

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

Análisis Técnico-Económico de la viabilidad de la producción de malta propia en una fábrica de cerveza artesanal

Autor: Alejandro Adame Borrego

Tutores: Mónica Rodríguez Galán
Fernando Vidal Barrero

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

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Química

Análisis Técnico-Económico de la viabilidad de la producción de malta propia en una fábrica de cerveza artesanal

Autor:
Alejandro Adame Borrego

Tutores:
Mónica Rodríguez Galán
Fernando Vidal Barrero

Dep. Ingeniería Química y Ambiental
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Análisis Técnico-Económico de la viabilidad de la producción de
malta propia en una fábrica de cerveza artesanal

Autor: Alejandro Adame Borrego
Tutores: Mónica Rodríguez Galán
Fernando Vidal Barrero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

“La cerveza es la prueba de que Dios existe y desea nuestra felicidad”

Benjamin Franklin

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es estudiar la viabilidad de que una fábrica de cerveza artesanal fabrique su propia malta en vez de adquirir ésta externamente.

En dicho estudio se contemplan aspectos que abordan, desde la llegada del grano a la maltería, hasta la salida de la malta ya preparada para su uso en las instalaciones cerveceras, detallando cada paso del proceso y seleccionando el tipo de cereal apropiado para las cervezas a producir.

Tras un amplio estudio de las cervecerías artesanales afincada en la zona de Sevilla, se ha establecido como base de cálculo el abastecimiento de malta para la producción mensual de 20.000 litros de cerveza. Para esa base de cálculo, tal y como se detallará más adelante, se requerirá producir una cantidad de 4.000 kg de malta mensuales.

Como resultado final, se puede comprobar que a priori, económicamente hablando no es un ejercicio muy prometedor, pues la inversión inicial no se vería compensando hasta dentro de 13 años. Pese a ello, podría llegar a serlo si se estudia la posibilidad de realizar malta no solo para la producción de cerveza, sino también para la venta de esta.

ABSTRACT

The goal of this work is to study the viability of a craft brewery generating its own malt instead of acquiring it externally.

In this study will be addressed aspects from the arrival of the grain to the malting until the output of the malt already obtained for use in the brewing facilities, detailing step by step of the process and selecting the type of cereal appropriate for each beer to be produced.

For the calculation base, research has been carried out on the different craft breweries in the area of Sevilla and their production, and it has been established as an objective to supply the monthly production of 20.000 liters of beer. For which, as it will be detailed later, it will be required to produce an amount of 4.000 kg of malt monthly.

It can be verified that the result it is not a very promising exercise, economically speaking. The initial investment would need a period of 13 years to get recovered. Despite this, it could be so if the possibility of making malt is studied not only to produce beer, but also for the sale of it.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DEFINICIÓN DE CERVEZA Y ORIGEN	1
1.2. DEFINICIÓN DE MALTA Y CLASIFICACIÓN	1
1.3. TIPOS DE GRANO	2
1.3.1. CEBADA	2
1.3.2. TRIGO	3
2. FABRICACIÓN DE MALTA	4
2.1. PROCESO DE MALTEADO	4
2.2. RECEPCIÓN, LIMPIEZA Y CLASIFICACIÓN DE LA CEBADA	5
2.3. ALMACENAMIENTO DE LA CEBADA	6
2.4. REMOJO DE LA CEBADA	9
2.5. GERMINACIÓN DE LA CEBADA	11
2.5.1. MALTEADO EN TAMBORES	16
2.5.2. MALTEADO EN CAJAS	16
2.6. TOSTADO DE LA MALTA	18
2.7. ALMACENAMIENTO DE LA MALTA	21
3. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO	22
3.1. CERVEZAS SELECCIONADAS	22
3.1.1. CERVEZA TIPO PILSEN	22
3.1.2. CERVEZA RED ALE	23
3.1.3. CERVEZA DE TRIGO	24
3.2. MALTAS SELECCIONADAS	25
3.2.1. MALTA PILSEN	27
3.2.2. MALTA CAMEL	28
3.2.3. MALTA DE TRIGO	29
4. CÁLCULO DE EQUIPOS	32
4.1. SILOS DE CEBADA MALTEABLE	32
4.2. LIMPIADOR PREVIO DE CEBADA	34
4.3. TANQUES DE REMOJO	36
4.4. CAJONES DE GERMINACIÓN	38
4.5. SECADOR-TOSTADOR	40
4.6. LIMPIADOR DE RAICILLAS	44

4.7.	SILOS DE MALTA.....	44
4.8.	ELEVADOR DE TORNILLO	45
4.9.	EQUIPOS AUXILIARES.....	47
4.9.1.	MEDIDOR DE TEMPERATURA.....	47
4.9.2.	MEDIDOR DE HUMEDAD.....	48
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	50
5.1.	INVERSION INICIAL.....	50
5.2.	COSTES MATERIAS PRIMAS.....	51
5.3.	COSTES DE COMBUSTIBLE.....	51
5.4.	COSTES DE AGUA.....	52
5.5.	COSTE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	52
5.6.	DIFERENCIA DE COSTES	52
6.	CONCLUSIONES	54
7.	BIBLIOGRAFÍA	55
	ANEXO I. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VARIEDADES DE MALTA.....	1
FIGURA 2. GRANOS DE CEBADA.....	2
FIGURA 3. GRANOS DE TRIGO	3
FIGURA 4. PROCESO DE MALTEADO	4
FIGURA 5. DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO DE LIMPIEZA Y SELECCIÓN DEL GRANO.....	6
FIGURA 6. SILOS DE ALMACENAMIENTO DE GRANOS.....	8
FIGURA 7. TANQUE DE REMOJO	10
FIGURA 8. PROCESOS DE CRECIMIENTO EN EL GRANO DE CEBADA EN GERMINACIÓN	13
FIGURA 9. ACTIVIDAD DESARROLLADA EN LA SEMILLA DURANTE LA PRODUCCIÓN DE ENZIMAS.....	14
FIGURA 10. CAJA DE GERMINACIÓN CIRCULAR	16
FIGURA 11. SECADOR-TOSTADOR INDUSTRIAL DE MALTA	19
FIGURA 12. CERVEZA TIPO PILSEN	23
FIGURA 13. CERVEZA TIPO RED ALE	24
FIGURA 14. CERVEZA DE TRIGO	25
FIGURA 15. ESTIMACIÓN DE CONSUMO DE POR TIPO DE CERVEZA	26
FIGURA 16. MALTA PILSEN	28
FIGURA 17. MALTA CAMEL	29
FIGURA 18. MALTA DE TRIGO	30
FIGURA 19. CARACTERÍSTICAS SILOS.....	33

FIGURA 20. SILO 3,98M3.....	34
FIGURA 21 VISTA LATERAL CLASIFICADORA DE GRANO.....	35
FIGURA 22 VISTA FRONTAL CLASIFICADORA DE GRANO	35
FIGURA 23 CAJÓN DE REMOJO.....	38
FIGURA 24 CAJÓN DE GERMINACIÓN	39
FIGURA 25 GERMINACIÓN DE CEBADA EN BANDEJAS RANURADAS	39
FIGURA 26 RAICILLAS EN CEBADA GERMINADA	40
FIGURA 27 DISEÑO SECADOR-TOSTADOR DE MALTA.....	41
FIGURA 28 REPARTO DE ALTURA DE CEBADA PARA EL TOSTADO	40
FIGURA 29 VENTILADOR CALEFACTOR	43
FIGURA 30 PEQUEÑO DEPOSITO DE ACERO INOXIDABLE.....	45
FIGURA 31 CALCULO ALTURA MÁXIMA TORNILLO SINFÍN	46
FIGURA 32 ELEVADOR DE TORNILLO SINFIN	46
FIGURA 33 TORNILLO DEL ELEVADOR.....	47
FIGURA 34 TERMÓMETRO DIGITAL BREWFERM	48
FIGURA 35 MEDIDOR DIGITAL DE HUMEDAD	48

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DE ALMACENAMIENTO DE LA CEBADA	7
TABLA 2. CONSUMO DE CALOR POR ETAPAS	20
TABLA 3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS POR TIPO DE MALTA.....	30
TABLA 4. CONSUMO DE AGUA POR TIPO DE MALTA.....	37
TABLA 5. SIMULACRO DE PLANIFICACIÓN MENSUAL DE LA PRODUCCIÓN	49
TABLA 6. INVERSIÓN INICIAL DE EQUIPOS	50
TABLA 7. COSTES MATERIAS PRIMAS	50
TABLA 8. CONSUMO DE COMBUSTIBLE	50
TABLA 9. CONSUMO DE AGUA.....	52
TABLA 10. COSTE ENERGÍA ELÉCTRICA	52
TABLA 11. COSTE DE PRODUCCIÓN ANUAL.....	53
TABLA 12. COSTE ADQUISICIÓN EXTERNA DE MALTA.....	53

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DEFINICIÓN DE CERVEZA Y ORIGEN

La cerveza es una bebida alcohólica de sabor amargo, resultante de la fermentación mediante levadura seleccionada, de mosto que procede de la malta, el cual puede ir acompañado de productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática. Se aromatiza normalmente con lúpulo, entre otras plantas en un proceso de cocción. La malta proviene de la germinación de los cereales, de los cuales el más común es la cebada [1].

En general, se hace una distinción entre cervezas según sean de fermentación alta (Ale) o baja (Lager). Las primeras están elaboradas con levaduras de alta fermentación que brindan al producto final aromas y sabores afrutados característicos y muy perceptibles. Las cervezas tipo Lager utilizan levaduras de baja fermentación que aportan un aspecto visual más limpio, aunque sus aromas y sabores no son tan perceptibles [2].

Aunque no se ha determinado aún con precisión, se cree que el origen de la cerveza tuvo lugar en Mesopotamia, hace más de siete mil años. Esta sospecha se debe a una antigua tablilla sumeria en la que se observan varias personas tomando cerveza. Los Babilonios heredaron de los Sumerios el arte del cultivo de la tierra y la elaboración de la cerveza. Por otra parte, se sabe que los egipcios fueron los primeros en comercializarla [3].

1.2. DEFINICIÓN DE MALTA Y CLASIFICACIÓN

Se puede definir la malta como los granos de cereal que han pasado por el proceso de malteado, el cual consiste, de manera general, en la germinación, secado y horneado de los granos. Dicho proceso activa las enzimas diastáticas, encargadas de producir azúcares fermentables a partir de los almidones de los granos. El color y el aroma característico de cada cerveza viene determinado por el malteado.



Figura 1. Variedades de malta [4]

La calidad del grano depende de un alto contenido en almidón, un tamaño uniforme del grano, bajo contenido en nitrógeno y un alto poder diastático.

La malta es el alma de la cerveza. Después del agua es el segundo ingrediente más usado en el proceso de elaboración. Las proteínas de sus granos dan estructura a la espuma, mientras que los minerales que contiene proporcionan muchos de los nutrientes esenciales que necesita la levadura para desarrollarse [5].

Como ya se ha explicado, la cebada es el grano más usual en la producción de cerveza. Sin embargo, se pueden encontrar otros tipos de grano, malteados o no, como el trigo, el maíz, el arroz, el centeno o la avena.

1.3. TIPOS DE GRANO

Hay muchos tipos de cereales que pueden ser utilizados para hacer malta, sin embargo, los más utilizados e importantes para este proyecto son la cebada y el trigo, ya que son los más comunes y utilizados y por lo tanto los elegidos como base para este trabajo.

1.3.1. CEBADA

La cebada es, sin duda, la materia prima principal para la fabricación de cerveza. Que sea el cereal más utilizado se debe a que tiene un alto contenido de almidón y que la cáscara sigue adherida al grano aún después de la trilla y de haber sido procesada para ser transformada en malta. Esta cascara, además, es capaz de formar una capa filtrante necesaria en una etapa posterior de fabricación.

Hay una gran cantidad de variedades de cebada, pero para los objetivos de malteado y fabricación de cerveza, las cebadas de verano de dos hileras (las cuales presentan la mejor aptitud cervecera y crecen en suelos que no necesitan ser tan fértiles como el caso del trigo) son con diferencia las más utilizadas, ya que desde hace más de 100 años se ha trabajado sistemáticamente sobre estas en el sentido de mejorar su calidad para la fabricación de cerveza [6].



Figura 2. Granos de cebada [7]

1.3.2. TRIGO

El trigo se utiliza muy a menudo para la fabricación de cervezas de fermentación alta. Para esto, la proporción de malta de trigo/malta de cebada es del 50 a 60% debido al elevado rendimiento de los extractos. Habitualmente son más utilizadas ciertas variedades como el trigo cervecero, debiendo tenerse en cuenta que son más demandadas las variedades de trigo de invierno como consecuencia de su contenido de proteínas más reducido y su mayor contenido de extractos. Además, de estos tipos de granos resultan en cervezas más claras. [8]



Figura 3. Granos de trigo [7]

2. FABRICACIÓN DE MALTA

2.1. PROCESO DE MALTEADO

La gran mayoría de las fábricas de cerveza no poseen una maltería propia, y si la poseen, es una planta totalmente independiente del proceso de fabricación de cerveza.

En las instalaciones de una maltería se puede distinguir entre dos zonas de procesado, el área seca y el área húmeda. En la primera se llevan a cabo operaciones de almacenamiento, transporte y limpieza de materiales secos, y en la segunda se llevan a cabo operaciones en las que se utiliza agua y se maneja grano húmedo.

El proceso de malteado consta principalmente de siete etapas, las cuales se detallan a continuación.

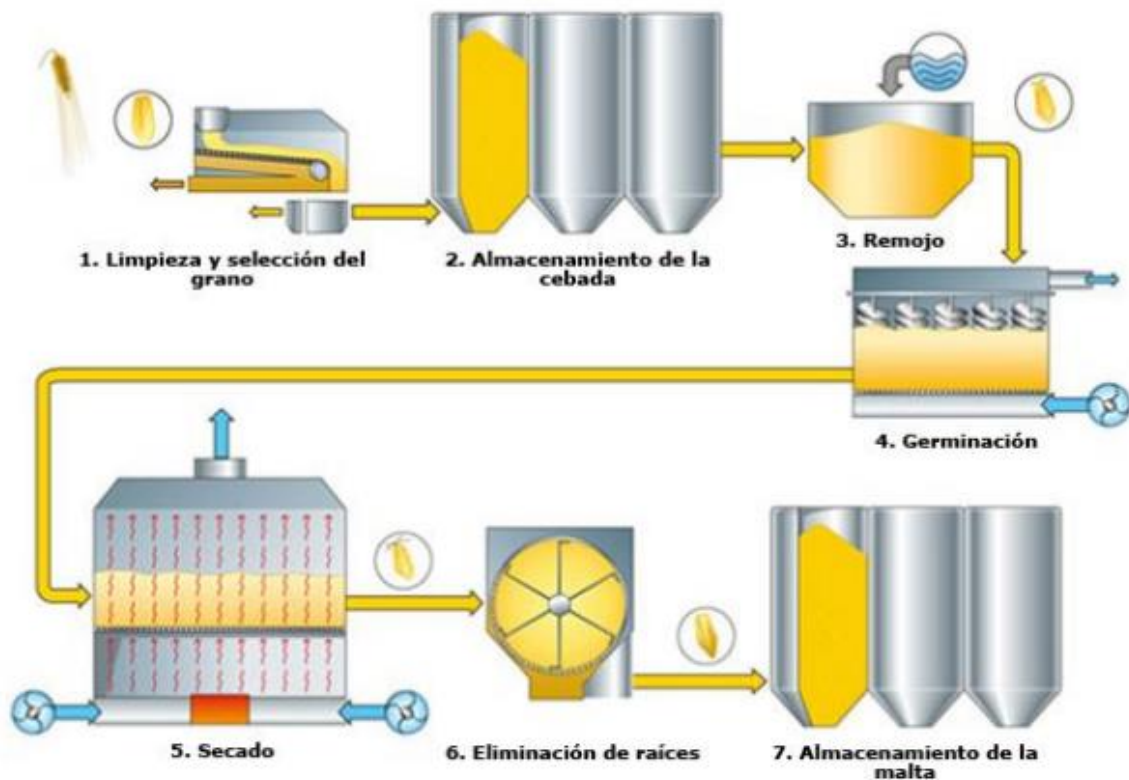


Figura 4. Proceso de malteado [9]

De ahora en adelante, se hará referencia al grano como cebada por simplificación de los conceptos, bien pudiendo ser este trigo. Las diferencias que pudieran tener ambos tipos de grano se especificaran en su correspondiente apartado, a no ser que tales diferencias fuesen despreciables. Si no se especificase nada, deberá entenderse que el mismo proceso se aplica a la cebada y al trigo.

