

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Ingeniería básica de una planta de producción de
8460 t/año de harina de avena

Autor: Cristina Valencia Pérez

Tutor: Manuel Campoy Naranjo

Dpto. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Química

Ingeniería básica de una planta de producción de 8460 t/año de harina de avena

Autor:
Cristina Valencia Pérez

Tutor:
Manuel Campoy Naranjo
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2021

Agradecimientos

A mi familia y amigos, por apoyarme durante toda la etapa universitaria y animarme en los peores momentos. Por creer en mí.

A mis maestros por formarme con tanta dedicación.

Resumen

El presente trabajo de fin de grado se basa en la ingeniería básica de una planta de producción de 8460 toneladas al año de harina de avena. Su finalidad por tanto es la de definir las ideas básicas de la instalación, haciendo un estudio de todas las etapas por las que pasa la materia prima hasta la obtención del producto final.

En primer lugar se ha realizado un estudio sobre la avena, tanto su morfología, tipología y cultivo, como los beneficios que aporta a la salud. Además, se ha escogido como localización de la planta la provincia de Palencia debido a su clima favorable.

A continuación, en la memoria descriptiva y justificativa se han detallado cada una de las etapas necesarias para obtener la harina de avena. Este proceso requiere de las siguientes fases: recepción y almacenamiento de la materia prima, tratamientos para su limpieza, descascarado, tratamiento hidrotérmico, laminado, molienda y envasado. Destaca el tratamiento hidrotérmico ya que se trata del corazón del proceso, al ser responsable del sabor y conservabilidad del producto.

En tercer lugar, partiendo de una primera determinación de requerimientos de capacidad, se ha diseñado toda la maquinaria necesaria, haciendo a la vez un repaso conceptual de las operaciones realizadas. Para ello se ha hecho uso de bibliografía específica y datos experimentales sobre algunos de los procesos.

Finalmente se ha realizado un análisis de las mediciones y presupuestos, con la finalidad de obtener el valor de la inversión inicial a acometer para poner en funcionamiento la instalación. Tras ello, se ha calculado que se necesitarán alrededor de 506000 € en concepto de maquinaria.

Abstract

This final degree work is based on the basic engineering of 8460 tons a year oat flour production plant. Its aim is to develop the basic ideas of the plant, making a study of every single phase the raw material goes through, until the final product is obtained.

Firstly, a study of oat has been carried out, both its morphology, typology and farming, and in its health benefits. In addition, the province of Palencia has been chosen as the location of the plant due to its favorable climate.

Secondly, in the descriptive and justifying memory, each of the required steps to obtain the oatmeal have been detailed. This process requires the following phases: reception and storage of the raw material, cleaning treatments, shelling, hydrothermal treatment, rolling, grinding and packaging. The hydrothermal treatment stands out since it is the heart of the process, being responsible for the flavor and the product shelf life.

To continue with, starting with a first capacity requirements determination, all the necessary machinery has been designed, while a conceptual overview of the operations is being done. For that purpose, specific bibliography and experimental data on some of the processes have been used.

Lastly, an analysis of the measurements and budgets has been carried out, in order to obtain the value of the initial investment to put the plant into operation. After that it has been concluded that around 506000 € will be needed for machinery.

Índice

Agradecimientos	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Índice	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
1 Introducción	1
1.1 Objetivos y alcance	2
1.2 Antecedentes	2
1.3 Tipos de avena	3
1.4 Tipologías de harinas	4
1.5 Beneficios de la harina de avena	5
1.6 Localización	5
2 Memoria descriptiva y justificativa	7
2.1 Reglamentación técnico-sanitaria: RD 1286/1984	7
2.1.1 Condiciones de los establecimientos, material y del personal	7
2.1.2 Materias primas y productos terminados	7
2.2 Descripción del proceso	8
2.2.1 Recepción de la materia prima	8
2.2.2 Prelimpieza	9
2.2.3 Limpieza	10
2.2.4 Descascarado	11
2.2.5 Tratamiento hidrotérmico	13
2.2.6 Laminado	14
2.2.7 Molienda	14
2.2.8 Envasado	15
2.3 Control de calidad de la harina: RD 677/2016	16
2.4 Aprovechamiento de los desechos	17
3 Memoria de cálculo	18
3.1 Balance de materia global	18
3.2 Recepción de la materia prima	18
3.2.1 Foso de descarga	19
3.2.2 Elevador de cangilones	22
3.2.3 Silo de almacenamiento	24
3.2.4 Cinta transportadora	26
3.3 Prelimpieza	32
3.3.1 Elección de las cribas	32
3.3.2 Inclinación del equipo	34
3.3.3 Balance de materia	35
3.4 Limpieza	35

3.4.1	Tornillo sin fin	35
3.4.2	Especificaciones cilindro alveolado	36
3.4.3	Balance de materia	36
3.5	Descascarillado	37
3.5.1	Especificaciones descascarilladora	37
3.5.2	Especificaciones mesa separadora	37
3.5.3	Balance de materia	37
3.6	Tratamiento hidrotérmico	38
3.6.1	Vaporizador	38
3.6.2	Primera línea de secado	41
3.6.3	Segunda línea de secado	46
3.6.4	Especificaciones tratamiento hidrotérmico	47
3.6.5	Balance de materia	47
3.7	Laminado	47
3.8	Molienda	47
3.8.1	Capacidad de molienda	47
3.8.2	Potencia del molino	48
3.8.3	Especificaciones molino de martillos	49
3.9	Envasado	49
3.10	Diagrama de proceso	50
4.	Mediciones y presupuestos	53
4.1	Mediciones	53
4.1.1	Control de calidad. Recepción	53
4.1.2	Maquinaria	53
4.1.3	Mecanismos de transporte	55
4.2	Precios	56
	Control de calidad. Recepción	56
4.2.1		56
4.2.2	Maquinaria	57
4.2.3	Mecanismos de transporte	59
4.3	Presupuestos	60
4.3.1	Control de calidad. Recepción	60
4.3.2	Maquinaria	61
4.3.3	Mecanismos de transporte	62
5	Conclusiones	64
6	Hojas de equipos	65
7	Referencias	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clase y factor del material para transporte con tornillo sin fin	21
Tabla 2. Tipos de elevador de cangilones en función del material	23
Tabla 3. Datos de elevadores de cangilones centrífugos	24
Tabla 4. Características elevador de cangilones centrífugo	24
Tabla 5. Propiedades y condiciones de transporte de algunos materiales	27
Tabla 6. Velocidades de los productos a transportar (m/min)	27
Tabla 7. Ancho mínimo y separación de rodillos de la cinta transportadora	28
Tabla 8. Parámetros de diseño de la cinta transportadora	29
Tabla 9. Cálculo de la potencia neta W1	30
Tabla 10. Cálculo de la potencia neta W2	31
Tabla 11. Cálculo del factor β	31
Tabla 12. Valor del coeficiente K	32
Tabla 13. Especificaciones del equipo de prelimpieza	32
Tabla 14. Luces de malla para el tamiz interior	33
Tabla 15. Granulometría avena cruda	34
Tabla 16. Balance de materia en la prelimpieza	35
Tabla 17. Especificaciones equipo de limpieza	36
Tabla 18. Balance de materia en la limpieza	37
Tabla 19. Especificaciones descascarilladora	37
Tabla 20. Especificaciones mesa separadora	37
Tabla 21. Balance de materia en la limpieza	38
Tabla 22. Propiedades de algunos granos	39
Tabla 23. Tablas del agua	40
Tabla 24. Propiedades de secado de algunos productos	42
Tabla 25. Especificaciones tratamiento hidrotérmico	47
Tabla 26. Especificaciones molino de rodillos	47
Tabla 27. Especificaciones molino de martillo	49
Tabla 28. Especificaciones envasadora	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Salvado y copos de avena	2
Figura 2. Producción de avena en España de 2011 a 2018	3
Figura 3. Planta de avena	4
Figura 4. Producción avena (toneladas) por provincias de España	6
Figura 5. Distribución provincial de superficie y producción de avena de Castilla y León	6
Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de producción de harina de avena	8
Figura 7. Eliminación material indeseado	9
Figura 8. Funcionamiento del equipo de prelimpieza	10
Figura 9. Funcionamiento cilindro alveolado	11
Figura 10. Cilindro alveolado	11
Figura 11. Toma de muestras del cilindro alveolado	11
Figura 12. Funcionamiento descascarilladora	12
Figura 13. Separación de la alimentación en la limpieza	12
Figura 14. Funcionamiento mesa separadora en la limpieza	13
Figura 15. Molino de rodillos	14
Figura 16. Molino de martillos	15
Figura 17. Envasadora	15
Figura 18. Balance de materia del proceso completo	18
Figura 19. Esquema del proceso de almacenamiento de la materia prima	19
Figura 20. Proceso de recepción del material	19
Figura 21. Esquema del foso de descarga	20
Figura 22. Curva de velocidad-capacidad de un tornillo sin fin	21
Figura 23. Elevador de cangilones	22
Figura 24. Silo de base plana y cónica	25
Figura 25. Catálogo de silos de base plana	25
Figura 26. Esquema de un silo ventila	26
Figura 27. Elección del tamiz interior en la prelimpieza	33
Figura 28. Elección del tamiz exterior en la prelimpieza	34
Figura 29. Inclinación de los tamices	35
Figura 30. Curva de velocidad-capacidad de un tornillo sin fin	36
Figura 31. Diagrama temperaturas vaporizador	40
Figura 32. Diagrama proceso de vaporización	41
Figura 33. Diagrama psicrométrico	45
Figura 34. Primera línea de secado	45

1 INTRODUCCIÓN

«MAS SEA TU ALIMENTO TU MEDICINA,
Y TU MEDICINA TU ALIMENTO»

- Hipócrates (siglo V a.C.) -

En los últimos años, seguir una alimentación sana y saludable se ha convertido en un tema a la orden del día. Por ello, buena parte de la población, cada día más, busca el reemplazo de ciertos alimentos por otros con mayores beneficios para la salud.

A raíz de este concepto surgen nuevas alternativas para el consumo de alimentos de uso diario, tales como la leche, la pasta o la harina. Adicionalmente, una parte de la población tiene alguna intolerancia alimenticia, haciendo que aumente la producción de alternativas, como la leche de almendras, productos sin gluten o harinas de legumbres. Centrándonos en el caso de las harinas, son numerosos los tipos que han surgido en los últimos 40 años, fundamentalmente las de legumbres, avena y otros tipos de cereales.

La importancia del estudio de la producción de estas harinas alternativas radica en el incremento de la demanda en los últimos años, siendo la de avena la que mayor crecimiento ha logrado.

1.1 Objetivos y alcance

El objetivo del presente trabajo de fin de grado es abordar la ingeniería básica de una planta de producción de harina de avena.

La idea es hacer un recorrido por todo el proceso de producción, desde la recepción del material crudo hasta el envasado del producto final. Para la descripción del proceso productivo será necesario profundizar en cada una de las etapas por las que pasan los granos, así como de conocer detalladamente los equipos que intervienen en dichos procesos. Para ello será necesario realizar el diseño de cada uno, con los correspondientes mecanismos de transporte.

Finalmente se realizará un estudio del presupuesto total aproximado, detallando previamente las mediciones oportunas.

La planta se diseñará para una capacidad de producción de 8460 toneladas al año de harina de avena.

1.2 Antecedentes

El origen de la avena proviene de Europa Central en la Edad de Bronce, donde crecía como malas hierbas invadiendo otros cultivos de cereales. Debido a su tendencia al deterioro y sabor poco común, la avena se consideraba como un cereal destinado a los animales.

Tiempo después, la avena se convirtió en un producto de alimentación básica en lugares como Alemania, Irlanda, Escocia o países escandinavos.

Finalmente, en la década de los años 80 se reconoció este cereal como un alimento altamente saludable. A raíz de esta afirmación se empezó a comercializar la avena en distintas formas, como se observa en la figura 1: harina, salvado, copos o granos. En cuanto a la harina de avena, en los últimos años ha experimentado un auge comercial al introducirse en los hogares con el fin de mejoras alimenticias.

Entre sus beneficios para la salud destaca que es una fuente natural de hidratos de carbono, fibra, vitamina B, omega-6 y otros minerales de gran interés. Al contener fibra y omega-6 hace que se reduzca el colesterol LDL, y que mejore a su vez el tránsito intestinal.



Figura 1. Salvado y copos de avena

En la figura 2 se presenta la evolución de la producción de avena en España en miles de toneladas desde 2011 hasta 2018 [1]. Como se puede observar en la figura 2, en el último año se produjo un aumento sustancial en la producción de este cereal, algo que ha seguido sucediendo en los años siguientes.

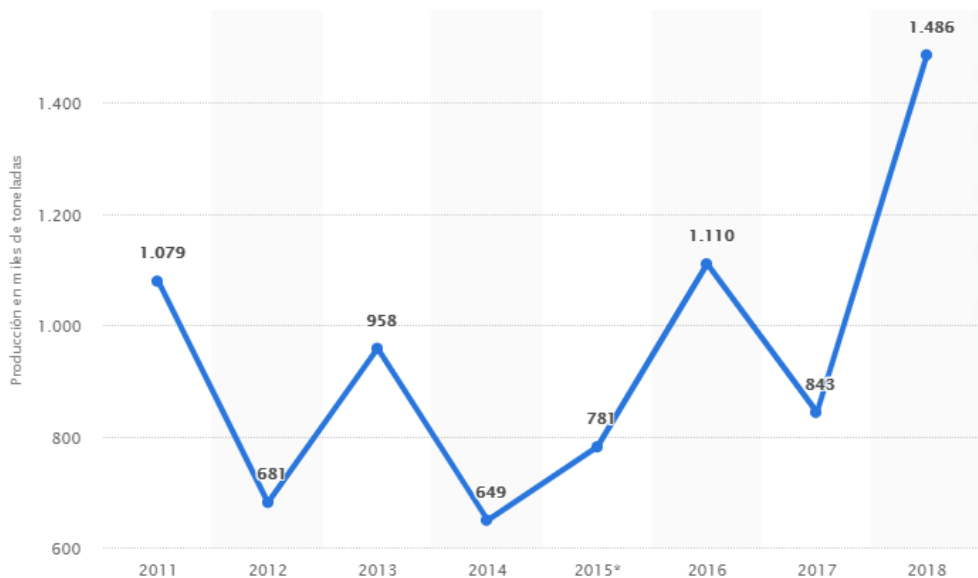


Figura 2. Producción de avena en España de 2011 a 2018

1.3 Tipos de avena

La avena procede de una planta herbácea perteneciente a la familia de las gramíneas de alrededor de 1,5 metros de altura. Sus flores se agrupan en espiguillas, confiriéndoles una estructura floral muy característica. Según las características morfológicas de la planta se distinguen numerosas especies de avena. Sin embargo, las principales especies de avena cultivadas son: la negra (*avena strigosa*), la blanca (*avena sativa*) y la amarilla (*avena bizantina*).

- *Avena bizantina*: conocida como avena amarilla, se da en climas fríos y lluviosos, por lo que no se adapta en regiones mediterráneas. Su principal destino es la alimentación animal.
- *Avena strigosa*: la avena negra es una alternativa para sistemas de pastoreo, ya que tiene una buena producción de forraje y siembra temprana. Es una alternativa cada vez más difundida por sus ventajas a la hora de alimentar al ganado en invierno. Además, es capaz de adaptarse a una amplia gama de suelos.
- *Avena sativa*: también conocida como avena blanca. Su cultivo obtiene un alto rendimiento y calidad del grano, con baja proporción de cáscaras. Generalmente son de hojas anchas, crecimiento recto y caña fuerte. Son las más comunes en zonas mediterráneas.

Entre las diferentes especies de avena existentes, la más común es la *sativa*. Este tipo de plantación es poco resistente al frío intenso, por lo que se desarrolla mejor en climas mediterráneos, frescos y húmedos.

En cuanto a sus características morfológicas, resulta interesante explicar brevemente cada una de las partes que componen la planta de la avena sativa: raíz, tallo, hojas y flores.

- Raíz: su parte inferior se encuentra enterrada en el suelo a mayor profundidad que el resto de las plantas de su misma familia, favoreciendo su anclaje.
- Tallo: es grueso y recto, cuya longitud puede variar entre 50 y 150 centímetros según las condiciones de cultivo. Tiene un alto valor forrajero, es decir, la relación tallo/hojas es alta, ya que los tallos contienen mayor contenido en fibra que las hojas. Cabe destacar que cada tallo principal, junto con los laterales y sus correspondientes ramificaciones, finalizan en una espiga que posteriormente se eliminará al descascarar el cereal.

- Hojas: son ásperas, planas y alargadas, en forma lanceolada¹, con aproximadamente 4 centímetros de longitud.
- Flores: aparecen en forma de espigas alargadas y estrechas (figura 3). Es este el lugar donde maduran los granos que serán recogidos posteriormente.



Figura 3. Planta de avena

1.4 Tipologías de harinas

Existe más de un centenar de tipos de harina, que son clasificables según su procedencia: animal o vegetal. Las harinas animales son las utilizadas como aporte de proteínas en la alimentación animal, ya que con ellas se fabrican piensos y otros productos. Por otro lado, las harinas vegetales son las consumidas por los humanos prácticamente a diario. Es por ello por lo que se va a indicar a continuación los tipos más comunes.

- Harina de trigo: es la más utilizada ya que es la necesaria para la elaboración del pan, masas dulces y saladas, y para rebozar carnes y pescados. Además, la harina de trigo tiene una variedad integral, que se obtiene moliendo el grano entero.
- Harina de maíz: altamente comercializada ya que sirve de base para tortillas, empanadas, bizcochos, galletas o incluso pan. Destaca por su alto contenido en almidón y ausencia de gluten, por lo que resulta ideal para personas celiacas.
- Harina de centeno: es, junto con la harina de trigo, la más utilizada para la elaboración de pan. Con ella se obtienen panes muy densos, nutritivos y con buena conservación. Tiene un menor contenido en gluten que la harina de trigo, haciendo que los panes sean menos esponjosos.
- Harina de cebada: se utiliza mayoritariamente como espesante de salsas. Aunque tiene un bajo contenido en gluten, presenta un alto valor nutritivo.
- Harina de avena: muy comercializada en los últimos años debido a su alto valor nutricional. Entre sus beneficios se encuentra que ayuda a disminuir los niveles de colesterol, y evita enfermedades cardíacas.
- Harina de arroz: es un tipo de harina muy ligera, que se utiliza comúnmente en la cultura asiática para la elaboración de tempuras. Destaca además por su ausencia de gluten, lo que la hace apta para celiacos.
- Harina de frutos secos: las más conocidas son las de almendra y las de castaña. Son una buena opción para recetas de repostería, y aportan minerales, vitaminas y antioxidantes.
- Harina de legumbres: son indicadas para celiacos y veganos, ya que contienen un alto contenido en fibra y proteínas. Las más comunes son la de soja, garbanzos y lentejas.

¹ En forma de punta de lanza

1.5 Beneficios de la harina de avena

Los productos de avena son considerados muy saludables y recomendables para la alimentación humana. A continuación se van a detallar los motivos por los que los expertos recomiendan incluirlo en nuestra dieta.

En primer lugar, la avena es rica en hidratos de carbono, que al absorberse muy lentamente por el organismo, proporciona sensación de saciedad consumiendo una cantidad reducida. Es por ello por lo que se recomienda para dietas de adelgazamiento y para controlar los casos de obesidad y anemia.

En segundo lugar, los productos de avena contienen dos clases de fibra: soluble e insoluble. La primera de ellas retarda la digestión, dificulta la absorción de colesterol, y por tanto, evita enfermedades cardiovasculares. La segunda se encarga de facilitar el tránsito intestinal y favorece una circulación sanguínea más fluida debido a su contenido de ácidos grasos Omega-6.

Incluir la harina de avena en la dieta de los más pequeños es altamente recomendado. Esto se debe a su alto contenido en aminoácidos, esenciales en el periodo de crecimiento infantil, encargados de combatir enfermedades.

Otro beneficio para la salud es que aumenta las defensas del organismo humano debido a su alto contenido de beta-glucanos. Éstos son nutrientes con función inmuno-moduladora, es decir, que aumentan la resistencia del cuerpo frente a patógenos.

1.6 Localización

La avena es una planta que crece y se desarrolla en buenas condiciones cuando se trata de un clima húmedo y frío. Aunque en comparación con otras plantas como el trigo o la cebada presente mayor resistencia al frío, no ocurre lo mismo con el calor. Una ligera subida de la temperatura en la época de floración hace que la planta de avena se vea gravemente afectada. Es por este motivo por el que se prefiere cultivar en zonas con climas frescos.

Por otro lado, el cultivo de avena es bastante exigente respecto a las necesidades de agua de riego. Esto se debe a que pierden una gran cantidad de agua en el proceso de fotosíntesis ya que tienen un coeficiente de transpiración elevado. Por tanto, para cultivar la avena es preferible un clima fresco con gran cantidad de precipitaciones, donde existan corrientes de aire que faciliten la transpiración.

Finalmente, la avena no es exigente respecto al suelo en la que debe cultivarse. Por lo general es preferible un suelo con un pH algo ácido (entre 5 y 7), profundo y arcillo-arenoso.

En la figura 4 se presenta la producción de avena en toneladas en cada una de las Comunidades Autónomas del país para el año 2018 [2].

Se observa que Castilla-La Mancha fue la comunidad con un mayor volumen de producción de avena (406658 toneladas), seguido de Castilla y León (385869 toneladas).

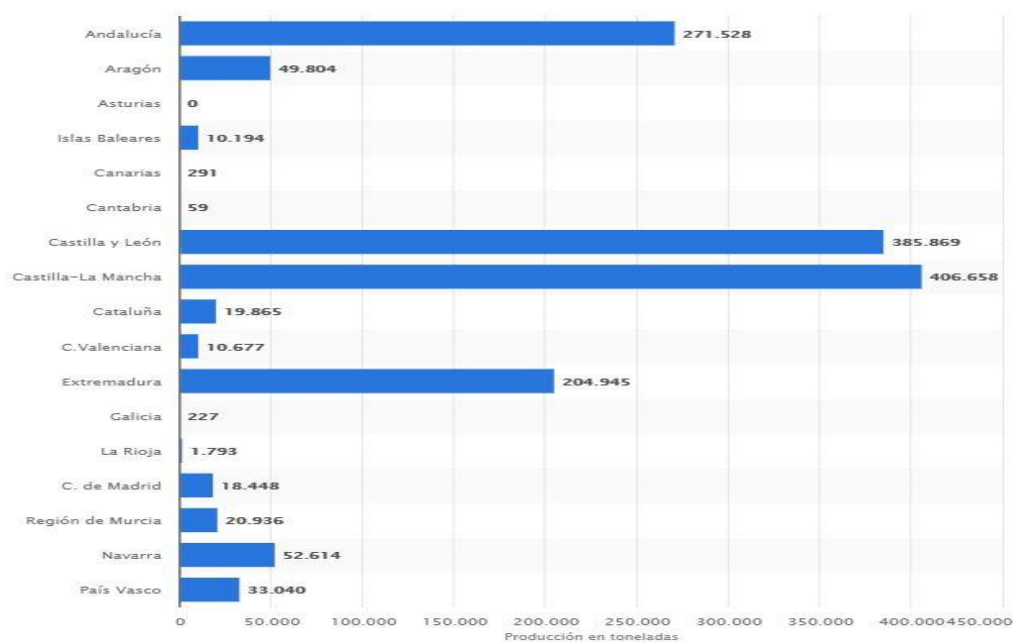


Figura 4. Producción avena (toneladas) por provincias de España

Esta cantidad de avena producida al año servirá como materia prima para la elaboración de distintos productos finales: salvado, copos y harina.

