



Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural
Especialidad Industrias Agrarias y Alimentarias

Proyecto preliminar para el diseño y distribución en planta de
una cervecería artesana en Canfranc (Huesca)

Preliminary project for the design and distribution of a craft
brewery in Canfranc (Huesca)

Autor

Jesús Emiliano Fernández Domingo

Directores

Dña. María Eugenia Venturini Crespo

D. José Ignacio Villacampa Elfau

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2020

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	1
2 HISTORIA.....	14
3 ANÁLISIS DEL SECTOR	21
4 MATERIAS PRIMAS Y RECETAS	35
5 PROCESO DE ELABORACIÓN	63
6 PRUEBA EXPERIMENTAL.....	85
7 BALANCES DE MATERIA Y DE ENERGÍA	100
8 DIMENSIONADO DE LOS EQUIPOS	136
9 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	167
10 BIBLIOGRAFÍA	167

ÍNDICE DESGLOSADO

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo del proyecto	1
1.2 Situación	1
1.2.1 Localización.....	1
1.2.2 Comunicaciones y servicios	4
1.1 Parcela	6
1.2 Producto	6
1.2.1 Elección del producto	6
1.2.2 Recetas	6
1.2.3 Lotes	7
1.2.4 Nicho de mercado	8
1.2.5 Materias primas.....	8
1.2.6 Subproductos.....	9
1.3 Actividad a desarrollar.....	9
1.3.1 Usos y superficies de la agroindustria	9
1.3.2 Plan productivo.....	10
1.3.3 Proceso de elaboración	11
1.3.4 Equipos y dimensiones	12
1.3.5 Mano de obra empleada	13
2 HISTORIA.....	14
2.1 Definiciones	14
2.2 Historia de la cerveza.....	14
2.2.1 El comienzo de la cerveza.....	14
2.2.2 Cristianismo	16
2.2.3 La revolución industrial	18
2.2.4 La cerveza en España	18

2.2.5 Antecedentes de las recetas a elaborar	19
3 ANÁLISIS DEL SECTOR	21
3.1 Introducción.....	21
3.2 Mercado europeo.....	21
3.3 Mercado español.....	25
3.4 Mercado artesano	26
3.4.1 Definición del producto	26
3.4.2 Datos del sector cervecero artesano.....	27
3.4.3 Descripción general del sector cervecero artesano	30
3.4.4 Consumidor de cerveza artesana	31
3.4.5 Cerveceras y negocios cerveceros cerca de Huesca.....	33
4 MATERIAS PRIMAS Y RECETAS	35
4.1 Cebada	35
4.1.1 Introducción	35
4.1.2 La planta de cebada.....	35
4.1.3 El grano de cebada	36
4.1.4 Composición química	37
4.1.5 Cebada cervecera	38
4.2 Lúpulo	39
4.2.1 Introducción	39
4.2.2 La planta	40
4.2.3 Recolección y secado.....	42
4.2.4 Composición química	42
4.2.5 Enfermedades.....	43
4.3 Agua	44
4.3.1 Introducción	44
4.3.2 Composición química	45

4.3.3 Tratamientos de agua.....	47
4.4 La Levadura.....	47
4.4.1 Introducción	47
4.4.2 Taxonomía del género <i>Saccharomyces</i>	48
4.4.3 Estructura	49
4.4.4 Nutrición	50
4.4.5 Ciclo vital.....	51
4.4.6 Floculación.....	52
4.4.7 Propiedades deseadas por los cerveceros	53
4.5 Otros cereales utilizados en cervecería.....	54
4.5.1 Adjuntos	54
4.5.2 Trigo.....	55
4.5.3 Arroz	55
4.5.4 Avena.....	56
4.5.5 Centeno	56
4.5.6 Maíz	56
4.5.7 Sorgo.....	57
4.6 Recetas.....	57
4.6.1 Introducción	57
4.6.2 Maltas	57
4.6.3 Lúpulo	59
4.6.4 Cantidades de materias primas	60
5 PROCESO DE ELABORACIÓN.....	63
5.1 Introducción.....	63
5.2 Producción del mosto.....	63
5.2.1 Recepción y molienda de la malta.....	63
5.2.2 MACERACIÓN O EXTRACCIÓN	64

5.2.3 Filtrado y lavado del mosto dulce	67
5.2.4 Cocción y lupulado	69
5.2.5 Clarificación y enfriamiento.....	71
5.3 Fermentación.....	72
5.3.1 Introducción	72
5.3.2 Entrada de los nutrientes a la célula	72
5.3.3 El crecimiento celular	73
5.3.4 Tipos de fermentación y sus características.....	74
5.3.5 Factores que afectan a la fermentación.....	76
5.3.6 Metabolitos formados en la fermentación	76
5.3.7 Manejo de las levaduras.....	77
5.4 Procesos finales	78
5.4.1 Maduración	78
5.4.2 Clarificación	79
5.4.3 Envasado y estabilidad biológica.....	80
5.5 Diferencias entre la cerveza industrial y la artesana.....	81
5.6 Diagramas de flujo.....	82
6 PRUEBA EXPERIMENTAL	85
6.1 Introducción.....	85
6.2 Cervecería	85
6.3 Proceso de elaboración de cerveza artesana.....	86
6.3.1 Diagrama de flujo	86
6.3.2 Recepción y molienda.....	87
6.3.3 Maceración o extracción y filtrado.....	87
6.3.4 Cocción y lupulado	92
6.3.5 Enfriado	94
6.3.6 Fermentación.....	94

