.58	2178	1.88	2478	2.52	2747	3.20	2994	3.91	3223	4.64	3436	5.40
1118	2600	1470	85	1679	1.13	1867	1.43	2040	1.73	2201	2.05	2496	2.72	2763	3.43	3008	4.17	3234	4.93	3447	5.73
1204	2800	1517	96	1718	1.27	1901	1.58	2070	1.90	2228	2.23	2518	2.93	2781	3.67	3023	4.44	3248	5.24	3459	6.06
1290	3000	1565	1.09	1760	1.41	1938	1.74	2103	2.08	2257	2.43	2542	3.16	2801	3.92	3040	4.72	3263	5.55	3473	6.41
1376	3200	1615	1.23	1804	1.57	1977	1.92	2138	2.28	2289	2.64	2568	3.40	2823	4.19	3059	5.02	3280	5.88	3488	6.77
1462	3400	1667	1.38	1850	1.74	2019	2.11	2176	2.48	2323	2.87	2597	3.66	2847	4.48	3080	5.34	3299	6.23	3504	7.15
1548	3600	1720	1.55	1898	1.93	2062	2.31	2215	2.71	2360	3.11	2628	3.93	2874	4.79	3104	5.67	3319	6.59	3523	7.54
1634	3800	1775	1.74	1948	2.13	2108	2.53	2257	2.94	2398	3.36	2661	4.22	2903	5.11	3129	6.03	3342	6.97	3543	7.95
1720	4000	1831	1.94	1999	2.35	2154	2.77	2300	3.20	2438	3.64	2696	4.53	2934	5.45	3156	6.40	3366	7.38	3565	8.38
1806	4200	1888	2.16	2051	2.58	2203	3.02	2345	3.47	2480	3.93	2733	4.86	2967	5.81	3186	6.79	3392	7.80	3589	8.83
1892	4400	1946	2.39	2105	2.84	2252	3.29	2391	3.76	2524	4.23	2771	5.20	3001	6.19	3217	7.20	3421	8.24	3615	9.31
1978	4600	2004	2.65	2159	3.11	2303	3.58	2439	4.07	2569	4.56	2812	5.56	3038	6.59	3250	7.63	3451	8.70		
2064	4800	2064	2.93	2215	3.41	2355	3.90	2488	4.40	2615	4.90	2853	5.94	3075	7.01	3284	8.09	3482	9.19		
2150	5000	2124	3.22	2271	3.72	2408	4.23	2538	4.75	2663	5.27	2896	6.35	3115	7.45	3320	8.56	3515	9.70		
2236	5200	2184	3.54	2328	4.06	2463	4.59	2590	5.12	2711	5.66	2941	6.77	3155	7.91	3358	9.06	3550	10.24		
2322	5400							2642	5.51	2761	6.07	2986	7.22	3197	8.39	3396	9.58	3586	10.79		
2408	5600							2695	5.93	2812	6.51	3033	7.69	3240	8.90	3437	10.13	3624	11.37		
2494	5800							2749	6.38	2864	6.97	3081	8.18	3285	9.43	3478	10.69				
2580	6000							2804	6.85	2917	7.46	3130	8.70	3330	9.98	3521	11.28				
2666	6200							2860	7.34	2970	7.97	3179	9.25	3377	10.56	3564	11.90				
2752	6400							2916	7.86	3025	8.51	3230	9.83	3424	11.17	3609	12.54				

On this size fan, V-belt driven operation above 3600 RPM not recommended. The performance shown is for fan with outlet duct. V-belt drive loss not included. NOTE: The performance tables above are for LS and WF wheels.



Se emplean generalmente como órganos de cierre y extracción de productos granulados o pulverulentos, evitando las fugas o entradas de aire.

VALVULAS ROTATIVAS

GENERALIDADES

- La función principal de una válvula rotativa o dosificador alveolar es la de regular el caudal de material entre 2 compartimientos o entre una cámara y la descarga, manteniendo un buen sello neumático.
- Principalmente usadas para mover materiales secos o granulados.
- En la filtración y colección de materiales pulverulentos son elementos de aplicación esencial para lograr la eficiencia adecuada en el funcionamiento de ciclones y colectores de mangas o de cartuchos.

OPCIONALES

- Ventana de inspección en el cuerpo
- Purga de aire
- Sensor de giro
- Mando directamente acoplado
- Revestimiento de cromo duro
- Doble punta de eje
- Prensa estopa separado del cuerpo

ROTORES STANDARD

- Se fabrican de distintos tipos de acuerdo a las diferentes aplicaciones para poder adaptarla a los variados usos industriales.
- Rotor cerrado o abierto de acero fundido, fundición gris, inoxidable o aluminio con paletas fijas o regulables en el mismo material.
- Rotores de capacidad reducida.
- Construidos en: acero, fundición gris, paletas de pvc, poliuretano o teflón.

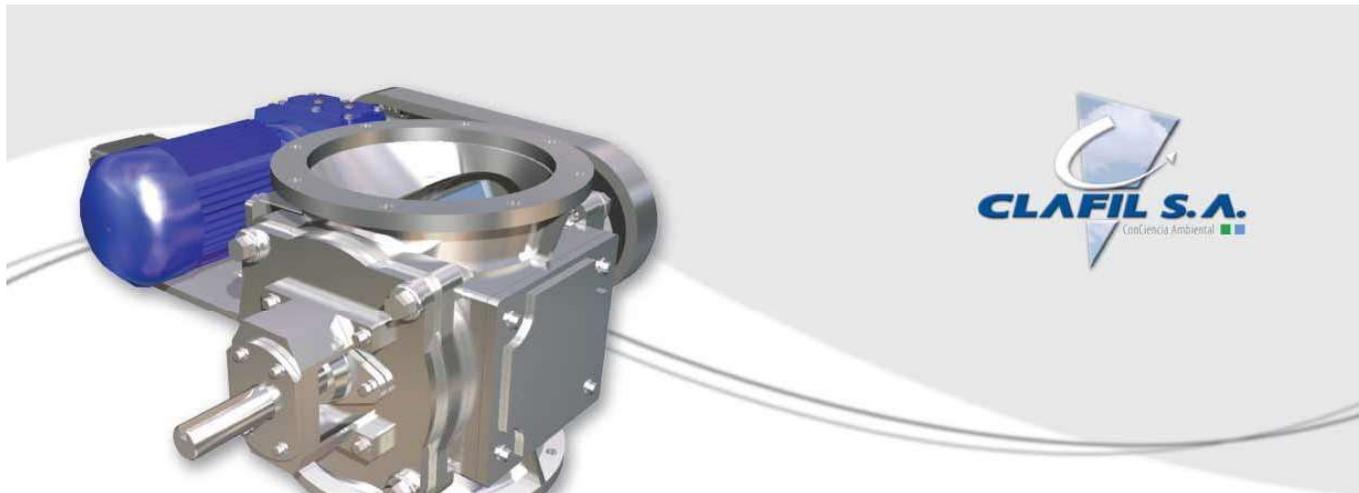
ESPECIFICACIONES

Construidas en:

- Fundición gris, Acero, Acero inoxidable o aluminio
- Diseñadas para servicio pesado y continuo.
- Rodamientos blindados en ambos extremos

TAMAÑOS

- Se dispone de diferentes modelos de 7 medidas de rotores 4", 6", 8", 10", 14", 16" y 18" con motor desde 0.33 HP a 10 HP
- De acuerdo al modelo elegido son aptas para trabajar en baja presión diferencial hasta 600 mm C-H₂O o en alta hasta 3500 mm C-H₂O.



VALVULAS ROTATIVAS

CAMPO DE APLICACION

- Colectores de polvo • Transporte Neumático
- Secadores por atomización • Ciclones
- Clasificadores centrífugos

ACCIONAMIENTO

- Acoplamiento con piñón y cadena • Motor-reductor
- Directo por sin fin y corona • Variador de velocidad
- A eje libre

CAPACIDADES

RPM	VR6-06	VR6-08	VR8-08	VR6-10	VR8-10	VR6-14	VR8-14
45	8.1	19.2	11.3				
40	7.4	17.5	10.2	34.1	19.9		
36	6.3	14.9	9.3	29	18.1		
30	5.3	12.5	7.5	24.4	14.6	50	38
28	5.1	12	7	23.4	13.6	47	35.5
25	4.3	10.3	6.3	20.1	12.3	42	31.1
20	3.6	8.6	5	16.8	9.7	34	25.5
18	3.2	7.5	4.5	14.6	8.8	30	23
10	1.7	4	2.5	7.8	4.8	17	12.5
5	0.8	2	1	3.9	1.9	8.5	6.5
2	0.3	0.7	0.5	1.3	0.9	3.5	2.5
1	0.2	0.4	0.25	0.8	0.5	1.7	1.4

Las capacidades están expresadas en m3/hora y son aproximadas. Para otros modelos no indicados en el presente cuadro consultar con nuestro departamento técnico.





MVE - Standard Range

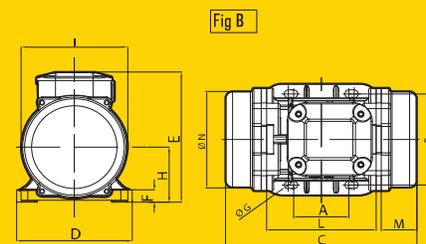
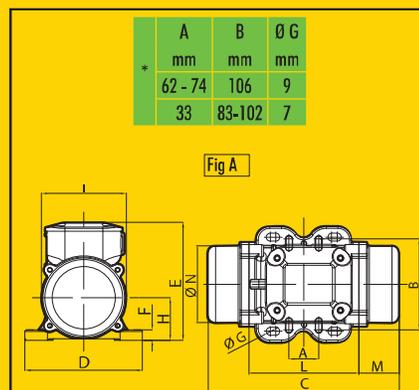
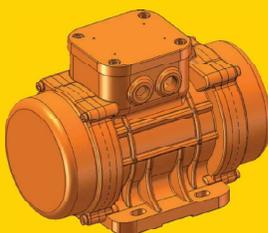
▶ 2 POLES SINGLE PHASE 3000 - 3600 rpm

- Ex - II3 D Ex tD A22 Tx IP66
- TUV NORD Statement Conformity Number TUV 05 ATEX 2768X
- Equipment and protective system intended for use in potentially explosive atmospheres (Zone 22) - Directive 94/9/EC
- Compliance with Essential Health and Safety Requirements
- EN 61241-10

TYPE	Mechanical Features			Electric Features					
	Working moment (*)	FC	Weight	Power Kw 50 Hz	Current		Temp. Class (°C)	Cable Glande	CAPACITOR 50Hz 230V
	Kgcm 50Hz	Kg 50Hz	Kg 50Hz		A max (Y) 50 Hz	Ia/In 50Hz			
MVE 60/3M	1.31	66	4.2	0.08	0.43	3.0	100	M16	3 µF
MVE 100/3M	1.96	98	4.6	0.1	0.54	3.0	100	M16	4 µF
MVE 200/3M	3.72	187	7.0	0.18	1.14	3,3	100	M20	8 µF
MVE 202/3M	3.72	187	7.2	0.18	1.14	3,3	100	M20	8 µF
MVE 300/3M	6.39	321	9.8	0.27	1.58	3.60	100	M20	12.5 µF

TYPE	Mechanical Features			Electric Features						
	Working moment (*)	FC	Weight	Power Kw 60 Hz	Current		Temp. Class (T)	Cable Glande	CAPACITOR 60Hz 115V	
	Kgcm 60Hz	Kg 60Hz	Kg 60Hz		A max (Y) 60 Hz	Ia/In 60Hz				
										115V
MVE 60/3M	0.98	71	4.2	0.09	1.03	3.0	T4	100	6.3 µF	
MVE 100/3M	1.31	95	4.6	0.11	1.3	3.0	T4	100	8 µF	
MVE 200/3M	2.61	189	7.0	0.21	2.62	3.30	T4	100	16 µF	
MVE 202/3M	2.61	189	7.2	0.21	2.62	3.30	T4	100	16 µF	
MVE 300/3M	4.46	323	9.8	0.28	3.43	3.50	T4	100	25 µF	

(*) = Working moment = 2 x static moment



When you need it
Where you need it

www.olivibra.com

CE Declaration of conformity "type B" according to:
- 2006/95/EC - 2004/108/EC - 2006/42/EC - EN 60034-1

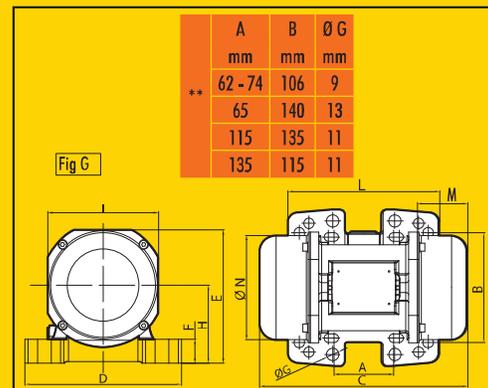
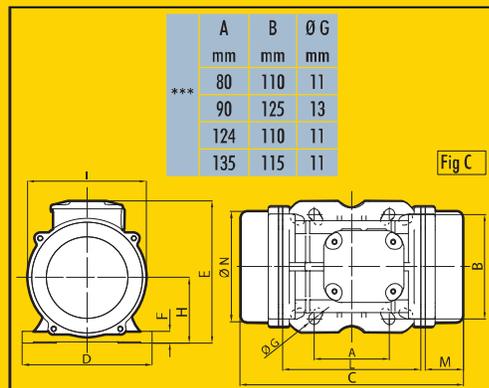