Atendiendo a las preferencias de cultivo, se concluye que una de las mejores zonas de España para la instalación de la planta es Castilla y León, ya que predomina un clima frío con abundantes precipitaciones. En la siguiente gráfica proporcionada por la Junta de Castilla y León [3], se presenta la distribución de superficie y producción de avena por provincia.

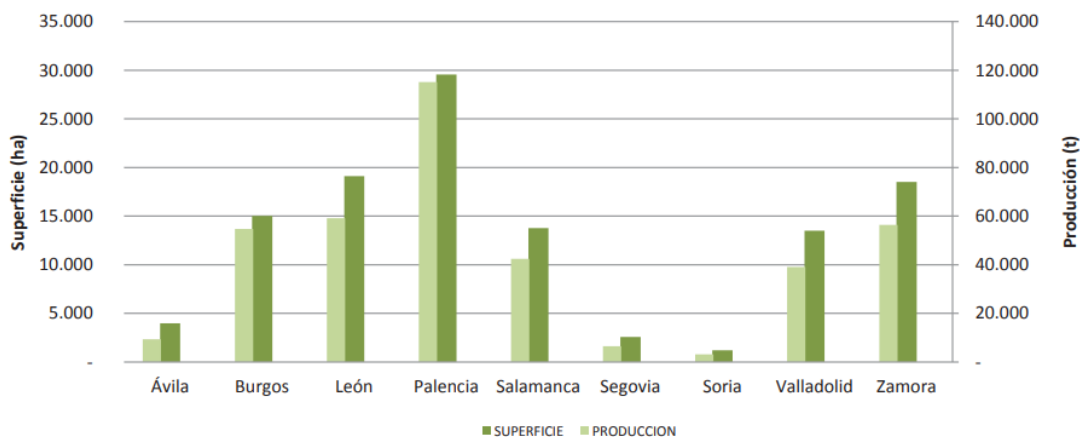


Figura 5. Distribución provincial de superficie y producción de avena de Castilla y León

Partiendo del conjunto de información recopilada al respecto, la planta se instalará en la provincia de **Palencia**, ya que se obtiene el mayor volumen de producción de avena de la Comunidad Autónoma. Aunque la cantidad necesaria para la instalación a diseñar (24100 t/año) sea bastante inferior al volumen de producción de avena en esa provincia (117000 t/año), la relación superficie-producción se ajusta mejor. Además, es muy importante destacar que la provincia de Palencia posee un clima fresco (necesario para el cultivo), aunque no tanto como el de Burgos, León o Soria. Temperaturas excesivamente bajas hacen que el rendimiento del cultivo de avena se reduzca, por lo que también es un factor determinante.

2 MEMORIA DESCRIPTIVA Y JUSTIFICATIVA

En el presente apartado se va a detallar cada una de las etapas del proceso productivo, con todas las elecciones de equipos que se han tomado, cálculos realizados, y normativa a seguir.

2.1 Reglamentación técnico-sanitaria: RD 1286/1984

A continuación, se va a mostrar la Reglamentación técnico-sanitaria española para la elaboración, circulación y comercio de las harinas para su consumo humano. Este subapartado es de gran importancia ya que deben cumplirse durante todo el proceso productivo para que sea seguro. Se mostrarán resumidamente los aspectos fundamentales.

2.1.1 Condiciones de los establecimientos, material y del personal

Los establecimientos cumplirán obligatoriamente las siguientes exigencias:

- Deberán estar adecuadamente aislados de otros ajenos a sus cometidos.
- Los recipientes, máquinas y tuberías serán de materiales que no alteren las características de su contenido, y deben ser inalterables a los productos utilizados en su limpieza.
- Las fábricas de harina deberán disponer de un laboratorio propio o contratado, con material necesario para realizar los controles de las materias primas y productos terminados.

Las industrias deberán cumplir los siguientes requisitos higiénico-sanitarios mínimos:

- Los locales de fabricación o almacenamiento deberán ser adecuados para el uso que se destine, situados a conveniente distancia de cualquier causa de suciedad, contaminación o insalubridad.
- La ventilación e iluminación serán las reglamentarias y apropiadas a la capacidad del local.
- Dispondrán de agua corriente potable, y deben tener servicios higiénicos y vestuarios.
- Todo el local debe mantenerse en estado de pulcritud y limpieza, y la maquinaria no podrá transmitir al producto propiedades nocivas.

Las condiciones que debe reunir el personal estarán sujeto al Reglamento de Manipuladores de Alimentos, aprobado por RD 2505/1983, de 4 de agosto. Algunos de los requisitos a cumplir son los siguientes:

- El personal debe poseer el carnet de manipulador de alimentos.
- Mantener la higiene en su aseo personal y utilizar en estado de limpieza adecuado la indumentaria.
- Durante el ejercicio de la actividad se prohíbe fumar, comer y estornudar o toser encima de los alimentos.

Finalmente, la lista relativa a aditivos y sus especificaciones se regirá según el artículo 2.2 del Decreto 2919/1974, de 9 de agosto. En este documento se muestran los valores máximos de los aditivos para respetar normas de identificación, calidad y pureza prescritas por la Subsecretaría de Sanidad y Consumo del Ministerio de Sanidad y Consumo.

2.1.2 Materias primas y productos terminados

En lo referente a las características del cereal, se deberán satisfacer las siguientes condiciones cereales:

- Deben estar en perfectas condiciones de consumo
- Proceder de materias primas que no estén alteradas o contaminadas
- Deben estar exentos de gérmenes patógenos, o de microorganismos que puedan producir alteraciones.

2.2 Descripción del proceso

En el presente apartado se detalla cada una de las etapas que constituyen el proceso de producción de harina de avena, desde su recepción hasta su envasado final.

En la figura 6 se puede observar un diagrama de bloques básico de la instalación, donde se representan ordenadamente las principales etapas involucradas en el proceso.

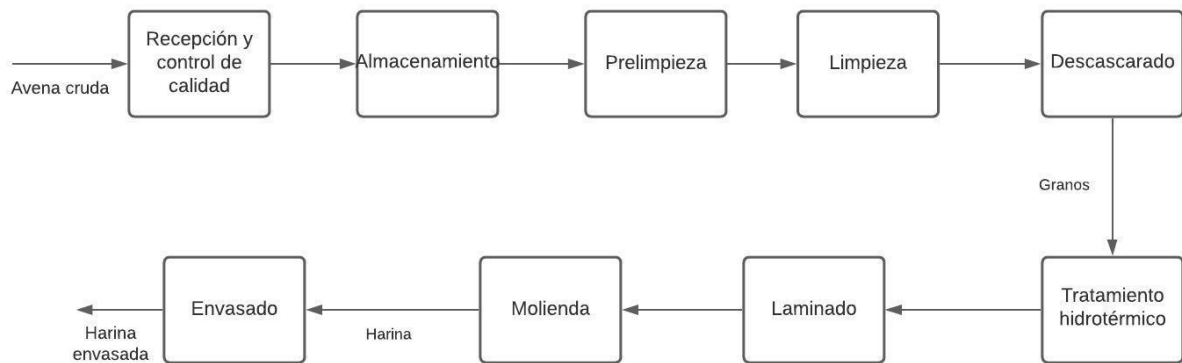


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de producción de harina de avena

A continuación, se va a explicar con una visión global el proceso productivo de la harina de avena. En primer lugar, se recibe la avena cruda al interior del recinto, y se procede a realizar un control de calidad tanto de la materia prima como de las condiciones en las que ha sido transportada. Finalizado este proceso, debe almacenarse en silos para su uso durante todo el año, ya que la materia prima se obtiene únicamente durante los meses de verano. Una vez completada esta etapa, es necesario tratar la avena para eliminar los desechos adheridos a ella. Para ello, se hace pasar el cereal por dos procesos de prelimpieza y limpieza, donde quedará retenida toda la materia extraña, de mayor y menor tamaño.

El flujo de avena limpia es introducido entonces en una peladora neumática de impacto, encargada de retirar la cáscara del grano, es decir, realizar el proceso de descascarado. A continuación, el grano obtenido es introducido en un equipo vaporizador con el fin de aplicarle un tratamiento hidrotérmico, y un posterior proceso de secado. Esta etapa se realiza con el fin de mejorar las propiedades del producto final y aportarle su característico sabor a nuez. Cuando el grano ha sido secado, se introduce por varios molinos para someterlo a los procesos de laminado y molienda. Finalmente, el producto en forma de harina se envasa en paquetes de 1 kg.

2.2.1 Recepción de la materia prima

La avena cruda llega a las instalaciones mediante camiones, que una vez registrados y pesados en básculas, entran al interior del recinto. En primer lugar, se realiza un control de calidad de las condiciones de transporte, efectuando los chequeos y revisiones oportunas de la carga del vehículo. De esta manera se asegura que la materia prima ha sido transportada de acuerdo con la normativa específica del transporte, sin mezclarse con otros productos ni contaminarse por otras sustancias indeseadas. Adicionalmente, se deben hacer las siguientes revisiones sobre el compartimento de carga:

- El compartimento debe estar limpio, seco, sin olores y en buen estado de mantenimiento.
- Es necesario que sea compatible con la carga y el transporte.
- El compartimento no puede presentar ningún tipo de plagas.
- No pueden existir residuos de anteriores cargas o de productos de limpieza.

En esta primera etapa del proceso, también se realiza un estricto control de calidad de la materia prima, donde

se hace un muestreo y análisis de ingreso de la avena cruda. Algunos de los puntos que se revisan son la presencia de gérmenes, parásitos o productos fitosanitarios, si la materia prima ha sido contaminada o dañada, etc. Para ello, se debe habilitar una zona independiente, con un operario que se encargue de la recepción, vigilando que se respeten todas las condiciones higiénico-sanitarias requeridas. En todo momento se debe evitar el cruce de líneas, de manera que no coincidan temporalmente la entrada de la materia prima con la salida de desechos de la instalación. El muestreo realizado en la avena cruda debe cumplir con las especificaciones del producto de acuerdo con la homologación proporcionada por el proveedor.

Una vez realizados todos los controles y revisiones descritas, la avena cruda se descarga en la zona de recepción. Los camiones descargan mediante un volcador hidráulico el material en un foso de descarga. Aquí la avena es dirigida al elevador de cangilones, método de transporte vertical hacia los silos de almacenamiento. En estos silos el material se conserva en las condiciones correctas para abastecer a la planta el año entero [4].

2.2.2 Prelimpieza

Esta etapa se encarga de extraer las impurezas y los materiales extraños que están mezclados con la materia prima, de forma que la molienda que se realice posteriormente resulte segura. Adicionalmente, este proceso produce un incremento en la vida útil de la maquinaria y proporciona condiciones de almacenamiento higiénicas.

Para realizar la prelimpieza de la materia prima, se va a utilizar una máquina limpiadora con aire, concretamente el modelo KDC 4000 de Kongskilde®. Este equipo se encarga de la prelimpieza del material mediante su aspiración y con la ayuda de cribas rotativas.

En primer lugar, los granos de avena ingresan al equipo por una tolva situada en la zona superior, donde son conducidos hasta la primera criba interior. Esta se encarga de separar las impurezas de mayor tamaño, reteniéndolas para su posterior expulsión del proceso. El tambor de esta primera criba posee una forma cónica, diseñada con la finalidad de que el grano descienda suavemente, asegurando una separación óptima. La luz de malla de los tamices utilizados en este primer cribado es de 11 y 9 mm.

A continuación, el material que no ha sido retenido entra a una segunda criba exterior, de 2 mm de luz de malla, encargada de separar los materiales extraños de menor tamaño. En todo momento ambas cribas se encuentran realizando un movimiento rotativo, de manera que resulte efectivo el proceso de tamizado. El tambor responsable del movimiento rotativo de los dos tamices gira a 22 rpm aproximadamente.

Antes de proseguir detallando el proceso de prelimpieza, es necesario destacar lo que se hace con el material indeseado que ha sido retenido en cada una de las cribas. Los desechos de mayor tamaño se recogen en la zona final de aspiración del equipo con ayuda de un tornillo sinfin. El polvo y el resto de las impurezas de menor tamaño son aspiradas por una turbina con el fin de descargarlas por la línea de aspiración mediante aire. Ambos residuos son descargados y transportados fuera del equipo y, por tanto, del proceso de prelimpieza. En la siguiente figura 7 se puede observar gráficamente cómo se produce la descarga de los desechos que se ha mencionado.

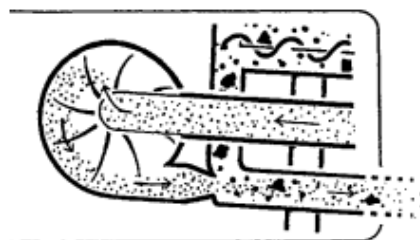


Figura 7. Eliminación material indeseado

Continuando con la línea del proceso, se procede a elevar la materia prima cribada a la zona de aspiración mediante una sección elevada y un inyector. En esta zona, como se ha mencionado anteriormente, se produce la separación de los residuos de tamaño reducido de los granos deseados. Finalmente, la avena ya está preparada para ser descargada al exterior de este primer proceso.

Cabe destacar que este equipo cuenta con dos extracciones complementarias. La primera es capaz de dar salida a las proyecciones de gran tamaño retenidas en la criba interior, y la segunda, expulsa las impurezas ligeras provenientes del segundo cribado.

En figura 8 se puede observar el funcionamiento del equipo de prelimpieza que se acaba de detallar.

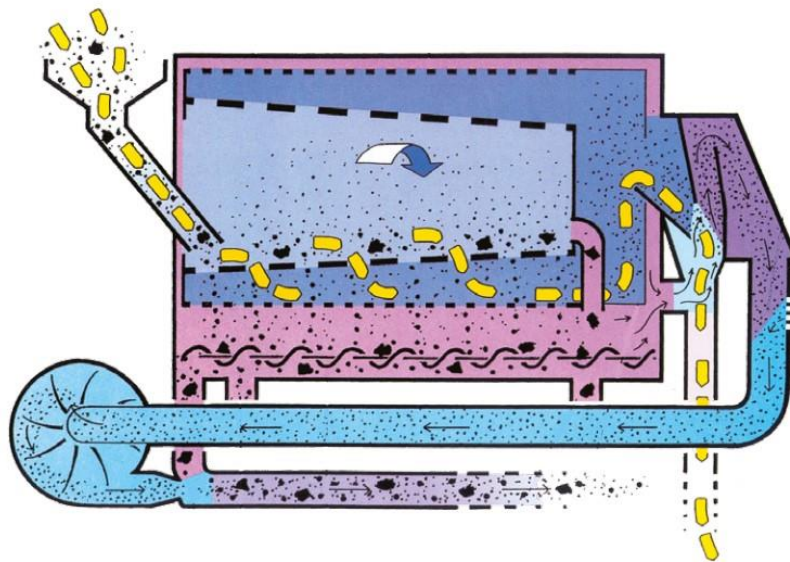


Figura 8. Funcionamiento del equipo de prelimpieza

Finalmente, existen ciertos aspectos en referencia al equipo que deben ser mencionados.

En primer lugar, es necesario establecer un equilibrio entre calidad y capacidad de cribado. Esto quiere decir que, a medida que la criba interior se hace más fina en su diseño, será mejor el cribado del material, ya que se retendrán mayor cantidad de impurezas. Sin embargo, al realizar esto, no es posible mantener la misma capacidad total a cribar. Por tanto, es necesario llegar a un compromiso entre eficiencia y capacidad.

Por otro lado, el equipo cuenta con patas regulables en la zona inferior, capaces de ajustar la inclinación del proceso. A medida que ésta aumenta, el grano pasa por la criba con mayor velocidad, haciendo que se incremente la capacidad de limpieza del equipo. En contraposición, se reduce la calidad del cribado, por lo que una vez más, es necesario establecer un compromiso entre ambos parámetros.

2.2.3 Limpieza

Se encarga de eliminar las impurezas, material defectuoso y contaminantes, incluidos los hongos, que no han podido desecharse en la etapa anterior. El buen resultado de esta etapa se refleja en la calidad del producto final, por lo que es necesaria su realización de manera meticulosa.

Para ello se ha elegido el Limpiador de Cilindro Alveolado de Streckel & Schrader®. Este equipo se encarga de separar el grano de los desechos de tamaño reducido. Su principio de funcionamiento se basa en la rotación, donde un cilindro alveolado clasifica los granos longitudinalmente. El material con menor longitud, los residuos, serán eliminados.

El cilindro central de acero posee una gran cantidad de alvéolos de precisión, es decir, unos surcos donde queda retenido el material de menor longitud a medida que rota (ver figura 10). De esta forma, los granos más alargados son separados de los menores, cuya parte mayoritaria son residuos. Ambas fracciones separadas son descargadas al exterior por diferentes salidas con ayuda de un tornillo sinfín.

En la figura 9 se observa gráficamente su funcionamiento, donde A se refiere a los alvéolos y B a la cuenca ajustable.

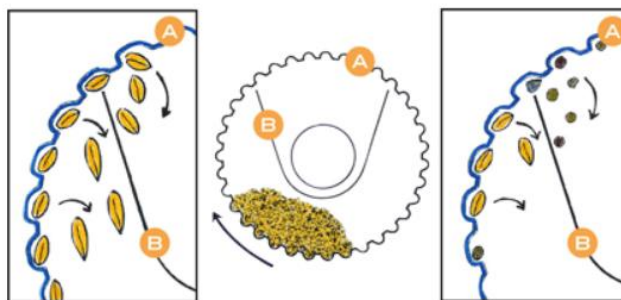


Figura 9. Funcionamiento cilindro alveolado



Figura 10. Cilindro alveolado

Este equipo además posee unas salidas donde se pueden tomar muestras del producto limpio con el fin de asegurar una calidad óptima. Estas salidas son de fácil acceso, con tapas de plástico, de manera que no resulta complicado realizar el muestreo. Las extracciones se realizan como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Toma de muestras del cilindro alveolado

2.2.4 Descascarado

Su principal finalidad es la de separar la cáscara del grano, ya que ésta no es digerible por el organismo humano. El equipo que se ha elegido para realizar este proceso es la peladora neumática MHSA de Bühler Group®. Su principio de funcionamiento se basa en el impacto del cereal contra la superficie con el fin de separar la cáscara del grano.

La corriente de avena limpia es introducida en la peladora neumática a través de un tubo de inmersión, encargado de regular el caudal. Una vez el material se encuentra en el interior de la rueda centrífuga, es lanzado contra un anillo de impacto por medio de la rotación, y en consecuencia, de la fuerza centrífuga. El material impacta contra la superficie de acero, haciendo que se abra y desprenda el grano de su interior. La altura del anillo de impacto puede ser ajustada automáticamente con ayuda de un sistema de control de rodamientos. De esta manera se garantiza un desgaste uniforme de la pieza, y con ello, aumenta su vida útil.

En la figura 12 se observa gráficamente su funcionamiento.

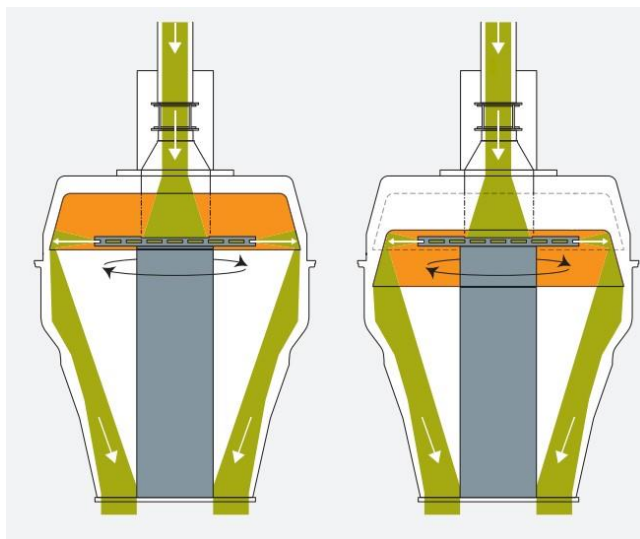


Figura 12. Funcionamiento descascarilladora

El equipo cuenta con un convertidor de frecuencia que regula la velocidad de la rueda centrífuga, con el fin de obtener un descascarado con la mínima cantidad de granos partidos.

Antes de continuar explicando el proceso, cabe destacar que para la elección de este equipo de descascarado se han utilizado los siguientes límites:

- El producto no debe ser especialmente sensible al calor.
- El contenido de aceites y humedad no puede ser alto, ya que producirían taponamientos en el equipo.
- Son especialmente adecuados los materiales quebradizos, es decir, los que presentan un comportamiento elástico hasta su punto de rotura.

Una vez se ha desprendido el grano de la cáscara, se obtiene una mezcla de ambas fracciones. Estas deben someterse a otro proceso para separarlas, por tanto se introducen en un equipo de separación.

El equipo utilizado para el procedimiento de separación de ambas fracciones es la Mesa Separadora Twitor de Bühler Group®. La mezcla de cáscaras y granos se introduce al interior a través de una artesa de entrada, que distribuye el material uniformemente en las distintas cámaras. Mediante cambios de elevación y dirección continuos, se producen distintas capas del material. Los productos con menor peso específico (cáscaras) se disponen formando la capa exterior, que será extraída por una de las dos salidas del equipo. Por otro lado, los productos con mayor peso específico que forman la capa interior (granos), son extraídos por la otra salida. De esta manera se obtiene separar cada una de las fracciones que formaban la mezcla. El proceso se puede observar de manera esquematizada en la figura 13.



Figura 13. Separación de la alimentación en la limpieza

Cabe destacar que, la mesa separadora es accionada mediante una transmisión de potencia de correa dentada. Contiene además un sistema de cilindros que reduce las vibraciones del equipo absorbiendo las fuerzas dinámicas. A continuación, en la figura 14 se muestra un esquema del funcionamiento del equipo que se acaba de detallar.

Las cáscaras y material sobrante, como aquellos granos que no han podido ser descascarados, serán almacenados en una zona de desechos para otros usos alternativos.