2.2. RECEPCIÓN, LIMPIEZA Y CLASIFICACIÓN DE LA CEBADA

La cebada a tratar en el proceso llega a la instalación en camiones que se descargan gracias a poleas y pequeños motores, y se almacena en silos temporalmente hasta usarla en el proceso de malteado.

Los proveedores del grano no suelen entregar el producto en las condiciones necesarias para obtener la malta directamente, ya que llega mezclada con diferentes impurezas como por ejemplo fragmentos de paja, trozos de madera, tornillos, alambre, piedras, cintas de sacos, etc. La limpieza de los granos consiste en eliminar todo lo que no sea cebada. Para ello, en las grandes malterías, se hacen pasar por varios equipos en cadena que consta de las siguientes etapas:

- Prelimpieza de la cebada: consiste únicamente en una limpieza mecánica (aspirador, separador, aventador). Estos equipos tienen como objetivo la separación de piezas de mayor tamaño (trozos de madera, cintas de sacos, etc.) y menor tamaño (granos de arena y productos de abrasión) mediante tamices, y la eliminación del aire polvoriento con contaminantes mediante aspiración.
- Aparatos magnéticos: tiene el objetivo de separar lascas de las cuchillas de la cosechadora y pequeños elementos metálicos como tornillos. Estos trozos pueden llegar a ser muy peligrosos y causar tanto daños a las máquinas como explosiones por fricción. Esta separación se consigue hoy día con la instalación permanente de un imán.
- Separador seco de piedras: hay trozos indeseables de piedras de tamaño aproximado al de un grano. Para separar estos elementos se utiliza la diferencia de peso, para ello se usa un flujo de aire que arrastra los granos de cebada y deja caer los trozos de piedra. Estos equipos no son muy comunes de encontrar en una maltería, ya que allí las piedras tan pequeñas no interfieren en la producción.
- Desbarbador: este aparato normalmente no es requerido, ya que la cebada ya viene previamente desbarbada, es decir, ya ha sido eliminado el material sobrante del grano. Sin embargo, hay veces que se pueden recepcionar partidas de grano que no fueron suficientemente limpiados.
- Triadero: la cebada suele contener siempre pequeñas cantidades de semillas redondas de maleza y cebada partida. Esto deteriora la calidad de la malta, y la cebada partida se enmohece en la zona de rotura y debe ser removida. Estos granos no fueron eliminados en la prelimpieza ya que poseen el mismo tamaño que los granos de cebada. Este equipo consta de un cilindro horizontal de chapa de acero ligeramente inclinado. Los granos se introducen en el triadero mientras el cilindro rota, arrastrando dichos granos hasta que caen por su propio peso. Este proceso se repite varias veces mientras la cebada se desliza lentamente hacia abajo en el cilindro, siendo removida al final.

- Clasificación de la cebada: por el momento, solo se han eliminado contaminantes grandes y pequeños, polvo, piezas metálicas y cuerpos redondos. Ahora el conjunto está compuesto por granos de cebada de tamaños diferentes.

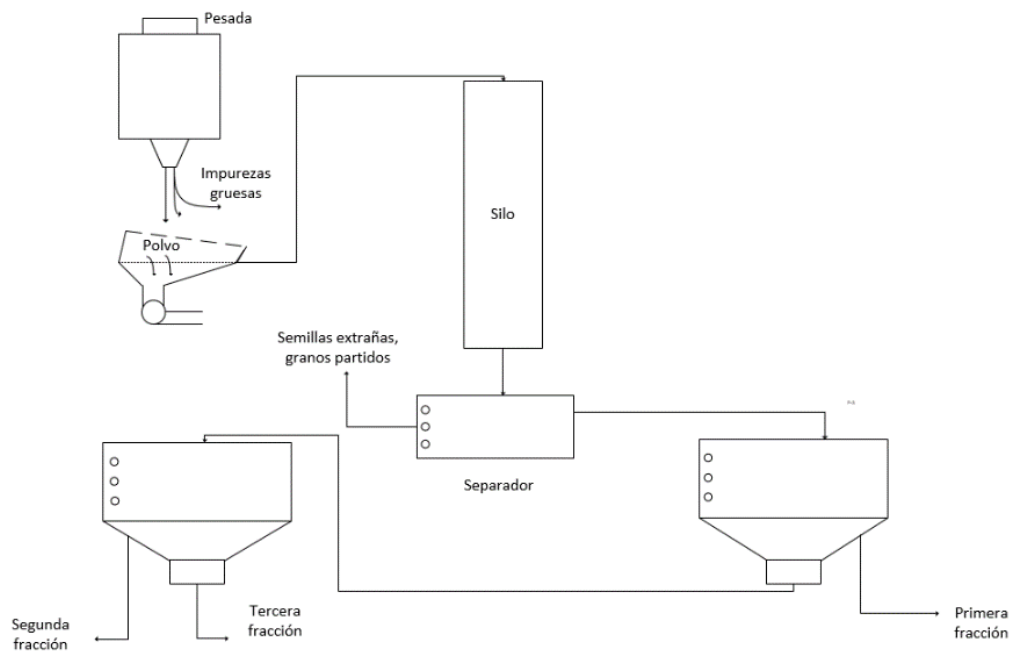


Figura 5. Diagrama general del proceso de limpieza y selección del grano

El tamaño de los granos influye notablemente en las características de estos. Por ejemplo, los granos grandes contienen más almidón que los pequeños, razón por la cual se prefieren los primeros. Pero en la etapa de remojo, los granos pequeños absorben agua más rápidamente que los granos grandes, lo cual podría provocar una calidad irregular de la malta.

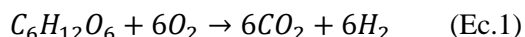
Por ello la cebada es clasificada a través de tamices con anchos de ranuras de 2,2 y 2,5 mm, en fracciones de granos de igual tamaño, a los efectos de obtener una malta uniforme.

Hay malterías que debido a que la diferencia en la absorción entre los granos más grandes y pequeños es muy grande al principio, pero se reduce posteriormente cada vez más, desisten hoy en día de una clasificación previa y maltean todos los granos al mismo tiempo [8], [10].

2.3. ALMACENAMIENTO DE LA CEBADA

La cebada no se maltea inmediatamente a su llegada a las instalaciones, sino que se almacena hasta su procesamiento en silos o graneros. Es importante que la cebada respire durante el almacenamiento, que su humedad sea inferior a 14-16% y la temperatura ambiente no supere los 15°C.

La cebada es un organismo vivo, y por lo tanto necesita de oxígeno para respirar. Durante la respiración ocurren cambios químicos, que se pueden resumir en la siguiente fórmula:



Ante la falta de oxígeno, se produce una respiración intramolecular, mediante la cual se forman venenos celulares, pudiendo morir el embrión del grano. Es por ello la importancia de que la cebada almacenada sea aireada.

Dicho esto, también hay que tener en cuenta que debido a la respiración se consume todo el almidón, el cual es absolutamente necesario posteriormente como proveedor más importante de extracto. Por ello, la reducción del almidón provocada por la respiración debe ser mantenida lo más reducida posible. La respiración es influida por el contenido de agua y por la temperatura de almacenamiento, por lo que si el contenido en agua es mayor del 15% la respiración se incrementa tanto que esa cebada se debe secar antes de almacenar.

Si el calor y la humedad de respiración no son extraídos de la cebada en almacenamiento, ocurre una reacción en cadena: debido a la respiración se genera calor y humedad. Estos dos factores a su vez aceleran la respiración, con lo cual la cebada se humedece, se calienta más y comienza, bajo determinadas circunstancias, a cubrirse de moho y deja de tener valor alguno.

Sabiendo todo esto, es imperativo que la cebada sea almacenada lo más seca posible. Por ello, si la cebada llega con un porcentaje de humedad más alto del recomendado deberá someterse a un proceso de secado. El contenido promedio de agua de la cebada es aproximadamente de 13 a 15%, aunque esto tiene ciertas variaciones. En los años secos de cosecha este contenido puede ser de 11 a 12%, y con cosechas húmedas crece a más de 20%.

Otro aspecto a tener en cuenta, ya referido previamente, es la temperatura. Tras un proceso de secado la temperatura de esta aumenta, incrementando la respiración y con ella el contenido de agua y la temperatura. La temperatura por lo tanto es otro aspecto bastante delicado a tener en cuenta, pues además a mayor temperatura mayor velocidad de formación de microorganismos, mohos y bacterias, insectos y huevos de estos. Cuanto más frío el almacenamiento, tanto más resistente es el mismo. La duración de almacenamiento por lo tanto depende del contenido de agua y la temperatura de almacenamiento, como puede comprobarse en la siguiente tabla [8]:

Tabla 1. Propiedades de almacenamiento de la cebada [8]

<i>Contenido de agua</i>	<i>Temperatura de almacenamiento</i>	<i>Almacenamiento sin deterioro</i>
<i>12,0-15,0%</i>	9-12°C	Indefinido
<i>15,0-16,5%</i>	8-10°C	1-1,5 años
<i>16,6-18,0%</i>	5-7°C	4-6 meses
<i>18,0-20,0%</i>	5°C	3-4 meses
<i>20,0-22,0%</i>	5°C	2-3 meses
<i>22,0-25,0%</i>	5°C	1-2 semanas
<i>25,0-30,0%</i>	4-5°C	2-3 días
<i>Mayor que 30%</i>	-	-

Por lo tanto, teniendo en cuenta los datos proporcionados por la Tabla 1, se puede prolongar la duración del almacenamiento de la cebada en estado húmedo por medio de enfriamiento.

El almacenamiento de la cebada se realiza generalmente en silos o graneros. La mayoría de los silos son de hormigón armado o de acero. Su estructura es normalmente redonda, rectangular o encajados en forma de panal para ahorrar espacio. Se calcula con 700 kg cebada/m³ de contenido de silo (760 kg/m³ para el trigo); con la malta son 550 kg/m³. Para garantizar un vaciado total, es necesario un ángulo de descarga de 40°. A pesar de esto, hay que tener en cuenta que el vaciado de los silos no es uniforme, sino que puede haber durante el vaciado desintegraciones de la mezcla, debido al efecto de formación de chimenea.

Los silos de acero son más baratos y fáciles de construir, pero son muy buenos conductores del calor, lo cual causa que las partes marginales se calienten o enfríen fácilmente, y que la cebada pueda comenzar a transpirar fácilmente, debido a un incremento de la respiración. En todas las instalaciones de silos es necesario airear la cebada y removerla regularmente.

El diseño de instalación de los silos de una maltería debe estar preparado para poder recibir el 100% de la capacidad de procesamiento de una campaña, a los efectos de posibilitar el empalme con la nueva cosecha.



Figura 6. Silos de almacenamiento de granos

A parte de los peligros que pueden entrañar para la cebada la humedad y la temperatura, esta está también expuesta a parásitos animales y vegetales. Los parásitos, como el gorgojo, ponen numerosos huevos individualmente en los granos perforados previamente. Las larvas se comen el interior de los granos, abandonándolos cuando alcanzan la etapa adulta. Debido a la rápida reproducción de estos parásitos, se puede producir un gran deterioro de la cebada en muy poco tiempo. Si no se reconoce a tiempo el daño, toda la partida de cebada puede ser destruida.

La actividad de los parásitos se incrementa con el aumento de la temperatura; por debajo de 12 a 15°C la actividad es reducida, por lo que esta podría ser la mejor manera de protegerse de una posible infestación, enfriando y manteniendo en frío el contenido del silo. En el caso más extremo, la partida debería someterse a un proceso de fumigación [8], [10].

2.4. REMOJO DE LA CEBADA

En la cebada almacenada, las enzimas importantes para el proceso de malteado tienen una actividad extremadamente reducida o están aún inactivas. En la etapa de remojo, se le suministra agua al interior del grano. De esta manera, las enzimas presentes son activadas e inician el gran proceso vital de la germinación. El principal objetivo de esta operación es que el grano absorba más agua para que se inicie el movimiento de las micelas del embrión y se reactiven las funciones vitales.

A los efectos de iniciar la germinación tan pronto como sea posible, se le debe suministrar a la cebada suficiente agua y oxígeno durante el remojo. La fijación del agua necesaria depende de distintos factores, como son la estructura física del grano, es decir, que este sea duro o blando, la temperatura del agua, la cual influye en la velocidad de absorción y, por último, el tamaño del grano, ya que los granos pequeños y blandos absorben agua con una velocidad más alta que los grandes y duros.

Para establecer una duración de remojo se debe tener en cuenta que la absorción de agua ocurre rápidamente al principio y disminuye cada vez más con el tiempo. También hay que tener en cuenta la temperatura del agua, pues cuanto más caliente está esta, más rápida es la absorción. Por ejemplo, para obtener un contenido de agua a 5°C del 42% se requieren aproximadamente 100h. Sin embargo, si este mismo agua está a 15°C, será suficiente con 50 h [8].

Como puede verse, la importancia de clasificar la cebada por tamaño de grano es muy notable en este paso. Si no se hubiese realizado una separación por tamaños podría haberse dado un crecimiento no uniforme.

El contenido de agua de la cebada remojada se llama grado de remojo, que se expresa en tanto por ciento. Por lo general, en las cebadas para malta pálida (tipo Pilsen) se calcula un grado de remojo del 42 a 44%, y para la malta oscura del 44 a 47%. El grado de remojo puede aumentarse hasta el 48% para la producción de maltas pálidas.

El grado de remojo es especialmente importante para el proceso de germinación. Para calcular el grado de remojo se puede utilizar el método de incremento de masa, es decir, se pesa primero 100 g de grano con un contenido en agua de por ejemplo 16%, se vuelven a pesar la misma cantidad de granos, cuyo peso habrá aumentado. Este aumento de peso es la cantidad de agua que ha retenido. Hay que tener en cuenta que el grano ya tenía un 16% de humedad. Este procedimiento se puede realizar con un aparato de Bernreuther, el cual es un pequeño cilindro metálico perforado con un mango largo que permite retener un contenido concreto de granos para realizar la medición mencionada.

Ya que el grano es una semilla, durante el proceso de remojo experimenta una serie de transformaciones químicas y biológicas. Al absorber el agua, comienza la actividad vital del embrión, que se manifiesta en la respiración que realiza el grano consumiendo azúcares del endospermo, el cual es un tejido nutricional formado en el saco embrionario de las plantas con semilla, exigiendo grandes cantidades de oxígeno y liberando al agua anhídrido carbónico y calor. En definitiva, en este proceso se inician las transformaciones que luego se acentúan durante la germinación.

Esta elevada absorción de agua conlleva una intensa respiración del grano, por lo que aumenta el requerimiento de oxígeno por parte de este. Si no se airea adecuadamente, comienza una respiración intramolecular, que en el caso más extremo puede causar la muerte del embrión.

Para que el paso siguiente, es decir, la germinación, ocurra sin problema alguno, es indispensable un abastecimiento abundante de oxígeno durante la etapa de remojo a la vez que habrá que mantener la cantidad de anhídrido carbónico al mínimo.

El oxígeno diluido en el agua es consumido muy rápidamente, por lo que es aconsejable que el remojo se realice manteniendo la cebada en contacto con el aire el mayor tiempo posible.

El remojo, además de todo lo comentado anteriormente, es una etapa que sirve para limpiar del grano todas las partículas de suciedad que no pudieron ser removidas en el paso de limpieza.

Principalmente, esta etapa se realiza en tanques de remojo cónicos de acero inoxidable. Estos tanques cilíndrico-cónicos presentan un problema, y es que las fracciones de grano que se encuentran en la parte inferior del embudo sufren problemas en el desarrollo del remojo. En el proceso de descarga de agua del embudo una vez completado el proceso de remojo, estas fracciones inferiores continúan en contacto con el agua mientras que las fracciones superiores ya están siendo aireadas. Además, con la respiración el CO_2 generado desciende a la parte inferior e inhibe la respiración de las porciones de granos ahí ubicadas. Esto daría como resultado una malta desarrollada irregularmente.