- Class II Div.2 Group F, G - T4 - NEMA 4
- Conform to UL 1836, UL1004 Cert. CSA C22.2 N°25,100,145
- Intertek ETL - SEMCO File Number 3177001



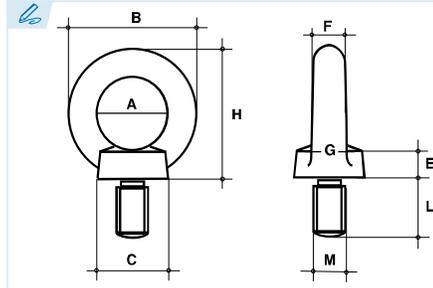
TYPE	Dimensional Features																
	FIG.	Size	C (mm)		M (mm)		A	B	Ø G	Holes	D	E	F	H	I	L	N
			50Hz	60Hz	50Hz	60Hz	(mm)	(mm)	(mm)	n°	(mm)						
MVE 60/3M	A	10	211		45	*	*	*	4	130	136	12	48	94	121	85	
MVE 100/3M	A	10	211		45	*	*	*	4	130	136	12	48	94	121	85	
MVE 200/3M	B	20	231		54	62-74	106	9	4	131	159	15	64	121	123	112	
MVE 202/3M	G	23	218		53	**	**	**	4	164	140	25	82	116	159	110	
MVE 300/3M	C	30	273		55	***	***	***	4	154	175	15	79	142	163	131	

NOTE: Dimensions with coarse degree of accuracy related to UNI 22768/1





DIN 580



ES EN FR PT

CMU Carga máxima de utilización
Working load limit
Charge maximale d'utilisation
Carga máxima de trabalho

Par de apriete máximo
Maximum tightening torque
Couple de serrage maximum
Binário de aperto máximo

Cáncamo de elevación macho

Lifting eye bolt
Anneau de levage mâle
Olhal com rosca exterior

Acero: C15E (0,025%-0,050% Al)
Steel: C15E (0,025%-0,050% Al)
Acier: C15E (0,025%-0,050% Al)
Aço: C15E (0,025%-0,050% Al)

Acabado cincado blanco
Galvanised finish
État de surface: zingué blanc
Acabamento zincado branco

Coefficiente de seguridad = 6
Safety factor = 6
Coefficient de sécurité = 6
Coeficiente de segurança = 6

Ref.	M	A	B	C	E	F	G	H	L	CMU 0° (Kg)	CMU 45° (Kg)	CMU 90° (Kg)	N.m _{max}	Kg
580-6	M6*	20	36	20	6	8	10	36	13	90	60	45	3,5	0,06
580-8	M8	20	36	20	6	8	10	36	13	140	100	70	8	0,06
580-10	M10	25	45	25	8	10	12	45	17	230	170	115	16	0,11
580-12	M12	30	54	30	10	12	14	53	20,5	340	240	170	28	0,17
580-14	M14*	30	54	30	10	12	14	53	20,5	500	350	250	45	0,17
580-16	M16	35	63	35	12	14	16	62	27	700	500	350	70	0,31
580-18	M18*	35	63	35	12	14	16	62	27	930	650	465	95	0,48
580-20	M20	40	72	40	14	16	19	71	30	1.200	860	600	135	0,48
580-22	M22*	40	72	40	14	16	19	71	30	1.500	1.050	750	182	0,48
580-24	M24	50	90	50	18	20	24	90	36	1.800	1.290	900	230	0,90
580-27	M27*	54	98	62	20	22	26	99	40	2.500	1.830	1.250	343	1,25
580-30	M30	60	108	65	22	24	28	109	45	3.200	2.300	1.600	465	1,70
580-33	M33*	60	108	65	22	24	28	109	45	4.200	3.050	2.100	632	1,90
580-36-400	M36	70	126	75	26	28	32	128	54	4.600	3.300	2.300	814	2,15
580-39	M39*	80	144	85	30	32	38	147	63	6.000	4.400	3.000	1.059	4,00
580-42-450	M42	80	144	85	30	32	38	147	63	6.300	4.500	3.150	1.304	4,15
580-45-450	M45*	90	166	100	35	38	46	168	68	7.800	5.500	3.900	1.638	6,10
580-48-500	M48	90	166	100	35	38	46	168	68	8.600	6.100	4.300	1.981	6,20
580-52-500	M52*	100	184	110	38	42	50	187	78	9.900	7.100	4.950	2.540	8,60
580-56-550	M56	100	184	110	38	42	50	187	78	11.500	8.200	5.750	3.000	8,80
580-64	M64	110	206	120	42	48	58	208	90	16.000	11.000	8.000	4.736	12,40
580-72	M72	140	260	150	50	60	72	260	100	20.000	14.000	10.000	6.913	22,50
580-80	M80	160	296	170	55	68	80	298	112	28.000	20.000	14.000	9.625	34,50
580-100	M100	180	330	190	60	75	88	330	130	40.000	29.000	20.000	19.613	47,80

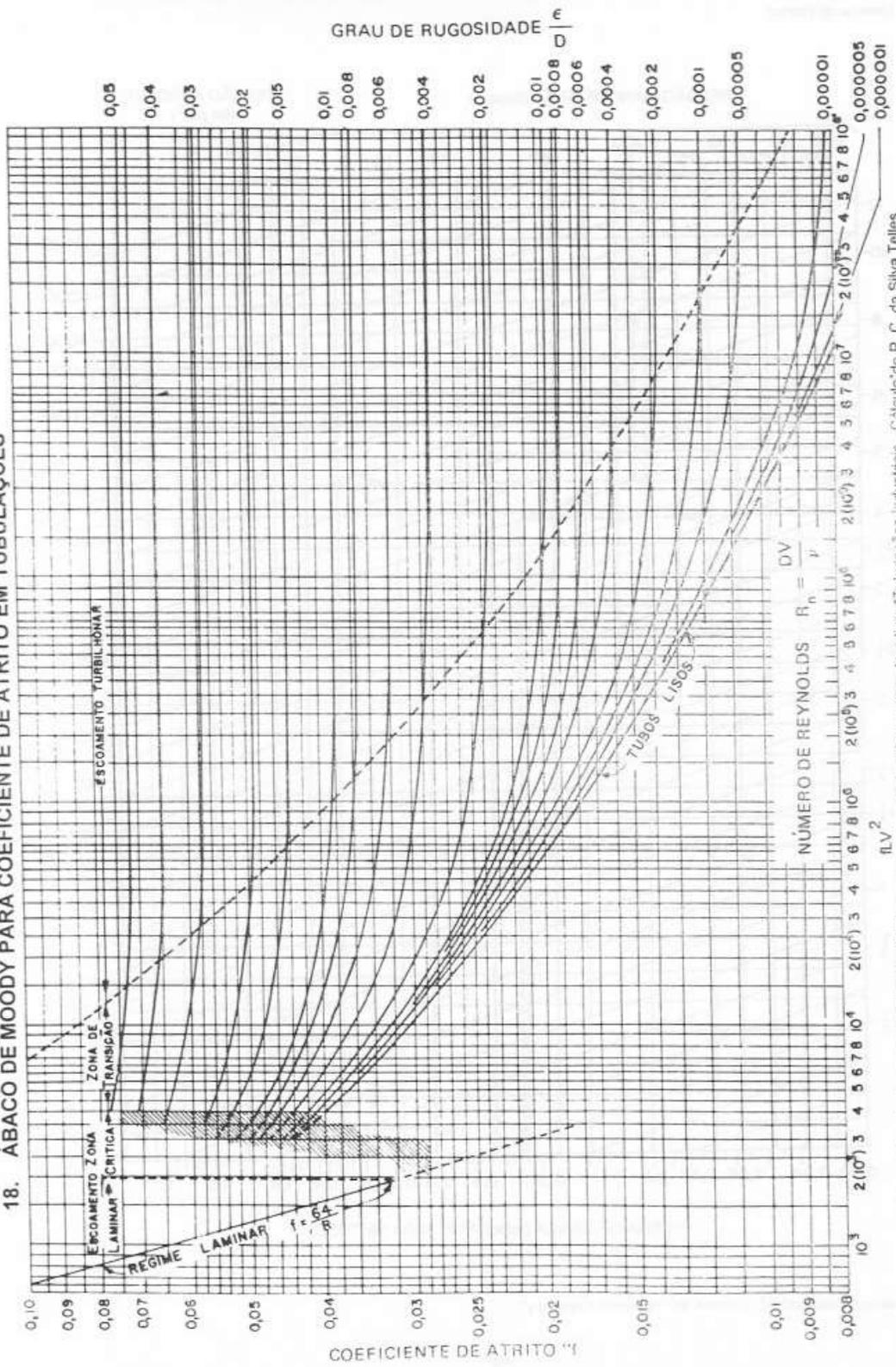
* Medidas fuera de norma DIN.
* Dimensions outside DIN standard.
* Dimensions hors norme DIN.
* Medidas fora da norma DIN.

Bajo solicitud podemos suministrar cáncamos con roscas especiales.
Other variants of the fixing axis available upon request.
Sur demande pas spéciaux.
Outras variantes de eixos disponíveis sobre pedido.

B.

Tablas y gráficas

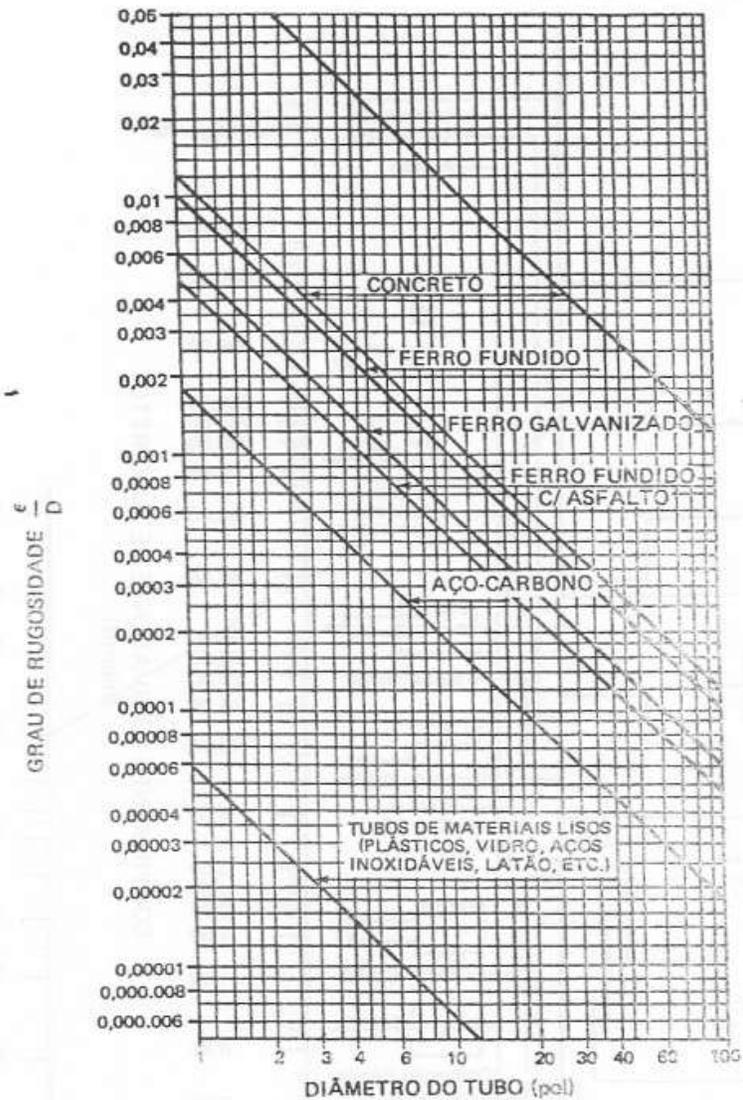
18. ÁBACO DE MOODY PARA COEFICIENTE DE ATRITO EM TUBULAÇÕES



Nota. A perda de carga é dada pela fórmula: $J = \frac{fLV^2}{2Dg}$ - veja sobre o assunto o livro "Tubulações Industriais - Cálculo de P. C. da Silva Telles.

Nessas fórmulas temos: D - diâmetro interno do tubo; ϵ - altura de maior irregularidade interna na parede do tubo; V - velocidade do fluido; ν - viscosidade cinemática do fluido; L - comprimento equivalente da tubulação; g - aceleração da gravidade. Pode ser empregado qualquer sistema de unidades que seja homogêneo.