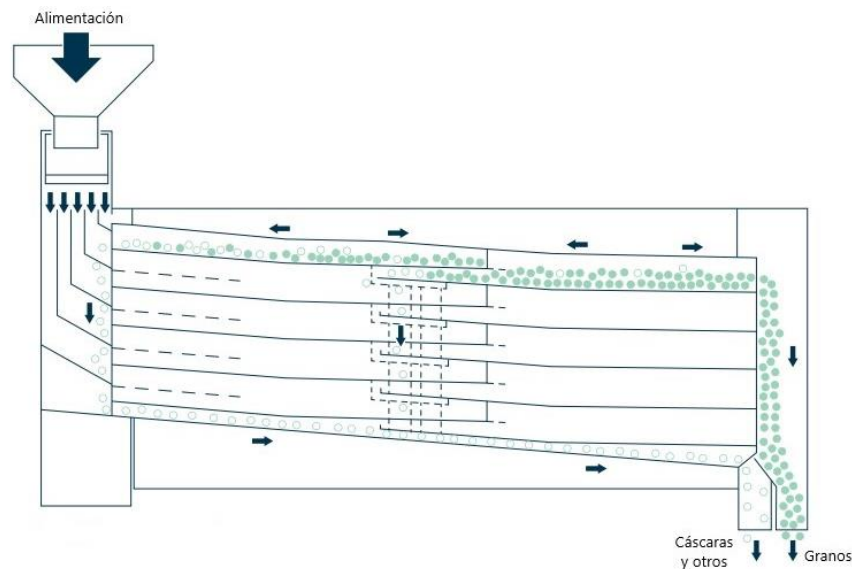


Figura 14. Funcionamiento mesa separadora en la limpieza

2.2.5 Tratamiento hidrotérmico

Esta etapa del proceso es la encargada de mejorar el sabor y la conservabilidad, ya que reduce el recuento total de germen. El grano de avena contiene un alto contenido de lipasas y lipoxigenasas, por tanto, es necesaria la inactivación de las enzimas lipolíticas presentes en el cereal. Estas son las encargadas de la producción de ácidos grasos libres y las responsables de la rancidez el producto durante el proceso industrial. Además este tratamiento prolonga la vida útil de los productos de avena en comparación con los que no se tratan.

Hay que tener en cuenta que los tratamientos hidrotérmicos cambian las propiedades del alimento al desnaturalizar sus proteínas. De esta manera, se puede reducir la carga microbiana e inactivar las enzimas. Sin embargo, si no se realiza un estricto control de esta etapa, se puede ver reducida su calidad en posteriores procesos en los que se necesite la formación de una red de gluten.

En primer lugar, los granos de avena son introducidos en un vaporizador de acero inoxidable para aumentar la humedad y temperatura del cereal. A medida que el material avanza, se acondiciona mediante la adición directa de vapor a 104 °C. El vaporizador cuenta con convertidores de frecuencia, de manera que se puede adaptar el tiempo de retención de forma óptima. Este primer proceso es de especial importancia ya que al inyectar vapor, y aumentar en consecuencia la humedad del grano, se favorece la eficacia de inactivación enzimática.

Sin embargo, el aumento de humedad puede reducir la calidad y estabilidad del almacenamiento, por lo que es necesario colocar a continuación una zona de secado para eliminar el exceso de humedad. El secado implica la reducción del contenido de humedad del sólido por evaporación a una corriente de aire caliente. El material se introduce en una cámara de secado con aire, que logra reducir las altas temperaturas obtenidas en el vaporizador, y a su vez también reduce la humedad a un 16%. Con este proceso se inactivan las enzimas lipolíticas, facilita la manipulación del producto para tratamientos posteriores, y le aporta al material su característico sabor tostado.

Finalmente, ya que el contenido de humedad sigue resultando algo elevado y la temperatura del grano aún no

es la adecuada, es necesario introducir el material en una segunda línea de secado. En este equipo se reduce la humedad hasta los valores deseados (en torno al 11%). Este proceso se realiza mediante un flujo de aire que acondiciona el material homogéneamente.

2.2.6 Laminado

En esta etapa se produce la gelatinización del almidón, produciendo un aumento de las propiedades nutricionales de la avena. Este proceso resulta de gran interés ya que un producto a base de almidón gelatinizado se asimila mejor por el organismo humano.

Para ello, los granos son introducidos en un molino de rodillos, que gracias al giro de uno hacia el otro, las partículas son atrapadas y arrastradas en ellos. El laminado se produce ya que se ejerce una fuerza de compresión sobre ellos. El equipo encargado de esta etapa se trata del Banco Laminador tipo FWS de Streckel & Schrader. Además, se ha escogido este tipo de dispositivo por los siguientes motivos:

- Se obtiene un alto nivel de higiene, y por consiguiente, de seguridad alimentaria
- La calidad del producto resulta uniforme
- Se encuentra disponible para capacidades de producción elevadas (hasta 4 t/h)

Los granos de avena se introducen en el equipo por la parte superior, y son conducidos hasta dos rodillos laminadores de acero, que se encuentran situados en paralelo (ver figura 15). La separación entre ambos es ajustable según el espesor deseado del copo, y funcionan por transmisión por correa plana. Los cilindros, de 800 mm de diámetro aproximado, se accionan mediante un sistema hidráulico y un variador de frecuencia. El ajuste de la separación de los rodillos se puede realizar sin necesidad de parar el molino. Esto resulta interesante ya que implica un mayor tiempo productivo de la instalación, y por tanto, mejora la capacidad de producción. Además, no parar la maquinaria para ajustar los rodillos se traduce en menores costes de operación.

En la parte inferior del sistema de rodillos se encuentran unos rascadores, con el fin de que no se produzcan acumulaciones indeseadas.



Figura 15. Molino de rodillos

2.2.7 Molienda

Ya que el producto final deseado se encuentra en forma de harina, los copos de avena deben ser triturados. Para ello, el material es introducido a un molino de martillos mediante una tolva de entrada. El material es triturado debido al impacto contra los revestimientos de la parte superior del molino, generado por los martillos oscilantes. En la parte inferior se coloca una rejilla de control de tamaño con el objeto de que no salga material sin triturarse debidamente. En la figura 16 se puede observar un esquema de su funcionamiento.

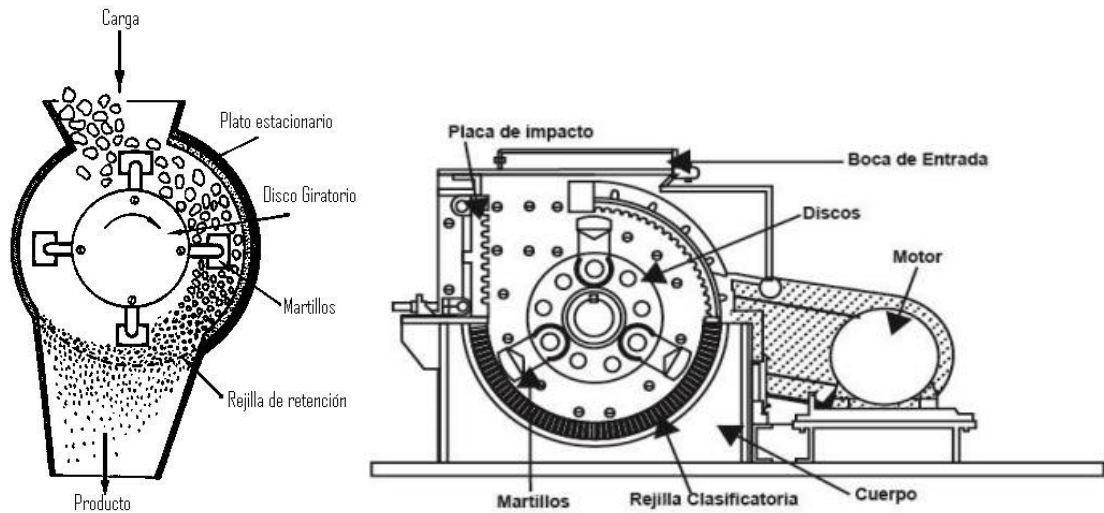


Figura 16. Molino de martillos

El proceso de molienda de la avena, además, tiene dos ventajas respecto a dejarlo en forma de copos: mejora la vida útil del producto final, y aumenta la digestibilidad.

Una vez se ha conseguido la harina de avena, se descarga directamente en un equipo que se encarga de ensacarla.

2.2.8 Envasado

Se trata de la última etapa del proceso de producción de harina de avena. El producto es introducido en una máquina que se encarga de envasarlo en paquetes de 1 kg para su consumo final. Finalmente, los paquetes producidos se apilarán debidamente en pallets para su almacenamiento. En la figura 17 se muestra el equipo que se encarga de ello.



Figura 17. Envasadora

Cada paquete obtenido debe ser correctamente etiquetado cumpliendo con las normativa sobre el rotulado de alimentos del Real Decreto 1286/1984, de 23 de mayo. Atendiendo a este reglamento, el etiquetado debe incluir la siguiente información:

- Denominación del producto
- Lista de ingredientes: irá precedido de la leyenda << Ingredientes >> y se mencionarán por su nombre específico en orden decreciente de sus masas. Los aditivos se designarán por el grupo genérico al que pertenezcan.
- Contenido neto: utilizando como unidades de medida el gramo o el kilogramo, y referido a una humedad del 15%.
- Fecha de duración mínima o fecha límite del periodo óptimo de consumo: irá precedido por la leyenda << Consumir preferentemente antes de >>, completado con el mes y el año.
- Instrucciones para la conservación: será obligatoria la leyenda de << Consérvese en un sitio seco y aislado del suelo >>.
- Identificación de la empresa
- Identificación del lote de fabricación

Cabe destacar que los paquetes deben almacenarse debidamente, teniendo en cuenta varios aspectos. En primer lugar, el almacenamiento debe darse en un lugar cerrado, en condiciones óptimas de temperatura y humedad, y con ventilación protegida de la entrada de insectos. Cabe destacar que la temperatura de almacenamiento debe estar en un lugar fresco, por debajo de los 20 °C. En segundo lugar, los paquetes se deben encontrar almacenados en una zona separada de productos químicos, maderas, cereales sin procesar o cualquier producto que desprenda un olor intenso. Finalmente, se sugiere que el almacenamiento se realiza en amplios perímetros para mejorar el proceso de inspección y limpieza.

2.3 Control de calidad de la harina: RD 677/2016

Antes de comercializar la harina de avena, es necesario realizar ciertos controles de calidad con el fin de asegurar que se cumplen todos los parámetros estipulados. Para ello, se recurre al Real Decreto 677/2016, de 16 de diciembre, donde se aprueba la norma de calidad para las harinas, sémolas y otros productos de la molienda de los cereales.

Parámetros químicos:

- Humedad máxima: 15%, admitiéndose una tolerancia del 0,5% (incluye el valor de la incertidumbre del método de análisis)
- Porcentaje de harina extraña permitido: 1%
- Actividad enzimática (tirosinasa): negativa
- Acidez grasa (expresada en ácido oleico) máxima: 6%
- Aflatoxina total (B1-B2-G1-G2) máxima: 10 ppb
- Zearalenona máxima: 200 ppb
- Deoxinivalenol máxima: 750 ppb
- Ocratoxina máxima: 5 ppb
- Plomo máximo: 0,5 mg/kg

Parámetros físicos: basados en la granulometría del producto final.

- Retención malla N° 25: 0%
- Retención Malla N° 40: 8,0 % - 25 %

- Retención Malla N° 60: 6,0 % - 28%
- Fondo: mínimo 50%

Parámetros microbiológicos: se establecen los siguientes límites en función del Artículo 173, grupo 5.1 del Reglamento Sanitario de los Alimentos, D.S 977/96.

- Mohos: máximo 1000 UFC/g³
- Levaduras: máximo 500 UFC/g
- Salmonella en 50 g: ausencia

Parámetros organolépticos⁴:

- Color: blanco invierno uniforme.
- Aspecto: mezcla homogénea de partículas molidas de avena, constituyendo un polvo de apariencia fina y color uniforme.
- Olor y sabor: deberá presentar olor y sabor característico de avena, estará libre de olores y sabores extraños (rancio, amargo, a productos químicos).

Si se cumplen todos los parámetros del control de calidad y la normativa detallada en apartados anteriores, se puede asegurar que el producto tiene una vida útil de 18 meses.

2.4 Aprovechamiento de los desechos

En el proceso de producción de harina de avena se obtienen una gran cantidad de desechos, mayoritariamente la cáscara que se retira del grano. Estos residuos pueden utilizarse como biomasa, y para otras aplicaciones, como la que se va a explicar a continuación.

La cáscara de la avena posee hasta un 36% de hemicelulosa, polímero de gran interés ya que es biodegradable y renovable. Si se combina con otros materiales como bioplásticos o polímeros convencionales, es posible desarrollar envases ligeros, con excelentes propiedades barrera y mecánicas. Resulta interesante producir envases compuestos por hemicelulosa ya que se obtienen productos de gran fuerza y rigidez, con bajo peso, elasticidad, biodegradabilidad y renovabilidad.

Este uso de los desechos contribuye a su vez a la reducción de envases de plástico convencionales, siendo una alternativa cada vez más demandada por los consumidores. Actualmente se generan más de 5 millones de toneladas de residuos plásticos, por lo que resulta interesante desde el punto de vista ambiental.

Esta gran cantidad de residuos (2,546 t/h) se destinarán a una instalación de producción de envases que se encuentra situada próxima a la planta. Ésta es capaz de utilizar todas las cáscaras procedentes de la instalación ya que tiene un volumen de producción alto.

De esta manera, la rentabilidad del proceso de producción de harina de avena se ve incrementada, a la vez que se contribuye al desarrollo medioambiental.

³ UFC/g: medida en masa de la Unidad Formadora de Colonias, empleada para la cuantificación de microorganismos (número de bacterias en una muestra).

⁴ Parámetros organolépticos: características físicas que se pueden percibir mediante los sentidos

3 MEMORIA DE CÁLCULO

En el presente apartado se va a describir y justificar cada una de las decisiones tomadas respecto al proceso de producción de la harina de avena, desde cálculos realizados a elección de la maquinaria adecuada.

3.1 Balance de materia global

De manera esquematizada, la información correspondiente al balance de materia se puede unificar en el siguiente diagrama de bloques (figura 18). Así, se pueden observar los cambios de flujos másicos de manera global.

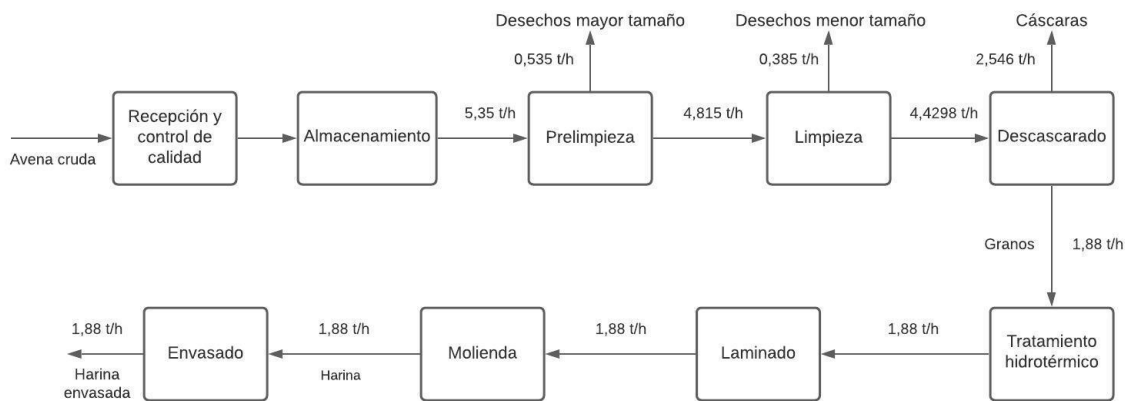


Figura 18. Balance de materia del proceso completo

Una vez observado el balance de materia con una visión global, se procede a detallar cada uno de los cálculos realizados en todas las etapas del proceso.

3.2 Recepción de la materia prima

La avena cruda llega a las instalaciones mediante camiones, que descargan su contenido en un foso para ser elevado y almacenado en silos. En la figura 19 se puede observar esquemáticamente el proceso de recepción de la materia prima.

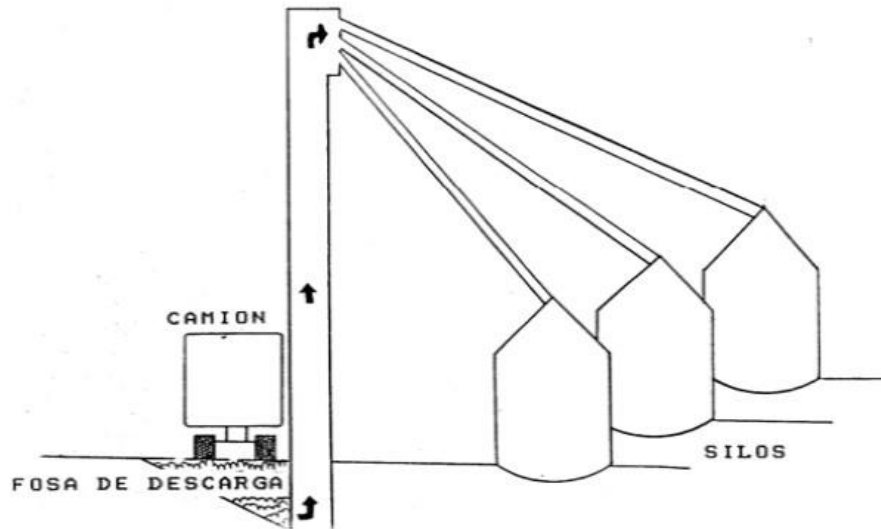


Figura 19. Esquema del proceso de almacenamiento de la materia prima

A continuación, se mostrarán los parámetros de diseño de los equipos necesarios para realizar esta primera etapa del proceso.

3.2.1 Foso de descarga

Una vez que los camiones han sido pesados en la báscula de recepción, y se ha determinado la calidad del grano en el laboratorio, se procede a descargar su contenido en el foso o tolva de descarga. Mediante un volcador hidráulico el camión descarga el material en una tolva situada en el suelo (ver figura 20). Por gravedad, los granos caen por la rejilla para ser conducidos posteriormente al elevador de cangilones. En esta primera rejilla se retiene cualquier sólido indeseado de gran tamaño.

El foso de descarga se trata de una tolva hecha de hormigón y recubierta de enrejado. Se sitúa en un lugar protegido de lluvia, y de tal forma que el camión pueda tener un fácil acceso a ella.

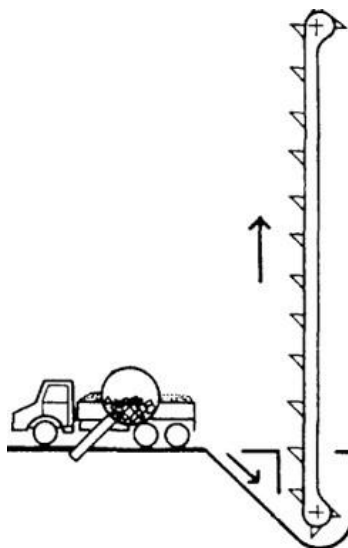


Figura 20. Proceso de recepción del material

La avena se cosecha en los meses de verano (junio, julio y agosto), por lo que durante ese periodo de tiempo se debe obtener todo el material necesario para el año entero. Se cosecha en los meses de verano ya que se realiza 5 meses después de haber germinado.

Se necesitan 24100 toneladas de avena cruda para satisfacer las necesidades de producción de la planta, ya que trabaja 4500 horas anuales. Por ello, es necesario que durante esos meses se almacene toda esa materia prima.

Se utilizan tráileres de 6 ejes, capaces de transportar cargas de 44 toneladas. Por tanto, tomando que durante esos tres meses sólo llegan a la estación 4 días, se necesitan 12 camiones al día.

Aunque al día llegan 12 camiones (528 toneladas de materia prima), el foso de descarga debe diseñarse del lado de la seguridad. De esta manera se asegura la producción en caso de un aumento de ella. Por ello, aplicando un factor de seguridad de 1,4 se obtiene que el volumen que debe tener el foso es de 1421 m^3 .

La tolva de descarga tiene una forma de tronco piramidal invertido inclinado (ver figura 21), de manera que conduce los granos hasta el tornillo sin fin que alimenta al elevador de cangilones.

Sabiendo el volumen necesario, se ha diseñado el foso de manera que la profundidad resulte de 10 m, el área de la base inferior de $30,12 \text{ m}^2$ y de la base superior de $301,22 \text{ m}^2$. De esta manera, la rejilla de la parte superior mide 22 m de largo y 11 m de ancho, y la inferior 24,54 m y 12,27 m respectivamente.

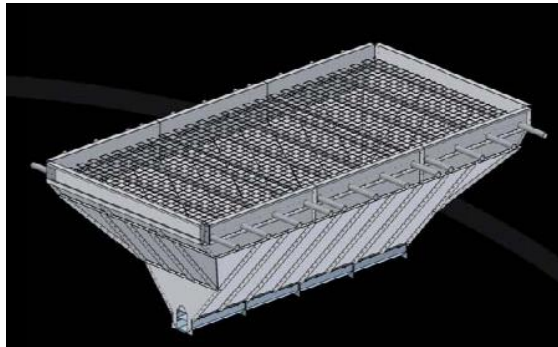


Figura 21. Esquema del foso de descarga

Dentro del foso de descarga se encuentra un **tornillo sin fin** que alimenta al elevador de cangilones, uno de los medios de transporte más utilizados en la industria agroalimentaria, química y de productos a granel.

Se trata de una hélice helicoidal enrollada sobre un eje central que la hace girar. Para mover el tornillo se necesita una rueda o corona, cuyos dientes están en contacto con la hélice, trasladándole así su movimiento. Entre cada vuelta del tornillo se forma un espacio donde se depositan los materiales a transportar, los cuales suben un nivel cada vez que el tornillo da una vuelta.

Para realizar su diseño, en primer lugar, será necesario conocer la clase de material que constituye la avena, y en consecuencia su factor de capacidad. Para ello hará uso de la tabla 1.

Tabla 1. Clase y factor del material para transporte con tornillo sin fin

F = factor del material

Materiales de clase a: ligeros, finos, no abrasivos, que fluyen libremente, de 480 a 640 kg/m³.
 Materiales de clase b: no abrasivos de peso medio, granulares o pequeños terrones mezclados con finos, hasta 830 kg/m³.
 Materiales de clase c: no abrasivos o semiabrasivos, granulares o pequeños terrones mezclados con finos, de 640 a 1.200 kg/m³.
 Materiales de clase d: abrasivos o semiabrasivos, finos, granulares o pequeños terrones mezclados con finos, de 830 a 1.600 kg/m³.

Clase a (F = 1,2)	Clase b (F = 1,4 a 1,8)	Clase c (F = 2 a 2,5)	Clase d (F = 3 a 4)
Cebada † Malta seca en granos Carbón pulverizado Harina de maíz † Harina de semilla de algodón Semillas de lino (linaza) Harina de trigo † Cal pulverizada Malta † Arroz * † Trigo †	Alumbre, fino Soja † Carbón, finos y sueltos Semillas de Cacao † Semillas de café * † Maíz desgranado † Sémola de maíz Gránulos de gelatina * † Grafito en escamas Cal hidratada.	Alumbre aterronado † Bórax Malta mojada en granos Carbón de madera Carbón de hulla clasificado Carbón de lignito Cacao † Corcho-en trozos Cenizas Cal apagada Leche seca † Pulpa de papel Papel en bloques Sal, gruesa o fina † Fangos, aguas fecales Jabón pulverizado Cenizas de sosa Almidón † Azúcar refinado	Bauxita Harina de huesos Negro de humo Cemento Creta Arcilla Espato fluor Yeso machacado Oxidos de plomo Guijarros de cal Polvo de piedra caliza Fosfato ácido, de calcio en terrones, 7 % humedad. Arena seca Pizarra machacada Esquistos machacados Azúcar crudo Azufre Óxido de zinc

En este punto, la avena cruda, al tratarse de un material granular no abrasivo sin finos se clasifica como un material tipo b, con un factor del material F comprendido entre 1,4 y 1,8.