Para solucionar este problema, Wild desarrolló un tanque de remojo con un tubo central cuyo objetivo es recircular la cebada, proporcionando unas condiciones uniformes para todos los granos. Este sistema sigue usándose aún hoy día, sin embargo, se ha desarrollado un sistema de recirculación mediante aire comprimido, que es el más utilizado [8], [10].

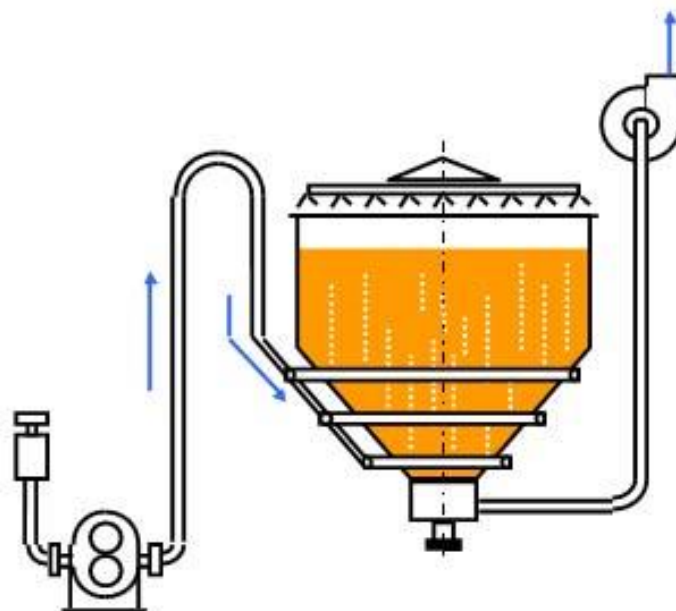


Figura 7. Tanque de remojo [11]

Si la cebada, una vez acabada la etapa de remojo, es escurrida y transportada mecánicamente (escurrido seco), el cono de salida deberá de ser de aproximadamente 60° , algo más puntiagudo que con un transporte hidráulico (escurrido húmedo). Sin embargo, el tanque cónico no es la única

opción para el remojo, también pueden encontrarse tanques de remojo de fondo plano, tornillos sinfín de remojo, tambor de remojo y lavado, etc.

Las principales características de los tanques de remojo cónicos es que se construyen para un procesamiento de hasta 50 a 60 t de cebada; para lotes diarios mayores se utilizan varios equipos en paralelo. El consumo de agua es aproximadamente de 5 m³/t de malta, es decir, de 5 litros de agua por kg de malta. El 90% del consumo de agua de la maltería se requiere en el proceso de remojo. Si se reutiliza el agua de remojo se puede reducir el consumo a 3,5 m³/t de malta. Pero el agua que se puede ahorrar reutilizando esta, se ve compensada por la necesaria para limpiar la cebada. No se trata solamente de la suciedad que se encuentra sobre la superficie de los granos de la cebada, sino sobre todo de eliminar también bacterias y mohos, lo cual es realizado en algunos países por la adición de floculantes, como sulfato de aluminio, poliacrilamida o formaldehído. Este método está prohibido, según la Ley de Pureza “Reinheitsgebot”.

Para reducir el coste de consumo de agua fresca y la generación de aguas residuales, se buscan procesos económicos en cuanto al tratamiento del agua. La reutilización del agua de remojo incrementa la porción de microorganismos, pero modifica sin embargo positivamente la composición de estos.

Por ello, la reutilización del agua de remojo no solo afecta positivamente por la reducción de agua residual y de agua fresca, sino que también tiene efectos microbiológicamente positivos sobre la malta como producto final.

Una vez transcurridas de 4 a 6 horas de remojo, se procede a una descarga de la primera agua de remojo y se airea abundantemente la cebada. Ésta aún está absorbiendo el agua adherida a ella, de manera que continúa creciendo su contenido en agua. El CO₂ formado se evacua por aspiración durante 10 a 15 minutos cada hora, de manera que se pueda desarrollar totalmente los procesos vitales en la cebada lista para germinar.

Hoy día aproximadamente el 80% del tiempo de remojo transcurre en forma de reposo al aire. De esta manera se puede limitar a 1 o 1,5 día la permanencia de la cebada en el tanque de remojo, ya que esta continuará absorbiendo agua en el proceso de germinación. Aunque para obtener un grado de absorción de agua del 44 a 47%, en el tanque de remojo se tiene que llegar hasta aproximadamente 36 a 38% [8].

Para finalizar el proceso de remojo, la cebada se escurre y se rocía con el agua aún necesaria en su lugar de germinación.

2.5. GERMINACIÓN DE LA CEBADA

La etapa de germinación es sin duda el momento más crucial en el proceso de transformación de la cebada en malta. El objetivo de esta es dar comienzo al proceso biotecnológico natural de producción de enzimas que favorecen, entre otras cosas, la transformación del almidón presente en el endospermo.

Las sustancias contenidas en éste se encuentran, antes del proceso de malteado, en una forma estable, de alto peso molecular. Estas, deben de ser transformadas en sustancias de bajo peso molecular, lo cual se consigue gracias a las enzimas que se forman durante la germinación.

La producción de estas enzimas, son el objetivo principal del malteado. Estas son esenciales para la degradación de sustancias en el proceso de producción de cerveza, concretamente en la etapa de maceración. Para evitar pérdidas de sustancias, se restringen los procesos de degradación enzimática durante el malteado.

Esta etapa dura entre unos 4 a 6 días, y tiene lugar a una temperatura de entre 12 y 20°C. Al hidratarse el embrión, se activan los procesos de desarrollo de los tejidos embrionarios produciéndose la ruptura de la pared del embrión por el germen. Además, se forman entre otras enzimas, proteasas, fitasas, amilasas, que actuarán en mayor medida en etapas posteriores del proceso cervicero. La formación de enzimas dependerá de la variedad de cebada, la humedad, la temperatura y la aireación.

Esta etapa puede dividirse entre:

- Procesos de crecimiento

Durante este proceso, se desarrollan las raicillas y la acospira, que es el nombre que recibe el tallito que se forma en la cebada durante la germinación.

La raicilla, al final del remojo, se rompe por la base del grano, y vuelve a desarrollarse durante el proceso de germinación. El tamaño de estas es clave para saber cuándo está completado el proceso. Por ejemplo, para la malta tipo Pilsen, estas deben alcanzar una longitud equivalente a 1,5 veces la longitud del grano, y aproximadamente 3 veces para la malta oscura.

Una vez acabado el proceso de malteado, estas raicillas son removidas por frotación en la limpieza de la malta, justo después de la etapa de tostado. Dado que esto provoca una pérdida, a efectos de mantener esta cantidad lo más reducida posible hay que tener en cuenta los factores que influyen en el tamaño de la raíz, los cuales son la duración del proceso de germinación y la temperatura del propio proceso. Por lo tanto, para mantener bajas las pérdidas por raicillas, es conveniente mantener el proceso a la temperatura más baja posible y durante el menos tiempo requerido. La pérdida por raicillas supone aproximadamente el 4% de la materia seca de la malta.

En el caso de la acospira, se la puede reconocer como un abultamiento debajo de la cáscara. Esta no es removida durante el proceso final de limpieza, ya que no crece hacia afuera del grano, por lo que no constituye una pérdida. La longitud, está relacionada con el progreso de los procesos de cambio metabólicos en el interior del grano, los cuales se desarrollan aproximadamente de manera paralela entre sí.

Para la malta tipo Pilsen, la longitud de esta debe alcanzar aproximadamente de 2/3 a 3/4 de la longitud del grano y de aproximadamente 3/4 a 1/1 para la malta oscura.

Si la acospira crece demasiado, ésta sobresale del grano y se hace visible en la punta. Esto es debido a una elevada temperatura en la germinación o errores en la manipulación del lote [8].

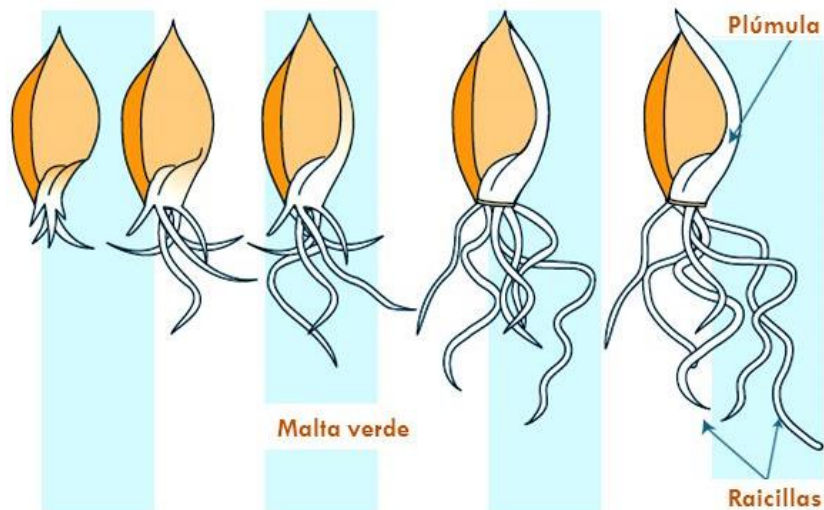


Figura 8. Procesos de crecimiento en el grano de cebada en germinación [12]

- Producción de enzimas

A las pocas horas de la absorción del agua, el embrión excreta sustancias de crecimiento que avanzan hacia la capa de aleurona, estimulando allí y en el escutelo la formación de nuevas enzimas, tales como la α -amilasa o la dextrina límite, mientras es liberada β -amilasa, ya existente en gran cantidad, del endospermo.

La formación de la mayoría de las enzimas se realiza de manera paralela a la respiración. La formación abundante y temprana de enzimas se desarrolla mediante una germinación bien aireada. En la germinación estamos en la formación de las enzimas α - y β -amilasa, encargadas de la degradación de almidón. No obstante, su actividad no nos concierne, ya que debe tener lugar al máximo en la sala de cocción. Contrario a esto, se forma aparte durante la germinación una serie de enzimas cuyos procesos de degradación durante la germinación son de importancia decisiva para la calidad de la malta en formación. Estas enzimas están presentes en la cebada en su mayoría, en muy poca cantidad y se forman principalmente al tercer y cuarto día de germinación [9].

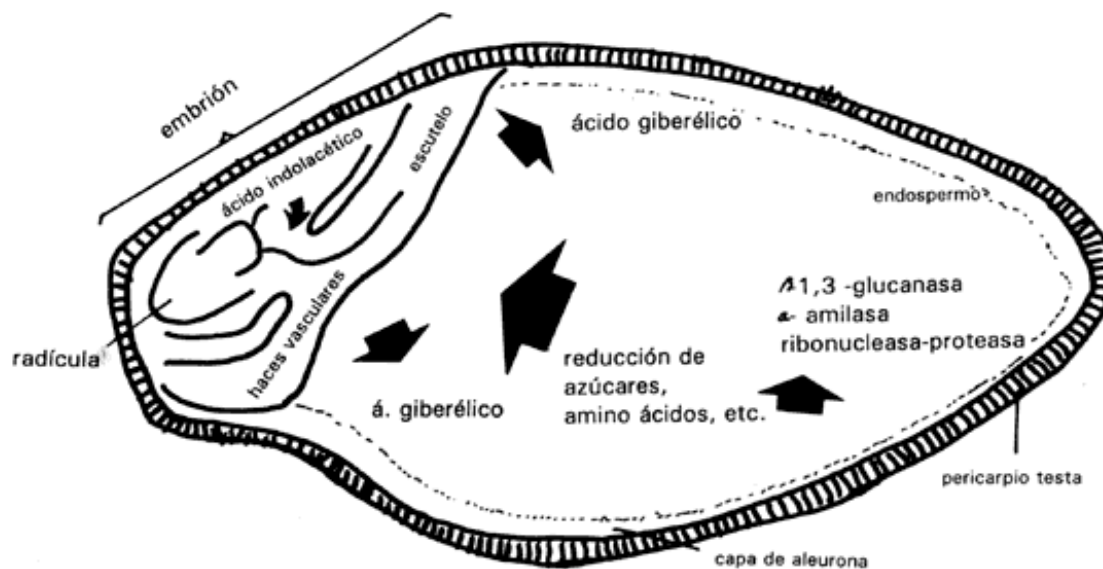


Figura 9. Actividad desarrollada en la semilla durante la producción de enzimas [13]

- Cambios metabólicos

A lo largo de la etapa de germinación, no sólo se forman y multiplican las enzimas, sino que estas ya son necesarias de forma limitada para poder suministrar nutrientes al embrión. Por eso, las enzimas causan cambios, en todos los cuales se llega a productos de degradación de bajo peso molecular a partir de sustancias de alto peso molecular.

Dado que en el desarrollo posterior los productos de degradación son consumidos por respiración o transportados a los embriones para formar nuevas sustancias celulares, se los pierde para un procesamiento ulterior. Es por ello que los malteros están interesados en permitir la respiración y la formación de nuevo tejido celular solamente de forma restringida.

Para la realización de la germinación, se aplican las siguientes consideraciones básicas:

1. Es un proceso vital intensivo, que solo puede desarrollarse en presencia de una cantidad suficiente de agua. Por lo que es importante que el producto en germinación tenga un contenido en agua mayor al 40%. Mientras se evapora una parte del agua, se produce continuamente agua por respiración. Si no alcanza la producción por transpiración, debe agregarse agua.
2. Debido a la respiración intensiva, se debe abastecer al producto con suficiente oxígeno. Con un exceso de aireación, se consume por respiración demasiada sustancia del grano. Con insuficiente aireación, comienza la respiración intramolecular, que puede conducir a la muerte del embrión. La respiración es máxima al principio de la germinación y puede ser reducida posteriormente.
3. Como consecuencia de la respiración, la temperatura aumenta, y con ello, las pérdidas por respiración y crecimiento de raíz y se reduce la cantidad de enzimas. A partir del tercer día

de germinación puede ser restringida la respiración. Las temperaturas máximas usuales para la malta tipo Pilsen son de 17 a 18°C, y de 23 a 25°C para la malta oscura.

Antiguamente, la germinación se realizaba en eras. En estas malterías, el producto estaba depositado sobre la era, que era un espacio de aproximadamente de 3 m de altura con un suelo plano, el cual, en lo posible, estaba cubierto con placas de piedra Solnhofen, ya que estas pueden absorben bien la humedad en exceso, debido a su porosidad.

La temperatura de la era debía ser lo más uniforme y fresca posible, por lo que eran construidas, en parte, bajo tierra o se las protegía del aire exterior con muros muy gruesos. Debido a que la temperatura máxima durante la germinación no debe sobrepasar los 17 a 18°C, la operación en este tipo de malterías estaba limitada a las temporadas más frescas, y no era posible de realizar sin enfriamiento cuando comenzaba la temporada calurosa.

El cálculo de superficie de los germinadores de eras es de 1,7 m² por cada 50 kg de cebada, ya que el producto en germinación se amontona en pocos centímetros de altura, por lo que se requieren grandes superficies en estos tipos de maltería, estando las eras en varios pisos, unas sobre otras. No obstante, el mayor problema que presentaban este tipo de malterías era la dificultad de abastecer la necesidad de voltear la malta que se está germinando dos veces por día.

La germinación, hoy día, tiene lugar casi exclusivamente en cajas de germinación circulares o rectangulares. Cuando los granos de cebada han adquirido la humedad suficiente en la fase de remojo, se extienden en estas cajas, formando capas de un metro de espesor aproximadamente. Dichas cajas cuentan con sistemas de inyección de aire en su parte inferior a través de los cuales se aporta el oxígeno necesario para que el grano respire durante el proceso, ya que el aire no fluye libremente a través del producto en germinación. Se inyecta también aire acondicionado con una humedad y una temperatura controlada para asegurar una temperatura y humedad en las cajas adecuada para una correcta germinación. Esta cantidad de aire es de 300 a 700 m³ por tonelada de cebada (como malta verde) y hora. Se requieren por lo tanto ventiladores muy potentes de tipo radial o axial. Debido a que, por la respiración de la cebada, se produce calor que debe ser evacuado, se puede calcular que el calor generado durante la totalidad del tiempo de germinación es aproximadamente 200.000 kcal/t de cebada. Además, el aire de ventilación debe ser aproximadamente 2°C más frío que el producto en germinación, por lo que se debe enfriar durante la mayor parte del año mediante evaporadores directos, mediante los cuales se ajusta la corriente de aire automáticamente a la temperatura deseada. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que es necesario calentar el aire si las temperaturas exteriores bajan demasiado en invierno.