19. GRAU DE RUGOSIDADE DE TUBOS

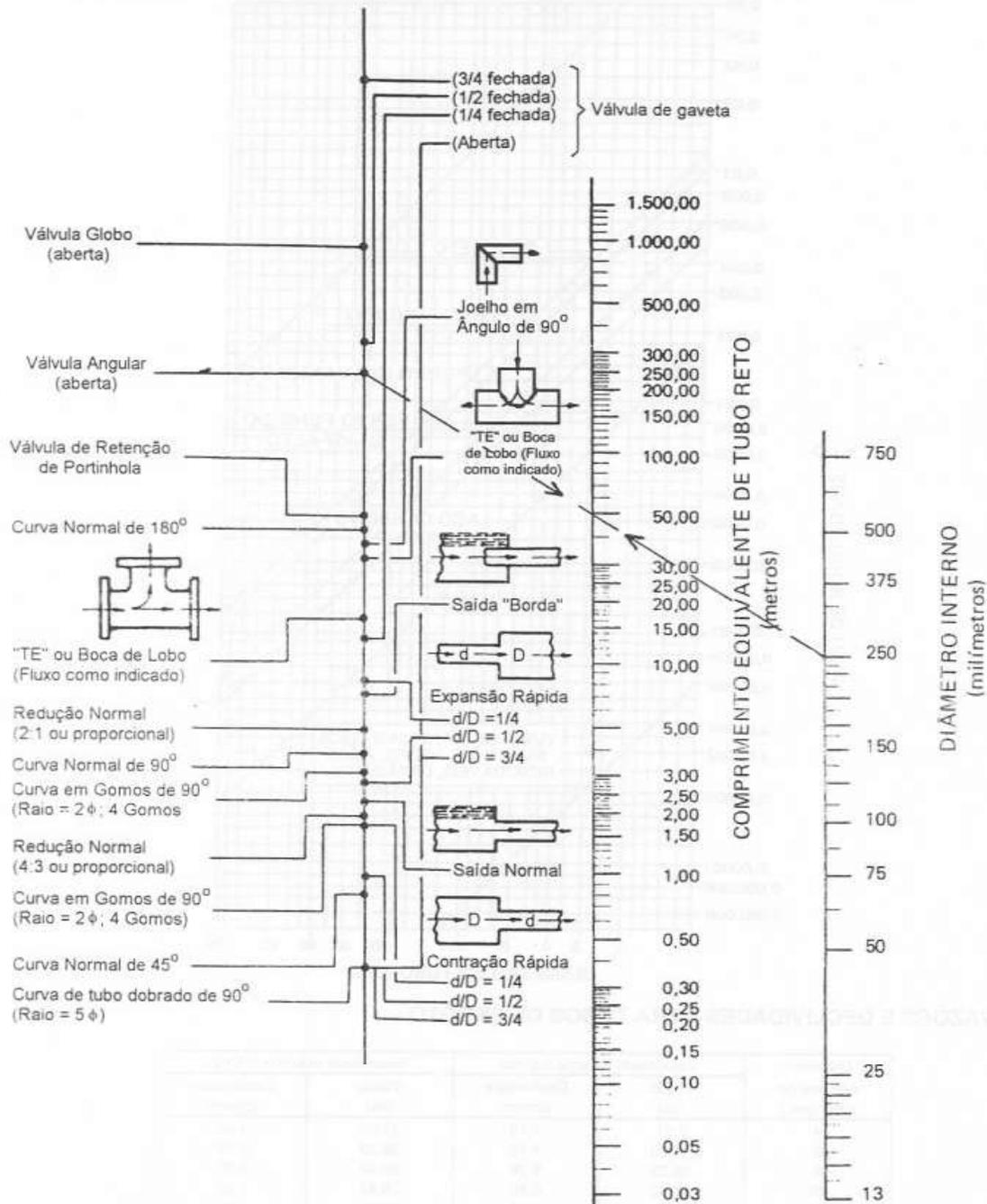


20. VAZÕES E DECLIVIDADES PARA TUBOS DE ESGOTO

Diâmetro nominal do tubo (pol.)	Velocidade mínima 0,9 m/s		Velocidade máxima 1,5 m/s	
	Vazão (l/s)	Declividade (cm/m)	Vazão (l/s)	Declividade (cm/m)
4	7,57	1,70	12,62	4,40
6	16,40	1,10	28,39	2,70
8	30,29	0,76	50,48	2,00
10	47,32	0,60	78,87	1,50
12	69,41	0,48	113,58	1,20
14	105,69	0,36	176,68	0,90
16	119,89	0,33	201,92	0,86
18	154,59	0,29	258,71	0,77
20	189,30	0,26	315,50	0,67
24	265,02	0,20	479,56	0,60

Nota: Os valores acima são obtidos da fórmula de Manning, e supõe os tubos com seção plana.

21. PERDA DE CARGA EM VÁLVULAS, CONEXÕES E OUTROS ACIDENTES COMPRIMENTOS EQUIVALENTES



- Nota:
1. Veja Tabela 5, para a correspondência entre os "DIÂMETROS NOMINAIS" e os "DIÂMETROS INTERNOS" dos tubos. Observe-se que para tubos de grande espessura esses dois valores diferem bastante entre si.
 2. As "CURVAS NORMAIS" têm o raio médio igual a uma vez e meia o "DIÂMETRO NOMINAL".
 3. Os valores de perda de carga para as válvulas são valores médios. A perda de carga verdadeira poderá variar bastante dependendo do fabricante da válvula.

ANEXO 1: Tablas de las propiedades del aire a 1 atm de presión

ÇENGEL, Yunus A. y John M. CIMBALA, “Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones”, 1ª edición, McGraw-Hill, 2006. Tabla A-9.

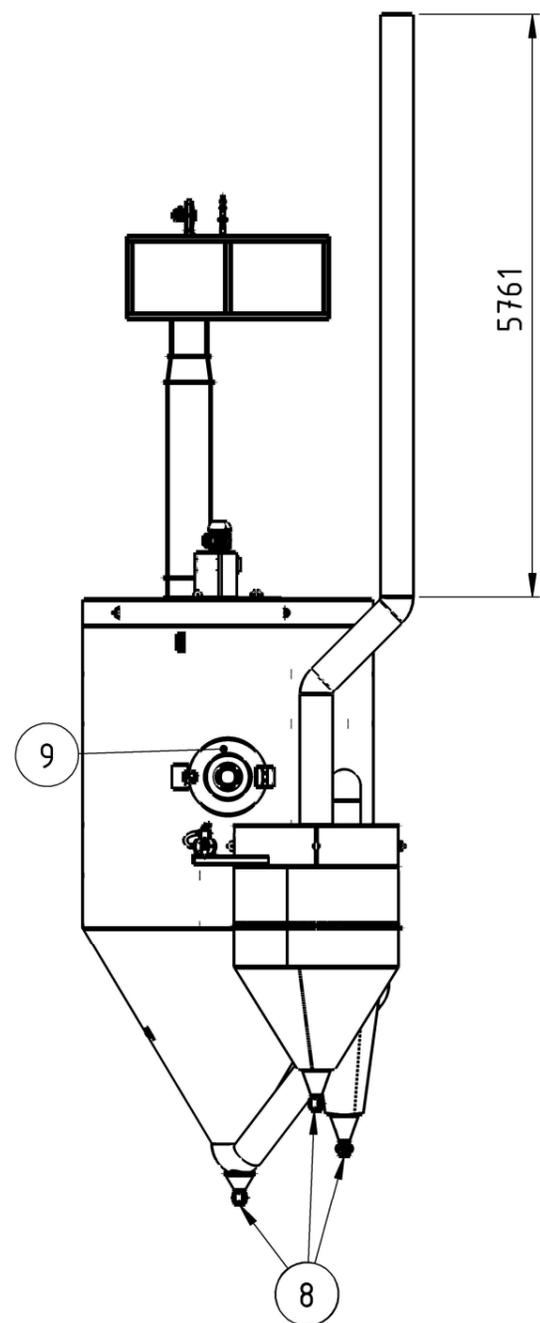
Propiedades del aire a 1 atm de presión							
Temp. <i>T</i> , °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p J/kg · K	Conductividad térmica k , W/m · K	Difusividad térmica α , m ² /s	Viscosidad dinámica μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para gases ideales, c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen ν y α entre P (en atm).

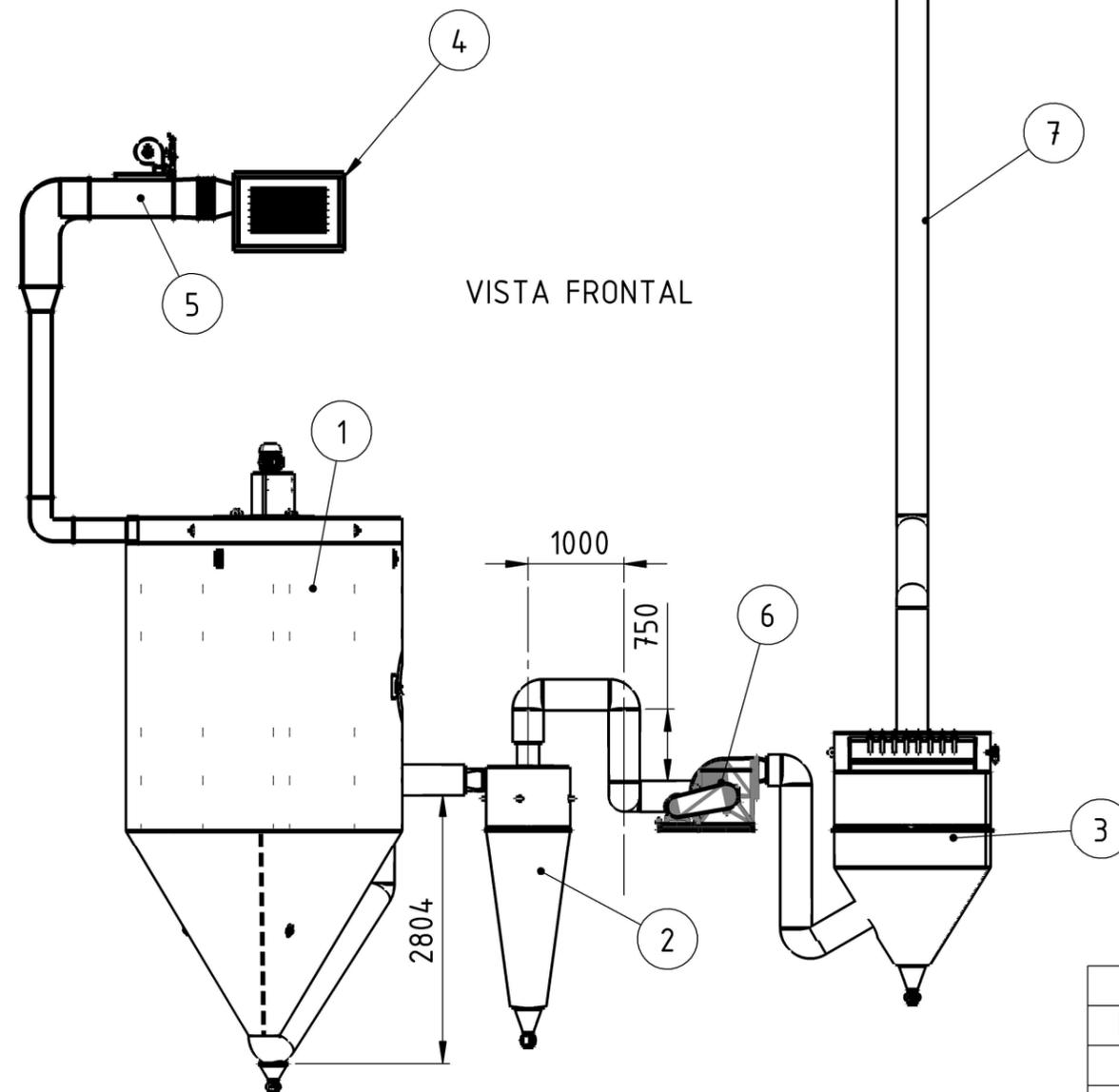
Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

C.