En segundo lugar, para calcular el diámetro del tornillo, se tiene que hacer uso de la gráfica de la figura 22 que se presenta a continuación, que depende de la clase del material, y de la capacidad de transporte.

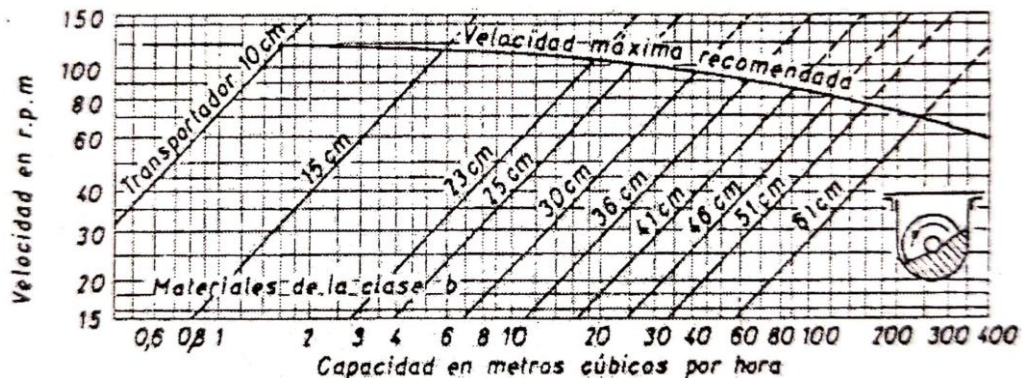


Figura 22. Curva de velocidad-capacidad de un tornillo sin fin

Para obtener el diámetro del tornillo y su velocidad, se debe trazar una vertical desde el valor de la capacidad en metros cúbicos por hora. Para ello, como la cantidad de avena a transportar es de 184,8 t/h y la densidad es 0,52 t/m³, se tiene una capacidad de 355,38 m³/h.

Atendiendo a ello, el diámetro de tornillo adecuado resulta de **61 cm**, a una velocidad de 95 rpm, siendo la recomendada de **60 rpm**.

Finalmente, para calcular la potencia del tornillo sin fin, se debe hacer uso de la siguiente expresión:

$$P = \frac{\dot{m} \times L \times F}{270 \times \eta}$$

Ecuación 1

Siendo:

- P: potencia del motor del tornillo (CV)
- \dot{m} : caudal másico de avena (t/h)
- L: longitud del tornillo (m)
- F: factor del material
- η : generalmente de valor 0,3

Así, eligiendo el mayor valor de F para que se encuentre en el caso más desfavorable, y tomando la longitud del fondo del foso de 24,54 metros, se obtiene la siguiente potencia:

$$P = \frac{184,8 \times 24,54 \times 1,8}{270 \times 0,3} = 100,78 \text{ CV} = \mathbf{75,15 \text{ kW}}$$

3.2.2 Elevador de cangilones

Se trata de un mecanismo de transporte de la materia prima en vertical, con el fin de elevar la avena cruda hasta la entrada al silo de almacenamiento situado posteriormente. Los cangilones están montados distanciados entre sí a intervalos regulares, sobre ramales sencillos o dobles cadenas, como se observa en la figura 23.

El llenado de los cangilones se realiza directamente, después de pasar bajo las ruedas o tambor de la caja tensora inferior.

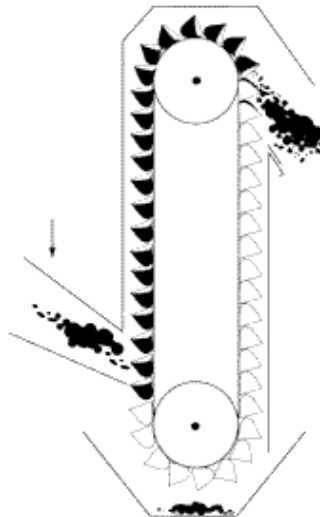


Figura 23. Elevador de cangilones

El primer paso para realizar el diseño es conocer de qué tipo de elevador se trata. Se determina en función de las características del material a transportar. Para ello, se hace uso de la tabla 2, donde se puede observar que para un material de baja granulometría (<50 mm), baja abrasividad y no apelmazable, el tipo de elevador a usar debe ser de descarga centrífuga. Con este primer diseño, se toma un coeficiente de llenado de 0,7 y una velocidad de transporte de 1,25 m/s. Además, es necesario conocer que la densidad de la avena cruda es de $0,52 \text{ t/m}^3$.

Tabla 2. Tipos de elevador de cangilones en función del material

Tipos de transportadores a utilizar según productos						
Características del material	Tipo de elevador	Coefficiente de llenado	Velocidad (m/seg)			
<ul style="list-style-type: none"> — Baja granulometría (< 50 mm) — Baja abrasividad — No apelmazables 	Descarga centrífuga	0,6-0,8	1 -1,5			
<ul style="list-style-type: none"> — Baja granulometría (< 50 mm) — Acusada abrasividad — Interesa conservar granulometría 				Descarga por gravedad	0,6-0,8	0,5-0,8
<ul style="list-style-type: none"> — Alta abrasividad — Grandes tonelajes 						
<ul style="list-style-type: none"> — Alta granulometría (~ 100 mm) 	Elevadores de celdas	0,5-0,7	0,3-0,4			
<ul style="list-style-type: none"> — Baja o mediana abrasividad — Pulverulento o granulares, húmedos-apelmazables 	Descarga por gravedad	0,4-0,6	0,6-0,8			

Los elevadores de cangilones con descarga centrífuga son diseñados y fabricados para el manejo a granel de materiales de flujo libre, fino y suelto. En este caso, la descarga se realiza por proyección del material, originada por la fuerza centrífuga como consecuencia de la elevada velocidad de los cangilones. Una de sus principales ventajas es que evitan la existencia de interferencias entre la carga y la descarga, ya que los cangilones se encuentran distanciados. Además, permite el llenado de los cangilones tanto por la alimentación como por el sobrante del material que queda en la parte inferior del elevador.

Continuando con el diseño, es necesario calcular la capacidad máxima del elevador para conocer más datos relativos a su estructura. Para ello, se usa la ecuación 2:

$$Q_c = \frac{\dot{m}}{\rho} \times \bar{\rho} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo

- Q_c : capacidad máxima del elevador (m^3/h)
- \dot{m} : caudal másico de avena cruda (t/h)
- ρ : densidad de la avena cruda (t/m^3)
- $\bar{\rho}$: coeficiente de llenado

De esta manera, se obtiene lo siguiente:

$$Q_c = \frac{184,8}{0,52} \times 0,7 = 248,77 \text{ m}^3/h$$

El caudal másico de avena cruda que es necesario elevar se obtiene sabiendo que el elevador funciona durante 4 horas diarias. Con eso y conociendo el caudal de avena que llega cada día durante esos 3 meses a la instalación (con su factor de seguridad), se obtiene un flujo másico de 184,8 t/h.

Con la capacidad finalmente calculada, es necesario recurrir a la tabla 3 para conocer los datos relativos a los elevadores comerciales de descarga centrífuga.

Tabla 3. Datos de elevadores de cangilones centrífugos

Datos relativos a elevadores comerciales de descarga centrífuga				
Capacidad al 100 % (m ³ /h)	Capacidad al 70 % (m ³ /h)	Capacidad de un cangilón (l)	Distancia entre cangilones (mm)	Velocidad (m/seg)
13,5	9,4	1,5	461	1,15
18	12,6	2,4	567	1,18
29	20,2	3,8	567	1,20
47	33	6	570	1,24
78,5	55	9,5	570	1,31
116	81	15	651	1,40
169	118	24	742	1,45
235	164	37,5	861	1,50
312	218	60	1 029	1,50

De esta manera se obtiene un elevador con 60 L de capacidad de cangilón, con una distancia entre ellos de 1029 mm y con una velocidad de 1,5 m/s. Este último dato coincide con el que proporciona la tabla 1 sobre elevadores de descarga centrífuga. En consecuencia, se puede concluir que la elección del elevador es la adecuada.

Finalmente, para calcular la potencia del equipo es necesario recurrir a catálogo de descarga centrífuga, como se observa en la tabla 4:

Tabla 4. Características elevador de cangilones centrífugo

Características

Tipo DC		85.30	100.35	118.40	125.47	145.56	165.67	180.80	200.100	240.125
Rendimiento	m ³ /h	14	18	25	39	78	116	166	235	315
Altura máx.	m	26	30	32	28	32	28	30	30	30
Velocidad	m/min	72	72	78	78	78	84	87	90	90
Capacidad del cangilón	l	1,2	1,9	3	4,75	9,5	15	23,6	37,5	60
Potencia con altura máx. (d=1) CV.		4	5,5	7,5	10	20	25	40	50	60

Para una capacidad de cangilón de 60 litros, resulta una potencia de 60 CV. Sin embargo, esta potencia necesita ajustarse ya que está dada para una densidad de 1 t/m³. Realizando el cambio de densidades se obtiene una potencia de **31,2 CV**. En este caso, los cangilones tienen que elevar la avena cruda hasta la entrada de los silos de almacenamiento, que se encuentran a 25 metros de altura. Por tanto, no hay que realizar ajustes de altura ya que los 31,2 CV obtenidos se dan para una altura de 30 m.

3.2.3 Silo de almacenamiento

La materia prima que llega cada día durante los meses de cosecha a la planta a través de camiones. Para ello, se cuenta con varios silos de almacenamiento, cuyas características se van a expresar a continuación.

Como se ha detallado en los cálculos para el diseño del foso de descarga, los silos que se diseñen tienen que contar con un volumen suficiente como para almacenar la materia prima para trabajar durante prácticamente todo el año.

Para obtener el nivel de producción de harina de avena deseado, se necesitan 24100 t/año de materia prima, que será recibida en la instalación en los meses de cosecha.

Como es habitual realizar los cálculos de los silos en medidas de volumen, con ayuda de la densidad de la avena (0,52 t/m³), se obtiene que el volumen máximo de almacenamiento resulta de 46346,15 m³. Este valor está algo sobredimensionado ya que no todo el material llega a la instalación a la vez. Sin embargo, es más adecuado instalar silos donde haya espacio suficiente en caso de que hubiese un aumento de la producción (stock de

seguridad).

En primer lugar, cabe destacar que las bases de los silos pueden ser de dos formas: planas o cónicas (ver figura 24). En este caso, interesa una base plana ya que se recomiendan para almacenamientos de mayor volumen.

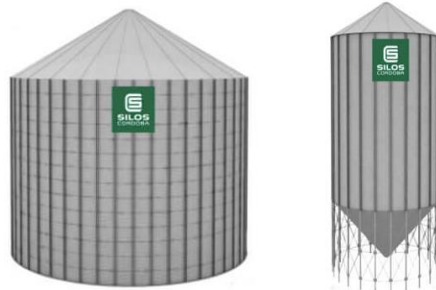


Figura 24. Silo de base plana y cónica

Como se puede observar, en ambos casos el techo es cónico, y por lo general posee un ángulo de caída de 25°.

El dimensionamiento del silo depende fundamentalmente de su capacidad y de las especificaciones de los fabricantes. El diseño de la mayoría de fabricantes tienen las mismas características.

En la figura 25 se pueden observar los distintos tipos de silos del fabricante escogido para la instalación.

SIMEZA	SILO Ø (m)	4,60	5,30	6,10	6,90	7,60	8,40	9,20	9,90	10,70	11,50	12,20	13,00	13,80	14,50	15,30	16,80	18,30	19,90	21,40	22,90	24,40	26,00	27,50	30,60
		TECHO ALTURA (m)	1,37	1,60	1,82	2,01	2,26	2,48	2,45	2,67	2,89	3,02	3,33	3,56	3,78	4,00	4,22	4,66	5,10	5,54	5,88	6,32	6,77	7,21	7,65
NÚMERO DE VIROLAS	CILINDRO ALTURA (m)	VOLUMEN (m³)																							
4	4,63	84	116	154	197	247	302	365	434	510	593	683	781	886	1.000	1.121	1.389	1.692	2.032	2.409	2.826	3.284	3.786	4.331	5.563
5	5,77	103	142	187	240	299	366	440	522	613	711	817	932	1.056	1.189	1.331	1.643	1.994	2.386	2.820	3.298	3.821	4.392	5.011	6.402
6	6,92	122	167	221	282	351	429	516	611	715	829	952	1.084	1.226	1.378	1.541	1.897	2.296	2.741	3.231	3.770	4.358	4.998	5.691	7.241
7	8,06	141	193	254	324	404	493	591	700	818	947	1.086	1.235	1.396	1.568	1.750	2.151	2.598	3.095	3.642	4.242	4.895	5.604	6.370	8.080
8	9,20	159	219	288	367	456	556	667	788	921	1.065	1.220	1.387	1.566	1.757	1.960	2.404	2.900	3.449	4.053	4.714	5.432	6.210	7.050	8.919
9	10,35	178	244	321	409	509	620	742	877	1.024	1.183	1.354	1.539	1.736	1.946	2.170	2.658	3.202	3.804	4.464	5.186	5.969	6.816	7.729	9.758
10	11,49	197	270	355	452	561	683	818	966	1.126	1.301	1.488	1.690	1.906	2.136	2.380	2.912	3.504	4.158	4.876	5.658	6.506	7.423	8.409	10.597
11	12,64	216	296	388	494	614	747	893	1.054	1.229	1.419	1.623	1.842	2.076	2.325	2.589	3.166	3.806	4.513	5.287	6.129	7.043	8.029	9.089	11.436
12	13,78	235	321	422	537	666	810	969	1.143	1.332	1.537	1.757	1.993	2.246	2.514	2.799	3.420	4.109	4.867	5.698	6.601	7.580	8.635	9.768	12.275
13	14,92	254	347	456	579	719	874	1.044	1.231	1.435	1.655	1.891	2.145	2.415	2.703	3.009	3.673	4.411	5.222	6.109	7.073	8.117	9.241	10.448	13.114
14	16,07	273	373	489	622	771	937	1.120	1.320	1.538	1.773	2.025	2.296	2.585	2.893	3.219	3.927	4.713	5.576	6.520	7.545	8.654	9.847	11.127	13.953
15	17,21	292	399	523	664	823	1.000	1.195	1.409	1.640	1.890	2.160	2.448	2.755	3.082	3.428	4.181	5.015	5.931	6.931	8.017	9.191	10.454	11.807	14.792
16	18,36	310	424	556	707	876	1.064	1.271	1.497	1.743	2.008	2.294	2.599	2.925	3.271	3.638	4.435	5.317	6.285	7.342	8.489	9.728	11.060	12.486	15.631
17	19,50	329	450	590	749	928	1.127	1.346	1.584	1.846	2.126	2.428	2.751	3.095	3.461	3.848	4.689	5.619	6.640	7.753	8.961	10.265	11.666	13.166	16.470
18	20,64	348	476	623	792	981	1.191	1.422	1.674	1.949	2.244	2.562	2.902	3.265	3.650	4.058	4.942	5.921	6.994	8.164	9.433	10.802	12.272	13.846	17.309
19	21,79	367	501	657	834	1.033	1.254	1.497	1.763	2.051	2.362	2.697	3.054	3.435	3.839	4.267	5.196	6.223	7.349	8.575	9.905	11.339	12.878	14.525	18.148
20	22,93	386	527	690	877	1.086	1.318	1.573	1.852	2.154	2.480	2.831	3.206	3.605	4.028	4.477	5.450	6.525	7.703	8.987	10.377	11.876	13.484	15.205	18.987
21	24,08	405	553	724	919	1.138	1.381	1.648	1.940	2.257	2.598	2.965	3.357	3.775	4.218	4.687	5.704	6.827	8.058	9.398	10.849	12.413	14.091	15.884	19.826
22	25,22	424	578	758	962	1.190	1.445	1.724	2.029	2.360	2.716	3.099	3.509	3.944	4.407	4.897	5.958	7.129	8.412	9.809	11.321	12.950	14.697	16.564	20.665
23	26,36	443	604	791	1.004	1.243	1.508	1.799	2.118	2.463	2.834	3.234	3.660	4.114	4.596	5.106	6.211	7.431	8.767	10.220	11.793	13.486	15.303	17.244	21.504
24	27,51	461	630	825	1.047	1.295	1.571	1.875	2.206	2.565	2.952	3.368	3.812	4.284	4.786	5.316	6.465	7.733	9.121	10.631	12.265	14.023	15.909	17.923	22.343
25	28,65	480	655	858	1.089	1.348	1.635	1.950	2.295	2.668	3.070	3.502	3.963	4.454	4.975	5.526	6.719	8.035	9.476	11.042	12.737	14.560	16.515	18.603	23.182

Figura 25. Catálogo de silos de base plana

Partiendo del volumen anteriormente mencionado de 46346,15 m³, se instalarán 4 silos de 11807 m³, cuyas especificaciones son las siguientes:

- Altura total: 25 m
 - Altura cilindro: 17,21 m
 - Altura del techo: 7,65 m
- Número de virolas: 15
- Diámetro: 27,5 m

El material del que está fabricado el silo debe ser de acero, de manera que garantice una segura conservación de la materia prima.

Condiciones de almacenamiento de la materia prima

Los silos donde se va a almacenar la avena cruda deben contar con un sistema de ventilación que sea capaz de combatir los fenómenos de transferencia de humedad. Este factor es imprescindible tenerlo en cuenta ya que se debe garantizar la buena conservación de la materia prima. En caso contrario además conllevaría al desarrollo de microorganismos e insectos.

Para ello, los silos irán equipados con sistemas de ventilación o aireación. Consiste en la circulación forzada de aire ambiente a través de la masa de los granos. Este flujo de aire se consigue mediante ventiladores impulsores y tubos para la repartición del aire.

En el silo, en un plazo relativamente corto, los granos comienzan a enfriarse hasta alcanzar la temperatura del aire (o ligeramente inferior). En un segundo tiempo, por efecto de la ventilación prolongada, los granos pueden comenzar a secarse (a condición de que el aire usado esté suficientemente seco).

Finalmente, cabe destacar que si no hubiese un sistema de ventilación, los granos deben llegar previamente secos y limpios, tratados con insecticidas de gran persistencia de acción.

En la siguiente figura 26 se observa cómo opera el sistema de ventilación del silo.

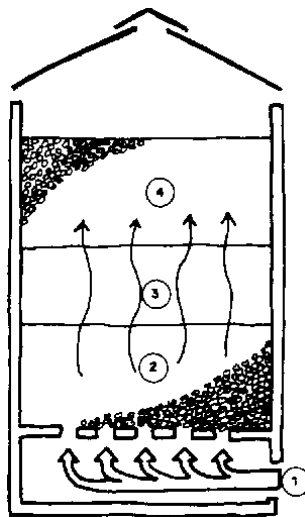


Figura 26. Esquema de un silo ventila

1 Aire secante; 2 Granos enfriados; 3 Granos en proceso de enfriamiento; 4 Granos calientes

3.2.4 Cinta transportadora

3.2.4.1 Parámetros de diseño

Para transportar la avena cruda desde el silo hasta el primer equipo de limpieza es necesaria la instalación de una cinta transportadora, ya que es el método más adecuado en este tramo. Para realizar su diseño se deben usar diversas tablas y gráficos, que se irán presentando en este subapartado.

En primer lugar, haciendo uso de la tabla 5, se obtienen algunos parámetros referentes al material que se va a transportar, es este caso, la avena cruda. De esta forma, se obtiene una velocidad de transporte máxima de 2,5 m/s y una inclinación máxima de 25°. Este último parámetro se debe tener en cuenta a la hora del diseño de la cinta cuando se tienen que vencer ciertas alturas.

Tabla 5. Propiedades y condiciones de transporte de algunos materiales

Material	Peso específico T/m ³	Inclinación máxima		Material	Peso específico T/m ³	Inclinación máxima	
		Angulo	Veloc. máxima m/s			Angulo	Veloc. máxima m/s
Basalto (0-100 mm)	1,60	20°	2,0	Mortero	2,4	20°	2,0
Montones de basura	1,20	20°	2,0	Fosfato	1,2	15°	1,5
Hormigón	1,75-2,4	15°-25°	2,0	Piritas	2,00-2,50	18°-22°	2,5
Carbón seco o mojado	0,65-0,78	20°	1,5	Centeno	0,68-0,79	25°	2,5
Carbón briquetas	0,9	15°	1,5	Remolacha	0,65-0,75	20°	2,5
Tierra seca	1,10-1,3	18°	2,5	Arena seca	1,60	18°	2,5
Tierra húmeda	1,60-1,70	22°	2,5	Arena húmeda	2,00	22°	2,5
Mineral fino	1,70	18°	2,5	Escoria seca	0,60	20°	1,2
Arena de moldeo	1,30	24°	2,0	Carbón en mina	0,72-0,87	20°	2,5
Avena	0,43-0,60	25°	2,5	Sal	1,00	18°	2,5
Grava seca	1,85	18°	2,5	Arcilla seca	1,80	23°	1,5
Cok	0,35-0,55	18°-20°	2,0	Trigo	0,76	15°-20°	3,5
Cemento	1,2-1,3	22°	2,0	Caliza	1,20-1,60	20°-23°	2,5

En segundo lugar, con ayuda de la tabla 6 se puede obtener el rango de velocidades nominales y máximas. Para ello, se toma la avena como tipo: granos y materiales ligeros. De esta manera, dividiendo entre 60 el rango (para obtener la velocidad en m/s), se obtiene lo siguiente:

- Velocidad nominal $\in [1,2]$ m/s
- Velocidad máxima $\in [2, 3 \cdot 33]$ m/s

Tabla 6. Velocidades de los productos a transportar (m/min)

Ancho de banda (mm)	Granos y materiales ligeros		Minerales molidos		Minerales trozos medio		Materiales pesados en grandes trozos	
	V_N	V_M	V_N	V_M	V_N	V_M	V_N	V_M
400	60	120	60	75	60	90		
500	75	180	75	120	75	100	75	80
600	90	180	90	120	90	120	90	100
700	100	180	100	120	100	130	95	110
800	110	200	110	140	110	150	110	110
1 000	120	200	120	150	120	170	120	120
1 200	120	200	120	150	120	170	120	120

En siguiente lugar, debe elegirse el ancho de banda mínimo con la tabla 7 que se muestra a continuación. Para ello, partiendo de que la avena cruda resulta de granulometría uniforme y tamaño ligeramente inferior a 38 mm, se obtiene un ancho de banda mínimo de 300 mm. Esto quiere decir que, para las condiciones del proceso, la banda debe ser como mínimo de 300 mm. Para satisfacer las necesidades de transporte y obtener una velocidad aproximada de 1 m/s, se escoge una banda de 1200 mm de ancho.