Figura 10. Caja de germinación circular [14]

Para que el aire introducido no reseque el producto en germinación, el cual debe tener un contenido en agua de aproximadamente 45%, este debe saturarse permanentemente con agua. Esta humidificación del aire tiene lugar por pulverización extremadamente fina de agua. El requerimiento es de aproximadamente $0,5 \text{ m}^3$ de agua por tonelada de cebada.

2.5.1. MALTEADO EN TAMBORES

La cebada puede ser germinada en tambores. Estos son unos equipos de forma cilíndrica que se colocan horizontalmente de 2 a 4 m de diámetro y con una longitud de 3 a 15 m cerrados con chapas de acero, por el cual se hace pasar aire humidificado por una soplante desde abajo del equipo. El volteo en este tipo de equipos se realiza por rotación del tambor. Una vuelta dura de 0,5 a 1 hora, dependiendo del tamaño del tambor. Para ello, el tambor está apoyado sobre rodillos portantes. El accionamiento es realizado por medio de una corona dentada, la cual es movida por un engranaje de tornillo sinfín. Para evitar pérdidas de aire, los canales de aire están sellados adecuadamente contra el tambor en rotación.

El tambor se llena aproximadamente a un 70 % de su capacidad y es girado lentamente en intervalos definidos, aproximadamente $1/10$ del tiempo total de la etapa de germinación. La ventaja del tambor es el tratamiento cuidadoso del producto en germinación. Pero el sistema no trabaja muy económicamente con más de 20 t por tambor, razón por la cual ya quedan muy pocas plantas en operación.

4.5.1. MALTEADO EN CAJAS

El malteado en cajas es el sistema más habitual hoy día. Se construyen de manera rectangular y las hay para ordenes de magnitud de entre 5 y 300 toneladas de cebada.

El producto en germinación está depositado sobre una de las bandejas durante todo el tiempo de germinación y es volteado por el volteador helicoidal de manera tal que continuamente

una parte diferente del producto en germinación entra en contacto con el aire más frío y más húmedo, el cual fluye desde abajo atravesando el producto en germinación.

Para producciones de malta muy grandes, se pueden llegar a colocar hasta seis cajas de germinación en paralelo. La sala de germinación está aislada térmicamente y dispone de paredes y techos lisos. Además, en estas salas hay una ligera sobrepresión.

Las bateas se colocan a aproximadamente 60 cm sobre el suelo de la caja. El producto en germinación está depositado sobre éstas y es escurrido húmedo con una altura de 0,5 a 0,9 m, creciendo durante la germinación a una altura de 0,8 a 1,3 m.

Las bandejas son chapas portantes ranuradas con un área libre del 20% o bandejas de criba ranurada con un área libre del 40%. Se calculan 300 a 500 kg de cebada por m² de superficie de bandeja.

Los volteadores se diseñan siempre como volteadores de tornillo sinfín o helicoidales, que pueden agruparse hasta en 20 unidades. Un accionamiento causa la rotación de los tornillos sinfín, que se mueven lentamente a aproximadamente 8 rpm, y un segundo accionamiento asegura el avance del carro volteador, a través del montón a una velocidad de 0,4 a 0,6 m/min. Este volteo ocurre dos veces por día en los primeros días de germinación y en los últimos días solo una vez.

El vaciado de la caja debe de ser realizada con el menor gasto energético y de tiempo posible. Hoy día, los volteadores ejercen también, junto a un rastrillo acoplado, la función de transporte para la transferencia del montón y la distribución. En las instalaciones más pequeñas, el volteador mueve el montón con el rastrillo hacia el canalón abierto, en etapas. Se mueven los tornillos sinfín a una posición determinada, en la cual bloquean el pasaje, permitiendo así vaciar la caja, la cual es limpiada por rascadores como si de una escoba se tratase.

Independientemente del equipo de germinación elegido, se deben de mantener prácticamente los mismos parámetros de operación para todos ellos.

La cebada ya escurrida, es distribuida de manera uniformemente alta por los sistemas de volteo, para posibilitar un caudal uniforme de aire. La altura del producto puede variar entre 1,2-1,3 m, creciendo está malta verde una vez germinada hasta una altura de 1,8-1,9 m. La temperatura del producto remojado depende de la temperatura del agua y es de 12 a 14°C. Para comenzar el proceso de germinación, se sopla aire fresco a través del producto remojado y se volteo el grano dos veces por día, a la vez que se rocía una vez al día con agua con el fin de mantener el contenido en agua del grano en el orden de 45%.

La temperatura aumenta en los días siguientes hasta alcanzar un máximo de 17-18°C. Para evitar que esta temperatura se incremente más, hay que evacuar el calor generado por la respiración del grano. Además, a partir del tercer día, se reduce la porción de aire fresco a la mitad, y hasta en un 80% en los días subsiguientes.

La germinación dura cinco o seis días. Hoy día, la germinación es terminada en cinco días, por eso las plantas modernas son diseñadas con cinco cajas, para poder producir en cadena y tener siempre un lote listo para la siguiente etapa [8].

2.6. TOSTADO DE LA MALTA

El proceso de germinación se ve interrumpido por el presecado y el tostado. Una vez germinada la cebada, se hace circular aire caliente a través de ella para llegar a un 5% de humedad en el grano, consiguiendo no solo reducir la humedad, sino también producir modificación en el color, el sabor y el aroma de la malta.

Al reducir la humedad, se detiene el proceso de germinación como consecuencia de la desactivación temporal de las enzimas que intervienen directamente en la transformación del almidón y las proteínas. El tiempo de aplicación y la intensidad del calentamiento a la que es sometido el grano, determinará el color, olor, textura y sabor de la futura cerveza. En función del tiempo y temperatura empleados en la etapa de secado y tostado, se logran maltas pálidas, de alto horneado y tostadas, en orden creciente de temperatura.

Es muy importante reducir el contenido de agua a menos del 5% para que la malta sea almacenable, la cual llega con un contenido en agua de aproximadamente del 40%.

Otro aspecto por destacar es la necesidad de proteger las enzimas, las cuales son más susceptibles de ser eliminadas por el calor húmedo, ya que son más resistentes al calor seco. Para ello, la malta verde debe de ser sometida a un calentamiento previo. Si se realizase un tostado directo sin dicho precalentamiento, se formaría una malta vítrea, la cual es inutilizable.

Por lo tanto, la malta verde se hace pasar por un secado a una temperatura de 40 a 50°C, hasta que el contenido en agua haya disminuido hasta aproximadamente el 10 a 12%. Llegados a este punto, la temperatura se puede incrementar para realizar el tostado.

Con el tostado, se interrumpe el proceso de germinación. Las raicillas dejan de crecer, y los embriones mueren durante el tostado, por lo que la malta deja de ser un organismo vivo. Esto, además, implica que la malta deja de ser un organismo inestable, susceptible al más mínimo cambio de temperatura y humedad, lo que facilita enormemente su almacenamiento.

Es en esta etapa cuando la malta consigue el color y aroma característico de cada tipo, mediante la aparición de las melanoidinas, las cuales se forman con la unión de los aminoácidos con los azúcares.

Para obtener los distintos tipos de maltas existentes, se tienen en cuenta aspectos como la temperatura y humedad del presecado, dando por ejemplo una malta de color más oscuro y aroma más intenso y agradable si la temperatura y humedad del presecado son mayores. Hay que tener en cuenta que después del almacenamiento de dicha malta oscura, se producen cambios en el perfil aromático, por lo que debería ser almacenada de dos a tres semanas al menos antes de su procesamiento, obteniéndose así cervezas muy aromáticas con sabores intensos.

En el proceso de presecado es clave en cuenta a la estabilidad del sabor, las bajas temperaturas, cercanas a los 50°C, y los tiempos prolongados de presecado que tienen un efecto favorable sobre ella.

En la etapa de curado, las temperaturas para las maltas pálidas, por ejemplo, deben llegar a los 80°C como mínimo. Hay que encontrar un punto de equilibrio en la relación temperatura-tiempo, ya que por ejemplo se obtiene la misma calidad con duraciones de curado de 2 a 3 horas a 85°C que durante 5 horas a 80°C.

Para diseñar correctamente un tostadero, hay que tener en cuenta que hay que proporcionar grandes cantidades de calor a la malta, ya que esta se encuentra dispuesta en gruesas capas, dificultando el paso del aire. Por ello, las funciones esenciales del tostadero a diseñar deben de ser el calentamiento y la aireación.

Antiguamente, el secado de la malta se realizaba con carbón. Hoy día esto no se hace, ya que la malta adquiere un mal olor y sabor. Sin embargo, si es posible encontrar tostaderos que utilizan como medio de combustión madera de haya, la cual otorga a la malta un sabor ahumado, que es la materia prima requerida si se quiere producir cerveza ahumada.

Posteriormente a este método, se empezó a generar aire caliente mediante aceite combustible o gas natural, mejorando notablemente la calidad de la malta.

Actualmente, los tostaderos son accionados con gas natural o petróleo. Los gases de combustión se hacen pasar varias veces por los tubos de un intercambiador de calor y calientan de esta manera el aire de tostado que fluye entre ellos. Dichos tubos son de acero inoxidable, para protegerlos del condensado. Por dicha condensación de los gases residuales al final del pasaje, se libera el calor adicional, consiguiendo un rendimiento óptimo. [8]



Figura 11. Secador-tostador industrial de malta

Durante el calentamiento previo, el aire de escape del tostadero tiene una temperatura de 45 a 50°C. Dado que durante el curado tiene que alcanzarse una temperatura de 80 a 85°C, si no se reutilizase el aire de escape del calentamiento previo para el curado, se estaría perdiendo energía.

Para recuperar parte de esa energía, se precalienta el aire frío aspirado en un intercambiador de calor de tubos de vidrios, el cual está compuesto por cientos de pequeños tubos de vidrios dispuestos de forma horizontal, que están enmasillados entre las paredes del conducto de aire de

escape. Este aire frío es aspirado a través de los tubos de vidrio y es calentado por el aire de escape caliente, que fluye de forma perpendicular a los tubos de vidrio (intercambiador de calor de flujo cruzado).

Con la siguiente tabla, se puede calcular el consumo de calor dependiendo de la temperatura ambiente y de si el tostadero dispone o no de intercambiador de calor:

Tabla 2. Consumo de calor por etapas [8]
Calentamiento de aire adicional *Requerimiento de calor (kWh/t de malta terminada)*

	Invierno	Verano	Media	Sin intercambiador	Con intercambiador
<i>Tª ambiente</i>	-10°C	25°C	8C°		
<i>Presecado</i>	18	25	21,6	837	618
<i>Calentamiento</i>	28,5	41	37,6	159	83
<i>Curado</i>	35	57	53,6	94	38
<i>Total</i>				1.091	740
<i>Diferencia</i>				351 kWh	

Como puede comprobarse, se puede llegar a un ahorro de energía del 30 a 35%, el cual es mayor en invierno que en verano debido a las menores temperaturas exteriores.

Antiguamente, el aire se hacía pasar por medio de un enorme ventilador de techo, pero hoy día debido a que la malta llega a apilarse hasta a 1,3 metros de altura, esto no es posible, por lo que se utilizan ventiladores axiales o radiales. A medida que el grano se va secando, el lecho se vuelve cada vez más permeable, ofreciendo menos resistencia, por lo que la cantidad de aire se reduce de 5.000 m³ de aire por tonelada de malta y hora a aproximadamente un 50% de este valor al lograr abrir la brecha a través del lecho de malta.

La carga específica de los tostaderos modernos de alta capacidad es de aproximadamente 350 a 500 kg de cebada como malta verde por m² de área de bandeja [8].

Antiguamente se construían los tostaderos como tostaderos de dos pisos, pudiéndose encontrar aun hoy día en algunas malterías pequeñas y más antiguas.

La malta verde se apila en estos tostaderos sobre unas bandejas de alambre redondo o perfilado y se le hace pasar aire caliente. Un volteador de palas con palas movibles se encarga del volteo de la malta. Pero a pesar de este dispositivo, se requiere de mucho trabajo manual, ya que la malta verde debe de ser esparcida sobre la bandeja superior. Esta malta, se hace pasar a la bandeja inferior mediante válvulas tipo flap, pero esta debe de ser movida hacia dicha válvula y esparcida nuevamente sobre la bandeja inferior. Se calcula 65 a 80 kg de malta terminada por m² de superficie de tostado, lo que significa una cantidad muy pequeña para un gran esfuerzo. Por ello los tostaderos de dos pisos fueron sustituidos por los tostaderos de alto rendimiento [8], [10].

2.7. ALMACENAMIENTO DE LA MALTA

Una vez producida la malta, esta se almacena durante al menos 4 semanas en silos o graneros para aumentar el contenido en agua lentamente hasta un 4-5%, produciéndose de esta manera importantes cambios físicos y químicos en el endospermo. Si la malta se procesara inmediatamente, causaría dificultades tanto en la filtración como durante la fermentación. Asimismo, se debe evitar el ingreso de aire húmedo, ya que es muy higroscópica, es decir, tiene una alta capacidad de absorber humedad del medio circundante [15]. Una vez transcurrido un tiempo mínimo de almacenamiento y tras los ensayos de calidad pertinentes, la malta ya está lista para elaborar cerveza [10].

3. ESPECIFICACIONES DEL PROCESO

3.1. CERVEZAS SELECCIONADAS

La capacidad de producción ha sido establecida en 20.000 litros mensuales. Teniendo en cuenta que el rendimiento a la hora de producir cerveza artesanal es menor que si se realiza industrialmente, será necesario una proporción malta/litro de cerveza algo mayor. Se ha considerado que, para producir 100 litros de cerveza, serán necesarios 20 kg de malta, mientras que el ratio industrial es de aproximadamente 17/100.

Además de esto, hay que tener en cuenta una pérdida de alrededor de $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{4}$ de la sustancia en el malteado, siendo la pérdida de $\frac{1}{5}$ la correspondiente a la cebada (ya que posee cáscara y las pérdidas de materia son mayores) y la pérdida de $\frac{1}{4}$ la correspondiente al trigo, el cual no posee cáscara. Por lo tanto, se tiene que para producir 20 kg de malta serán necesarios 25 kg de cebada y 24 kg de trigo [8].

Por lo tanto, la maltería propuesta en este estudio debe abastecer a la cervecería teniendo en cuenta todo lo anterior y sabiendo que la producción mensual de las distintas cervezas es:

- 10.000 litros de cerveza Pilsen
- 6.000 litros de cerveza de trigo
- 4.000 litros de cerveza Red Ale

3.1.1. CERVEZA TIPO PILSEN

También conocida como Pilsner, es el estilo más empleado por la mayoría de las grandes cerveceras nacionales e internacionales. A pesar de ser la más consumida en Alemania, esta cerveza de baja fermentación dorada tiene su origen en la República Checa, concretamente en la ciudad de Pilsen. Surge debido al descontento de muchos ciudadanos checos con la tosca bebida producida por la ciudad vecina de Bohemia, los cuales producían unas cervezas oscuras y densas.

Tras unos años de experimentos con recetas que empleaban levaduras de tipo Lager, en 1842 se presentó la primera Pilsen: una cerveza de color claro, sabor suave y cuerpo ligero. El éxito de esta cerveza pronto hizo surgir imitaciones a lo largo de toda Europa, naciendo así la cerveza Pilsner Urquell, con la intención de reforzar el origen de las cervezas tipo Pilsen.

Generalmente, las cervezas tipo Pilsen tienen entre 3% y 5% de alcohol, lo que hace que sean ligeras en la boca. Su color suele ir del rubio pálido al dorado, presentan buena carbonatación, aroma a lúpulo y amargor medio.

Originalmente, los ingredientes empleados en su elaboración eran cebadas cultivadas en la zona de Bohemia y Moravia, lúpulo de la variedad Saaz y agua del río de la ciudad. Tras convertirse

en uno de los estilos cerveceros más consumidos del mundo, era evidente que los ingredientes usados en su elaboración terminarían algo cambiados, afectando también a las características de la cerveza.