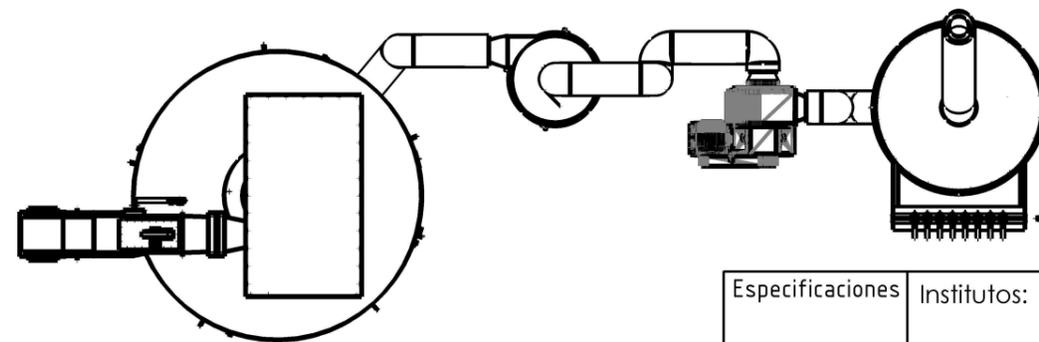
Planos



VISTA LATERAL



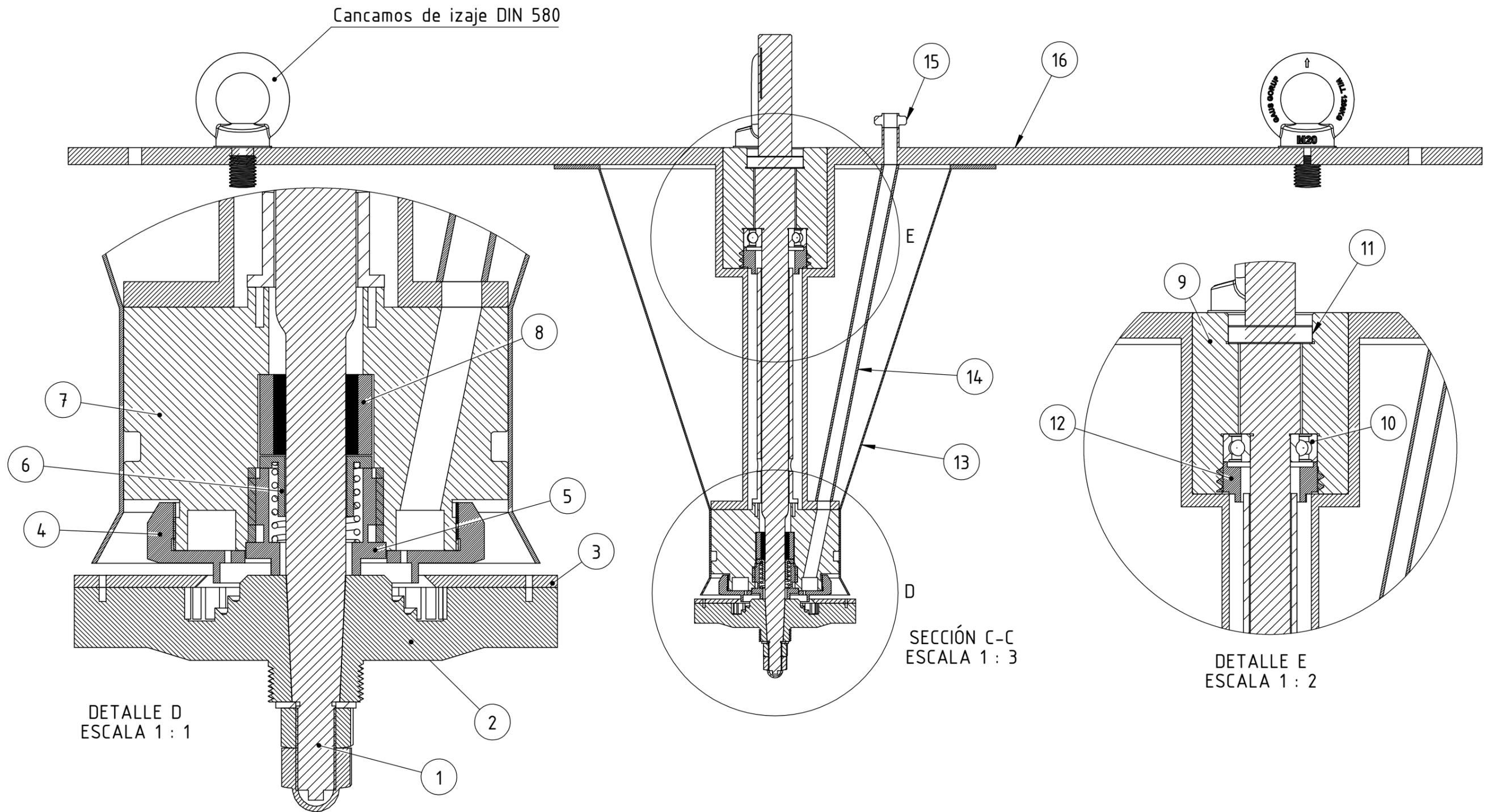
VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR

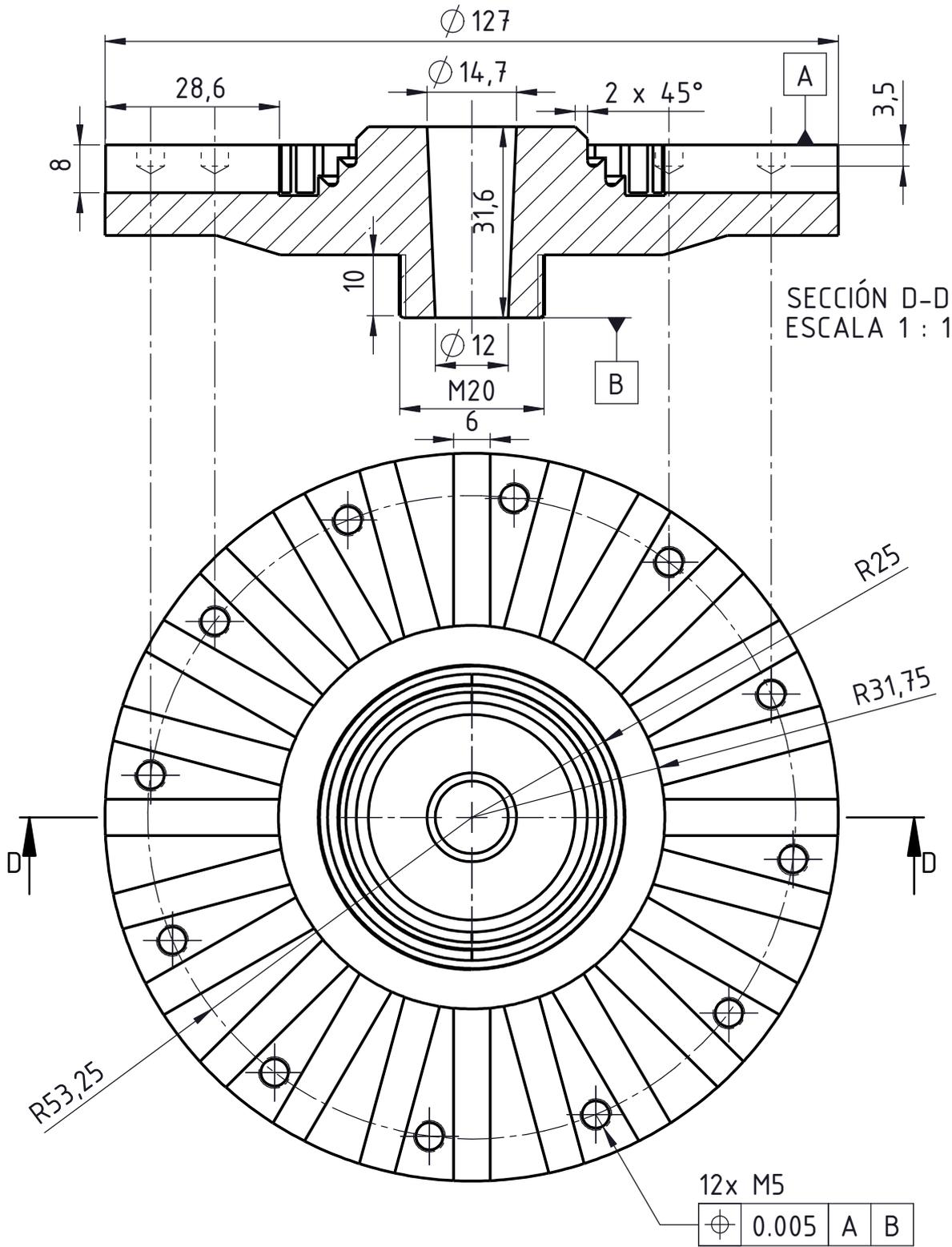
Referencias		
N°	Nombre	Plano
1	Cámara de secado	2024-PF-CAMARA-01
2	Ciclón	2024-PF-CICLÓN-01
3	Filtros plisados	2024-PF-FILTRO-01
4	U.T.A.	2024-PF-UTA-01
5	Calentador de aire	2024-PF-UTA-01
6	Ventilador de salida	-
7	Chimenea	2024-PF-LA-05
8	Válvulas rotativas	-
9	Puerta de inspección	2024-PF-CAMARA-11

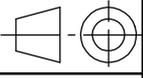
Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:70	Titulo Sub conjunto - Equipos		N° de plano: 2024-PF-EQUIPOS-01
				Hoja 1 de 1
		Formato A3		
		Dibujó	Donnet Lucas	20/03/24
		Revisó		
		Aprobó		



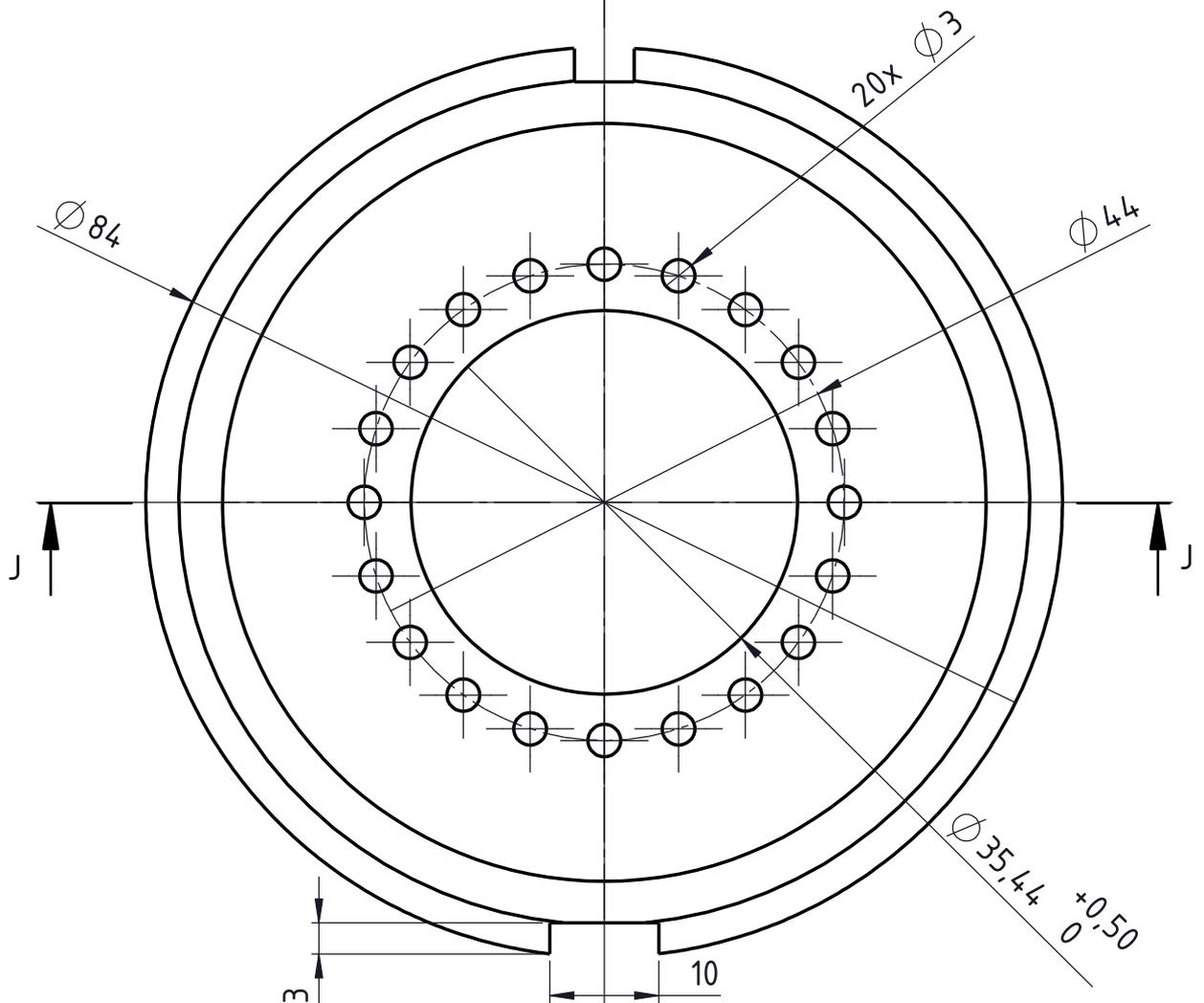
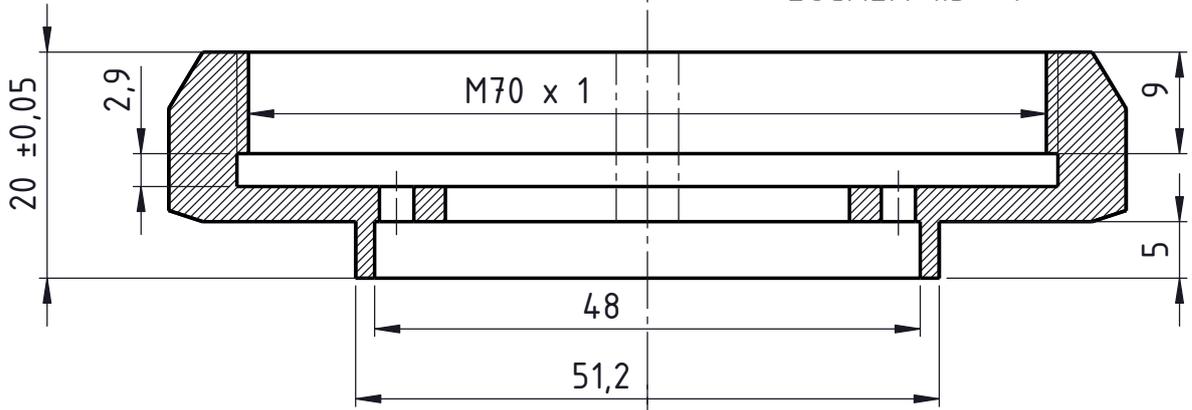
N°	Nombre	Plano	N°	Nombre	Plano
1	Eje	2024-PF-ATOMIZADOR-02	9	Soporte rodamientos	2024-PF-ATOMIZADOR-10
2	Disco atomizador	2024-PF-ATOMIZADOR-03	10	SKF 6204	-
3	Tapa atomizador	2024-PF-ATOMIZADOR-04	11	SKF 61905	-
4	Pleno de mezcla	2024-PF-ATOMIZADOR-05	12	Ajuste rodamiento	2024-PF-ATOMIZADOR-11
5	Ajuste del grafito	2024-PF-ATOMIZADOR-06	13	Campana	2024-PF-ATOMIZADOR-12
6	Sostén del grafito	2024-PF-ATOMIZADOR-07	14	Tubo 7/16" - AISI 304	-
7	Soporte del grafito	2024-PF-ATOMIZADOR-08	15	Union doble DIN 1/2"	-
8	Buje y grafito	2024-PF-ATOMIZADOR-09	16	Placa soporte 1/2"	2024-PF-ATOMIZADOR-13