Tabla 7. Ancho mínimo y separación de rodillos de la cinta transportadora

Ancho de la banda	Clase y dimensión del material		PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL EN KG/M ³				Separación rodillos de retorno
	Uniforme	Con filos	450	900	1.200/1.600	2.000/2.400	
			Separación entre rodillos de ida				
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
300	38	100	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
350	48	115	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
400	60	130	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
450	75	150	1.650	1.500	1.500	1.400	3.000
500	90	165	1.650	1.500	1.500	1.300	3.000
550	100	185	1.650	1.500	1.450	1.250	3.000
600	115	200	1.650	1.500	1.400	1.225	3.000
650	125	230	1.525	1.370	1.200	1.225	3.000
700	140	260	1.525	1.370	1.200	1.225	3.000
750	155	290	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
800	170	320	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
850	185	350	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
900	200	380	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
950	215	410	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
1.000	230	440	1.525	1.370	1.200	1.060	3.000
1.050	245	470	1.370	1.370	1.200	1.060	2.750
1.100	260	500	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.150	275	540	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.200	290	600	1.370	1.200	1.200	1.060	2.750
1.250	305	660	1.370	1.200	1.100	1.060	2.750
1.300	320	720	1.300	1.100	1.100	1.000	2.750

Finalmente, para obtener el diseño final es necesario calcular el caudal mínimo a transportar. Para ello, se usa la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{\dot{m}}{\rho \times v \times k} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

- Q_m : caudal unitario ($\frac{m^3/h}{m/s}$)
- \dot{m} : caudal másico (t/h)
- ρ : densidad de la avena (t/m^3)
- v : velocidad de transporte (m/s)
- k : coeficiente a aplicar para bandas inclinadas

Aplicando esta ecuación, y sabiendo que k es 1 (por ser una cinta horizontal), se obtiene el caudal unitario:

$$Q_m = \frac{5,35}{0,52 \times 1 \times 1} = 10,28 \frac{m^3/h}{m/s}$$

Con ayuda de la ecuación 4 y de la tabla 8 que se muestran a continuación, se obtienen los parámetros de diseño de la cinta transportadora.

$$v = \frac{Q_{horizontal}}{Q_m} = \frac{\dot{m} / \rho \times k}{Q_m}$$

Ecuación 4

$$v = \frac{5,35 / 0,52 \times 1}{10,28} = 1 \text{ m/s}$$

Tabla 8. Parámetros de diseño de la cinta transportadora

Ancho banda mm	Banda plana m ³ /h	Banda en forma de artesa					
		L ₁ mm = L ₂ mm	α = 20° m ³ /h	α = 30° m ³ /h	L ₁ mm	L ₂ mm	α = 30° m ³ /h
300	12	132	20	23	—	—	—
350	17	148	31	35	—	—	—
400	23	165	42	50	—	—	—
450	30	182	55	67	—	—	—
500	38	200	70	84	235	132	91
550	48	216	87	97	256	137	104
600	58	232	106	110	277	142	118
650	69	249	126	131	293	160	146
700	81	266	148	162	310	178	174
750	94	290	177	201	340	184	215
800	108	315	197	240	370	200	256
850	123	332	220	276	390	215	290
900	139	350	254	312	410	230	330
950	156	365	286	351	427	240	371
1000	173	380	318	390	445	250	413
1050	192	400	354	433	467	265	459
1100	212	420	390	476	490	280	505
1150	233	442	438	528	515	297	566
1200	255	465	467	574	540	315	607
1250	278	482	508	627	560	327	691
1300	301	500	550	680	580	340	775
1350	302	510	587	722	592	360	802
1380	304	520	625	765	605	380	830

CS Escaneado con CamScanner

De esta manera, se concluye que la cinta transportadora a instalar se trata de una **banda en forma de artesa de 20°, de ancho 1200 mm y velocidad de transporte de 1 m/s.**

3.2.4.2 Cálculo de la potencia

Para obtener el valor de la potencia requerida para el funcionamiento de la cinta transportadora, se hace uso de la ecuación 5:

$$P = (W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \times (1 + \beta) \times (1 + k)$$

Ecuación 5

Donde

- P: potencia requerida (CV)
- W₁: potencia neta para el movimiento de la banda en vacío horizontal (CV)
- W₂: potencia neta para el transporte horizontal de la cara (CV)
- W₃: potencia para la elevación del material (CV)
- W₄: potencia a añadir por cada tripper de descarga (CV)
- β: factor de tensión en las poleas finales y del tensor
- k: coeficiente a añadir según el tipo de tensor y el arco de contacto.

En primer lugar, el valor de W_1 se obtiene con la tabla 9, con el valor del ancho de banda (1200 mm) y del largo de la cinta (supuestos 15 m).

Tabla 9. Cálculo de la potencia neta W_1

Potencia neta en CV necesaria para el movimiento de la banda en vacío horizontal. Para cada 30 metros por minuto de velocidad												
Distancia entre centros de tambores o poleas extremas en metros												
Ancho mm	15	30	60	90	120	150	180	240	305	365	460	550
300	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	—	—	—
350	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	—	—	—
400	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	—	—	—
450	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,5	—
500	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9	2,2	2,8	—
550	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,1	2,5	3,1	—
600	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9	2,3	2,7	3,3	—
650	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,1	2,5	2,9	3,5	4,3
700	0,5	0,6	0,9	1,0	1,3	1,5	1,7	2,2	2,7	3,1	3,6	4,6
750	0,6	0,7	1,0	1,1	1,4	1,6	1,8	2,4	2,9	3,3	3,8	4,9
800	0,6	0,7	1,0	1,1	1,5	1,7	1,9	2,5	3,0	3,5	4,0	5,3
850	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	1,9	2,1	2,8	3,3	3,9	4,6	5,7
900	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,3	3,0	3,6	4,2	5,1	6,0
950	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,5	3,2	3,9	4,5	5,5	6,4
1 000	0,9	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,7	3,4	4,1	4,7	5,8	6,8
1 050	0,9	1,2	1,5	1,9	2,3	2,6	2,9	3,6	4,3	5,0	6,1	7,1
1 100	0,9	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,1	3,9	4,6	5,3	6,5	7,5
1 150	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,0	3,4	4,2	4,9	5,7	6,9	8,0
1 200	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,6	4,4	5,2	6,0	7,2	8,4
1 250	1,1	1,5	1,9	2,3	2,8	3,4	3,8	4,6	5,5	6,4	7,5	8,8
1 300	1,1	1,6	2,0	2,4	2,9	3,6	4,0	4,8	5,8	6,7	7,8	9,2
1 380	1,3	1,8	2,2	2,6	3,1	3,9	4,3	5,1	6,2	7,2	8,2	9,7

Hay que tener en cuenta que el valor que proporciona la tabla está referenciado para una velocidad de 30 m/min, por lo que habrá que realizar la siguiente conversión:

$$W_1 = W_1^{tab} \times \frac{v}{0,5} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde W_1^{tab} es el valor obtenido en la tabla, y v la velocidad de la cinta (calculada en el subapartado anterior). De esta manera:

$$W_1 = 1 \times \frac{1}{0,5} = 2 \text{ CV}$$

En segundo lugar, para obtener la W_2 es necesario hacer uso de la tabla 10, donde se determina el valor a partir del caudal másico (t/h) y de la longitud (anteriormente supuesta). Así, se obtiene un valor de W_2 de 0,1 CV.

Tabla 10. Cálculo de la potencia neta W_2

Potencia neta en CV necesaria para el transporte horizontal de la carga												
Distancia entre centros de tambores o poleas en metros												
Tm/h	15	30	60	90	120	150	180	240	305	365	460	550
10	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6
50	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6
100	0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,6	4,3	5,1
150	1,0	1,2	1,7	2,1	2,5	3,0	3,3	4,3	5,2	5,8	7,1	8,4
200	1,3	1,6	2,2	2,7	3,3	3,9	4,3	5,6	6,7	7,6	9,6	11,3
250	1,5	1,9	2,6	3,3	3,9	4,6	5,2	6,6	7,9	9,2	11,2	13,3
300	2,0	2,4	3,2	4,0	5,0	5,9	6,8	8,6	10,3	12,0	14,7	16,9
350	2,4	2,9	3,9	4,8	6,0	7,1	8,1	10,2	12,3	14,4	17,6	20,7
400	2,7	3,3	4,4	5,6	6,8	8,0	9,2	11,5	13,9	16,3	19,8	23,3
450	3,0	3,6	5,0	6,3	7,8	9,2	10,5	13,2	15,8	18,4	22,5	26,6
500	3,3	4,0	5,4	6,9	8,3	9,7	11,2	14,1	17,0	19,9	24,2	28,5
600	3,9	4,8	6,5	8,2	10,0	11,7	13,4	16,8	20,4	23,9	29,0	34,2
700	4,5	5,6	7,6	9,6	11,7	13,6	15,7	19,7	23,7	27,8	33,8	39,9

Por otro lado, el valor de W_3 resulta 0 ya que la cinta transportadora no tiene que vencer ninguna altura. Además, el valor de W_4 también es nulo debido a que no presenta ninguna descarga intermedia.

El valor de β se determina con la tabla 11 teniendo en cuenta que se busca minimizarlo.

Tabla 11. Cálculo del factor β

Factor de tensión en las poleas finales y del tensor (β)					
				COJINETES FINALES	
Tipo de accionamiento	Tipo de polea	Tipo de tensor		De deslizamiento	De bolas
Simple	Poleas desnudas	Horizontal	Tornillo	0,120	0,115
Simple	Poleas desnudas	Vertical	Automático	0,115	0,110
Simple	Poleas desnudas	Horizontal	Automático	0,108	0,105
Simple	Poleas recubiertas	Vertical	Automático	0,110	0,105
Simple	Poleas recubiertas	Horizontal	Automático	0,105	0,103
Tándem		V. y H.	Automático	0,103	0,102

Se utiliza un tipo de accionamiento simple ya que, el tándem es requerido para grandes flujos másicos con elevadas inclinaciones. Se deben usar poleas recubiertas ya que se va a transportar un material granular, con cierta cantidad de finos. Las poleas desnudas son adecuadas para materiales de gran tamaño, como minerales de trozo medio o materiales pesados. Generalmente se elige un tensor automático y unos cojinetes de bolas. Teniendo en cuenta estos datos, se obtiene un valor de β de 0,103. En este proceso de elección siempre se busca minimizar el valor de β .

Por último, para determinar el valor de k se debe hacer uso de la tabla 12, donde el arco de contacto se obtiene de sumar 180° a la inclinación máxima que puede soportar la cinta (obtenida anteriormente, de valor 25°). Sabiendo que se trata de un tensor de contrapeso con la polea recubierta, se obtiene un valor de k de 0,4.

Tabla 12. Valor del coeficiente K

Arco de contacto	Valor del coeficiente K.			
	TENSOR DE TORNILLO		TENSOR DE CONTRAPESO	
	Polea desnuda	Polea recubierta	Polea desnuda	Polea recubierta
160°	1,15	0,98	0,75	0,60
180°	1,00	0,87	0,64	0,52
200°	0,87	0,73	0,54	0,40
210°	0,83	0,67	0,50	0,40
225°	0,70	0,63	0,43	0,34
250°	0,62	0,52	0,37	0,28
275°	0,55	0,43	0,31	0,23
300°	0,45	0,37	0,26	0,19
360°	0,37	0,27	0,21	0,13
400°	0,27	0,20	0,14	0,11
420°	0,25	0,19	0,13	0,09
450°	0,22	0,16	0,11	0,07
480°	0,19	0,14	0,09	0,06

Finalmente, aplicando la ecuación 5:

$$P = (2 + 0,1) \times (1 + 0,103) \times (1 + 0,4) = 3,24 \text{ CV} = 2,41 \text{ kW}$$

3.3 Prelimpieza

Para realizar esta etapa se ha seleccionado el Limpiador Dual KDC 4000 del fabricante Kongskilde. Este equipo, como se mencionó con anterioridad, cuenta con dos cribas en su interior con el objetivo de retener el material indeseado en cada una de ellas.

Este proceso se realiza de manera continua, garantizando la eficiencia de tamizado. Además, se asegura la máxima superficie de cribado ya que el equipo cuenta con un sistema de limpieza automática que se detallará posteriormente.

A continuación, en la tabla 13 se muestran algunas de las especificaciones del equipo elegido:

Tabla 13. Especificaciones del equipo de prelimpieza

Peso (kg)	940
Área (m ²)	6,5
Capacidad máxima (t/h)	40
Motor del tambor de la criba (kW/CV)	1,5/2
Frecuencia del motor del tambor de la criba (rpm)	22

3.3.1 Elección de las cribas

Como se ha comentado en numerosas ocasiones, el proceso de prelimpieza debe establecer un compromiso entre capacidad y calidad de cribado. A mayor cantidad de materia prima que se quiera procesar, menor será su capacidad de tamizado, y por tanto, la calidad será inferior. Por tanto, para obtener una eficiencia óptima será necesario dimensionar el tamiz correctamente.

En primer lugar, se va a determinar el tipo de tamices necesarios para la zona interior, donde ingresa directamente la materia prima. A continuación en la figura 27 se muestra la tabla proporcionada por el fabricante para decidir el tipo de cribas.

Perforado (mm)			Cultivo								
			Cebada	Cebada cervera	Trigo	Arroz	Avena	Colza	Guisantes/ Soja	Maíz	Girasol
1 ø3.5 ø4.3	2 ø3.5 ø4.3	3 ø2.75 ø3.5						○ ○			
ø5.2 ø7.4	ø5.2 ø7.4	ø4.3 ø5.2			○			○			
ø9 ø11	ø9 ø11	ø7.4 ø9	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○		○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
ø15 ø17	ø15 ø17	ø11 ø15	○			○	○			○ ○	○
ø7 ø8											

Figura 27. Elección del tamiz interior en la prelimpieza

El círculo de mayor tamaño representa una prelimpieza con mayor capacidad, el pequeño una prelimpieza máxima (menor capacidad), y el mediano un punto intermedio.

Ya que la capacidad que se está estudiando es de 5,35 t/h, y el equipo puede procesar hasta 40 t/h, se concluye que las cribas interiores que se necesitan son las que se muestran en la tabla 14:

Tabla 14. Luces de malla para el tamiz interior

Zona	Luz de malla (mm)
1	11
2	11
3	9

Por tanto, como la cantidad de avena a procesar es reducida en comparación a la capacidad máxima, las cribas interiores realizarán un tamizado de excelente calidad.

En segundo lugar, se va a realizar el mismo proceso de elección para el tamiz exterior, el que va a realizar la limpieza del material ya sometido al cribado anterior. De nuevo, el fabricante proporciona la siguiente información, mostrada en la figura 28:

Perforado (mm)	Cultivo								
	Cebada	Cebada cervera	Trigo	Arroz	Avena	Colza	Guisantes/ Soja	Maíz	Girasol
1.0 x 16.5						○			
1.8 x 20	○		○						
2.0 x 16.5	○		○						
2.25 x 16.5		○							○
2.5 x 16.5		○					○		
2.65 x 16.5		○					○		
4.0 x 16.5							○		
∅2.0	○		○	○	○		○		
∅3.5							○		
∅4.5							○		
∅7.0								□	
∅7.4								□	
∅9.0								□	
∅2.75	○		○					○	
∅5.2								○	
∅6.0								○	
4.3 x 16.5							○		
4.5 x 16.5							○		

Figura 28. Elección del tamiz exterior en la prelimpieza

Dado que si se observa la figura 28 la luz de malla necesaria para este tamiz debe ser de 2 mm. Sin embargo, se escogerá la de 3,5 mm para tener afinidad con equipos posteriores.

Cabe destacar que esta elección se hace en función de la granulometría de la materia prima, ya que no resulta lo mismo un cultivo con un alto contenido en granos pequeños y delgados, que otro estándar. La avena cruda se puede englobar dentro de este último grupo. En la casuística de que se utilizase un tamiz con una luz de malla superior a la necesaria, no se realizará la correcta separación de las impurezas de menor tamaño del grano.

Al hilo de lo anterior, experiencias realizadas han concluido lo siguiente al tamizar 100 g de avena cruda [5].

Tabla 15. Granulometría avena cruda

Luz de malla (ASTM)	Luz de malla (ISO, mm)	% Retenido
Nº 7	2,8	60 (mín.)
Nº 25	0,71	25 (máx.)

Si se introdujese la corriente de avena cruda por los dos tamices mostrados en la Tabla 15, se obtendría un cantidad máxima de 6% en el fondo.

Con esto, se concluye que los granos de avena sin ningún proceso de limpieza previo tienen un contenido en granos pequeños y delgados estándar, siendo las dimensiones aproximadas las siguientes:

Longitud \approx 1,27 cm

Anchura \approx 0,3 cm

Como resumen a este subapartado, la elección de los distintos tamices resulta la siguiente:

- Luces de malla del tamiz interior: 15-15-11 mm
- Luz de malla del tamiz exterior: 3,5 mm

3.3.2 Inclinación del equipo

Se debe ajustar la inclinación del equipo con el fin de favorecer el flujo del material por su interior. Esto afecta a la velocidad, al espesor de los tamices y en consecuencia a la eficiencia de limpieza. Una inclinación que

resulta recomendable es de 5°. Nunca debe ser menor de 4,5° o mayor que 7°, ya que el tamiz interior debe permanecer en posición horizontal o inclinado hacia el extremo de salida. Esto se puede observar en la figura 29.

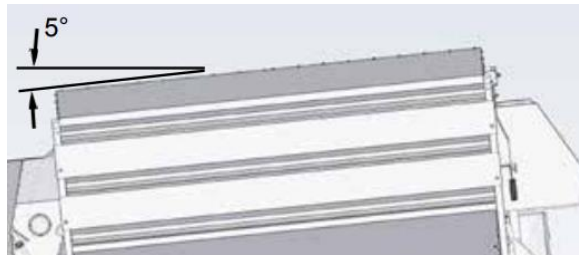


Figura 29. Inclinación de los tamices

3.3.3 Balance de materia

El balance de materia de esta etapa resulta sencillo ya que no se produce ninguna reacción química (al igual que en todo el proceso de producción de harina de avena).

Se introduce un caudal másico de 5,35 toneladas a la hora, donde tras pasar por todo el proceso de prelimpieza, se elimina un 10% del flujo inicial. Por tanto, con este dato, se puede realizar el balance de materia de la etapa, como figura en la tabla 16.

Tabla 16. Balance de materia en la prelimpieza

	Caudal másico (t/h)
Entrada	5,35
Retenido (residuos)	0,535
Salida	4,815

3.4 Limpieza

3.4.1 Tornillo sin fin

Para trasladar el material del equipo de anterior hasta el de la limpieza se utiliza un tornillo sin fin, cuyas características y proceso de diseño se mencionaron anteriormente.

Para calcular el diámetro del tornillo, se tiene que hacer uso de la gráfica de la figura 30 que se presenta a continuación, que depende de la clase del material, y de la capacidad de transporte.

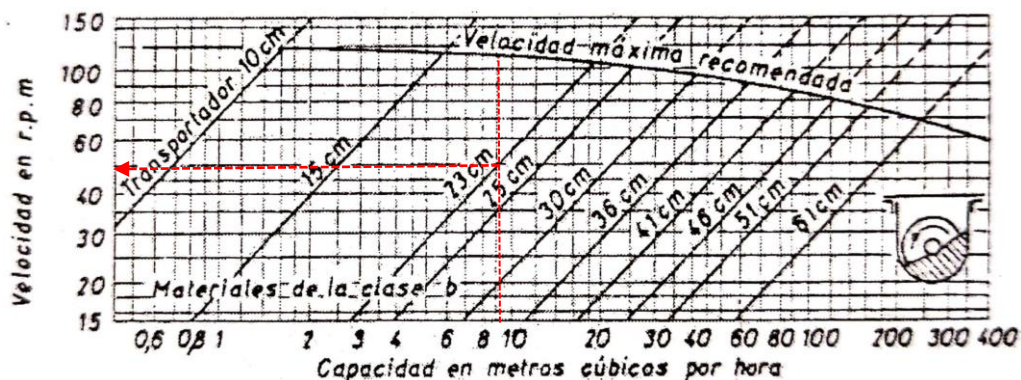


Figura 30. Curva de velocidad-capacidad de un tornillo sin fin

Para ello, como la cantidad de avena a transportar es de 4,815 t/h y la densidad es $0,52 \text{ t/m}^3$, se tiene una capacidad de $9,3 \text{ m}^3/\text{h}$.

Trazando la vertical desde el punto de la capacidad de $9,3 \text{ m}^3/\text{h}$., se puede elegir entre tres diámetros: 23, 25 o 30 cm. Para su elección, se han seguido los siguientes criterios:

- ✓ A mayor diámetro de tornillo, mayor coste
- ✓ La velocidad óptima debe estar próxima a un 60-70% de la velocidad máxima

Atendiendo a ello, el diámetro de tornillo más adecuado resulta de **23 cm**, a una velocidad de **50 rpm**, siendo la máxima de 115 rpm. Así se ha elegido el de menor coste y más próximo a la velocidad óptima.

Para calcular la potencia del tornillo sin fin, se debe hacer uso de la ecuación 1 anteriormente mostrada, donde tomando una longitud de 2 metros, se obtiene la siguiente potencia:

$$P = \frac{4,815 \times 2 \times 1,8}{270 \times 0,3} = 0,21 \text{ CV} = \mathbf{0,16 \text{ kW}}$$

3.4.2 Especificaciones cilindro alveolado

Como se detalló en el apartado 2, el equipo que se va a utilizar para la limpieza es un cilindro alveolado, concretamente el modelo CA 9/40 de Zanin®. En la tabla 17 se presentan sus características:

Tabla 17. Especificaciones equipo de limpieza

Capacidad máx. (t/h)	Potencia (kW)	Diámetro cilindro (m)	Longitud cilindro (m)	Peso (kg)	Volumen (m^3)
12	4	0,9	4	1210	4,5

3.4.3 Balance de materia

Tras introducir el material pre limpiado en el equipo, se obtiene una eliminación del 8% del total⁵, por lo que el balance de materia resulta lo que figura en la tabla 18:

⁵ En base a experiencias

Tabla 18. Balance de materia en la limpieza

	Caudal másico (t/h)
Entrada	4,815
Retenido (residuos)	0,385
Salida	4,43

3.5 Descascarillado

La avena limpia es llevada a la zona de descascarado mediante una cinta transportadora de similares especificaciones a la diseñada con anterioridad para la prelimpieza, a excepción de la longitud. Esto se debe a que el único cambio producido se encuentra en el caudal másico de avena, siendo ahora inferior pero dentro de los mismos límites de las tablas a usar para los cálculos. Por lo demás, las condiciones se mantienen sin alteraciones (misma velocidad, ancho de la banda, ángulo de artesa).

3.5.1 Especificaciones descascarilladora

Como se mencionó en el apartado 2, el equipo encargado de separar el grano de la cáscara es la peladora neumática MHSA de Bühler Group®. El fabricante proporciona los siguientes datos técnicos, mostrados en la tabla 19.

Tabla 19. Especificaciones descascarilladora

Capacidad máx. (t/h)	Peso (kg)	Potencia (kW)
5	515	4

3.5.2 Especificaciones mesa separadora

El equipo encargado de separar la mezcla de cáscaras y grano es la Mesa Separadora Twitor de Bühler Group®, cuyos datos técnicos son los mostrados en la tabla 20.