Son varias las razones por las que este tipo de cerveza se hicieron tan popular en el mundo:

- Normalmente los recipientes usados para almacenar la cerveza estaban hechos de materiales opacos, tales como el metal, barro, madera o piel, lo que restaba importancia al color de esta, que casi siempre era oscura o negra. Cuando se empezó a utilizar botellas de cristal para almacenarla, el color dorado resultó atractivo y original a los consumidores
- Los recién adquiridos conocimientos técnicos industriales permitieron a los cerveceros entender mejor el malteo y la fermentación de la cerveza, incrementando su producción de forma masiva y mecanizada.
- En 1839, la República Checa no existía como tal, en aquel entonces, la zona pertenecía al Imperio Austriaco, que poseía acuerdos comerciales con Baviera y Prusia, haciendo que la Pilsen fuera pronto una de las principales bebidas en Berlín y Viena, ciudades de las más influyentes de la época, y de hoy día.
- Mientras los ferrocarriles ayudaron a distribuir la cerveza por toda Europa, los emigrantes la han llevado al Nuevo Mundo [16].



Figura 12. Cerveza tipo Pilsen [17]

3.1.2. CERVEZA RED ALE

Esta cerveza se podría decir que es totalmente opuesta a la Pilsen, es una bebida inglesa, de fermentación alta y generalmente oscura. Las cervezas incluidas en este estilo suelen ser

fáciles de beber, con un nivel de amargor bajo y aromas dulces. Son cervezas más aromáticas que las Pilsen, y permiten una mayor combinación de ingredientes en su elaboración, dando lugar a una mayor variedad de cervezas.

Aunque bien podría decirse que guardan ciertas semejanzas, ya que la malta base para esta cerveza es de un 80% malta Pilsen. Es con el 20% restante de malta Caramel con la que consigue ese color rojizo y un sabor con cierto toque dulce que tanto la caracteriza.

Como en muchos estilos de cerveza, existen diversas variaciones en el mercado. Las Red Ales irlandesas tradicionales suelen ser bajas en lúpulo con un sabor bastante neutral en general, mientras que los ejemplos irlandeses más modernos presentan sabores más acaramelados y dulces.

Las principales características de este tipo de cerveza son su aroma, cuya intensidad se puede considerar de moderada a baja, presentando normalmente notas a caramelo tostado o toffee.

El lúpulo brilla por su ausencia. En cuanto al sabor, éste presenta toques a malta caramelo y dulzor moderado, finalizando con un liviano gusto a grano tostado, lo que aporta la sequedad del gusto final [16].



Figura 13. Cerveza tipo Red Ale [18]

3.1.3. CERVEZA DE TRIGO

La cerveza de trigo o Weissbier, es una cerveza típica de la región de Baviera (Alemania) que se caracteriza por llevar malta de trigo en su elaboración, lo que aporta esta tonalidad blanquecina y turbia.

La historia de la cerveza de trigo se remonta al Egipto faraónico, aunque fue en el siglo XV en la zona actual de Bélgica (Witbier) y Baviera donde adquirió mayor importancia. La promulgación de la Ley de Pureza Alemana en 1516 supuso un gran revés para este estilo, ya que lo único permitido en una cerveza era agua, cebada, lúpulo y levadura.

La elaboración de la Weissbier pasó a ser un monopolio de la realeza de la región. En siglos pasados, el trigo era demasiado importante como cereal básico del pan, de ahí que se prohibiera utilizarlo en la elaboración de la cerveza. Las versiones modernas datan de 1872, cuando Schneider empezó a producirlas, sin embargo, no se han popularizado hasta la década de 1960.

La tradición alemana dice que al menos un 50% de la molienda debe proceder de trigo malteado, aunque algunas versiones utilizan hasta un 70%. El resto suele ser malta Pilsen.

Las principales características de la cerveza de trigo son un aroma que habitualmente presenta notas de banana y clavo (procedente de la levadura), aunque su intensidad puede variar. También se nota el aroma a trigo con intensidad de leve a moderada. EL carácter del lúpulo no es muy perceptible. Su apariencia es de un color pajizo a dorado, espuma espesa de color blanco y nivel de turbidez variable (dependiendo de si se ha filtrado o no). Su sabor recuerda a pan o a granos de trigo. El sabor a lúpulo suele ser bajo, así como el amargor, lo que hace que se perciba la cerveza con cierta dulzura. Presenta cuerpo medio, aunque la levadura en suspensión puede incrementar la percepción del cuerpo [16].



Figura 14. Cerveza de trigo [19]

3.2. MALTAS SELECCIONADAS

Por lo tanto, para poder producir estos tipos de cervezas será necesario abastecer a la cervecería con maltas tipo:

- Pilsen
- Caramel
- Trigo

Para determinar la cantidad a producir de cada una de las maltas habrá que fijar el volumen de producción de cada una de las cervezas de la fábrica objeto de este estudio.

Teniendo en cuenta que el cliente va a ser español, y que la cultura cervecera española es mayoritariamente de cerveza rubia, ésta será la que se ha considerado que se producirá en mayor medida. Si bien es cierto, que poco a poco la cerveza de trigo se está introduciendo cada vez más, y en menor medida, aunque cada vez con más peso la cerveza roja. Sabiendo esto, se ha establecido una proporción de producción en la cervecería como sigue:

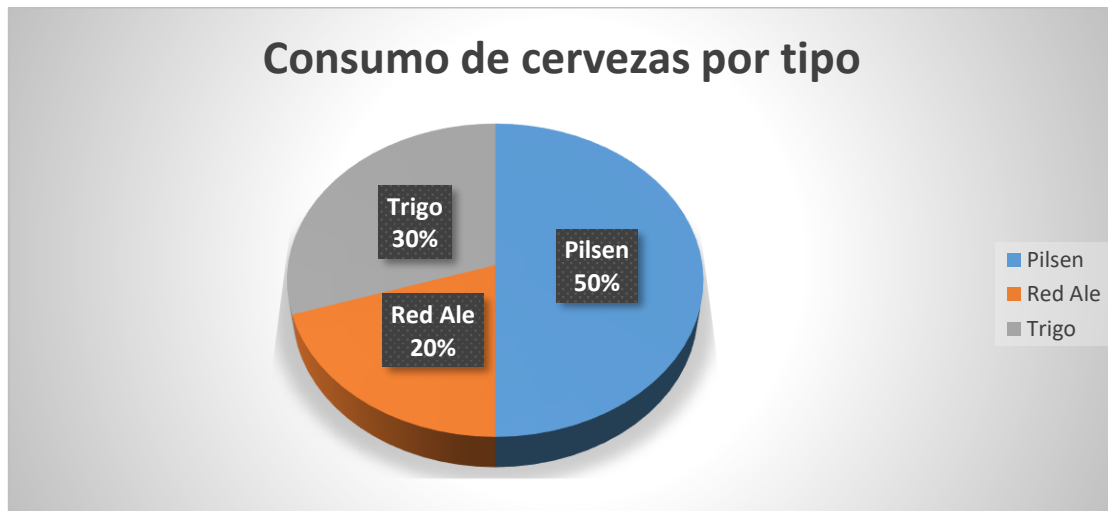


Figura 15. Estimación de consumo por tipo de cerveza

Tal y como se ha comentado al comienzo del apartado, la producción mensual de las distintas cervezas es:

- 10.000 litros de cerveza Pilsen
- 6.000 litros de cerveza de trigo
- 4.000 litros de Red Ale

Sabiendo las proporciones de tipo de malta de cada cerveza, se llega a:

- Pilsen (100% malta Pilsen):

$$10.000 \text{ litros} \times \frac{20 \text{ kg malta}}{100 \text{ litros}} = 2.000 \text{ kg malta Pilsen} \quad (\text{Ec.2})$$

$$2.000 \text{ kg malta} \times \frac{25 \text{ kg cebada}}{20 \text{ kg malta}} = 2.500 \text{ kg cebada} \quad (\text{Ec. 3})$$

- Trigo (50% malta Pilsen y 50% malta de trigo):

$$6.000 \text{ litros} \times \frac{20 \text{ kg malta}}{100 \text{ litros}} = 1.200 \text{ kg malta} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\frac{1.200 \text{ kg malta}}{2} = 600 \text{ kg malta} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$600 \text{ kg malta de trigo} \times \frac{24 \text{ kg trigo}}{20 \text{ kg malta}} = 720 \text{ kg trigo} \text{ (Ec. 6)}$$

$$600 \text{ kg malta Pilsen} \times \frac{25 \text{ kg cebada}}{20 \text{ kg malta}} = 750 \text{ kg cebada} \text{ (Ec. 7)}$$

- Red Ale (80% malta Pilsen y 20% malta Caramel):

$$4.000 \text{ litros} \times \frac{20 \text{ kg malta}}{100 \text{ litros}} = 800 \text{ kg malta} \text{ (Ec. 8)}$$

$$800 \text{ kg} \times 0,2 = 160 \text{ kg malta Caramel} \text{ (Ec. 9)}$$

$$800 \text{ kg} \times 0,8 = 640 \text{ kg malta Pilsen} \text{ (Ec. 10)}$$

$$160 \text{ kg malta Caramel} \times \frac{25 \text{ kg cebada}}{20 \text{ kg malta}} = 200 \text{ kg cebada} \text{ (Ec. 11)}$$

$$640 \text{ kg malta Pilsen} \times \frac{25 \text{ kg cebada}}{20 \text{ kg malta}} = 800 \text{ kg cebada} \text{ (Ec. 12)}$$

Resumiendo, la producción a alcanzar en la maltería deberá de ser de 4.000 kg de malta mensuales, de las cuales:

- 3.240 kg malta Pilsen/mes
- 600 kg malta de trigo/mes
- 160 kg de malta Caramel/mes

Para lo cual serán necesarios:

- 4.250 kg de cebada/mes
- 720 kg de trigo/mes

3.2.1. MALTA PILSEN

Este tipo de malta es sin lugar a duda la más tradicional de todas para elaborar cervezas lager. Es la más clara de todas las maltas base (aporta menos color). Se le reconoce por aportar sabor a maíz cocido (sulfuro de dimetilo), debido a que este compuesto se genera de forma natural durante el proceso de malteado y dado a que esta malta se seca a temperaturas más bien bajas, no se elimina por el calor como ocurre con otras maltas base. Este sabor llega en la mayoría de los casos a aportarle sabor a la cerveza final, siendo un sabor aceptable para muchas de ellas. Si se desea eliminar dicho sabor, se aconseja hervir por al menos 90 minutos. Por el contrario, si se desea conservar, con un hervido de 60 minutos sería suficiente.

A pesar de su nombre, se pueden elaborar muchos tipos de cerveza con esta malta, y no solo los estilos Pilsen o cervezas lager (aunque es ideal para ellos) [20].



Figura 16. Malta Pilsen [4]

3.2.2. MALTA CAMEL

Se les llama así a las que han sufrido algún tipo de cristalización del núcleo, lo que se conoce como caramelización. Poseen matices acaramelados y dulces, y existen una amplia gama de sabores y colores. Es común confundirlas con las variedades Crystal. Culpa de que esto ocurra, es que, como se ha mencionado, existen diversas variedades de colores de ambas, y porque los productos de una maltería particular difieren de los de otro productor. De hecho, cada maltería patenta sus propios productos y casi siempre las llaman de alguna manera particular, lo cual solo aumenta la confusión.

Hay dos procesos diferentes para producir maltas tipo Caramel. Por un lado, está el secado en horno (kilning) y por otro lado tenemos el tueste (roasting). Coloquialmente, se conoce como malta Crystal a las maltas Caramel producidas en tostadero. Por lo tanto, si aceptamos esta terminología, se podría decir que todas las maltas Crystal son tipo Caramel, pero no todas las maltas tipo Caramel son maltas Crystal.

Las maltas tipo Caramel que son producidas en un tostadero, se ponen directamente después de germinar durante cuatro días, en tostadores similares a los que se usan para producir café o cacao. La malta todavía está “verde” y en crecimiento, por lo que contiene un 45-48% de humedad. El tambor gira y se calienta lentamente para llevar al grano hasta la temperatura de conversión del almidón, en torno a los 65-66°C, tal y como se hace con la malta en un macerado normal típico de la elaboración de cerveza. Tal y como ocurre en la maceración, las enzimas de amilasa se activan y transforman el almidón húmedo del núcleo en azúcares simples. Al haber poca humedad, este azúcar pegajoso se queda dentro del núcleo. Es como millones de maceradores diminutos con el mosto atrapado en su interior. Una vez que la conversión ha finalizado, la maltería sube la temperatura y empieza la desecación de las maltas. Rápidamente, los azúcares se concentran y alcanzan temperaturas lo suficientemente altas (149°C) como para caramelizarse.



Figura 17. Malta caramel [4]

La caramelización es un término usado para describir las interacciones entre los azúcares bajo la influencia del calor. La malta, adquiere un sabor como a puro caramelo, ya que están sometidos a un tiempo de conversión corto y completo, así como a un aumento controlado y rápido de la temperatura durante el proceso del tueste. Por lo tanto, se puede ofrecer una gran variedad de este tipo de maltas ajustando el tiempo y la temperatura a la que se calienta el grano que contiene el azúcar [20].

Por lo tanto, para producir malta caramel hay que partir desde una malta verde con un contenido de agua de 45-48%. Durante el germinado, se incrementa la temperatura en el montón a 45-50°C en las últimas 30 a 36 horas, para lograr, a través de las enzimas, una degradación más intensa y con ello una formación de sustancias albuminoideas de bajo peso molecular y azúcares. En el proceso de tostación, la malta se somete a una temperatura entre 60 y 70°C durante 60 a 90 minutos. Para las maltas caramel oscura, se calienta aproximadamente 60 minutos a una temperatura de 150 a 180°C y se mantiene dicha temperatura durante 1 a 2 horas para caramelizar el contenido del grano. Posteriormente la malta es extraída del tostador y enfriada rápida y uniformemente. De esta manera se consigue un contenido de grano blando y un contenido de agua del 6%. La malta caramel pálida se trata igual pero no durante tanto tiempo ni tan poco tan intensivamente [8].

3.2.3. MALTA DE TRIGO

Esta malta base es muy utilizada, sobre todo en Alemania. Otorga a la cerveza un cuerpo y un sabor fresco y ligeramente dulce muy característicos. Existen muchas recetas que llevan mayoritariamente malta de trigo, como las cervezas blancas alemanas y belgas. Es también habitual añadir malta de trigo en menores proporciones de entre un 20 y hasta un 50% del total de malta usada, completando el resto con malta de cebada. En estos casos, la malta de trigo aporta dulzor y cuerpo, aunque también son más propensas a presentar cierta turbidez, por los que son fácilmente identificables al ojo sin ser un experto. [19]



Figura 18. Malta de trigo [4]

A fines de ser óptimos, en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos en el cultivo de variedades adecuadas de trigo cervecero. Las principales diferencias con respecto a la cebada, es que el trigo no presenta cáscara y que presentan un mayor contenido de proteínas, el cual puede llegar a provocar problemas en el proceso de fabricación de cerveza. Debido a la ausencia de la cáscara, el grano absorbe rápidamente el agua de remojo, de manera que el tiempo de remojo puede ser abreviado. Se escurre con un contenido de agua del 37 a 38%, pero el contenido de agua debe continuar aumentando hasta un máximo de 44 a 46% durante los siete días de remojo y germinación. Esta sucede de forma similar que ocurre con la cebada, pero es más dificultoso de procesar, y debido al riesgo de formación de aglomeraciones, debe voltearse el trigo más a menudo. Las temperaturas pueden ser un poco más bajas que con la cebada, pero deberían ser aumentadas hasta 17 a 20°C el último día de germinación, para favorecer la disolución de la pared celular.

El proceso de presecado comienza a 40°C y finaliza a 60°C. Para un curado a temperaturas más altas, se obtiene malta pálida de trigo, que se cura muy rápidamente a 80°C, para evitar un aumento de formación de color. Para obtener malta oscura de trigo se cura a temperaturas de 100 a 110°C [8].