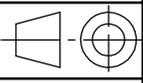
Especificaciones Vel.: 18.000 RPM Mat.: AISI 304	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:25	Titulo Sub conjunto Atomizador Rotativo		N° de plano: 2024-PF-ATOMIZADOR-01
	Formato A3			Hoja 1 de 1
				Nombre Fecha
		Dibujó Revisó Aprobó	Donnet Lucas 20/03/24	



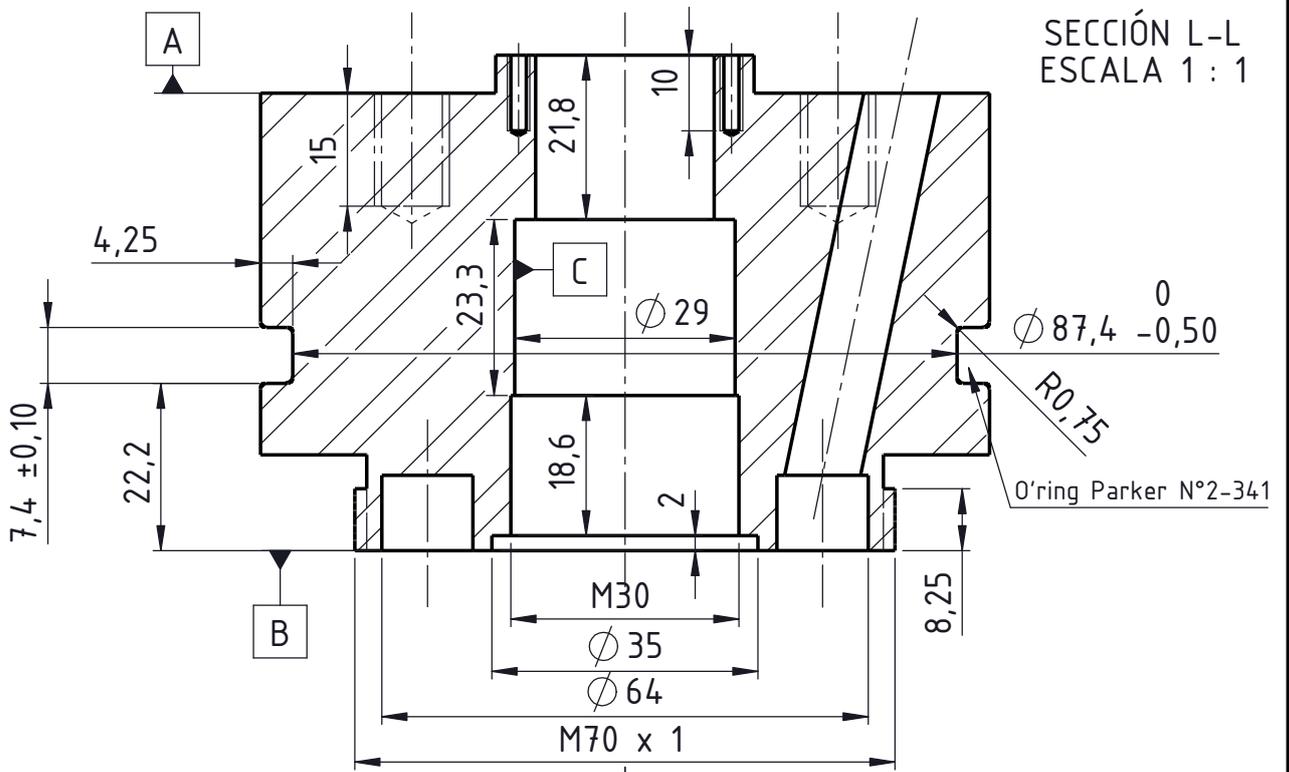
Especificaciones Tolerancias dimensionales generales: ±0,1	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:1	Titulo Disco atomizador	Nº de plano: 2024-PF-ATOMIZADOR-03	Hoja 1 de 1
	 Formato A4		Nombre	Fecha
			Dibujó	Donnet Lucas
		Revisó		
		Aprobó		

SECCIÓN J-J
ESCALA 1.5 : 1



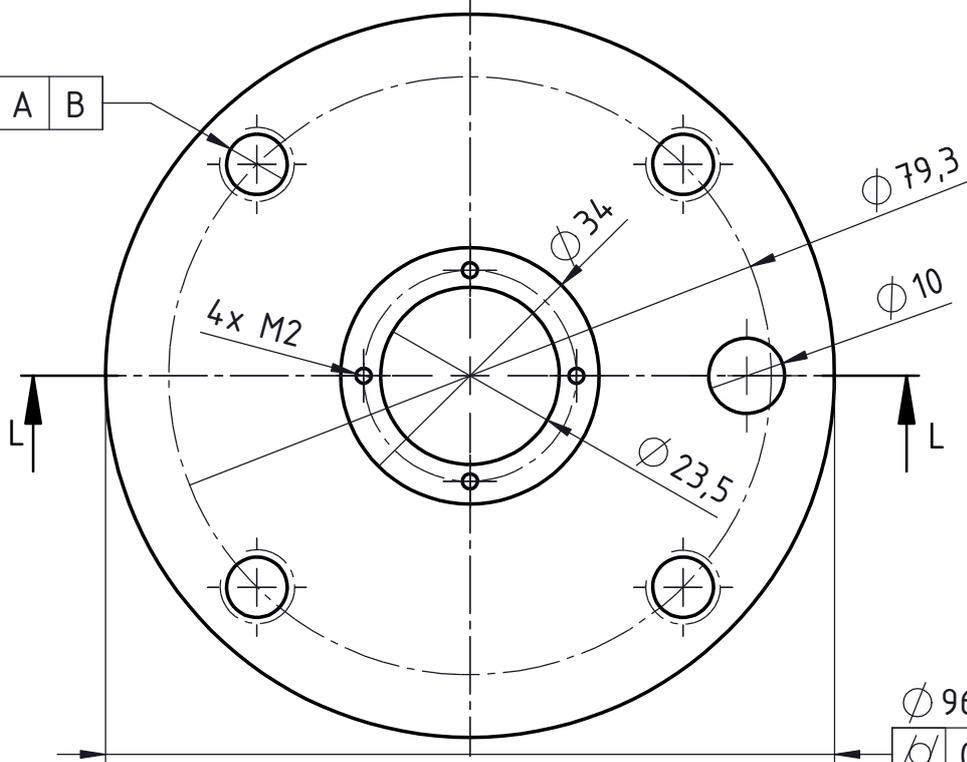
Especificaciones AISI 304	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1,5:1	Titulo Pleno de mezlca Recibidor de producto	Nº de plano: 2024-PF-ATOMIZADOR-05	Hoja 1 de 1
 Formato A4			Nombre	Fecha
	Dibujó	Donnet Lucas	04/04/24	
	Revisó			
	Aprobó			