Tabla 20. Especificaciones mesa separadora

Capacidad máx. (t/h)	Peso (kg)	Potencia (kW)
5	3940	5,88

3.5.3 Balance de materia

Para realizar el balance másico de esta etapa es necesario conocer previamente un parámetro: el porcentaje de pepita. Éste se encarga de determinar la calidad física de los granos, y de evaluar el rendimiento industrial de la avena. El porcentaje de pepita se basa en la relación grano/cáscara, siendo el 74% un valor más que aceptable [6]. Es por ello por lo que se tomará este dato como base de cálculo de la presente etapa.

En la fase de limpieza se obtiene un flujo de salida de 4,43 t/h de avena sin descascarar. Para calcular los valores

del balance de materia en este proceso, se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$x + y = 4,43 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$0,74 = \frac{x}{y} \quad \text{Ecuación 8}$$

Siendo:

- x: Flujo másico de grano descascarillado (t/h)
- y: Flujo másico de cáscaras (t/h)

Tras realizar los cálculos, en la tabla 21 se presenta el balance de materia resultante:

Tabla 21. Balance de materia en la limpieza

	Caudal másico (t/h)
Entrada	4,43
Cáscaras y otros	2,546
Grano	1,884

Con esto se observa que, de la corriente inicial del cereal, un 42,5% aproximadamente corresponde al grano descascarado (producto deseado). Ya que el flujo de cáscaras es elevado (entorno al 57,5%), éste será evacuado del proceso de producción para su aprovechamiento en otros procesos que no conciernen a este proyecto.

3.6 Tratamiento hidrotérmico

El grano descascarado es sometido a un tratamiento hidrotérmico con el fin de destruir bacterias y hongos, inactivar enzimas lipolíticas y gelatinizar el almidón. El proceso se podría dividir en tres etapas: una de vaporización y dos de secado adiabático. El producto obtenido tras esta etapa resulta muy estable y fácil de manejar.

3.6.1 Vaporizador

Este proceso se realiza con el fin de aumentar la temperatura y la humedad del grano, y así acondicionarlo para el proceso de calentamiento posterior. Además, como se ha explicado con anterioridad, al aumentar la humedad del producto, se incrementa la eficacia de inactivación enzimática. Además, este proceso aumenta la reacción de Maillard, encargada de aportarle el sabor al grano. Ésta consiste en un conjunto de reacciones entre las proteínas y los azúcares de los alimentos a altas temperaturas, aportando el color, sabor y olor a tostado deseado.

Mediante un eje hueco giratorio, se alimenta vapor vivo a 104 °C al producto directamente. Para ello, se hace uso de unas boquillas de vapor dispuestas a diferentes niveles.

Para calcular la cantidad de vapor a suministrar, se realiza un balance de energía del proceso de adición de vapor. Para ello, se hace uso de la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \overline{C_p}_{avena} \times (t_2 - t_1) = \dot{M} \times h_{fg} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

- \dot{Q} : potencia intercambiada (kW)
- \dot{m} : caudal másico de avena (kg/s)
- $\overline{C_p}$: capacidad calorífica específica de la avena (kJ/kg K)
- t_1 : temperatura de entrada de la avena al vaporizador (°C)
- t_2 : temperatura de salida de la avena al vaporizador (°C)
- \dot{M} : caudal másico de vapor (kg/s)
- h_{fg} : entalpía de cambio de fase de líquido saturado a vapor saturado (kJ/kg)

La capacidad específica de la avena viene dada por la tabla 22, siendo un 8% la humedad de entrada al equipo, y un 21% la de salida [7].

Tabla 22. Propiedades de algunos granos

Specific Heat (c_p):			
Grain or Grain Product	Moisture Content, % wb	Temperature Range, K	Specific Heat, kJ/(kg K)*
Corn, Yellow dent	0.9 to 30.2	293.5	1.465 + 0.0356M
Flour, Cowpea	9.0	353	3.42
Flour, Cowpea	22.5	353	3.67
Flour, Cowpea	33.0	353	3.98
Flour, Cowpea	42.0	353	3.73
Flour, Defatted Soy	9.2 to 39.1	290 to 430	1.748 + 0.0336M
Flour, Sorghum	2.9	343 to 443	1.411 to 1.905
Flour, Sorghum	8.5	343 to 443	1.465 to 2.177
Flour, Sorghum	17.0	343 to 443	2.198 to 2.470
Flour, Sorghum	25.1	343 to 443	2.386 to 2.618
Flour, Sorghum	33.4	343 to 443	2.931 to 3.035
Flour, Wheat	—	—	1.662
Gram	11 to 24.5	298 to 286	1.106 + 0.0311M
Gram	11 to 24.5	298 to 290	1.205 + 0.0324M
Gram	11 to 24.5	298 to 309	1.317 + 0.0567M
Gram	11 to 24.5	298 to 316	1.406 + 0.0608M
Oats	11.7 to 17.8	—	1.277 + 0.0327M
Rapeseed	0.75 to 19.6	293	1.356 + 0.0320M
Rapeseed	0.75 to 19.6	275	1.288 + 0.0284M
Rapeseed	0.75 to 19.6	269	1.328 + 0.0280M
Rice, Rough	10.2 to 17.0	—	1.110 + 0.0448M
Rice, Brown	9.8 to 17.6	—	1.202 + 0.0381M
Rice, Milled	10.8 to 17.4	—	1.181 + 0.0377M
Rice, Milled (MA2)	10 to 20	343	1.080 + 0.0611M
Rice, Medium Rough	10 to 20	—	0.921 + 0.0545M
Rice, Short Rough	11 to 24	—	1.269 + 0.0349M
Sorghum	2 to 30	—	1.397 + 0.0322M
Soybeans	19.7	297 to 327	1.97
Soybeans	24.5	300 to 361	2.05
Soybeans	9.5 to 37.9	—	1.699 + 0.0172M
Starch, Sorghum	9.2	345 to 443	1.444 to 2.303
Starch, Wheat	8.6	295 to 323	1.34
Starch, Wheat	22.6	295 to 323	1.59
Wheat, Hard	9.2	—	1.549
Wheat, Hard Red	9.6	295 to 323	1.63
Wheat, Hard Red	21.3	295 to 324	2.14
Wheat, Soft White	0.1 to 33.6	—	1.240 + 0.0362M

En la tabla mostrada, el capacidad calorífica depende de M, contenido de humedad del cereal. Por tanto, para el vaporizado, la $\overline{C_p}$ resulta de 1,75 kJ/kg K.

Respecto al vapor saturado inyectado a 104 °C, se puede obtener la entalpía de cambio de fase con las tablas del agua (tabla 23), como se observa a continuación. Interpolando entre 100 y 105 °C resulta una h_{fg} de 2244 kJ/kg.

Tabla 23. Tablas del agua

Temp. T °C	Sat. Press. P_{sat} kPa	Specific volume m^3/kg		Internal energy kJ/kg			Enthalpy kJ/kg			Entropy $kJ/kg\cdot K$		
		Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829

Por otro lado, las temperaturas de entrada y salida de avena (t_1 y t_2) se han fijado a 18 °C y 95 °C respectivamente. En la figura 31 se observan los cambios de temperatura que se van a realizar en esta etapa.

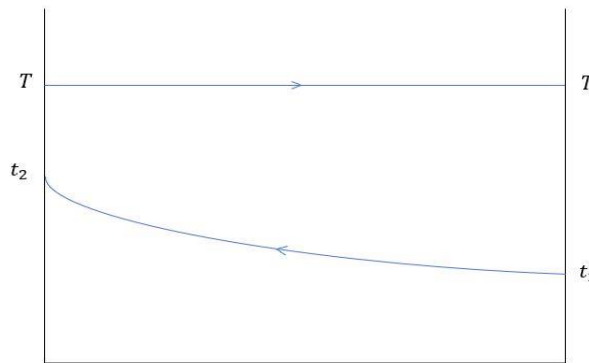


Figura 31. Diagrama temperaturas vaporizador

Aplicando la Ecuación 9, se obtiene lo siguiente:

$$\dot{Q} = \frac{1880}{3600} \times 1,75 \times (95 - 18) = 70,37 \text{ kW}$$

$$\dot{M} = \frac{70,37}{2244} = 0,0314 \text{ kg/s} = 113 \text{ kg/h}$$

Por tanto, la potencia intercambiada en este equipo será de 70,37 kW, mientras que se necesitan 113 kg/h de vapor para calentar la corriente de avena. En la figura 32 se observa un diagrama de esta etapa del proceso.

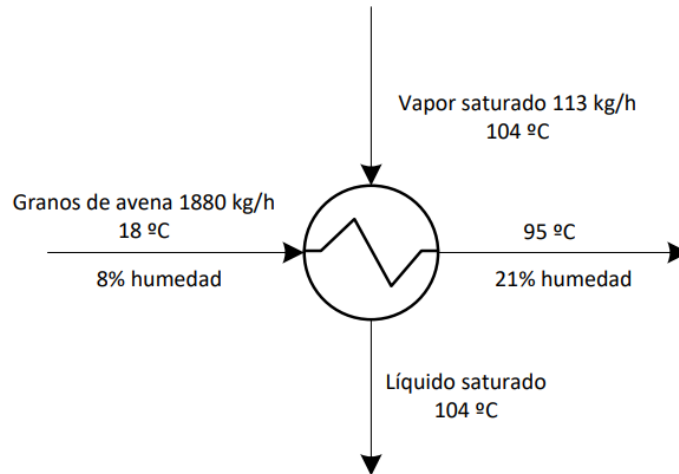


Figura 32. Diagrama proceso de vaporización

3.6.2 Primera línea de secado

Tras aumentar la humedad en el proceso de vaporización para inactivar las enzimas lipolíticas, ésta debe ser reducida. Es necesario realizar un secado ya que una alta humedad de producto conlleva una reducción de su calidad y estabilidad a la hora del almacenamiento. Además, con este proceso se le confiere al grano su característico sabor tostado.

Para ello, el grano se introduce en una cámara de secado que reduce la humedad de los granos de avena de 21% a 16% aproximadamente. Se hace uso de aire caliente ya que juega un doble rol: transporta calor hacia los granos y arrastra el vapor hacia fuera, realizando así una transferencia de calor y masa. De otra manera, el aire caliente introducido gana la humedad que pierde la avena [8].

En primer lugar, para determinar matemáticamente las dimensiones de la cámara de secado se necesitan conocer los siguientes datos: tipo de producto y finalidad de uso, humedad inicial y final, y flujo de producto a secar. Sin embargo, debido a que estos cálculos pueden resultar tediosos, se puede simplificar con la siguiente expresión

$$A_{\text{secado}} = \frac{m_p}{P_p \times H} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

- A_{secado} : área de la cámara de secado (m^2)
- m_p : masa de producto a secar por partida (t)
- P_p : peso específico global del producto (t/m^3)
- H: espesor de la capa de producto (m)

El espesor de la capa de producto se considera conocido (0,5 m) en base a la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 24. Propiedades de secado de algunos productos

TEMPERATURA MAXIMA DEL AIRE EN CONTACTO CON EL PRODUCTO, DE ACUERDO CON SU USO FINAL				Espesor de la capa de producto (m)	Intervalo de tiempo para revolver el producto(h)	
Productos	Semilla	Comercio	Alimentación animal		Semilla	Comercio
Maní con cáscara	30	35	-	1,2- 1,8	-	-
Arroz con cáscara	40	45	-	0,25- 0,45	2	2
Avena	40	60	80	0,4-0,6		
Café	-	-	-	0,4-0,5	-	2
Cebada	40	40	80	0,4-0,6	-	-
Frijol a granel	40	45	-	0,4- 0,5	-	-
Frijol en rama	40	45	-	0,6- 1,0	-	2
Maíz desgranado	40	55	80	0,4- 0,6	-	2
Maíz en mazorca (sin cáscara)	40	55	80	1,5- 6	-	2
Ralladura de yuca	-	50	60	0,3- 0,4	-	2
Soya	40	50	-	0,25- 0,45	2	2
Sorgo	40	60	-	0,4- 0,6	-	-
Trigo	40	60	80	0,4- 0,6	-	-

Referencia:

Por tanto, el área de secado resulta:

$$A_{\text{secado}} = \frac{1,88}{0,52 \times 0,5} = 7,23 \text{ m}^2$$

Por otro lado, se puede calcular el flujo de aire de secado mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{secado}} = Q_a \times A_{\text{secado}} \quad \text{Ecuación 11}$$

- Q_{secado} : flujo de aire de secado (m^3/s)
- Q_a : velocidad de aire ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{s}$)
- A_{secado} : área de la cámara de secado (m^2)

La velocidad del aire Q_a que se emplea normalmente en el secado de productos agrícolas como la avena varía de 0,12 a 0,25 $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$ [9]. Por tanto, para realizar una aproximación se tomará un valor medio de 0,18 $\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ s}$.

$$Q_{\text{secado}} = 0,18 \times 7,23 = 1,301 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para facilitar la posterior elección del sistema de secado, este flujo de aire de secado se puede expresar como 78 m^3/min . Además, tomando una densidad del aire de 1,01 kg/m^3 , se puede concluir que se necesita **4731,89 kg/h** de aire de secado.

Al aumentar el flujo de aire, en consecuencia, aumenta la tasa de secado, disminuyendo las irregularidades de humedad y temperatura en la capa de producto.

Una vez conocido el caudal de aire necesario en este proceso, se podrán determinar el resto de valores de las

corrientes de entrada y salida. Debido a la extensión de los cálculos realizados, se dividirá en distintas zonas.

Condiciones del aire a la salida

Se toma que el aire sale del secadero a una temperatura de 32 °C, con una humedad relativa del 85%. Con estos datos se puede calcular la humedad del aire a la salida siguiendo la siguiente ecuación:

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{aire}} \times \frac{P_{H_2O}}{P_T - P_{H_2O}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde

- W : humedad (kg agua/kg aire seco)
- M_{H_2O} : peso molecular del agua (g/mol)
- M_{aire} : peso molecular del aire (g/mol)
- P_{H_2O} : presión parcial del vapor de agua en el aire (atm)
- P_T : presión total de la mezcla aire-agua (atm)

Para hallar la presión parcial del vapor de agua en el aire es necesario recurrir a la expresión que se muestra a continuación:

$$W_R = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O \text{ sat}}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Siendo W_R la humedad relativa (%) y $P_{H_2O \text{ sat}}$ la presión de vapor del agua pura (atm). Este último dato se obtiene con ayuda de las tablas del agua, obteniendo un valor de $P_{H_2O \text{ sat}}$ (32°C) de 0,04692 atm.

Con las dos ecuaciones mostradas se obtiene lo siguiente:

$$P_{H_2O} = 0,85 \times 0,04692 = 0,0399 \text{ atm}$$

$$W = \frac{18}{29} \times \frac{0,0399}{1 - 0,0399} = \mathbf{0,0258 \text{ kg agua/kg a.s.}}$$

A esta temperatura, con ayuda de las tablas del agua se puede obtener la presión de vapor del agua, que resulta de 0,04692 atm.

Por otro lado, la entalpía en las condiciones de salida se calcula haciendo uso de la ecuación 14:

$$H = (1 + (1,8 \times W)) \times T + (2500 \times W) \quad \text{Ecuación 14}$$

Siendo H la entalpía total de un kg de aire seco, W la humedad y T la temperatura (°C).

$$H = (1 + (1,80 \times 0,0258)) \times 32 + (2500 \times 0,0258) = \mathbf{97,99 \text{ kJ/kg a.s.}}$$

Condiciones del aire a la entrada

Al ser un proceso adiabático, las entalpías de entrada y salida son iguales (97,99 kJ/kg a.s.). Sabiendo que la corriente se encuentra a 80 °C, y haciendo uso de la ecuación 3, se puede obtener el valor de la humedad,

despejando el valor de W.

$$97,99 = (1 + (1,8 \times W)) \times 80 + (2500 \times W)$$

$$\mathbf{W = 0,0068 \text{ kg vapor/kg a.s.}}$$

Por otro lado, utilizando la ecuación 1 y 2 se puede obtener el valor de la presión parcial del vapor de agua en el aire y la humedad relativa del aire a la entrada. Con las tablas del agua se conoce el valor de la presión del agua pura a 80 °C, siendo éste de 0,4674 atm.

$$0,0068 = \frac{18}{29} \times \frac{P_{H_2O}}{1 - P_{H_2O}} \rightarrow P_{H_2O} = 0,01085 \text{ atm}$$

$$W_R = \frac{0,01085}{0,4674} \times 100 = \mathbf{2,32 \%}$$

Otro dato relevante a calcular se trata de la relación de agua eliminada de la avena por kg de aire seco introducido. Para ello, basta con restar la humedad del aire a la entrada al de la salida. De esa manera, se obtiene lo siguiente:

$$0,0258 - 0,0068 = \mathbf{0,019 \text{ kg agua eliminada /kg a.s.}}$$

Así, sabiendo que se introduce un caudal másico de 4731,89 kg/h de aire, se obtiene una eliminación de agua de la avena de 89,91 kg/h.

Calentamiento del aire

El aire que ha entrado en el proceso de secado adiabático lo hace a una alta temperatura (80 °C). Esto se ha conseguido calentando un aire ambiente a 25 °C. Para conocer el calor necesario para eliminar agua de la avena, primero es necesario conocer el valor de la humedad del aire ambiente, que resulta la misma que la calculada anteriormente: 0,0068 kg vapor/kg aire seco. En el proceso de acondicionamiento del aire, en este caso de calentamiento, el aire aumenta su temperatura sin experimentar cambios en la humedad. Lo que sí varía es la humedad relativa, que haciendo uso de la ecuación 2 resulta de 34,7%.

Para calcular el calor necesario se debe utilizar la siguiente expresión:

$$Q = (H - H_{amb}) \times m_{as} \quad \text{Ecuación 15}$$

- Q : calor (kJ/kg agua eliminada)
- H : entalpía total de un kg de aire seco (kJ/kg a.s.)
- H_{amb} : entalpía del aire ambiente (kJ/kg a.s.)
- m_{as} : kg de aire seco/kg agua

$$H_{amb} = (1 + (1,8 \times 0,0068)) \times 25 + (2500 \times 0,0068) = 42,306 \text{ kJ/kg a. s.}$$

$$Q = (97,99 - 42,306) \times \frac{1}{0,019} = \mathbf{2930,5 \text{ kJ/kg agua eliminada}}$$

Condiciones de la avena a la salida

En el proceso de secado adiabático el material no llega a secarse completamente, de tal forma que no podrá superar la temperatura de saturación adiabática del aire. Para saber cuál es esta temperatura se deberá hacer uso del diagrama psicrométrico agua-aire (figura 33). Éste se trata de una representación gráfica de las humedades frente a las temperaturas a una determinada presión.

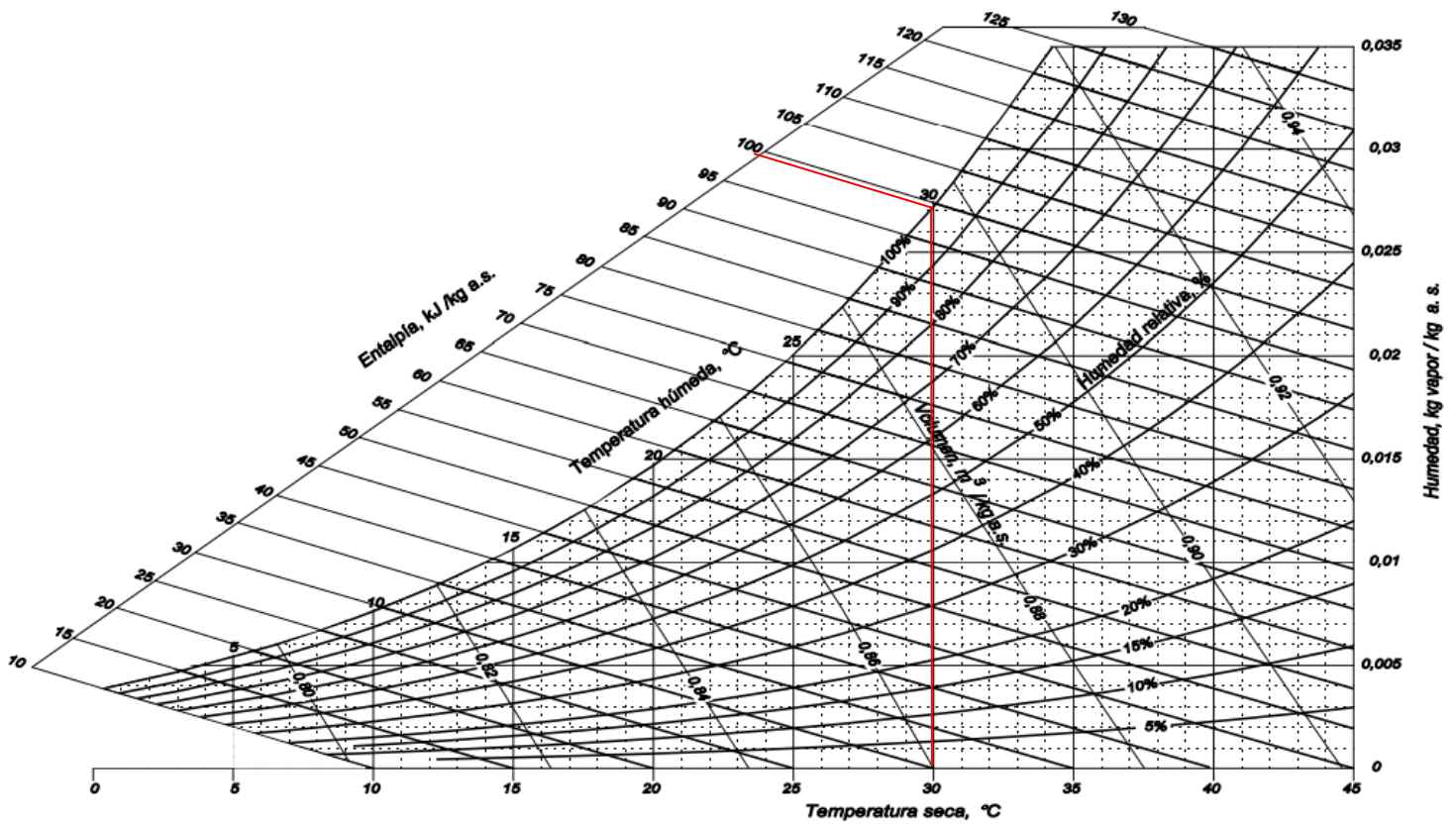


Figura 33. Diagrama psicrométrico

Siguiendo la línea de entalpía constante de 98 kJ/kg a.s. hasta la de saturación, se obtiene una temperatura de saturación adiabática de 30 °C. Por tanto, la temperatura de salida de la avena será inferior a este valor.