Por lo tanto, para resumir, las principales características a tener en cuenta para producir estos tres tipos de malta son:

Tabla 3. Principales características por tipo de malta [8]

Malta	Remojo	Geminación	Secado	Tostado	Enfriamiento
Pilsen	Contenido en agua de 42-44%	Temperaturas de 17-18°C durante todo el germinado	Se somete a una temperatura no superior de 55°C durante 60 minutos	Se somete a una temperatura de 85°C durante 2 a 3 horas	Se baja a 35-40°C haciendo pasar un flujo de aire
Caramel	Contenido en agua de 45-48%	La temperatura aumenta de 45 a 50°C en las últimas 30 a 36 horas	Se somete a una temperatura de 60-70°C durante 60-90 minutos	Aumenta gradualmente de 150 a 180°C durante 60 minutos y se mantiene de 1 a 2 horas a 180°C	Rápido y uniformemente
Trigo	Contenido en agua de 37-38%	La temperatura es de 12-13°C y aumenta de 17-20°C en las últimas 24 horas de germinación	Comienza a 40°C y finaliza a 60°C a lo largo de 90 minutos	Entre 80-100°C, dependiendo del color deseado de 2 a 3 horas	Natural y uniforme

4. CÁLCULO DE EQUIPOS

Como ya se ha comentado anteriormente, se debe alcanzar una producción de:

- 3.240 kg malta Pilsen/mes
- 600 kg malta de trigo/mes
- 160 kg de malta Caramel/mes

Es importante tener en cuenta los factores de tiempo de producción y almacenamiento, por lo tanto, lo primero será calcular las tandas de producción y las cantidades de estas.

La malta, necesitará un proceso de aproximadamente una semana para que llegue ya preparada a su almacenamiento final, el cual debe de durar al menos 4 semanas para poder pasar a la fábrica de cerveza.

4.1. SILOS DE CEBADA MALTEABLE

La recepción del grano se realizará una vez al mes, ya que las cantidades no son muy grandes y se optimiza el proceso. Además, es recomendado por muchos maestros malteros dejar reposar el grano después de su recolección y no procesarlo inmediatamente. Las necesidades de producción son:

- 4.250 kg de cebada/mes
- 720 kg de trigo/mes

Se acopiarán en silos de acero inoxidable, en los cuales se deberá mantener una humedad inferior a 12-15% y a una temperatura no superior a 15°C. De esta manera el cereal se mantendrá sin que se produzca enmohecimiento. Para calcular el volumen requerido se tendrá en cuenta que la densidad de la cebada seca es de aproximadamente 550 kg/m³ y la del trigo seco de 700kg/m³. Por lo que el volumen requerido es de:

Cebada

$$\frac{4.250 \text{ kg cebada}}{550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ cebada}} = 7,73 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 13)}$$

Para poder controlar a la perfección la humedad y la temperatura del grano, estos silos se instalarán en el interior de la nave, la cual estará climatizada, por lo que no debería de ser demasiado alta. Un silo con capacidad de unos 8 m³ tiene una altura de al menos 5 metros, por ello en vez de un silo deberán de instalarse dos de al menos 3,86 m³.

Trigo

$$\frac{720 \text{ kg trigo}}{700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ trigo}} = 1,03 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 14)}$$

Como se puede observar, al ser la cantidad de trigo tan pequeña el volumen es muy pequeño también. Por lo tanto, y dado que el cereal almacenado en unas condiciones adecuadas puede durar indefinidamente, para alcanzar un volumen parecido a la cebada (lo cual facilitaría la adquisición de los equipos de almacenamiento), la recepción del trigo se realizará trimestralmente. De esta manera, las cantidades a almacenar serán:

$$720 \frac{\text{kg trigo}}{\text{mes}} \times 4 \text{ meses} = 2.160 \text{ kg trigo} \text{ (Ec. 15)}$$

El volumen por almacenar será entonces de:

$$\frac{2.160 \text{ kg trigo}}{700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{trigo}} = 3,085 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 16)}$$

Este valor es mucho más lógico, y además de esta manera se reducirá el costo de compra de trigo al hacerlo en mayores lotes.

Resumiendo, se requerirán 3 silos de acero inoxidable de al menos 3,86 m³ cada uno, 2 para la cebada y uno para el trigo. Se realizarán recepciones mensuales para la cebada de 4.250 kg y trimestrales de trigo de 2.160 kg.

El equipo elegido, corresponde a la empresa *VALCO COMPANIES, INC*, la cual ofrece catálogos de una amplia cantidad de silos, entre los cuales encontramos la modalidad silos de granja, que son mucho más compactos que los industriales. Entre los modelos con los que cuentan, se ha elegido el silo de diámetro 1,82 m, con 1 anillo, altura de 3,33 m y capacidad para 3,98m³, con lo que se adapta perfectamente a las necesidades de almacenamiento.

DIÁMETRO DEL SILO	NO. DE ANILLOS	CAPACIDAD APROXIMADA (640,1 KG/M ³ Ó 40 LB/PIES ³)						ALTURA DEL LLENADO	
		LB	TONS INGLASAS	TONS METRICAS	PIES ³	M ³	BUSHEL	PIES	METROS
Diámetro de 1,82 m (6 pies) con tolva cónica de 60°	1	5623,76	2,81	2,55	140,59	3,98	113	10' 11"	3,33
	2	8637,80	4,32	3,92	215,95	6,11	174	13' 7"	4,14
	3	11651,84	5,83	5,29	291,30	8,25	234	16' 3"	4,95
	4	14665,88	7,33	6,65	366,65	10,38	295	18' 11"	5,77
Diámetro de 2,13 m (7 pies) con tolva cónica de 67°	1	9445,68	4,72	4,28	236,14	6,69	190	14' 7"	4,45
	2	13548,10	6,77	6,15	338,70	9,59	272	17' 3"	5,26
	3	17650,52	8,83	8,01	441,26	12,50	355	19' 11"	6,07
	4	21752,94	10,88	9,87	543,82	15,40	437	22' 7"	6,88
	5	25855,36	12,93	11,73	646,38	18,30	519	25' 3"	7,70
	6	29957,78	14,98	13,59	748,94	21,21	602	27' 11"	8,51
Diámetro de 2,74 m (9 pies) con tolva cónica de 60°	1	15983,55	7,99	7,25	399,59	11,32	321	15' 6"	4,72
	2	22765,15	11,38	10,33	569,13	16,12	457	18' 2"	5,54
	3	29546,75	14,77	13,40	738,67	20,92	594	20' 10"	6,35
	4	36328,35	18,16	16,48	908,21	25,72	730	23' 6"	7,16
	5	43109,95	21,55	19,55	1077,75	30,52	866	26' 2"	7,98
	6	49891,55	24,95	22,63	1247,29	35,32	1002	28' 10"	8,79
Diámetro de 3,65 m (12 pies) con tolva cónica de 60°	1	33849,21	16,92	15,35	846,23	23,96	680	19' 1"	5,82
	2	45795,05	22,90	20,77	1144,88	32,42	920	21' 9"	6,63
	3	57740,89	28,87	26,19	1443,52	40,88	1160	24' 5"	7,44
	4	69686,73	34,84	31,61	1742,17	49,33	1400	27' 1"	8,26
	5	81632,57	40,82	37,03	2040,81	57,79	1640	29' 9"	9,07
	6	93578,41	46,79	42,45	2339,46	66,25	1880	32' 5"	9,88
	7	105524,30	52,76	47,86	2638,11	74,70	2120	35' 1"	10,69

Figura 19. Características silos



Figura 20. Silo 3,98m³

4.2. LIMPIADOR PREVIO DE CEBADA

Para clasificar el grano y desechar las impurezas, se utilizará una criba tamizadora, ya que las cantidades a tratar no son lo suficientemente grande como para elaborar un sistema más complejo.

La cribadora deberá tener una luz de malla de 2,2-2,5 mm, ya que es el tamaño buscado, tal y como se ha comentado al principio del proyecto. Se utilizará una cribadora, seleccionadora y limpiadora de cereales y legumbres.

El equipo elegido corresponde a la empresa “VDH Maquinas”, empresa la cual comercializa maquinaria y herramientas para agricultura. El modelo elegido es el Modelo 1000, ya que es el más pequeño y encaja con la producción que tiene que asimilar. Este equipo realiza varios procesos:

- Limpieza: por ventilación y zarandas con movimientos alternativos
- Ventilación: por soplado, la cual genera una cortina de aire antes de que la semilla llegue a la zaranda, separando las partículas más livianas.
- Cajón de zarandas con movimientos alternativos: con dos zarandas intercambiables. La superior separa el grano del material grueso, y la inferior separa las semillas pequeñas de las malezas.

El rendimiento es de 100 kg/h, el cual es el equipo más compacto. Dado que cada tanda de germinado cuenta con unos 800 kg de cereal, este se preparará el día de antes, lo que llevará unas 8 horas en total.



Figura 21. Vista lateral clasificadora de grano



Figura 22. Vista frontal clasificadora de grano

4.3. TANQUES DE REMOJO

Se colocarán 4 cajones de remojo para hacer la producción más eficiente, ya que de esta manera se podrá remojar toda la cebada Pilsen de una vez, y a los dos días, una vez ya absorbida toda el agua por ésta, se procederá al remojo de la cebada Caramel y al trigo a la vez (cada una en sus correspondientes tanques) produciendo así en cadena toda la producción necesaria.

Para realizar el diseño de los tanques de remojo, se tendrá en cuenta los siguientes cálculos:

- Producción de malta Pilsen:

$$\frac{3240kg}{4 \text{ semanas}} = 810 \text{ kg} \text{ (Ec. 17)}$$

$$\frac{810 \text{ kg}}{4 \text{ cajones}} = 202,5 \text{ kg/cajón} \text{ (Ec. 18)}$$

Teniendo en cuenta que la cebada cuenta con aproximadamente un 15% de agua, los 202,5 kg ya cuentan con 30,375 kg de agua, para alcanzar el 43% de humedad de la malta Pilsen se tendrá que aportar, por lo tanto:

$$\frac{x+30,375 \text{ kg agua}}{x+202,5 \text{ kg cebada}} = 0,43 \text{ (Ec. 19)}$$

$$x = 99,5 \text{ kg agua} \text{ (Ec. 20)}$$

Como puede verse, será necesario aportar 99,5 litros de agua en cada cajón de remojo, contando la cebada en total una cantidad de aproximadamente 129,8 litros de agua.

Sabiendo esto, y que la densidad de la cebada húmeda (15%) es de aproximadamente 900 kg/m³, el volumen necesario de cada cajón será:

$$\frac{202,5 \text{ kg cebada}}{900 \text{ kg cebada/m}^3} = 0,225 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 21)}$$

$$0,225 \text{ m}^3 + 0,0995 \text{ m}^3 = 0,3245 \text{ m}^3 \text{ (Ec.22)}$$

Por simplicidad se aproximará a 0,4 m³, siendo estos de unas medidas (0,4 x 1 x 1) m (alto x largo x ancho). Ya que no se añadirá toda el agua de una sola vez, estas medidas serán más que suficiente para que no se derrame agua, pues nunca se llenará de una sola vez.

El agua no es absorbida inmediatamente, sino de manera progresiva, es por lo que al principio se le añadirá algo menos de la mitad de la necesaria, en este caso unos 45 litros. Una vez cada hora habrá que remover la cebada hasta que haya desaparecido toda el agua del fondo del cajón. Pasadas 6 horas de esta absorción total, se echa la mitad del agua que falta, en este caso unos 27,25 litros, y de nuevo una vez absorbida toda y con un intervalo de 8 horas se echan los 27,25 litros restantes. Es importante mover cada hora la cebada durante todo el tiempo que dure el proceso, subiendo a la parte alta la cebada que esté al fondo. [8]

Después de dos días, ésta ya ha absorbido toda el agua necesaria y se traslada a sus correspondientes cajones de germinación.

Ahora bien, la cantidad de cebada para la malta Caramel y el trigo, son muy pequeñas en comparación con la Pilsen. Éstas podrán producirse una sola vez al mes con los equipos ya disponibles. Como se ha comentado, se cuenta con 4 cajones con una capacidad de más de 200 kg de cebada. Hay que producir mensualmente 160 kg de malta Caramel y 600 kg de malta de

trigo, por lo que se utilizarán 3 cajones de remojo para producir 200 kg de malta trigo en cada uno y los 160 kg de Caramel en el cajón restante.

Resumiendo, y teniendo en cuenta los 5 días que durará la germinación, se producirán mensualmente 4 lotes de Pilsen, 1 lote de Caramel y 1 lote de Trigo, con un espacio entre cada lote de 3 días (ver Tabla 5).

El proceso para la malta Caramel y malta de trigo son iguales que para la Pilsen, pero cambiando la cantidad de agua a añadir. Nótese que para el cálculo del volumen necesario de los cajones se ha utilizado la densidad de la cebada húmeda y también contamos con trigo, pero como la cantidad de este es menor, no es necesario volver a hacer cálculos.

Las cantidades de agua para estas maltas se calculan de la misma manera que para la Pilsen.

- Producción de malta de Trigo:

Como ya se ha comentado, para esta producción se utilizarán 3 cajones:

$$\frac{600 \text{ kg}}{3 \text{ cajones}} = 200 \text{ kg/cajón (Ec. 23)}$$

Estos 200 kg ya cuentan con 30 kg de agua (15%), por lo que, para alcanzar el 46% de humedad de la malta trigo se tendrá que aportar:

$$\frac{X+30 \text{ kg agua}}{X+200 \text{ kg trigo}} = 0,37 \text{ (Ec. 24)}$$

$$x = 70 \text{ kg agua (Ec. 25)}$$

- Producción de malta Caramel:

Ésta se producirá en el cuarto cajón que queda libre junto a la producción de la malta trigo. Los 160 kg de cebada contienen 24 kg de agua (15%) Como se ha de alcanzar una humedad del 46%:

$$\frac{X+24 \text{ kg agua}}{X+160 \text{ kg cebada}} = 0,46 \text{ (Ec. 26)}$$

$$x = 92 \text{ kg agua (Ec. 27)}$$

Para resumir, las cantidades de agua necesarias por tipo de malta son:

Tabla 4. Consumo de agua por tipo de malta

<i>Tipo de malta</i>	<i>Numero de lotes mensuales</i>	<i>Numero de cajones</i>	<i>Agua por cajón (litros)</i>	<i>Agua total lote (litros)</i>	<i>Agua total mensual (litros)</i>
<i>Pilsen</i>	4	4	99,5	398	1.592
<i>Trigo</i>	1	3	70	210	210
<i>Caramel</i>	1	1	92	92	92
Consumo agua total mensual por remojo (litros)					1.894

Los cajones de remojo se harán de cristal, ya que de esta manera podrá verse cuando ha sido absorbida toda el agua en el fondo, el cual debe de tener una válvula para evacuar el grano una

vez remojado para facilitar su volcado en los cajones de germinación, además de una válvula de evacuación del líquido en caso de que esto fuese necesario. Con plástico se daría el mismo resultado, pero este tiene un problema de salud y transferencia de sabor asociado.

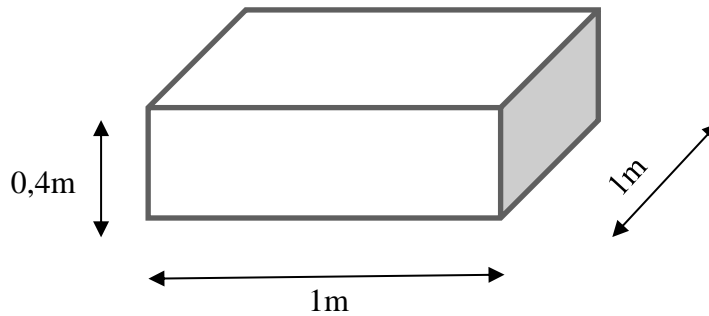


Figura 23. Cajón de remojo

4.4. CAJONES DE GERMINACIÓN

Después de los dos días de remojo, el grano ya está listo para el proceso de germinación. Teniendo en cuenta que las cantidades a germinar son muy pequeñas, se utilizará como medio de germinación cajones con bandejas, ya que de esta manera se podrá voltear la malta más fácilmente, teniendo simplemente que cambiar la altura de las bandejas.

Por simpleza, se seguirá el mismo modo de operación que en los cajones de remojo. Se dispondrán de 4 cajones de germinación. Estos cajones contarán con una serie de bandejas ranuradas para permitir el flujo de aire. Las bandejas permitirán que el volteo, el cual será necesario realizarlo a mano de 2 a 3 veces al día, sea mucho más simple. Además, se podrá manipular la posición de las bandejas para ir repartiendo uniformemente el flujo de aire que les llega.