SECCIÓN L-L
ESCALA 1 : 1



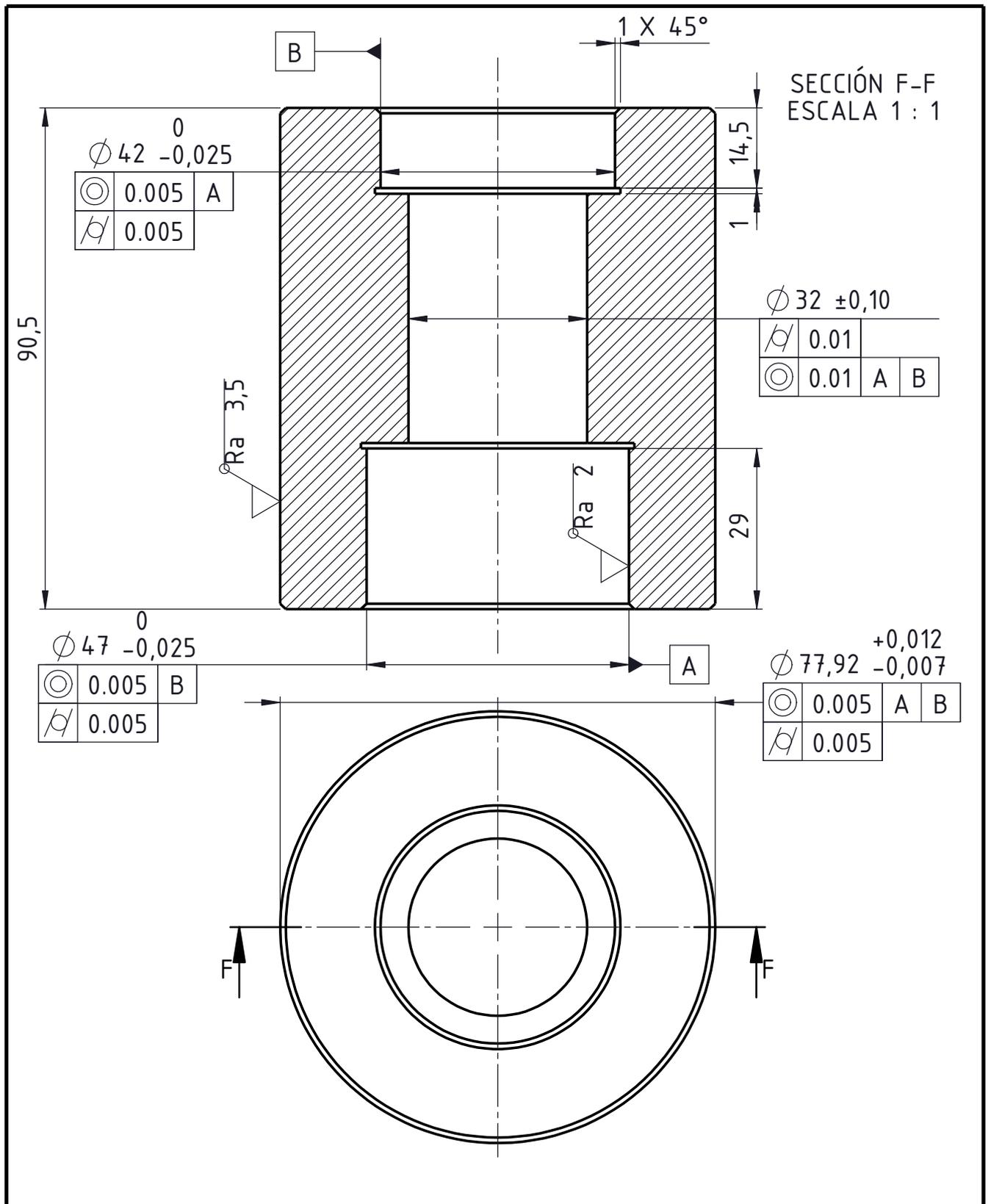
4x M8

⌀	0.005	A	B
------------	-------	---	---

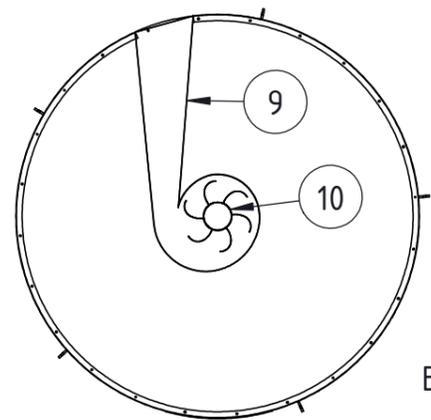
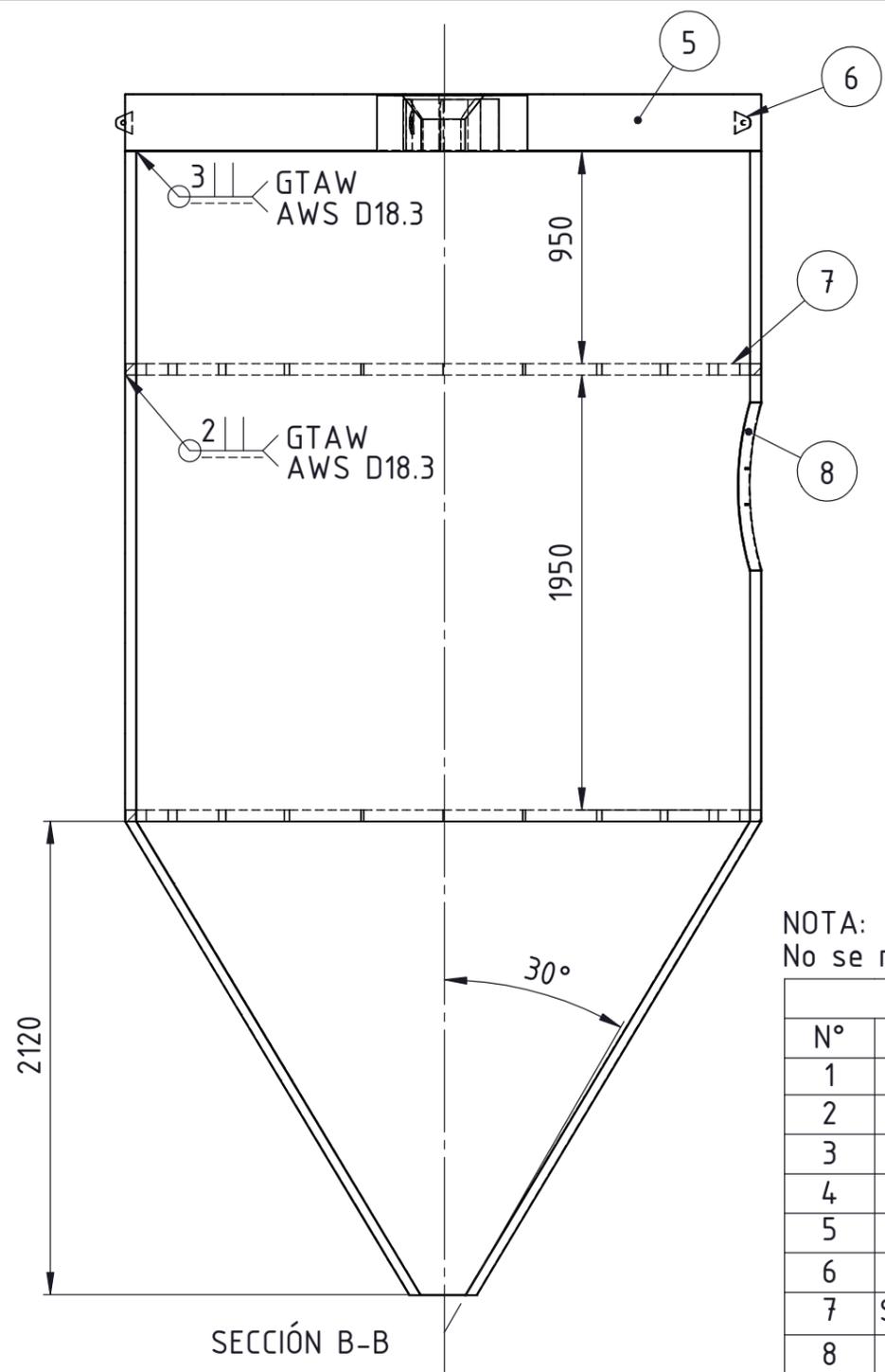
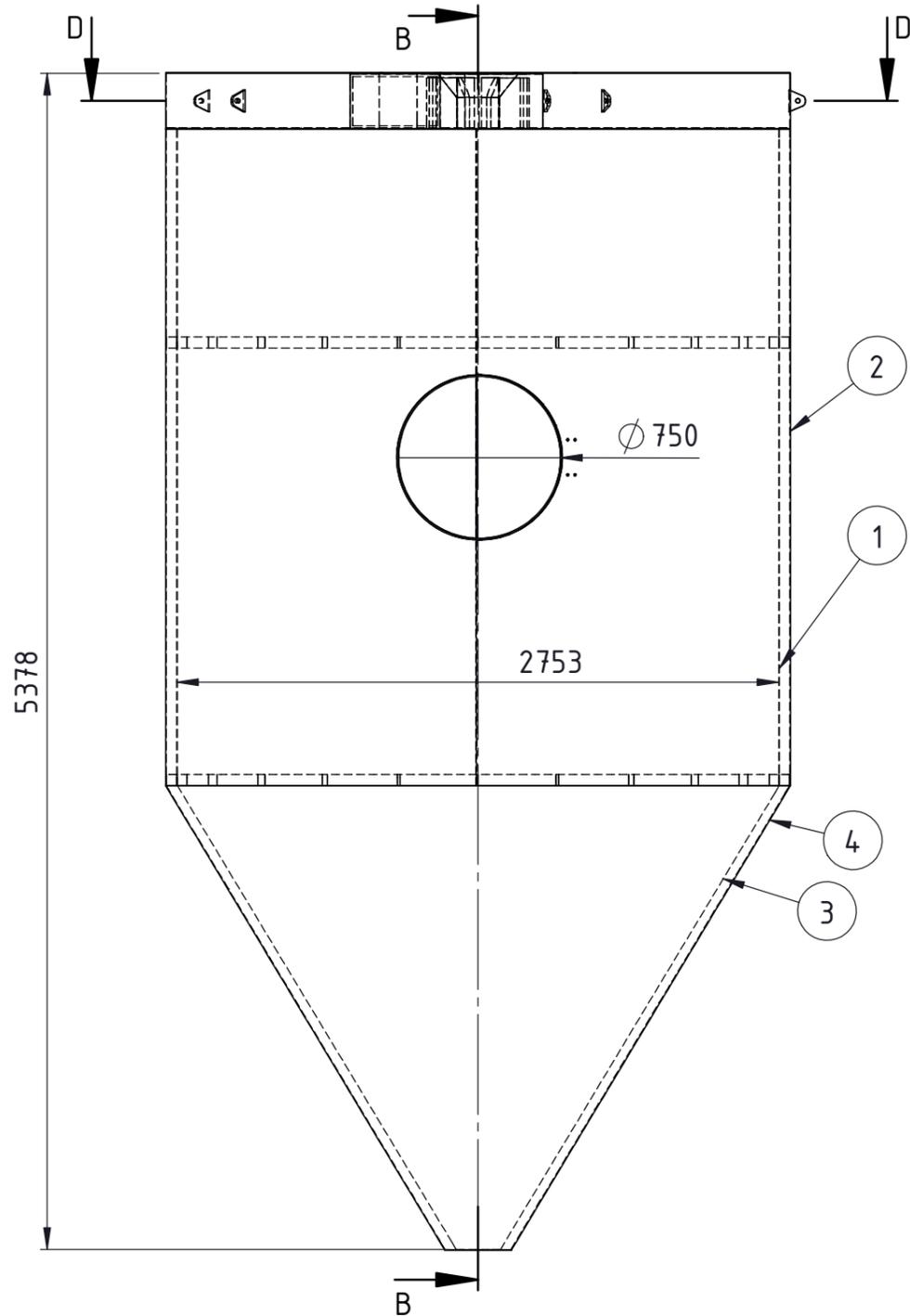


⌀	96	+0,10	0
⌀	0.01		
⊙	0.005	C	

Especificaciones AISI 304	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Tolerancias dimensionales según IRAM-ISO 2768-f ±0,1	Escala 1:1	Titulo Soporte de grafito Dosificador de producto	
		Formato A4	N° de plano: 2024-PF-ATOMIZADOR-07	Hoja 1 de 1
			Nombre Donnet Lucas	Fecha 04/04/24
			Dibujó	
			Revisó	
			Aprobó	



Especificaciones AISI 304	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Tolerancias generales $\pm 0,1$	Escala 1:1	Titulo Soporte de rodamientos	
			N° de plano: 2024-PF-ATOMIZADOR-10	Hoja 1 de 1
	Formato A4		Nombre	Fecha
			Dibujó Donnet Lucas	04/04/24
			Revisó	
			Aprobó	

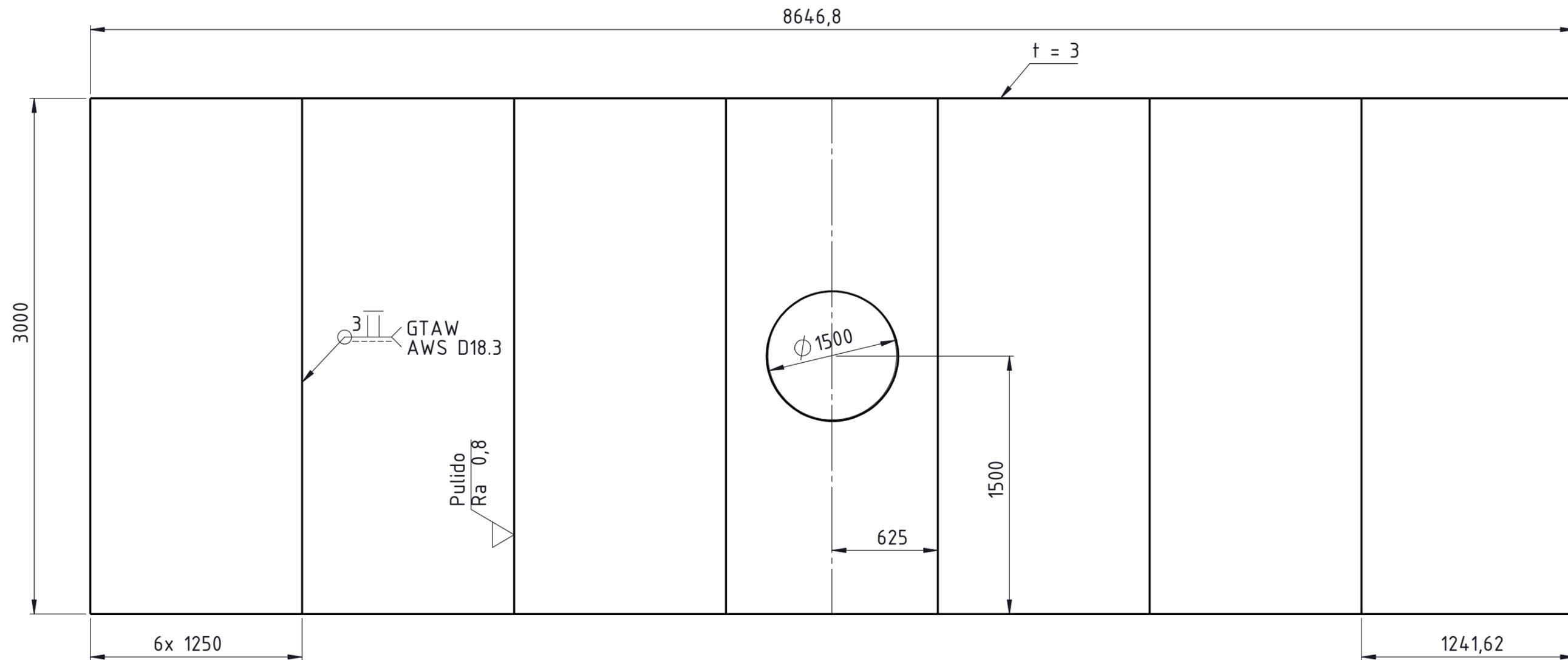


SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 50

NOTA:
No se representa el aislante de lana mineral

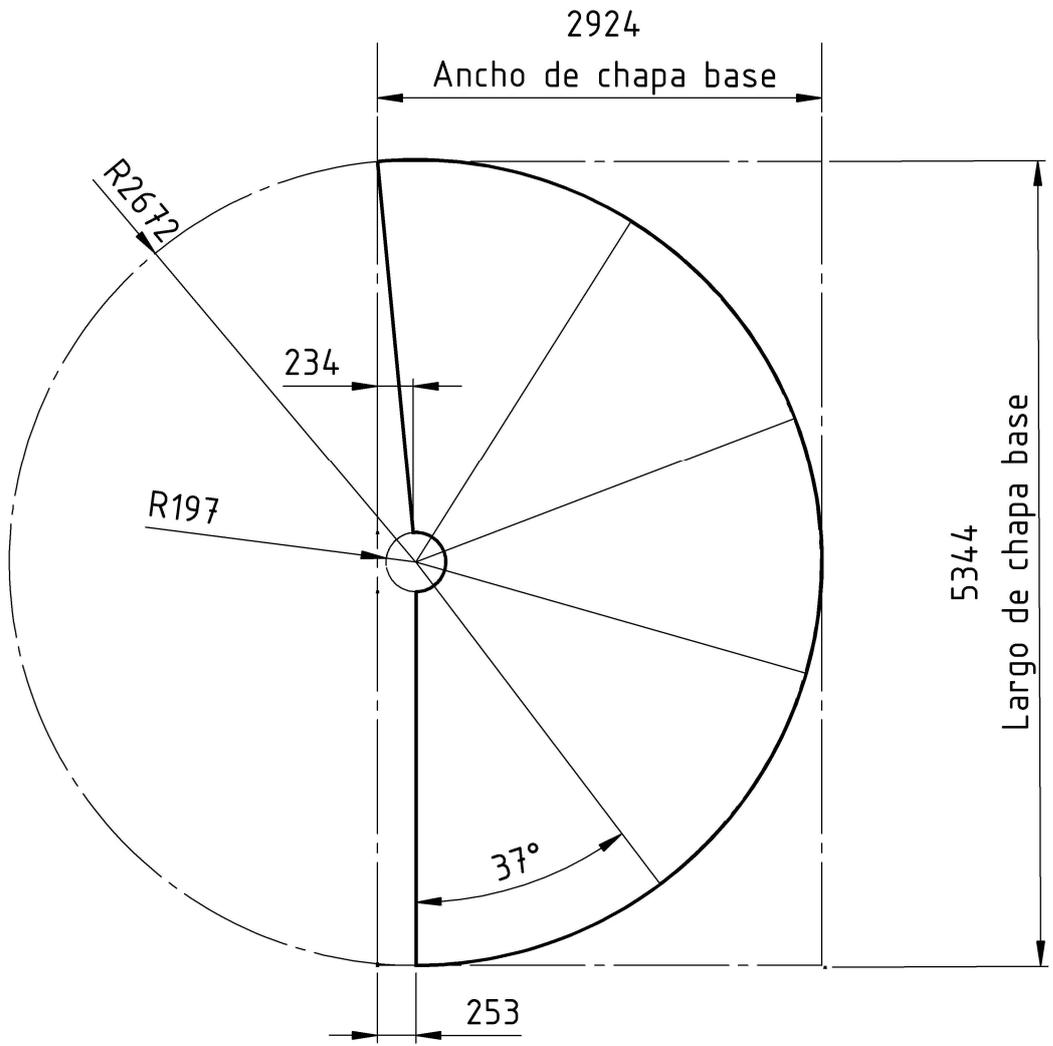
Referencias		
N°	Nombre	Plano
1	Virola interior	2024-PF-CAMARA-02
2	Virola exterior	2024-PF-CAMARA-03
3	Cono interior	2024-PF-CAMARA-04
4	Cono exterior	2024-PF-CAMARA-05
5	Tapa superior	2024-PF-CAMARA-06
6	Cancamos	2024-PF-CAMARA-07
7	Soporte aislantes	2024-PF-CAMARA-08
8	Aro - entrada	2024-PF-CAMARA-09
9	Ducto de aire	2024-PF-CAMARA-10
10	Flappers	2024-PF-CAMARA-11