Para resumir esta primera etapa de secado, se puede observar la figura 34:

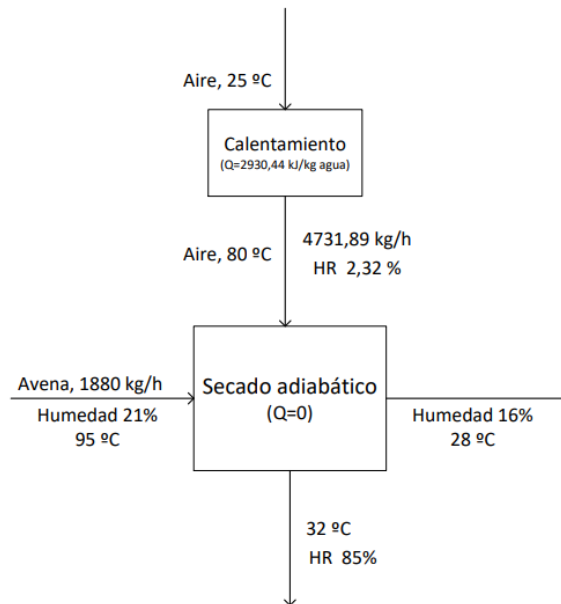


Figura 34. Primera línea de secado

Ya que el contenido de humedad continúa resultando elevado, y la temperatura aún no es la idónea, se somete la avena a una segunda línea de secado.

3.6.3 Segunda línea de secado

En esta última etapa del hidrotreamiento se pretende hacer un secado final para acondicionar la avena hasta los valores adecuados de temperatura (24-25°C) y humedad (11%). Para ello, se realiza el mismo proceso que en el subapartado anterior, utilizando aire caliente que toma la humedad que pierde la avena.

Condiciones del aire a la salida

Para conseguir el objetivo del proceso se utiliza un aire calentado a 80 °C, que sale del secadero con una temperatura de 32 °C y una entalpía de 82 kJ/kg aire seco.

En primer lugar, haciendo uso de la ecuación 14 se obtiene una humedad del aire de:

$$82 = (1 + (1,8 \times W)) \times 32 + (2500 \times W)$$

$$\mathbf{W = 0,0195 \text{ kg vapor/kg a.s.}}$$

Por otro lado, con la ecuación 12 se puede calcular la presión parcial del vapor de agua en el aire, obteniéndose un valor de 0,0305 bar. Finalmente, con esto y la ecuación correspondiente al cálculo de la humedad relativa se obtiene lo siguiente:

$$\mathbf{W_R = \frac{0,0305}{0,04754} \times 100 = 64,16 \%}$$

Condiciones del aire a la entrada

Como el proceso es adiabático, la entalpía a la entrada resulta la misma que a la salida (82 kJ/kg aire seco). Con esto, de la misma manera que la realizada anteriormente, se obtiene el siguiente valor de humedad:

$$82 = (1 + (1,8 \times W)) \times 80 + (2500 \times W)$$

$$\mathbf{W = 0,000756 \text{ kg vapor/kg a.s.}}$$

Con la ecuación 12 se obtiene un valor de la presión parcial del agua en el aire de 0,00121 bar, resultando este valor necesario para el cálculo de la humedad relativa.

$$\mathbf{W_R = \frac{0,00121}{0,4736} \times 100 = 0,26 \%}$$

En cuanto a la relación de agua eliminada de la avena por kg de aire seco introducido, como se detalló en el subapartado anterior, se obtiene de la diferencia de humedades del aire. De esta manera, se obtiene lo siguiente:

$$0,0195 - 0,000756 = \mathbf{0,0187 \text{ kg agua eliminada /kg a.s.}}$$

El diseño de la cámara de la segunda línea de secado adiabático se puede suponer similar a la utilizada en el primer secado. De esa manera, sabiendo que se introduce un caudal másico de 4731,89 kg/h de aire, se obtiene una eliminación de agua de la avena de 88,49 kg/h. Así, la avena a la salida ya resulta acondicionada a unos valores de humedad del 11%.

Condiciones de la avena a la salida

Como se ha explicado con anterioridad, la avena no llega a secarse por completo, ya que no es capaz de superar la temperatura de saturación adiabática del aire. Siguiendo el diagrama psicrométrico agua-aire mostrado en la figura 28 se obtiene una temperatura de saturación adiabática de 26 °C. Por tanto, el material saldrá de la cámara a menos de ese valor.

3.6.4 Especificaciones tratamiento hidrotérmico

Atendiendo al diseño realizado, el equipo encargado de llevar a cabo el tratamiento hidrotérmico se trata del modelo Kiln Granotherm de Bühler Group®, cuyas especificaciones básicas se muestran en la siguiente tabla 25:

Tabla 25. Especificaciones tratamiento hidrotérmico

Capacidad máx. (kg/h)	Peso (kg)
2600	4120

3.6.5 Balance de materia

En esta etapa y en las sucesivas, el balance de materia se mantendrá intacto ya que no habrá ninguna entrada ni salida de caudal másico de avena. Por ello, este será el último apartado destinado al balance, donde el flujo másico obtenido es de 1,88 t/h en todas las etapas que restan.

3.7 Laminado

Para realizar el laminado de los granos de avena, se necesita la utilización de un equipo que contenga un molino de rodillos. De esta forma, el material pasa por el espacio presente entre los dos cilindros y toma la forma laminada.

Para ello, se ha utilizado el Banco Laminador tipo FWS de Streckel & Schrader®, cuyas especificaciones son las mostradas en la tabla 26.

Tabla 26. Especificaciones molino de rodillos

Potencia (kW)	Peso (kg)	Volumen (m^3)	Diámetro entrada (mm)
22	5315	9,149	150

3.8 Molienda

Para realizar el proceso de molienda se necesita de un molino de martillos, cuyos requisitos a cumplir se detallan en el presente apartado.

3.8.1 Capacidad de molienda

Para calcular la capacidad de molienda que debe tener el equipo, en primer lugar es necesario conocer cuánto pesa un grano de avena. El peso promedio de un grano de este cereal se encuentra entre 15-23 mg, por lo que se tomará un valor medio, 19 mg/grano.

Otro dato a conocer es la velocidad angular recomendada del molino de martillos para estas aplicaciones, siendo de 3000 a 3500 rpm. Debido a que no es deseable trabajar en valores límites, se toma una velocidad angular de 3250 rpm.

Con esto, la capacidad de molienda se puede calcular con factores de conversión:

$$\frac{1,88 \text{ t}}{\text{h}} \times \frac{10^6 \text{ g}}{1 \text{ t}} \times \frac{1 \text{ grano}}{0,019 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 1,64 \times 10^6 \frac{\text{granos}}{\text{minuto}}$$

De esta forma, es posible conocer cuántos granos son golpeados por revolución de la siguiente manera:

$$\frac{1,64 \cdot 10^6 \text{ granos/min}}{3250 \text{ rpm}} = 504,62 \frac{\text{granos}}{\text{rev}} \approx 505 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

3.8.2 Potencia del molino

Las harinas obtenidas en el proceso de molienda deben cumplir un requisito fundamental: una granulometría adecuada. Ésta debe encontrarse entre tamaños de 150 µm y 450 µm, es decir, que el tamaño final del producto debe encontrarse entre las mallas n° 40 y n° 100. Para comprender este último dato, se deja reflejada en la figura 35 una tabla comparativa de los tamaños de las mallas con sus equivalencias (a la izquierda Norma ISO y a la derecha Norma ASTM).

ISO (mm)	ASTM (#)	ISO (mm)	ASTM (#)
6,7	0,265"	0,355	N° 45
6,3	1/4"	0,315	-
5,6	N° 3 1/2	0,300	N° 50
5	-	0,280	-
4,75	N° 4	0,250	N° 60
4,5	-	0,224	-
4	N° 5	0,212	N° 70
3,55	-	0,200	-
3,35	N° 6	0,180	N° 80
3,15	-	0,160	-
2,8	N° 7	0,150	N° 100
2,5	-	0,140	-
2,36	N° 8	0,125	N° 125
2,24	-	0,112	-
2	N° 10	0,106	N° 140
1,80	-	0,100	-

1,70	N° 12	0,090	N° 170
1,60	-	0,080	-
1,40	N° 14	0,075	N° 200
1,25	-	0,071	-
1,18	N° 16	0,063	N° 230
1,12	-	0,056	-
1	N° 18	0,053	N° 270
0,900	-	0,050	-
0,850	N° 20	0,045	N° 325
0,800	-	0,040	-
0,710	N° 25	0,038	N° 400
0,630	-	0,036	-
0,600	N° 30	0,032	N° 450
0,560	-	0,025	N° 500
0,500	N° 35	0,020	N° 635
0,450	-	-	-
0,425	N° 40	-	-
0,400	-	-	-

Figura 35. Equivalencias mallas de tamizado

Por tanto, en la parte inferior del molino de martillo se colocará un tamiz con una luz de malla de 300 µm, es decir, un tamiz n° 50. De esta manera, todo lo que resulte superior a 300 µm, es rechazado y vuelve a pasar por el proceso de molienda. En consecuencia, la harina que pasa a través del tamiz cumple con el requisito indispensable de tamaño, y estará lista para ensacarse.

Partiendo de los datos que se acaban de ofrecer, la potencia del molino de rodillos se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = \sqrt{0,1} \times \dot{m} \times w_i \times \left(\frac{1}{\sqrt{D_{sale}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{entra}}} \right) \tag{Ecuación 16}$$

donde:

- P: potencia (kW)
- \dot{m} : caudal másico a la entrada al molino (t/h)
- w_i : índice de trabajo (kW h/t)
- D_{sale} : tamaño de la corriente que sale del molino (mm)
- D_{entra} : tamaño de la corriente que entra al molino (mm)

Para entender de dónde proceden los valores de D_{sale} y D_{entra} es necesario hacer mención a la Distribución Rosin-Rammler. Este modelo relaciona los valores del porcentaje acumulado pasante con el tamaño de la abertura del tamiz. Así, representa gráficamente la distribución granulométrica de un material que ha sido sometido a un proceso de molienda.

Cabe destacar que D_{entra} y D_{sale} se refieren al tamaño de la corriente de entrada y salida respectivamente con el 80% menor o al 20% mayor. Es decir, corresponde al tamaño de la corriente que se ha quedado retenida en un 20%. Se ha tomado como tamaño promedio de entrada 3100 μm y de salida 300 μm .

Por otro lado, el índice de trabajo w_i , o índice de Bond, es utilizado para indicar el consumo de energía que requiere un molino para reducir el tamaño del material hasta un 80% menor. Es una medida estándar que todo equipo de reducción de tamaño posee, y así tener una base de comparación. En este caso se ha tomado un valor del índice de Bond de 12,7 kW h/ton. Sin embargo, este dato se refiere a toneladas cortas, unidad de medida de masa utilizada en Estados Unidos. Es necesario hacer un simple cambio de unidad sabiendo que 1 tonelada corta equivale a 0,902 toneladas métricas. Por tanto, el índice de trabajo resulta:

$$w_i = 12,7 \frac{\text{kW h}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ ton}}{0,902 \text{ t}} = 14,1 \frac{\text{kW h}}{\text{t}}$$

Finalmente, aplicando la ecuación 16, la potencia que necesita el molino de martillos es la que se muestra a continuación:

$$P = \sqrt{0,1} \times 1,88 \times 14,1 \times \left(\frac{1}{\sqrt{0,3}} - \frac{1}{\sqrt{3,1}} \right) = 10,54 \text{ kW}$$

3.8.3 Especificaciones molino de martillos

Una vez calculados los valores de capacidad y potencia de molienda, se ha escogido un molino de martillos del fabricante Gruber SA, concretamente el modelo M-24. Se ha elegido este equipo ya que sus especificaciones técnicas son las que más se ajustan al proceso productivo. Sus especificaciones se observan en la tabla 27.

Tabla 27. Especificaciones molino de martillo

Capacidad máx. (t/h)	Peso aproximado (kg)	Volumen (m^3)	Número de martillos
10	2000	1,44	24

3.9 Envasado

En esta etapa final, la harina de avena se envasa en paquetes de 1 kg, ya que resulta una cantidad estándar para ser vendidos en los supermercados. Ya que el flujo de harina obtenida a la hora es de 1880 kg, se utilizará un equipo cuya velocidad de embalaje sea elevada. Para ello, ajustando la velocidad de la envasadora a 32 paquetes por minuto se puede satisfacer la demanda del proceso de producción.

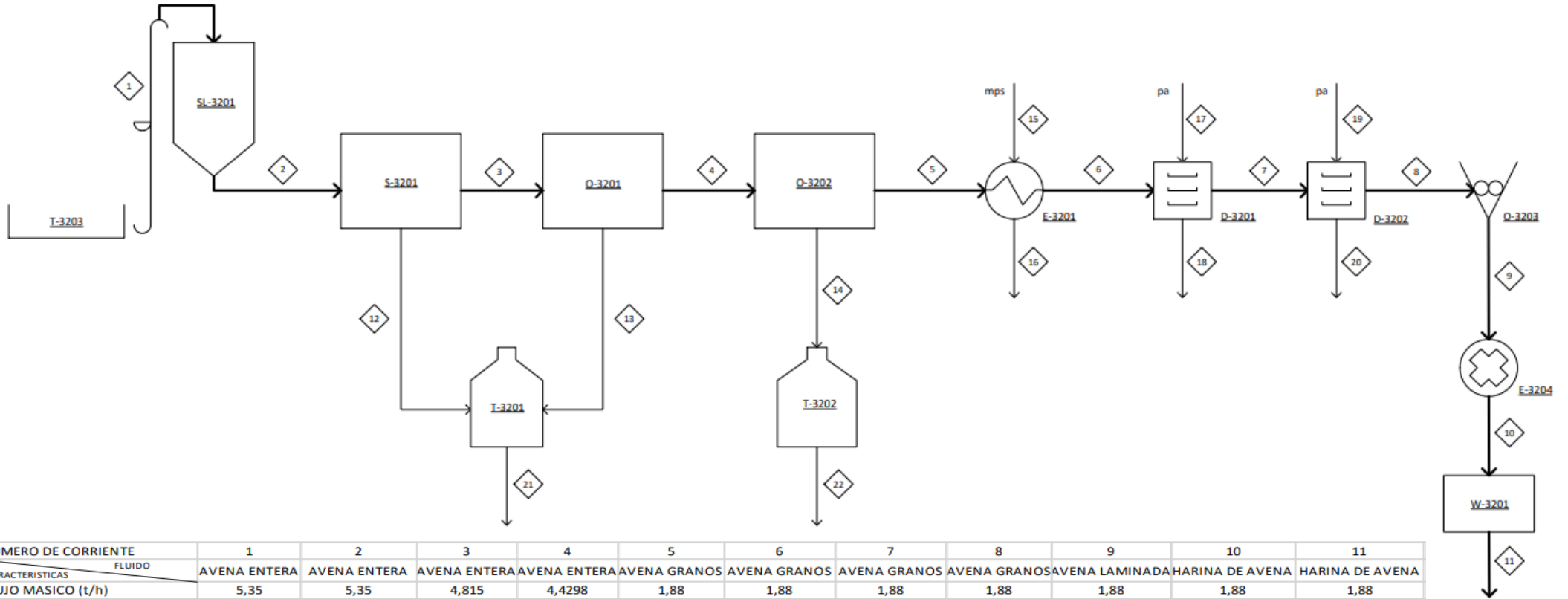
El equipo elegido para este último proceso, DS-420 DZ posee las siguientes especificaciones, mostradas en la tabla 28:

Tabla 28. Especificaciones envasadora

Velocidad de embalaje (paquetes/min)	Peso (kg)	Fuente alimentación (V)	Anchura del paquete (mm)	Altura del paquete (mm)
5-60	650	220	60-200	80-300

3.10 Diagrama de proceso

Para finalizar el presente apartado, se muestra el diagrama de proceso de la instalación, con las corrientes numeradas y sus correspondientes características.



NUMERO DE CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
FLUIDO	AVENA ENTERA	AVENA ENTERA	AVENA ENTERA	AVENA ENTERA	AVENA GRANOS	AVENA GRANOS	AVENA GRANOS	AVENA GRANOS	AVENA GRANOS	AVENA LAMINADA	HARINA DE AVENA	HARINA DE AVENA
CARACTERISTICAS												
FLUJO MASICO (t/h)	5,35	5,35	4,815	4,4298	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
TEMPERATURA (°C)	18	18	18	18	18	95	28	24	30	28	28	28
PRESION (psig)	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
DENSIDAD (kg/m ³)	520	520	520	520	520	520	520	520	520	540	540	540
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg K)	1,539	1,539	1,539	1,539	1,539	1,964	1,735	1,637	1,637	1,637	1,637	1,637
HUMEDAD (%)	8	8	8	8	8	21	16	11	11	11	11	11
ESTADO FÍSICO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO
NUMERO DE CORRIENTE	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
FLUIDO	RESIDUOS	RESIDUOS	RESIDUOS	VAPOR SAT	LIQUIDO SAT	AIRE	AIRE	AIRE	AIRE	RESIDUOS	RESIDUOS	
CARACTERISTICAS												
FLUJO MASICO (t/h)	0,535	0,3852	2,546	0,113	0,113	4,73	4,73	4,73	4,73	0,9202	2,546	
TEMPERATURA (°C)	18	18	18	104	104	80	32	80	32	18	18	
PRESION (psig)	14,7	14,7	14,7	17,4	17,4	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	
DENSIDAD (kg/m ³)	520	520	520	0,7	0,7	0,9996	1,164	0,9996	1,164	520	520	
CAPACIDAD CALORÍFICA (kJ/kg K)	-	-	-	-	-	1,007	1,007	1,007	1,007	-	-	
HUMEDAD (%)	-	-	-	-	-	2,32	85	0,26	64,2	-	-	
ESTADO FÍSICO	SOLIDO	SOLIDO	SOLIDO	VAPOR	LIQUIDO	GAS	GAS	GAS	GAS	SOLIDO	SOLIDO	

4 MEDICIONES Y PRESUPUESTOS

Para acometer el proyecto será necesario conocer la inversión inicial que debe realizarse. Ésta dependerá directamente del presupuesto que se necesite para la adquisición de la maquinaria, instalación eléctrica correspondiente, etc. Sin embargo, el presente apartado se centrará en la maquinaria utilizada para el proceso, donde se detallarán las diferentes partidas de mediciones, precios y presupuestos.

4.1 Mediciones

4.1.1 Control de calidad. Recepción

		Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Cantidad
ud	Balanza analítica						1
	Balanza analítica de precisión, modelo KERN AB5. Diseñada para medir pequeñas masas (del orden de gramos). Permite en el interior un flujo de aire continuo sin turbulencias para evitar fluctuaciones	1				1	
ud	Crisol						2
	Crisol de porcelana de 25 mL de capacidad, utilizado para calentar, fundir, quemar o calcinar sustancias.	2				2	
ud	Mufla						1
	Horno de laboratorio diseñado para procesos que requieren un tipo de exposición de temperaturas elevado y uniforme. Se utiliza para la calcinación y secado de sustancias, fundición y procesos de control.	1				1	

4.1.2 Maquinaria

		Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Cantidad
ud	Silo de almacenamiento						4
	Silo para almacenar la materia prima, con una capacidad de 11807 m ³ . Altura total de 24,86 m, diámetro de 27,5 m y hecho de acero. Fabricante: Simeza	4				4	

ud	Prelimpiador						1
	Equipo encargado de realizar la prelimpieza de la avena cruda, separando los desechos de mediano y gran tamaño mediante dos tamices interiores. Peso aproximado de 940 kg y área de 6,5 m2. Frecuencia del motor del tambor de la criba de 22 rpm. Fabricante Kongskilde, modelo KDC 4000	1				1	
ud	Limpiador						1
	Cilindro alveolado que se encarga de eliminar los residuos de menor tamaño, y todos los que no han sido separados en la prelimpieza. Su principio de funcionamiento se basa en la rotación, donde se clasifican los granos longitudinalmente. Volumen de 4,5 m3 y 1210 kg de peso. Potencia de 4 kW. Fabricante Zanin, modelo CA 9/40.	1				1	
ud	Peladora neumática						1
	Equipo encargado de realizar el descascarado del grano de avena mediante su impacto sobre una superficie de acero. Potencia de 4 kW, peso de 515 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo MHSA.	1				1	
ud	Mesa separadora						1
	Equipo que se encarga de separar las dos fracciones de material obtenidas del descascarillado en la peladora neumática: el grano y la cáscara. Mediante cambios de elevación y dirección continuos se crean dos capas en función del peso específico, que serán extraídas por separado. Potencia de 5,88 kW, peso de 3940 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo Twitor.	1				1	
ud	Equipo tratamiento hidrotérmico						1
	Equipo encargado en la realización del tratamiento hidrotérmico: vaporización y dos líneas de secado adiabático. Peso: 4120 kg. Modelo: Kiln Granotherm de Bühler Group®	1				1	
ud	Laminadora						1
	Molino de cilindros encargado de laminar los granos de avena para gelatinizar el almidón. La separación de ambos rodillos es ajustable, y se acciona mediante un sistema hidráulico y un variador de frecuencia. Fabricante Streckel & Schrader®, modelo FWS. Potencia de 22 kW, peso de 5315 kg y volumen de 9,2 m3.	1				1	

ud	Báscula						1
	Encargada de pesar la mercancía al llegar a la instalación	1				1	
ud	Molino de martillos						1
	Equipo encargo de la molienda del grano de avena. Potencia de 18,54 kW, capacidad de molienda de 505 granos/rev, y peso de 2000 kg. Fabricante Gruber SA, modelo M-24.	1				1	
ud	Envasadora						1
	Se encarga del ensacado de la harina de avena en paquetes de 1 kg. Capacidad de producción ajustable: 5-60 paquetes/minuto. Fuente de alimentación de 220 V, y 650 kg de peso. Modelo DS-420 DZ	1				1	

4.1.3 Mecanismos de transporte

		Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Cantidad
ud	Elevador de cangilones						1
	Mecanismo de transporte vertical de la materia prima, de descarga centrífuga. Capacidad de 248,77 m ³ /h, altura de 30 m y potencia de 31,2 CV. Capacidad del cangilón de 60 L, distancia entre ellos de 1029 mm y velocidad de 1,5 m/s	1				1	
ud	Cinta transportadora 1						1
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 15 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm	1				1	
ud	Cinta transportadora 2						1
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 5 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm	1				1	
ud	Tornillo sin fin 1						1
	Mecanismo de transporte horizontal situado en el interior del foso de descarga, alimentando al elevador de cangilones. Hélice continua, capacidad de 184,8 t/h y potencia de 75,15 kW. Diámetro de 61 cm.	1				1	

ud	Tornillo sin fin 2						1
	Mecanismo de transporte horizontal encargado de transportar el producto hasta el equipo de limpieza. Hélice continua, capacidad de 4,815 t/h y potencia de 0,16 kW. Diámetro de 23 cm.	1					1

4.2 Precios

En este apartado se detallarán los precios de cada unidad de obra utilizada en el proceso productivo, acompañada de su desglose en casos concretos.

En cuanto a la mano de obra que se mencionará se refiere al trabajo realizado por personal cualificado para la instalación de dichos equipos. Esto incluye desplazamientos de los trabajadores, seguridad social, subcontrataciones de maquinaria o personal, y cualquier otro plus en relación con el salario.

Por otro lado, los costes indirectos engloban varios aspectos. Entre ellos se encuentra la amortización de la maquinaria, los consumos de energía eléctrica y agua potable, y el personal que no interviene directamente en la ejecución (trabajos de control, seguridad o vigilancia).