Para calcular el número de bandejas, se tendrá en cuenta el mayor volumen que necesitará soportar los cajones de germinación. Esto se dará con la malta Pilsen, la cual aportará a cada cajón 302 kg de cebada húmeda, lo cual se traduce en un volumen de $0,335\text{m}^3$. El aire tiene que fluir libremente, pero no puede haber un exceso de oxígeno tampoco, por lo que tiene que ofrecer algo de resistencia. Por lo tanto, las bandejas deben contar con una altura de cebada lo suficientemente grande para provocar algo de resistencia y lo suficientemente pequeña para que el aire fluya. Esta altura se va a fijar en 6,5 cm. Por lo tanto, para una bandeja de ancho y largo de 1 metro (al igual que los cajones de remojo) serán necesarias:

$$\frac{0,335\text{m}}{0,065\frac{\text{m}}{\text{bandeja}}} = 5 \text{ bandejas (Ec. 28)}$$

Por lo tanto, se contarán con 4 cajones de germinación (1 x 1 x 0,35) m, los cuales contarán con 5 bandejas ranuradas (1x1x0,065) m. Dichas cajas y bandejas se realizarán íntegramente en acero inoxidable, ya que deberá soportar la humedad y si fuesen de cristal podrían llegar a romperse ya que deben de ser manipuladas muy frecuentemente.

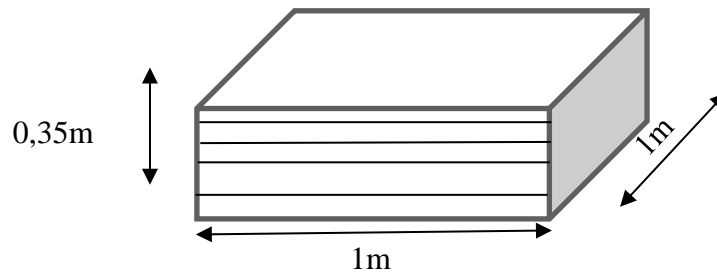


Figura 24. Cajón de germinación

Hay que tener en cuenta también la humedad del grano, el cual puede secarse si no se humidifica frecuentemente. Es por ello por lo que cada vez que se voltee y se cambien las bandejas, se deberán rociar con agua para mantener la humedad. La cantidad de agua que debe humidificarse se calcula aproximadamente como:

$$\frac{0,5 \text{ m}^3 \text{ agua}}{\text{tonelada cebada}} \quad (\text{Ec. 29})$$

En este caso, para la cebada Pilsen y trigo deberán de aportarse aproximadamente 100 litros de agua por cajón, y para la cebada Caramel unos 80 litros.

La temperatura del proceso de germinación deberá mantenerse fresca, aproximadamente de 17 a 18°C para la malta Pilsen. En el caso de la malta Caramel, la temperatura aumenta de 45 a 50°C en las últimas 30 a 36 horas. Para el trigo, la temperatura se mantiene de 12 a 13°C y se aumenta de 17 a 20°C en el último día. Para esto, se puede utilizar el ventilador calefactor que se utilizará en el proceso de secado-tostado.



Figura 25. Germinación de cebada en bandejas ranuradas

Cuando las raicillas han alcanzado una longitud equivalente de aproximadamente 1,5 veces la longitud del grano, la germinación debe de ser interrumpida y se debe pasar al tostado. Este paso será crucial, de lo contrario el lote será inservible.



Figura 26. Raicillas en cebada germinada

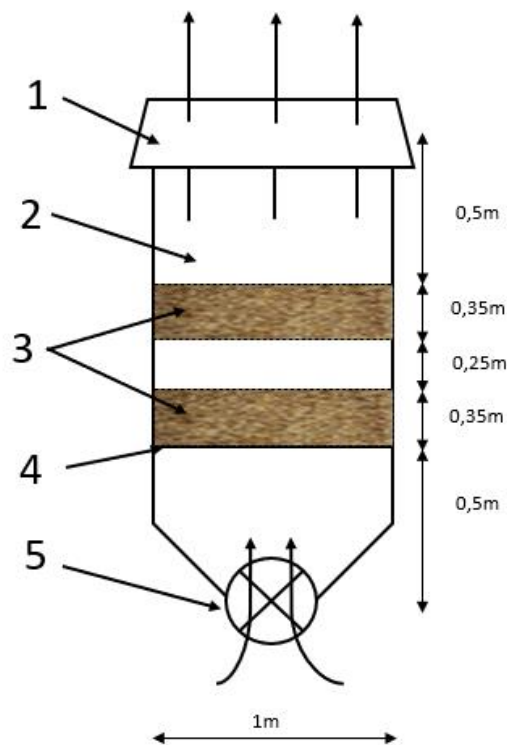
4.5. SECADOR-TOSTADOR

El tostado es en primer lugar un problema de aireación. Una buena aireación se consigue con mucho aire caliente, por lo que se debe forzar mucho a través de la cebada en germinación. En este proceso, la temperatura del aire no debe superar los 50°C, de lo contrario se corre el riesgo de producir malta vítrea. Cuando la malta está casi completamente seca, se puede aumentar la temperatura.

Para tostar una cantidad de malta pequeña, como es este caso, se puede construir un cajón que esté cerrado abajo con un fondo tipo tamiz, sobre el cual está depositada la malta verde. Mediante un ventilador calefactor se fuerza aire a través de las bandejas ranuradas. Para ello, hay que tener en cuenta que el aire solo atraviesa la capa de malta que ofrece resistencia si el espacio que se encuentra debajo del fondo tipo tamiz es hermético. Por lo tanto, es aconsejable que el recipiente esté construido de forma hermética. Con el objetivo de superar la resistencia del aire y pasar la cantidad de aire necesaria a través de la capa de malta, se debería colocar sobre el recipiente una campana de extracción de vahos. Para el tostado de 25 kg de malta, se requieren aproximadamente 150m³ de aire caliente [8].

El secador deberá de disponer de dos compartimentos en los que se introduzcan los cajones de germinación (que al ser estos 4 se tendrá que realizar el secado de cada lote en 2 veces) los cuales con su disposición y los orificios de apertura de su base los hacen ideales para dejar pasar el aire caliente entre ellos. El espacio entre ambas bandejas no debe de ser demasiado alto para no perder flujo de aire en la segunda bandeja.

Además, la altura entre el ventilador calefactor y la primera capa de malta verde tiene que tener la suficiente altura para no estar en contacto directo, ya que se corre el riesgo de que esta se queme. De la misma manera, el espaciado entre la última capa de malta y el extractor de vahos no debe de ser demasiado grande para no perder aire caliente ni demasiado pequeño para evitar sobrecalentamientos.



1. Campana de extracción de vahos (aluminio)
2. Cajón de aluminio
3. Malta verde
4. Fondo tipo tamiz
5. Ventilador calefactor

Figura 27. Esquema secador-tostador de malta

4.5.1. MALTA PILSEN

Tal y como se ha calculado, cada lote de malta Pilsen contiene una cantidad de 810 kg de cebada, a la que habrá que añadir el agua que ha absorbido:

$$810 \text{ kg cebada} + 398 \text{ kg agua} = 1.208 \text{ kg de malta verde} \quad (\text{Ec. 30})$$

Es importante tener en cuenta que la altura de la cebada no debe de ser demasiado grande para no impedir el paso del flujo de aire caliente a través de esta. En total, se tienen 4 lotes de 5 bandejas de 6,5cm de cebada cada una, por lo tanto, se tiene una altura de malta verde de:

$$6,5 \text{ cm} \cdot 5 \text{ bandejas} \cdot 4 \text{ lotes} = 130 \text{ cm} \quad (\text{Ec. 31})$$

Esta altura es considerablemente alta, por lo que habrá que repartirla en distintos lotes. El proceso de secado y tostado dura aproximadamente 4 horas, por lo que en un día se podrían hacer 2 lotes en 8 horas de trabajo, lo que serían 2 lotes de 65 cm de cebada. Esto sigue siendo demasiado grande, así que se realizará el trabajo en 2 días, y ya con una altura de malta verde de 32,5 cm se puede empezar a tostar.

Para el tostado, se colocarán 2 bandejas ranuradas como la del germinado de acero inoxidable, resistente a las altas temperaturas, que se alternarán de posición para conseguir un tostado

uniforme. Cada bandeja tendrá una altura de malta verde de 16,25 cm. En resumen, y para que se vea más claro, la división ha sido:

Lote semanal	Entre 2 días	Entre 4 horas	Entre 2 bandejas
--------------	--------------	---------------	------------------

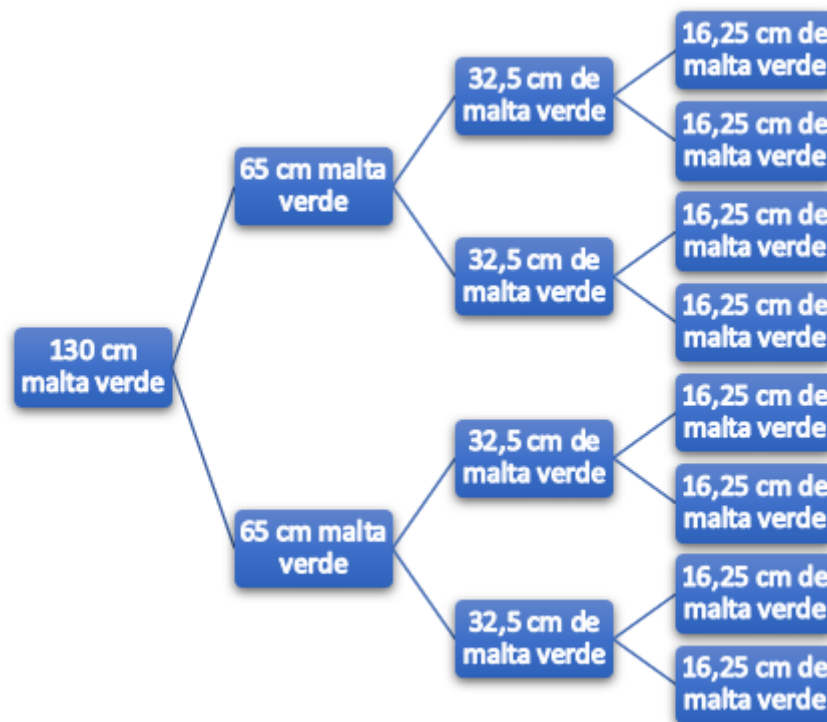


Figura 28. Reparto de altura de cebada para el tostado

Según Wolfgang Kunze, para 25 kg de malta verde es necesario 150 m³ de aire, se tiene que para 259,2 kg de malta verde son necesarios 1.555,2 m³ de aire (777,6 m³/h). Para la malta Pilsen, el tostado se realiza a 85°C.

4.5.2. MALTA CAMEL

Este tipo de malta va a resultar un poco más compleja, pues tiene que alcanzar una temperatura más alta, por lo que se reducirán las bandejas del tostador a una sola para mejorar el reparto de calor. El tostado completo de toda la malta Caramel durará un día debido a él gran aporte de calor que necesita esta.

$$160 \text{ kg cebada} + 35,2 \text{ kg agua} = 195,2 \text{ kg de malta verde} \quad (\text{Ec. 31})$$

Como se ha dicho, se harán 2 tostados con una sola bandeja, por lo que se tendrá que tostar la malta en lotes de 97,6 kg de malta verde. Esto se traduce en una cantidad de aire necesario de 585,6 m³. La temperatura de la malta Caramel llegará a alcanzar los 180°C

4.5.3. MALTA DE TRIGO

En el caso del trigo, se tiene una cantidad total de:

$$600 \text{ kg trigo} + 186 \text{ kg agua} = 786 \text{ kg de malta verde (Ec. 32)}$$

Con esta cantidad, 2 días serán suficientes para realizar el tostado de todo el lote. Teniendo en cuenta que la temperatura a alcanzar es de 100°C, y que con esta temperatura al ser razonable se pueden utilizar ambas bandejas, se realizarán 4 lotes en 2 días de 196,5 kg cada uno, los cuales se repartirán en 2 bandejas. Para estas cantidades, el volumen de aire requerido es de 1.179 m³

Por lo tanto, el equipo necesario para realizar dicho proceso deberá alcanzar una temperatura de al menos los 180°C que requiere la malta Caramel. Para ello, se contará con un calefactor de gasoil directo *TROTEC IDE 50 D*. Este equipo cuenta con las siguientes características que lo hacen idóneo para su objetivo:

- Potencia térmica nominal de 50kW
- Volumen de aire de 1.100 m³/h
- Incremento de temperatura de hasta 180°C
- Consumo máximo de gasoil de 4,7 litros hora



Figura 29. Ventilador calefactor

Una vez realizado el tostado de la malta, las bandejas se sacan del dispositivo y se dejan enfriar hasta haber alcanzado la temperatura adecuada para realizar su limpieza final y almacenamiento. Las bandejas deberán colocarse en alguna superficie abierta que no cubran las aperturas de estas, para permitir el libre paso del aire a través de ellas y enfriar la malta más rápidamente.

4.6. LIMPIADOR DE RAICILLAS

Durante el proceso de germinación, se formarán raicillas y esporádicamente brotes que deben de ser eliminados, pues no son deseables y además podrían contaminar la cerveza infiriéndole un mal sabor. La separación de las raicillas del grano se lleva a cabo mecánicamente mediante frotación de los granos. Posteriormente, las raicillas y en su caso los brotes son eliminados de la masa del grano por cribado [10].

Para ello, se eliminarán las raicillas mediante fricción en un tambor vibratorio. La malta está ya seca, por lo que las raíces deberían de desprenderse fácilmente del grano. Una vez realizado este paso, se volverá a hacer pasar el producto por el equipo clasificador de grano de la etapa de limpieza inicial. De esta manera, se conseguirán eliminar las raicillas ya separadas del grano.

4.7. SILOS DE MALTA

Tras 11 días de trabajo, el grano ya está transformado totalmente en malta. Pero esta aún no está lista para ser usada, ya que debe de reposar al menos 4 semanas, tiempo durante el cual ésta se estabiliza y aumenta lentamente su contenido en agua hasta un 4-5%.

Hay que tener especial cuidado con el almacenamiento, pues se debe de evitar el aire húmedo. Sabiendo esto, se deberá producir malta un mes antes de empezar a abastecer a la fábrica de cerveza. A partir de aquí, se irá produciendo en cadena. Por lo tanto, los silos finales de almacenamiento deben de tener espacio para al menos un mes de producción. Cada semana se irá llenando de una tanda nueva, pero a su vez se irá abasteciendo a la fábrica de cerveza con la tanda más antigua, por lo que todos los silos no se llenarán nunca.

En el almacenamiento inicial, fueron necesarios 2 silos para la cebada y un silo para el trigo. En este caso, habrá que establecer 3 silos, uno para cada tipo de malta:

- 3.240 kg malta Pilsen/mes
- 600 kg malta de Trigo/mes
- 160 kg de malta Caramel/mes

La densidad de la malta de cebada es de aproximadamente $440 \frac{kg}{m^3}$ y la de la malta de trigo de unos $500 \frac{kg}{m^3}$, por lo tanto, el volumen a almacenar deberá de ser de:

- Malta Pilsen

$$\frac{3.240 \text{ kg malta}}{440 \frac{\text{kg malta}}{m^3}} = 7,36 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 33)}$$

- Malta Caramel

$$\frac{160 \text{ kg malta}}{\frac{440 \text{ kg malta}}{m^3}} = 0,36 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 34)}$$

- Malta de trigo

$$\frac{600 \text{ kg malta}}{\frac{500 \text{ kg malta}}{m^3}} = 1,2 \text{ m}^3 \text{ (Ec. 35)}$$

Para la malta Pilsen, se tiene el mismo problema que en el almacenamiento de cebada inicial. Para un volumen de $7,36 \text{ m}^3$ se requeriría un silo de una altura de casi 5 metros. Por ello, y al igual que se hizo con el almacenamiento del grano de cebada, se colocarán dos silos de $3,98 \text{ m}^3$, también de la empresa *VALCO COMPANIES, INC.*

Ahora bien, como se puede observar, el volumen requerido por la malta de trigo es muy pequeño, al igual que el de la malta Caramel que es prácticamente insignificante. Por eso, para estas maltas, se colocarán depósitos de acero inoxidable, los cuales, inicialmente son para almacenar líquidos, pero con una pequeña modificación en la válvula de vaciado se pueden convertir en unos recipientes adecuados para almacenar grano.