Especificaciones ACERO AISI 304L	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:30	Titulo Sub conjunto - Cámara de secado		
	Formato A3	N° de plano: 2024-PF-CAMARA-01		
	Dibujó Donnet Lucas		Hoja 1 de 1	
Revisó		Fecha		
Aprobó				



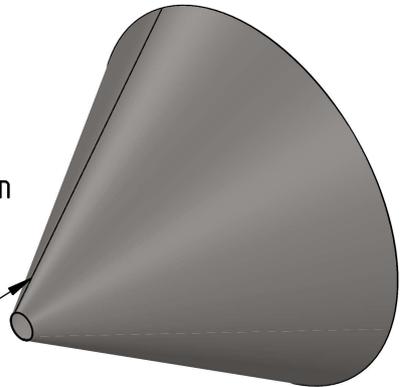
NOTA:
 Especificaciones de soldadura para tanques sanitarios - AWS D18.3
 Proceso de soldadura GTAW/TIG (Aporte 304L - Solo si requiere)
 Chapas que requieren corte: 1

Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL	
Acero AISI 304L			Facultad Regional Santa Fe	
Chapas 3000x1250x3mm	Escala	Titulo Virola interior Cámara de secado	N° de plano:	Hoja
	1:25		2024-PF-CAMARA-02	1 de 1
			Nombre	Fecha
	Formato A3		Dibujó	Revisó
			Donnet Lucas	20/03/24

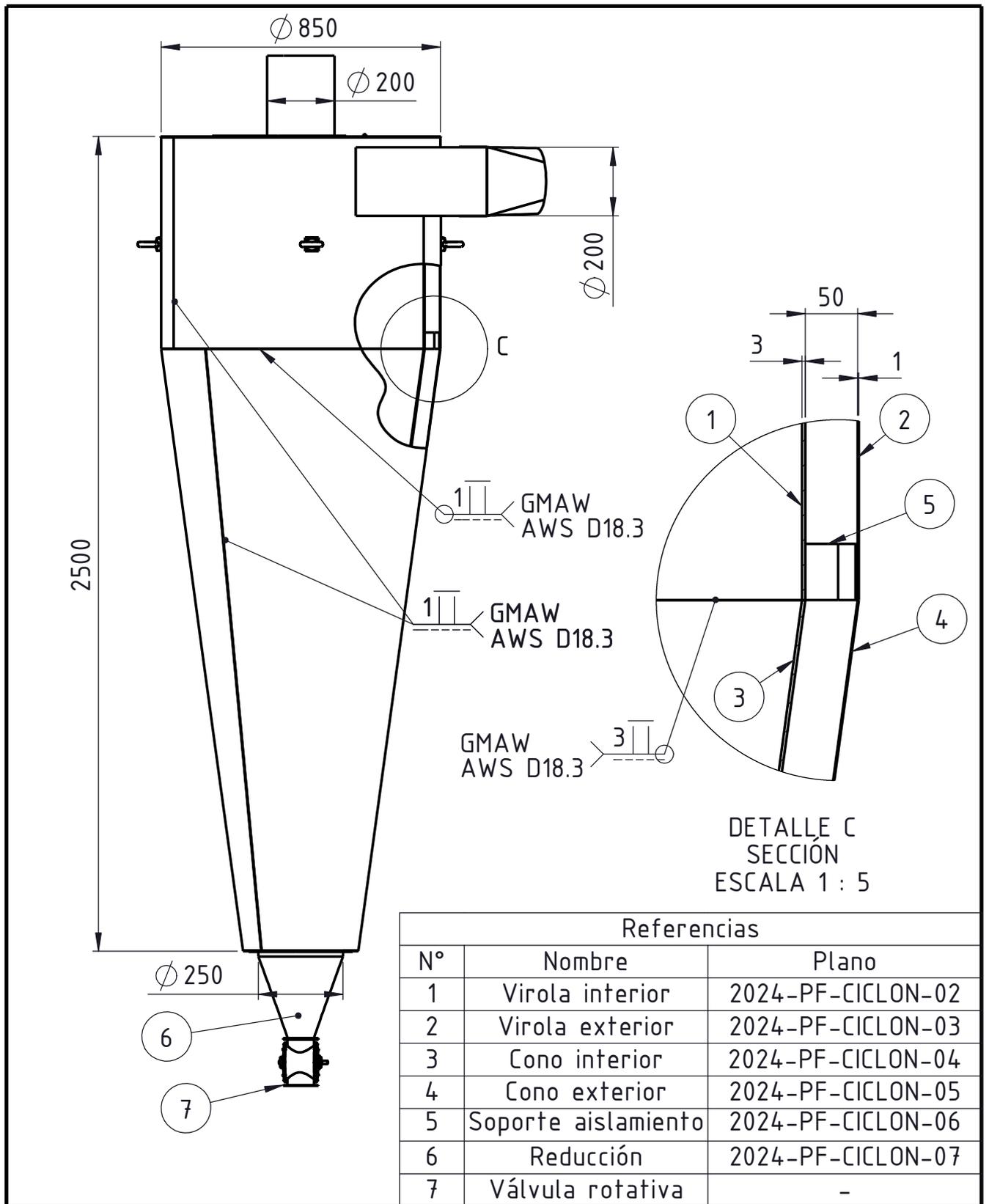


Vista isométrica de
chapa conformada
Diámetro superior: 2750 mm
Diámetro inferior: 200 mm

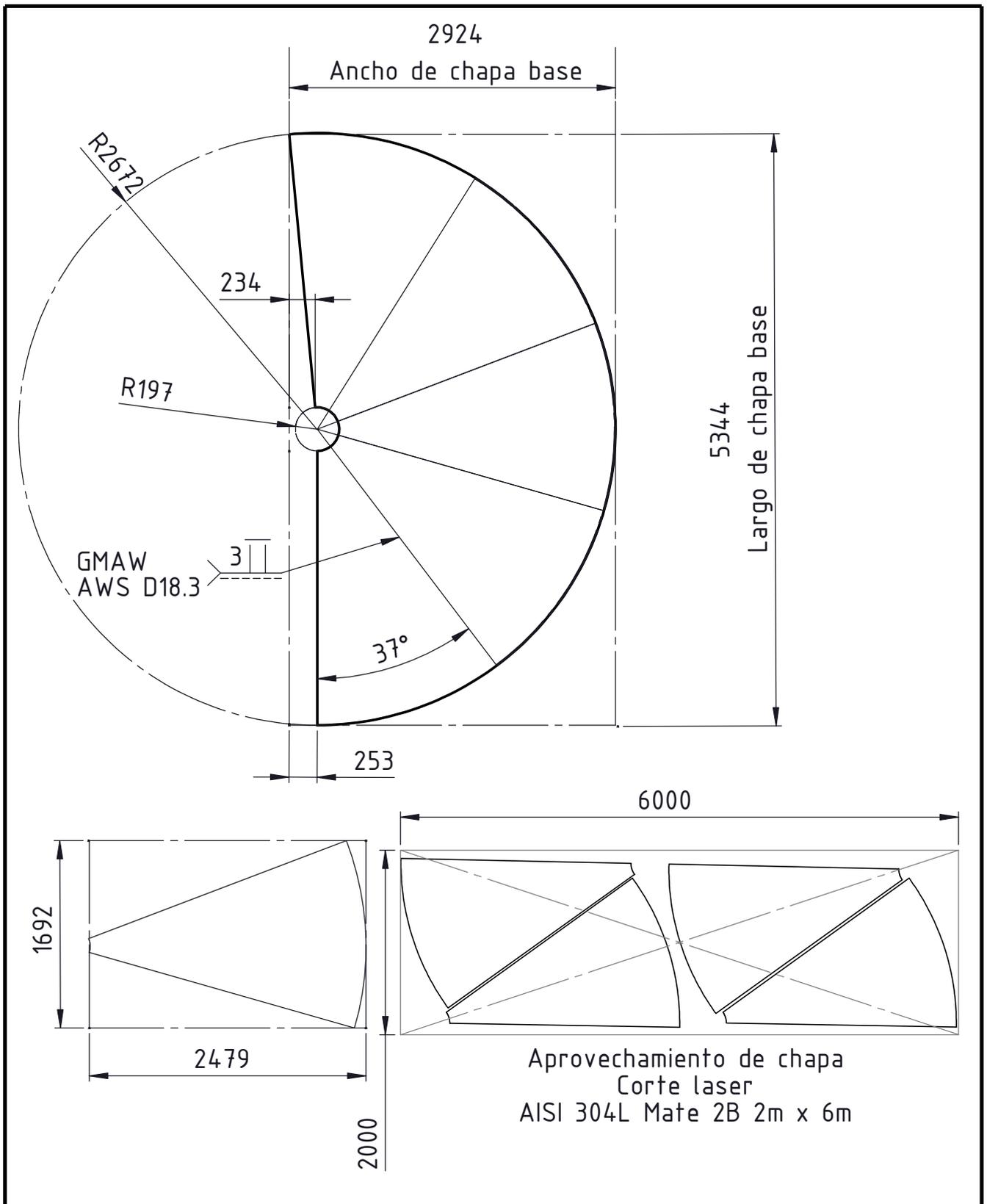
Costuras longitudinales

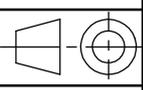


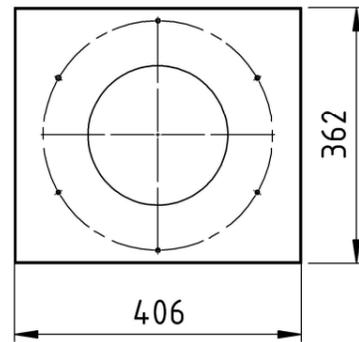
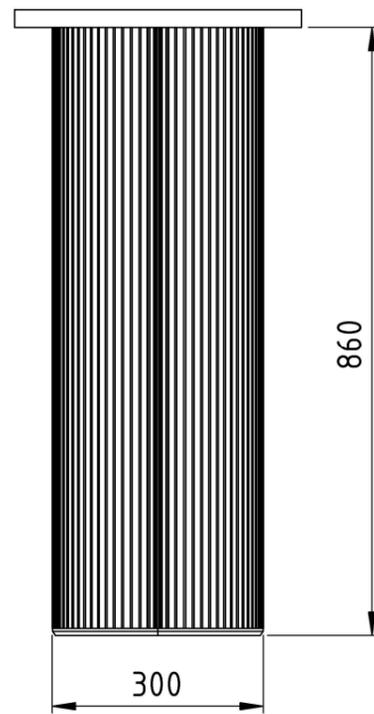
Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:50	Titulo Desarrollo de chapa Cono interior de camara de secado	Nº de plano: 2024-PF-CICLON-04	Hoja 1 de 1
	Nombre		Fecha	
Formato A4		Dibujó	Donnet Lucas	04/04/24
		Revisó		
		Aprobó		



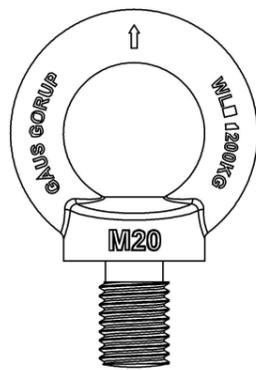
Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:17	Titulo Sub conjunto Ciclón	N° de plano: 2024-PF-CICLON-01	Hoja 1 de 1
	Nombre		Fecha	
Formato A3	Dibujó		Donnet Lucas	20/03/24
	Revisó			
		Aprobó		