4.2.1 Control de calidad. Recepción

			Precio (€)	Precio total (€)
ud	Balanza analítica		1340	1340,0
	Balanza analítica de precisión, modelo KERN AB5. Diseñada para medir pequeñas masas (del orden de gramos). Permite en el interior un flujo de aire continuo sin turbulencias para evitar fluctuaciones			
ud	Crisol		10,8	10,80
	Crisol de porcelana de 25 mL de capacidad, utilizado para calentar, fundir, quemar o calcinar sustancias.			
ud	Mufla		7781	7781,0
	Horno de laboratorio diseñado para procesos que requieren un tipo de exposición de temperaturas elevado y uniforme. Se utiliza para la calcinación y secado de sustancias, fundición y procesos de control.		1340	1340,0
				9131,8

4.2.2 Maquinaria

			Precio (€)	Precio total (€)
ud	Silo de almacenamiento			22000,0
	Silo para almacenar la materia prima, con una capacidad de 11807 m3. Altura total de 24,86 m, diámetro de 27,5 m y hecho de acero. Fabricante: Simeza			
		Equipo	17000	
		Mano de obra	3000	
		Costes indirectos	2000	
ud	Báscula			10000,0
	Encargada de pesar la mercancía al llegar a la instalación		10000	
ud	Prelimpiador			8000,0
	Equipo encargado de realizar la prelimpieza de la avena cruda, separando los desechos de mediano y gran tamaño mediante dos tamices interiores. Peso aproximado de 940 kg y área de 6,5 m2. Frecuencia del motor del tambor de la criba de 22 rpm			
		Equipo	7700	
		Mano de obra	300	
ud	Limpiador			5560,0
	Cilindro alveolado que se encarga de eliminar los residuos de menor tamaño, y todos los que no han sido separados en la prelimpieza. Su principio de funcionamiento se basa en la rotación, donde se clasifican los granos longitudinalmente. Volumen de 4,5 m3 y 1210 kg de peso. Potencia de 4 kW. Fabricante Zanin, modelo CA 9/40.			
		Equipo	5310	
		Mano de obra	250	
ud	Peladora neumática			3209,0
	Equipo encargado de realizar el descascarado del grano de avena mediante su impacto sobre una superficie de acero. Potencia de 4 kW, peso de 515 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo MHSA.			
		Equipo	2899	
		Mano de obra	310	

ud	Mesa separadora			2700,0
	Equipo que se encarga de separar las dos fracciones de material obtenidas del descascarillado en la peladora neumática: el grano y la cáscara. Mediante cambios de elevación y dirección continuos se crean dos capas en función del peso específico, que serán extraídas por separado. Potencia de 5,88 kW, peso de 3940 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo Twitor.			
		Equipo	2500	
		Mano de obra	200	
ud	Laminadora			8500,0
	Molino de cilindros encargado de laminar los granos de avena para gelatinizar el almidón. La separación de ambos rodillos es ajustable, y se acciona mediante un sistema hidráulico y un variador de frecuencia. Fabricante Streckel & Schrader®, modelo FWS. Potencia de 22 kW, peso de 5315 kg y volumen de 9,2 m3.			
		Equipo	8350	
		Mano de obra	150	
ud	Equipo tratamiento hidrotérmico			1500,0
	Equipo encargado en la realización del tratamiento hidrotérmico: vaporización y dos líneas de secado adiabático. Peso: 4120 kg. Modelo: Kiln Granotherm de Bühler Group®			
		Equipo	10000	
		Mano de obra	500	
		Costes indirectos	4500	
ud	Molino de martillos			8325,0
	Equipo encargo de la molienda del grano de avena. Potencia de 10,54 kW, capacidad de molienda de 505 granos/rev, y peso de 2000 kg. Volumen: 1,44 m3. Fabricante Gruber SA, modelo M-24			
		Equipo	8025	
		Mano de obra	300	
ud	Envasadora			7400,0
	Se encarga del ensacado de la harina de avena en paquetes de 1 kg. Capacidad de producción ajustable: 5-60 paquetes/minuto. Fuente de alimentación de 220 V, y 650 kg de peso. Modelo DS-420 DZ			

		Equipo	7350	
		Mano de obra	50	
				90694

4.2.3 Mecanismos de transporte

			Precio (€)	Precio total (€)
ud	Elevador de cangilones			29000,0
	Mecanismo de transporte vertical de la materia prima, de descarga centrífuga. Capacidad de 248,77 m ³ /h, altura de 30 m y potencia de 31,2 CV. Capacidad del cangilón de 60 L, distancia entre ellos de 1029 mm y velocidad de 1,5 m/s			
		Equipo	25000	
		Mano de obra	2500	
		Costes indirectos	1500	
ud	Cinta transportadora 1			4741,0
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 15 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm. Fabricante: Esbelt			
		Equipo	3590	
		Mano de obra	631	
		Costes indirectos	520	
ud	Cinta transportadora 2			2980,0
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 5 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm. Fabricante: Esbelt			
		Equipo	2280	
		Mano de obra	420	
		Costes indirectos	280	

ud	Tornillo sin fin 1			6500,0
	Mecanismo de transporte horizontal situado en el interior del foso de descarga, alimentando al elevador de cangilones. Hélice continua, capacidad de 184,8 t/h y potencia de 75,15 kW. Diámetro de 61 cm			
		Equipo	5850	
		Mano de obra	650	
ud	Tornillo sin fin 2			4253,5
	Mecanismo de transporte horizontal encargado de transportar el producto hasta el equipo de limpieza. Hélice continua, capacidad de 4,815 t/h y potencia de 0,16 kW. Diámetro de 23 cm.			
		Equipo	4125	
		Mano de obra	128,5	
				47474,5

4.3 Presupuestos

4.3.1 Control de calidad. Recepción

		Cantidad	Precio €	Importe €
ud	Balanza analítica	1	1340	1340,00
	Balanza analítica de precisión, modelo KERN AB5. Diseñada para medir pequeñas masas (del orden de gramos). Permite en el interior un flujo de aire continuo sin turbulencias para evitar fluctuaciones			
ud	Crisol	2	10,8	21,60
	Crisol de porcelana de 25 mL de capacidad, utilizado para calentar, fundir, quemar o calcinar sustancias.			
ud	Mufla	1	12781	12781,00
	Horno de laboratorio diseñado para procesos que requieren un tipo de exposición de temperaturas elevado y uniforme. Se utiliza para la calcinación y secado de sustancias, fundición y procesos de control.			
				14142,6

4.3.2 Maquinaria

		Cantidad	Precio €	Importe €
ud	Silo de almacenamiento	4	32000	128000,0
	Silo para almacenar la materia prima, con una capacidad de 11807 m3. Altura total de 24,86 m, diámetro de 27,5 m y hecho de acero. Fabricante: Simeza			
ud	Prelimpiador	1	12000	12000,0
	Equipo encargado de realizar la prelimpieza de la avena cruda, separando los desechos de mediano y gran tamaño mediante dos tamices interiores. Peso aproximado de 940 kg y área de 6,5 m2. Frecuencia del motor del tambor de la criba de 22 rpm			
ud	Limpiador	1	9560	9560,0
	Cilindro alveolado que se encarga de eliminar los residuos de menor tamaño, y todos los que no han sido separados en la prelimpieza. Su principio de funcionamiento se basa en la rotación, donde se clasifican los granos longitudinalmente. Volumen de 4,5 m3 y 1210 kg de peso. Potencia de 4 kW. Fabricante Zanin, modelo CA 9/40.			
ud	Peladora neumática	1	13209	13209,0
	Equipo encargado de realizar el descascarado del grano de avena mediante su impacto sobre una superficie de acero. Potencia de 4 kW, peso de 515 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo MHSA.			
ud	Mesa separadora	1	9700	9700,0
	Equipo que se encarga de separar las dos fracciones de material obtenidas del descascarillado en la peladora neumática: el grano y la cáscara. Mediante cambios de elevación y dirección continuos se crean dos capas en función del peso específico, que serán extraídas por separado. Potencia de 5,88 kW, peso de 3940 kg, y capacidad máxima de 5 t/h. Fabricante Bühler Group®, modelo Twitor.			
ud	Equipo tratamiento hidrotérmico	1	27000	27000,0
	Equipo encargado en la realización del tratamiento hidrotérmico: vaporización y dos líneas de secado adiabático. Peso: 4120 kg. Modelo: Kiln Granotherm de Bühler Group®			
ud	Laminadora	1	18500	18500,0
	Molino de cilindros encargado de laminar los granos de avena para gelatinizar el almidón. El material pasa por dos rodillos de acero que ejercen una fuerza de compresión, haciendo que resulte el producto laminado. La separación de ambos rodillos es ajustable, y se acciona mediante un sistema hidráulico y un variador de frecuencia. Fabricante Streckel & Schrader®, modelo FWS. Potencia de 22 kW, peso de 5315 kg y volumen de 9,2 m3.			

ud	Molino de martillos	1	14325	14325,0
	Equipo encargo de la molienda del grano de avena. Potencia de 10,54 kW, capacidad de molienda de 505 granos/rev, y peso de 2000 kg. Volumen: 1,44 m3. Fabricante Gruber SA, modelo M-24			
ud	Envasadora	1	17400	17400,0
	Se encarga del ensacado de la harina de avena en paquetes de 1 kg. Capacidad de producción ajustable: 5-60 paquetes/minuto. Fuente de alimentación de 220 V, y 650 kg de peso. Modelo DS-420 DZ			
ud	Báscula	1	22000	22000,0
	Encargada de pesar la mercancía al llegar a la instalación			
				271694

4.3.3 Mecanismos de transporte

		Cantidad	Precio €	Importe €
ud	Elevador de cangilones	1	29000	29000,0
	Mecanismo de transporte vertical de la materia prima, de descarga centrífuga. Capacidad de 248,77 m3/h, altura de 30 m y potencia de 31,2 CV. Capacidad del cangilón de 60 L, distancia entre ellos de 1029 mm y velocidad de 1,5 m/s			
ud	Cinta transportadora 1	1	13471	13471,0
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 15 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm. Fabricante: Esbelt			
ud	Cinta transportadora 2	1	9980	9980,0
	Mecanismo de transporte horizontal, en forma de artesa de inclinación 20°. Velocidad de 1 m/s, potencia de 2,41 kW y 5 m de longitud. Ancho de banda de 1200 mm. Fabricante: Esbelt			
ud	Tornillo sin fin 1	1	16500	16500,0
	Mecanismo de transporte horizontal situado en el interior del foso de descarga, alimentando al elevador de cangilones. Hélice continua, capacidad de 184,8 t/h y potencia de 75,15 kW. Diámetro de 61 cm			
ud	Tornillo sin fin 2	1	6523,5	6523,5
	Mecanismo de transporte horizontal encargado de transportar el producto hasta el equipo de limpieza. Hélice continua, capacidad de 4,815 t/h y potencia de 0,16 kW. Diámetro de 23 cm.			
				75474,5

Resumen del presupuesto

- Ejecución material: 361311,1 €
 - Control de calidad. Recepción: 14142,6 €
 - Maquinaria: 271694 €
 - Mecanismos de transporte: 75474,5€
- 13% Gastos generales: 46940,44 €
- 6 % beneficio industrial: 21678,66 €
- 21 % IVA: 75875,33 €

Total presupuesto: 505805,53 €

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de QUINIENTOS CINCO MIL OCHOCIENTOS CINCO Y CINCUENTA Y TRES CÉNTIMOS.

5 CONCLUSIONES

Con el presente trabajo de fin de grado se ha realizado un estudio sobre la ingeniería básica de una planta de producción de 8460 t/año de harina de avena. En este recorrido se ha conocido en profundidad cómo es la materia prima, los procesos necesarios para convertirla en el producto final deseado, y la inversión a acometer en maquinaria para llevarla a cabo.

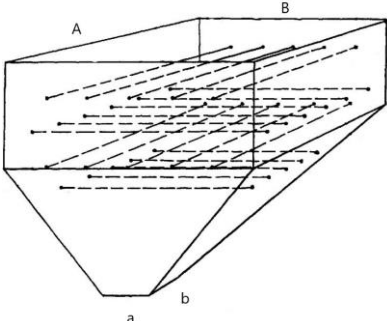
Para obtener la capacidad de producción de harina deseada serán necesarias 24100 toneladas de avena cruda para funcionar durante todo el año, siendo 4500 las horas de trabajo anuales. Es por ello por lo que la instalación debe poseer grandes silos para almacenarlo ya que la cosecha del material se realiza sólo durante los meses de verano.

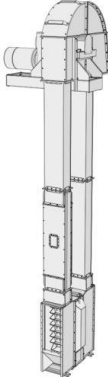
La inversión en maquinaria que sería necesaria realizar resulta de 505805 €, cifra no muy elevada debido a las características de los equipos. Hay que tener en cuenta que el estudio realizado se encuentra infradimensionado ya que la envergadura de este tipo de instalaciones suele ser superior. Sin embargo, desde un punto de vista técnico todo resulta igual.


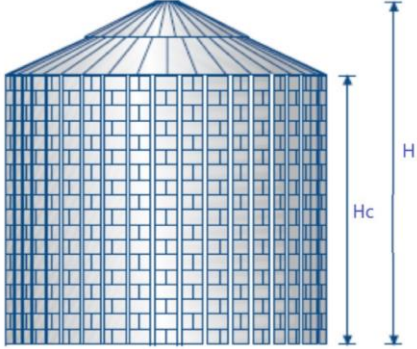
Con este estudio se pretende mostrar con claridad cómo debe realizarse el proceso, con el fin de fomentar la creación de nuevas instalaciones, y así, promover el consumo de este cereal en la población española. Como está demostrado, la avena aporta numerosos beneficios para la salud, por lo que resultaría conveniente encontrar este producto en los supermercados en sus distintas formas. Estudios como el realizado pueden aportar un enfoque clarificador a todas aquellas empresas interesadas en una instalación de esta finalidad.


6 HOJAS DE EQUIPOS

En el siguiente apartado se va a mostrar las características más relevantes de cada uno de los equipos que intervienen en el proceso productivo.

Nombre del equipo	Foso de descarga		
Forma	Tronco piramidal invertido		
Volumen	1422 m ³		
Material	Hormigón		
Croquis: 	Dimensión	Medida	
	A	24,54 m	
	B	12,87 m	
	a	3,88 m	
	b	7,76 m	


Nombre del equipo	Elevador de cangilones	
Croquis: 	Capacidad del cangilón	60 L
	Distancia entre cangilones	1029 mm
	Velocidad	1,5 m/s
	Potencia	31,2 CV
	Tipo de descarga	Centrífuga
	Coefficiente de llenado	0,6-0,8
	Capacidad	248,77 m ³ /h
	Altura	30 m


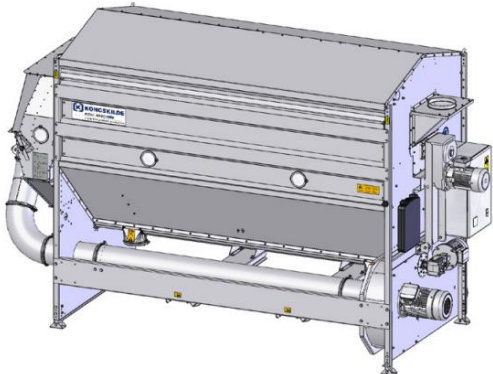
 SIMEZA	Nombre	Silo de almacenamiento	
	Fabricante	Simeza	
	Base	Plana	
Croquis 		Volumen	11807 m ³
		Numero de virolas	17
		Altura cilindro, Hc	17,21 m
		Altura techo	7,65 m
		Altura total, H	24,86 m
		Material	Acero
		Diámetro	27,5 m



Nombre del equipo	Tornillo sin fin 1
Tipo de hélice	Continua
Factor de capacidad	1,4-1,8
Capacidad	184,8 t/h
Velocidad recomendada	60 rpm
Velocidad máxima	95 rpm
Diámetro	61 cm
Diámetro	61 cm
Longitud	25 m
Croquis 	



Nombre	Cinta transportadora 1
Ancho de banda	1200 mm
Tipo de banda	Artesa 20°
Velocidad	1 m/s
Potencia	2,41 kW
Longitud	15 m
Croquis	



Nombre	Cinta transportadora 2
Ancho de banda	1200 mm
Tipo de banda	Artesa 20°
Velocidad	1 m/s
Potencia	2,41 kW
Longitud	5
Croquis	

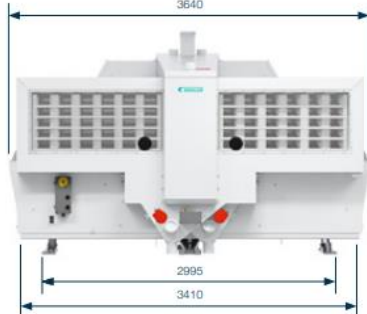
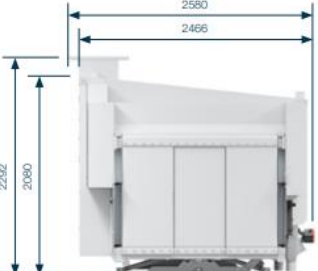
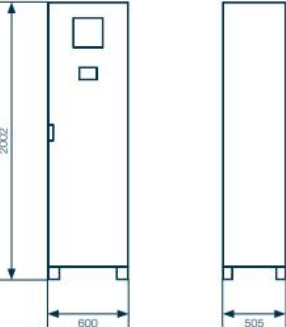

Nombre del equipo	Tornillo sin fin 2
Tipo de hélice	Continua
Factor de capacidad	1,4-1,8
Capacidad	4,815 t/h
Velocidad recomendada	50 rpm
Velocidad máxima	110 rpm
Potencia	0,16 kW
Diámetro	23 cm
Longitud	1 m
Croquis 	

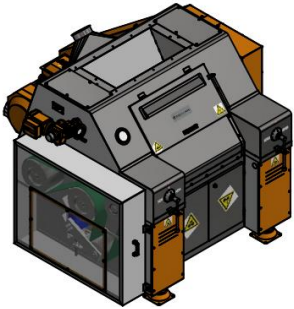

	Nombre del equipo	Limpiador 1
	Modelo	KDC 4000
	Fabricante	Kongskilde
Croquis: 	Peso	940
	Área	6,5 m ²
	Frecuencia del motor	22


Nombre del equipo	Limpiador 2
Modelo	Cilindro alveolado CA 9/40
Fabricante	Zanin
Volumen	4,5 m ³
Peso	1210 kg
	<p>Croquis:</p> 

Nombre del equipo	Peladora neumática
Modelo	Dehuller MHSA
Fabricante	Bühler Group®
Potencia	4 kW
Peso	515 kg
Capacidad máxima	5 t/h
	<p>Croquis:</p> 

Croquis: 	Nombre del equipo	Tratamiento hidrotérmico
	Modelo	Kiln Granotherm DNCB
	Fabricante	Bühler Group®
	Peso	4120 kg
	Vapor requerido	113 kg/h
	Calor necesario calentamiento aire	2930,44 kJ/kg agua eliminada
	Tipo de secado	Adiabático

Nombre del equipo	Mesa separadora
Modelo	Twitor
Fabricante	Bühler Group®
Capacidad máxima	5 t/h
Peso	3940 kg
Croquis <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	
	

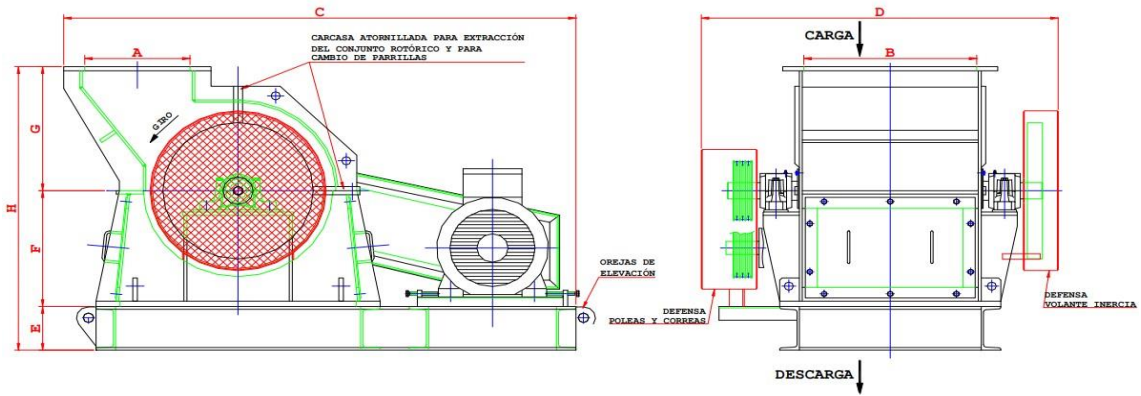
Nombre del equipo	Laminador	
Modelo	FWS	
Fabricante	Streckel & Schrader®	
Funcionamiento	Molino de rodillos	
Potencia	22 kW	
Peso	5315 kg	
Volumen	9,149 m ³	

Nombre del equipo	Envasadora	<p>Croquis:</p> 
Modelo	DS-420 DZ	
Fuente de alimentación	220 V	
Peso	650 kg	
Capacidad producción	5-60 paquetes/minuto	
Anchura paquetes	60-200 mm	
Altura paquetes	80-300 mm	



Nombre del equipo	Molino de martillos
Modelo	M-24
Fabricante	Gruber S.A.
Potencia	18,5 kW

Croquis:



Dimensión	Medida
A	400 mm
B	375 mm
C	1850 mm
D	950 mm
E	160 mm
F	425 mm
G	455 mm
H	1040 mm

7 REFERENCIAS

- [1] Statista, Volumen de la avena producida en España desde 2011 hasta 2018, 2020 (disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/501758/produccion-de-avena-en-espana/> ; última consulta 10/05/2021)
- [2] Statista, Volumen de producción de avena en las distintas comunidades autónomas españolas en 2018, 2020 (disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/501790/produccion-de-avena-en-comunidades-autonomas-de-espana/> ; última consulta 10/05/2021)
- [3] Junta de Castilla y León, Consejería de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Anuario de estadística agraria de Castilla y León 2018, 2018 (disponible en <https://agriculturaganaderia.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/Plantilla100/1284228463984/ / /> ; última consulta 2/06/2021)
- [4] J.F. Cruz, Avances en la ingeniería agrícola:técnicas de almacenamiento, *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*, nº 74, 1990.
- [5] Austral Granos, Ficha 04 Hojuela de avena grano entero (disponible en https://www.australgranos.cl/archivos/FICHA_04_HOJUELA_DE_AVENA_GRANO_ENTERO.pdf; última consulta 10/05/2021)
- [6] Nilda Liliana Wehrhane, Evaluación de parámetros de calidad molinera de avenas en Argentina, 2009
- [7] Haswell, G.A., A note on the specific heat of rice, oats and their products. *Cereal chemistry* 31:341-343, 1954
- [8] G. Nonhebel & A.A.H. Moss, El secado de sólidos en la Industria Química, Reverté, 1979
- [9] D.B. Brooker & C.W. Hall, *Drying and storage of grains and oilseeds*, published by Van Nostrand Reinhold,1992.
- [10] Fritz Ullmann, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 2002.