Por lo tanto, se instalará un depósito de 400 litros para la malta Caramel y otro de 1.300 litros para la malta de trigo.



Figura 30. Depósito de acero inoxidable

4.8. ELEVADOR DE TORNILLO

Como se ha visto, la altura de los silos de $3,98 \text{ m}^3$ es de 3,33 m, altura más que suficiente para dificultar la tarea de llenado de estos manualmente. Tanto para el llenado de los silos de

almacenamiento de cebada y de trigo como para los silos de almacenamiento de malta Pilsen, será necesario contar con la ayuda de maquinaria elevadora.

Para ello, se contará con un tornillo sinfín de grano. El modelo elegido, es un tornillo de 4 m de largo. El ángulo máximo de trabajo es de 60°, por lo que la altura máxima vertical que podrá alcanzar este es de:

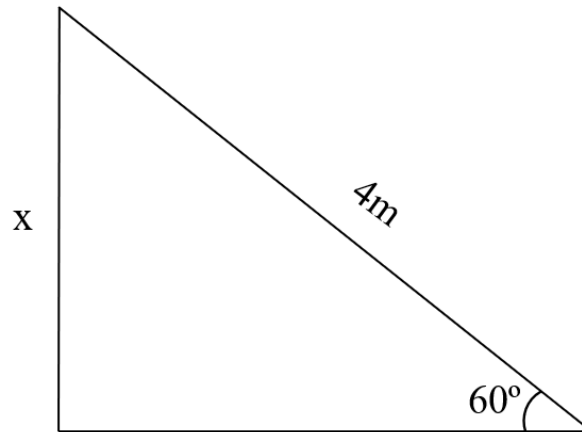


Figura 31. Calculo altura máxima tornillo sinfín

$$\sin 60^\circ = \frac{x}{4} \text{ (Ec. 36)}$$

Por lo que la altura máxima que estos elevadores pueden transportar el grano es de 3,46m. Teniendo en cuenta que este tiene que llegar a una altura de 3,33m, este equipo es suficiente para abastecer a los silos. Estos tornillos cuentan con una capacidad de 9 t/h (lo cual es más que suficiente para llenar los silos en poco tiempo), un motor de 1,5 kW y una tolva a través de la cual recoge el grano que lleva al silo.



Figura 32. Elevador de tornillo



Figura 33. Tornillo del elevador

4.9. EQUIPOS AUXILIARES

En lo que a producción de cerveza se refiere, incluida la producción de malta, el control de temperatura es indispensable, por lo que se requiere una medición y un control exhaustivo en cada etapa de producción de esta. Además, como se ha visto, la malta es muy sensible a la humedad, por lo que también se requiere un control de esta.

4.9.1. MEDIDOR DE TEMPERATURA

La temperatura debe de ser medida y controlada, ya sea la temperatura ambiente o la de las etapas de producción.

Para controlar la temperatura de remojo, germinación y tostado, se utilizarán termómetros digitales. Se ha optado por el termómetro digital Brewferm, el cual es utilizado para la producción de cerveza. Estos tienen un amplio rango (-40°C a 200°C) y, además, la sonda es resistente al agua, por lo que no habrá problemas en su uso para medir la temperatura de remojo. El control tiene que ser exhaustivo, por lo que se instalara un termómetro en cada cajón de remojo, al igual que en cada cajón de germinación. Se deberá de fijar también uno al secador-tostador.

El termómetro, cuenta con una alarma, que avisará de cualquier cambio de temperatura no deseado.



Figura 34. Termómetro digital Brewferm

4.9.2. MEDIDOR DE HUMEDAD

El control de la humedad del grano deberá de realizarse para confirmar que ha alcanzado el grado de humedad óptimo. Para ello, se utilizará un medidor de humedad de grano digital *SMART SENSOR modelo AR991*, el cual cuenta con un sensor que mide el grado de humedad dependiendo del tipo de grano, teniendo un alcance del 11-50% para la cebada y del 11-55% para el trigo.



FIGURA 35 MEDIDOR DIGITAL DE HUMEDAD

Para resumir, el proceso de malteado total requerirá unos 11 días, tal y como se detallan a continuación:

Tabla 5. Simulacro de planificación mensual de la producción

LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
1 Limpieza previa 1	2 Remojo 1	3	4 Germinación 1	5	6 Limpieza previa 2	7 Remojo 2
8	9 Tostado 1 Germinación 2	10 Tostado 1	11 Limpieza final 1 Limpieza previa 3	12 Remojo 3	13	14 Tostado 2 Germinación 3
15 Tostado 2	16 Limpieza final 2 Limpieza previa 4	17 Remojo 4	18	19 Tostado 3 Germinación 4	20 Tostado 3	22 Limpieza final 3 Limpieza previa 5
22 Remojo 5	23	24 Tostado 4 Germinación 5	25 Tostado 4	26 Limpieza final 4	27	28
29 Tostado 5	30 Tostado 5	31 Tostado 5	1 Limpieza final 5			

- **Proceso 1 (malta Pilsen)**
- **Proceso 2 (malta Pilsen)**
- **Proceso 3 (malta Pilsen)**
- **Proceso 4 (malta Pilsen)**
- **Proceso 5 (malta trigo y Caramel)**

Donde la duración de las etapas es:

- Recepción y limpieza del grano: 1 día
- Remojo: 2 días
- Germinación: 5 días
- Tostado: 2 días
- Eliminación de raicillas: 1 día

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El objetivo del proyecto es establecer la maltería en las instalaciones ya existentes de la fábrica de cerveza artesanal, por lo que no habría que realizar un estudio y análisis económico de la ubicación de dicha planta. Además, hay que destacar la simpleza del proceso, el cual requiere supervisión diaria pero no de manera exhaustiva, por lo que no sería necesario personal extra, ya que con el propio de la fábrica de cerveza sería más que suficiente. El momento que más atención requiere es el tostado, que debe de ser controlado en el peor de los casos cada 1-2 horas para cambiar la temperatura, lo cual teniendo en cuenta la proximidad de la maltería a la planta, puede realizarlo cualquier trabajador. En el resto de los procesos, como la germinación, solo debe de atenderse de 2 a 3 veces al día.

5.1. INVERSION INICIAL

Teniendo en cuenta lo antes dicho, la inversión inicial corresponderá totalmente al coste de los equipos necesarios, tal y como puede verse en la Tabla 5:

Tabla 6. Inversión inicial de equipos

<i>Equipo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Coste unitario (€)</i>	<i>Coste total (€)</i>
<i>Limpiador de grano</i>	1	950	950
<i>Cajón de remojo</i>	4	350	1.400
<i>Caja de germinación</i>	4	250	1.000
<i>Secador-Tostador</i>	1	550	550
<i>Ventilador calefactor</i>	1	400	400
<i>Silo 3,98m³</i>	5	1.100	5.500
<i>Depósito 400L</i>	1	325	325
<i>Depósito 1300L</i>	1	750	750
<i>Elevador tornillo sinfn</i>	1	1.759	1.759
<i>Termómetro digital</i>	8	29,50	236
<i>Medidor de humedad</i>	1	50	50
<i>digital</i>			
<i>Total</i>			12.920 €

Como puede verse, la inversión inicial no es desorbitada. Algunos equipos deben ser construidos según especificaciones, lo cual podría variar el precio estimado.

5.2. COSTES MATERIAS PRIMAS

El coste mensual de materias primas se contabilizará teniendo en cuenta el precio de la cebada y el trigo cervecero según la cotización de la “Comisión de precios de 11 de diciembre de 2018”, La Lonja de Sevilla:

Tabla 7 Costes materias primas

<i>Materia prima</i>	<i>Coste (€/Kg)</i>	<i>Consumo (Kg)</i>	<i>Coste total (€)</i>
<i>Cebada</i>	0,193	4.250	820,25
<i>Trigo</i>	0,198	720	142,56
<i>Total</i>			962,81 €

5.3. COSTES DE COMBUSTIBLE

Como se ha visto, el equipo que se utilizará para tostar la malta es un ventilador calefactor, el cual funciona a base de gasoil. El mismo, tiene un consumo máximo de 4,7 litros de gasoil por hora, que solo deberá alcanzarse este máximo en la producción de la malta Caramel, para el resto, la temperatura no sobrepasará los 100°C, por lo que el consumo será más reducido. Teniendo en cuenta esto y las horas que se requieren de su uso, se calcula un gasto mensual de:

Tabla 8 Consumo de combustible

<i>Malta</i>	<i>Consumo (l/h)</i>	<i>Tiempo uso (h)</i>	<i>Consumo total (l)</i>	<i>Precio gasoil (€/l)</i>	<i>Coste total (€)</i>
<i>Pilsen y trigo</i>	4,7	8	37,6	1,24	46,6
<i>Caramel</i>	3,5	80	280	1,24	347,2
<i>Total</i>			317,6 l		393,8 €

5.4. COSTES DE AGUA

El agua, es necesaria tanto en la etapa de remojo como en la de germinación. Tal y como refleja el resumen de tarifas de *Emasesa* para consumo de agua de uso no doméstico, el precio de esta es de 0,671 €/m³

Tabla 9 Consumo de agua

<i>Consumo de agua (m³)</i>	<i>Precio agua (€/m³)</i>	<i>Coste total (€)</i>
3,9	0,671	2,6 €

Como puede observarse, al ser el consumo de agua tan reducido, el coste asociado a esta es prácticamente despreciable.

5.5. COSTE ENERGÍA ELÉCTRICA

Dejando a un lado el consumo eléctrico de la planta de por sí, la cual estará climatizada, hay varios equipos que requieren de consumo eléctrico. El precio del kWh, según la web “*Tarifasluz*” de *Endesa* para el consumo por profesionales es de aproximadamente 0,145 €/kWh:

Tabla 10 Coste energía eléctrica

<i>Equipo</i>	<i>Potencia (kW)</i>	<i>Duración operación (h)</i>	<i>Consumo (kWh)</i>	<i>Coste (€/kWh)</i>	<i>Coste total (€)</i>
<i>Limpiador de grano</i>	0,85	80	68	0,145	9,86
<i>Elevador tornillo sinfín</i>	1,5	1	1,5	0,145	0,22
Total					10,07 €

5.6. DIFERENCIA DE COSTES

Visto esto, se puede calcular el coste anual de producción de la malta, y compararlo con el coste de la compra de esta externamente:

Tabla 11 Coste de producción anual

<i>Gastos</i>	<i>Coste anual (€)</i>
<i>Materias primas</i>	962,81
<i>Combustible</i>	4.011,36
<i>Agua</i>	31,2
<i>Energía eléctrica</i>	120,84
<i>Total</i>	5.126,21 €

Ahora bien, si se realizase la adquisición de la malta mediante una empresa externa, el precio de esta variaría. Además, habría que tener en cuenta la diferencia de precios entre las distintas maltas (*Malteurop Groupe S.A*):

Tabla 12 Coste adquisición externa de malta

<i>Tipo de malta</i>	<i>Precio (€/kg)</i>	<i>Cantidad anual (kg)</i>	<i>Coste (€)</i>
<i>Pilsen</i>	1,52	3.240	4.924,8
<i>Trigo</i>	1,58	600	948
<i>Caramel</i>	1,75	160	280
<i>Total</i>			6.152,8 €

6. CONCLUSIONES

Como puede verse, el hecho de producir una malta propia tiene un efecto poco significativo en cuanto al ahorro de costes, los cuales ni siquiera llegan a 1.000€ anuales, lo cual, teniendo en cuenta la inversión inicial, la hace poco prometedora. Suponiendo que la propia fabrica pudiese sufragar los gastos de inversión inicial y no requiriese de ningún tipo de préstamo, el interés en este caso sería $k=0$. Por lo tanto, para ver en cuanto tiempo se amortiza la inversión inicial se tiene que:

$$12.920 + \sum_{i=1}^n \frac{5.126,21}{(1+0)^i} < \sum_{i=1}^n \frac{6.152,8}{(1+0)^i} \quad (\text{Ec. 37})$$

Esto se da cuando $n=13$, por lo tanto, si la fábrica continuase con su actividad actual, no se rentabilizaría esta inversión inicial hasta pasados 13 años. Sin embargo, si la producción de la fábrica aumentase, esto supondría también el ahorro de costes asociados a la producción de malta propia.

En el mercado actual de la cerveza, en el cual está ganando cada vez más protagonismo los productos artesanales y naturales, esto podría tener un efecto positivo, ya que se podría promocionar la cerveza como algo novedoso, más natural y casero que cualquier otra cerveza artesanal, que obtiene su principal ingrediente (la malta) producida de manera industrial. Además, se podría ofrecer una mayor variedad de sabores, al tener la propia fábrica el control de la producción de la malta, haciendo la cerveza 100% artesanal, pues no solo se limita a producir esta, sino también a producir las materias primas que requiere. De esta manera, podría aumentarse las ventas e incluso, se podría barajar la posibilidad de poner en venta las maltas en sí para que el consumidor produzca cerveza artesanal en casa, actividad que está ganando cada vez más popularidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «BOE» núm. 113, de 11 de mayo de 1984
- [2] «Cervecera Independiente» [En línea]. Available: <https://cervecera independiente.com/cultura-cervecera/tipos-de-cerveza-por-su-fermentacion/> (Consultado en noviembre 2018)
- [3] «El siglo de torreón» [En línea]. Available: <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/982719.el-origen-de-la-cerveza.html> (Consultado en noviembre 2018)
- [4] «Cerveceros de México» [En línea]. Available: <https://cervecerosdemexico.com/2017/03/28/los-11-tipos-de-malta-que-mas-se-utilizan-en-la-cerveza/> (Consultado en noviembre 2018)
- [5] «Cerveza artesanal» [En línea]. Available: <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-de-la-malta.html> (Consultado en noviembre 2018)
- [6] «Con mucha gula» [En línea]. Available: <https://www.conmuchagula.com/la-cebada-el-cereal-mas-utilizado-para-la-elaboracion-de-la-cerveza/> (Consultado en noviembre 2018)
- [7] «Depositphotos» [En línea]. Available: <https://mx.depositphotos.com/14868325/stock-photo-seeds-and-barley-grains.html> (Consultado en noviembre 2018)
- [8] Tecnología para cerveceros y malteros, Wolfgang Kunze, 2006
- [9] «Más capacitación: Cerveza» [En línea]. Available: <https://mascapacitacionencerveza.wordpress.com/ingredientes-esenciales-cebada-malteada/> (Consultado en noviembre 2018)
- [10] Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de elaboración de malta, Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino, 2009
- [11] «Maltear» [En línea]. Available: http://www.maltear.com/malta_produccion.html (Consultado en noviembre 2018)
- [12] «Validación de las nuevas tecnologías para la producción de malta para desarrollar una agroindustria a los productores de cebada del estado de México» [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/2908420/> (Consultado en diciembre 2018)

- [13] «Vida y obra de granos y semillas» [En línea]. Available: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/sec_6.htm (Consultado en diciembre 2018)
- [14] «VenAmérica» [En línea]. Available: <https://revistavenamerica.com/investigacion-competencia-desleal-en-mercado-de-cebada-maltera-para-la-produccion-de-cerveza/> (Consultado en diciembre 2018)
- [15] «Wikipedia» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada> (Consultado en diciembre 2018)
- [16] «Mister cervecero» [En línea]. Available: <https://mistercervecero.es/> (Consultado en diciembre 2018)
- [17] «love2brew» [En línea]. Available: <https://www.love2brew.com/Czech-Pilsner-Extract-Kit-p/sbk005a.htm> (Consultado en diciembre 2018)
- [18] «Kegator» [En línea]. Available: <https://learn.kegator.com/irish-red-ale/> (Consultado en diciembre 2018)
- [19] «Cocinista» [En línea]. Available: <https://www.cocinista.es/web/es/recetas/hacer-cerveza/recetas-todo-grano/cerveza-de-trigo-ii-.html> (Consultado en diciembre 2018)
- [20] «Cervezomicón» [En línea]. Available: <https://cervezomicon.com/tag/malta-pilsner/> (Consultado en diciembre 2018)

ANEXO I. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