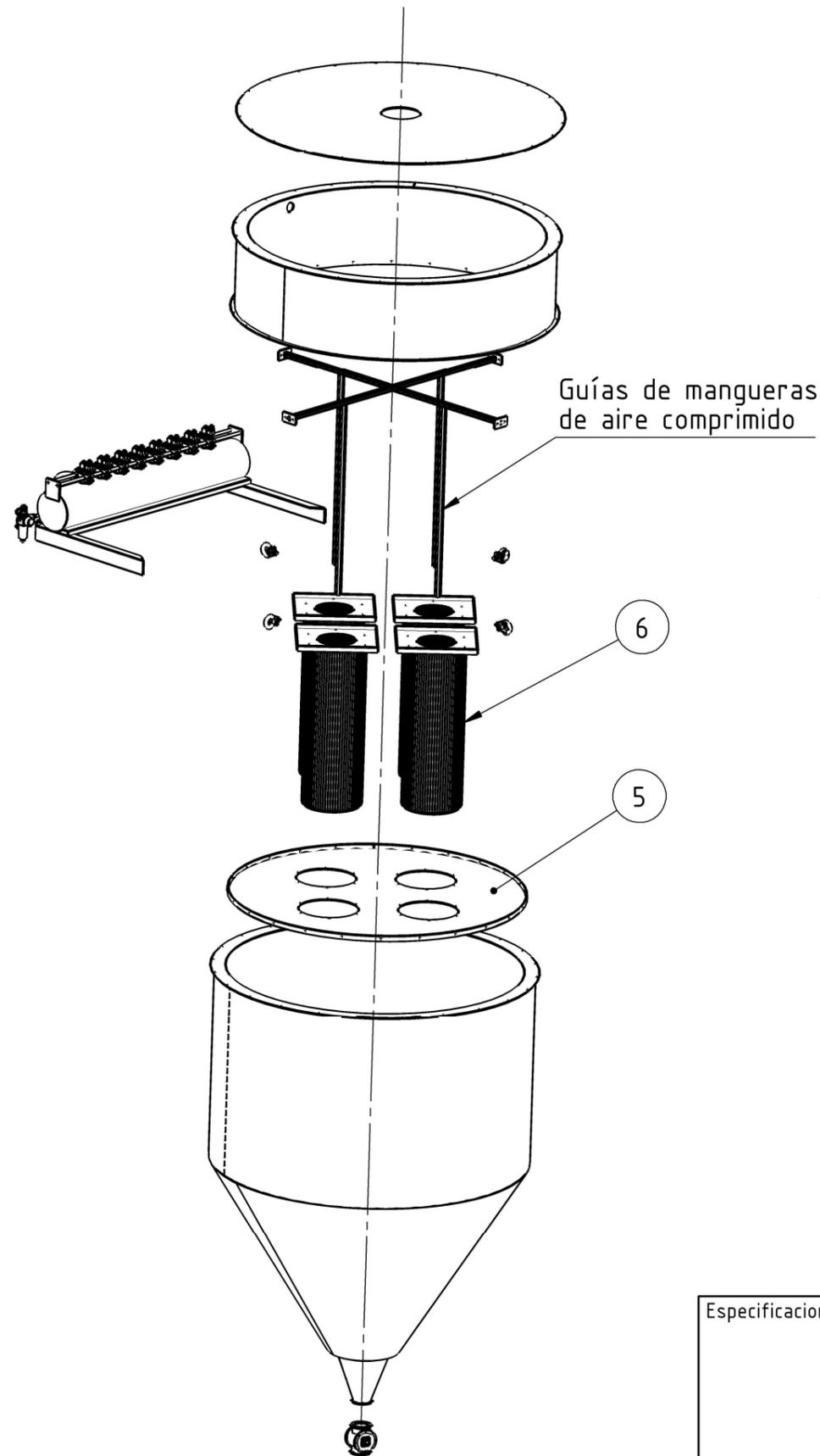
Especificaciones	Institutos:		CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe		
	Escala	Titulo				N° de plano:	Hoja
	1:50	Desarrollo de chapa Cono interior de camara de secado				2024-PF-CICLON-04	1 de 1
						Nombre	
	Formato	Dibujó		Donnet Lucas	04/04/24		
A4	Revisó						
	Aprobó						



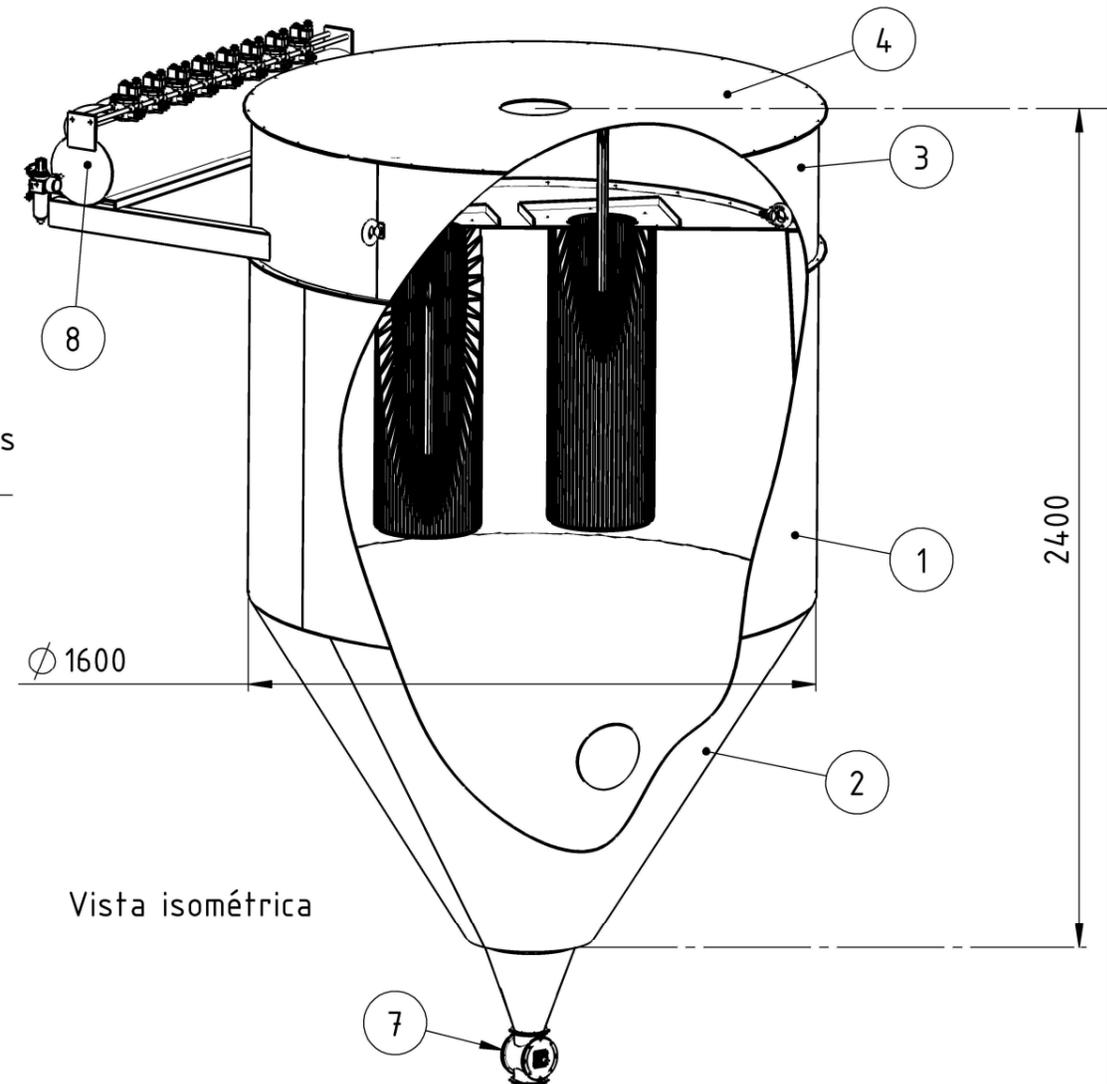
Filtro plisado
Escala 1:10



Cáncamo de izaje
DIN 580
Carga vertical (tracción) = 1200 kg
La carga a 45° se reduce a 650 kg
Escala 1:2

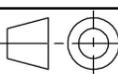


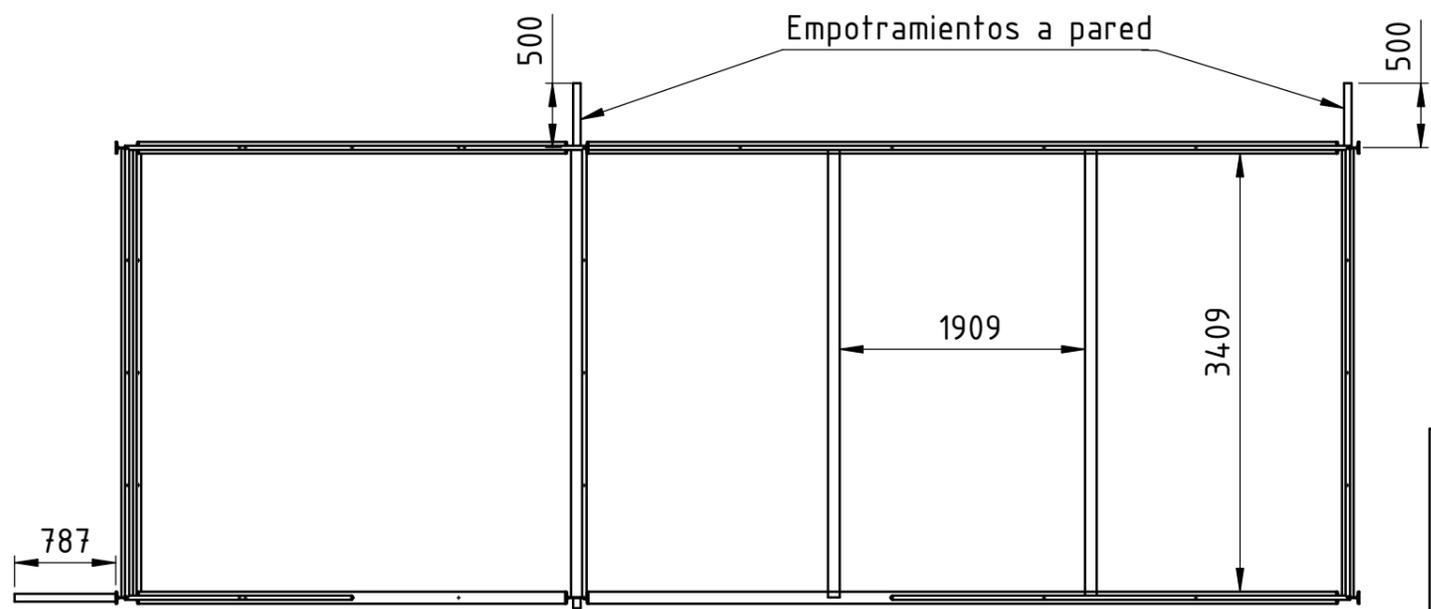
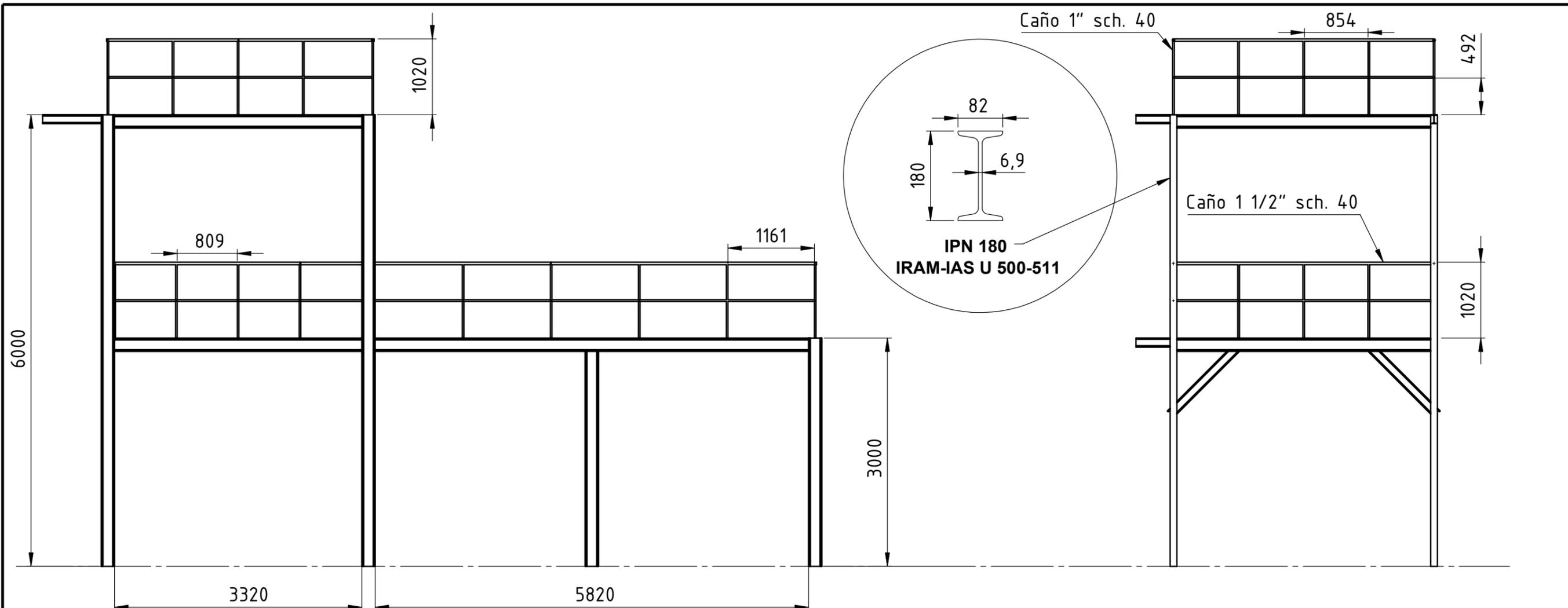
Vista explosionada
Escala 1:30



Vista isométrica

Referencias		
N°	Nombre	Plano
1	Envolvente cilíndrica	2024-PF-COL.POLVOS-02
2	Envolvente cónica	2024-PF-COL.POLVOS-03
3	Cabezal cilíndrico	2024-PF-COL.POLVOS-04
4	Tapa	2024-PF-COL.POLVOS-05
5	Bastidor de filtros	2024-PF-COL.POLVOS-06
6	Filtros plisados	2024-PF-COL.POLVOS-07
7	Válvula rotativa	-
8	Sistema de limpieza	-

Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:20	Titulo Sub conjunto Colector de polvos	N° de plano: 2024-PF-COL.POLVOS	Hoja 1 de 1
			Nombre	Fecha
			Dibujó	Donnet Lucas
Formato A3		Revisó		
		Aprobó		



Especificaciones	Institutos: CIMEC-CONICET/UNL INLAIN-FIQ/UNL		UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe	
	Escala 1:55	Titulo Estructura metálica	N° de plano: 2024-PF-Estructura	Hoja 1 de 1
	 Formato A3		Nombre	Fecha
		Dibujó	Donnet Lucas	20/03/24
	Revisó			
	Aprobó			