6.3.7 Guarda	96
6.3.8 Envasado.....	96
6.4 Bagazos	96
6.4.1 Toma de datos	96
7 BALANCES DE MATERIA Y DE ENERGÍA.....	100
7.1 Introducción.....	100
7.2 Balance de Materia (BM).....	100
7.2.1 Cálculos para el balance de materia. Receta: Ámbar de Abadía.....	102
7.2.2 Resultados de los balances de materia para todas las recetas.	115
7.3 Balance de Energía (BE)	122
7.3.1 Introducción	122
7.3.2 Cronograma.....	122
7.3.3 Esquema distribución de equipos	124
7.3.4 Obtención de datos para los cálculos.....	126
7.3.5 Cálculos.....	128
8 DIMENSIONADO DE LOS EQUIPOS.....	136
8.1 Introducción.....	136
8.2 Esquema general	136
8.3 Molino.....	138
8.4 Interacumulador de 1000 litros.....	139
8.5 Slow Beer 500 Plus	141
8.6 Intercambiadores de placas	143
8.6.1 Intercambiador 1	147
8.6.2 Intercambiador 2	148
8.7 Fermentadores	152
8.8 Embotelladora	153
8.9 Etiquetadora	154

8.10 Caldera.....	155
8.11 Sistema de refrigeración.....	159
8.1 Recopilación de todos los equipos de la planta de producción	165
9 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA.....	167
10 BIBLIOGRAFÍA.....	169
11 AGRADECIMIENTOS	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Posición de la parcela con respecto al pueblo Canfranc-Estación.	2
Figura 1.2. Parcela.	2
Figura 1.3. Valle del Aragón.....	3
Figura 1.4. Ubicación de la provincia de Huesca, con sus comarcas, en España.	4
Figura 1.5. Mapa general de los Pirineos.	5
Figura 1.6. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de la cerveza artesana.....	11
Figura 2.1. "Cono funerario" del museo Egipcio de Barcelona, en el que dice: "Jefe de la dotación de aves, cervecero de Amón, Ab-em-useiet".....	15
Figura 2.2. La cerveza en el antiguo Egipto, ofrenda.	16
Figura 2.3. Reinheitsgebot, Ley de Pureza Alemana.	17
Figura 2.4. Fábrica de cerveza La Cruz Blanca, 1797, en Santander.	18
Figura 3.1. Los diez mayores países productores de cerveza en Europa.....	21
Figura 3.2. Los diez mayores países consumidores de cerveza en Europa.	22
Figura 3.3. Los diez mayores países consumidores de cerveza por habitante en Europa.	23
Figura 3.4. Los diez primeros países con más Compañías Activas y Microcervecerías..	24
Figura 3.5. Producciones de las compañías más grandes del sector cervecero Español.	25
Figura 3.6. Porcentaje de utilización del tipo de envase.....	26
Figura 3.7. Evolución de la producción de cerveza artesana en España.....	28
Figura 3.8. Evolución del número de microcervecerías en España.....	28
Figura 3.9. Distribución en porcentaje de las microcervecerías por Comunidad Autónoma.....	29
Figura 3.10. Distribución del consumidor de cerveza artesana por edad.....	32
Figura 3.11. Distribución de los diferentes negocios cerveceros cercanos a la ciudad de Huesca.	34

Figura 4.1. Planta de cebada.	36
Figura 4.2. Sección del grano de cebada.	37
Figura 4.3. Flor del lúpulo.	40
Figura 4.4. Dibujo de la flor del lúpulo.	41
Figura 4.5. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) con crio fractura. A.V. Carrascosa.	48
Figura 4.6. Reproducción asexual y sexual de la levadura.	52
Figura 4.7. Ilustración de diferentes cereales.	54
Figura 4.8. Colores asociados a los grados EBC.	58
Figura 4.9. Graduación del amargor del lúpulo en grados IBU.	60

Figura 5.1. Lecho filtrante de malta cortado manualmente en el fondo del tanque de maceración.	69
Figura 5.2. Fases de crecimiento celular discontinuo.	74
Figura 5.3. Diagrama de flujo general de la cerveza.	84
Figura 5.4. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza artesana.	84
Figura 5.5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza industrial.	84

Figura 6.1. Fermentador troncocónico.	86
Figura 6.2. Sala de cocción.	86
Figura 6.3. Diagrama de flujo general para la elaboración de cerveza artesana.	87
Figura 6.4. Interior del tanque de maceración.	88
Figura 6.5. Lecho filtrante formado por la cascarilla de malta cortado manualmente.	89
Figura 6.6. Densidad del mosto dulce ajustada. Valor= 1.037 (kg/L).	90
Figura 6.7. Densidad del mosto dulce sin ajustar. Valor= 1.042 (kg/L).	90
Figura 6.8. Bagazo de malta en el fondo del tanque de maceración.	91
Figura 6.9. Toma de datos del bagazo de malta.	91
Figura 6.10. Bagazo de malta extraído del tanque de maceración.	91
Figura 6.11. Pellet de lúpulo.	92
Figura 6.12. Vertido de lúpulo en el tanque de cocción.	93
Figura 6.13. Relleno del tanque de fermentación con el mosto ya enfriado.	94

Figura 6.14. Etapa de enfriado. Conexiones del intercambiador de placas.....	94
Figura 6.15. Tanque de fermentación lleno y con la levadura.....	95
Figura 6.16. Densidad de la cerveza fermentado (cerveza verde). Valor= 1.006 (kg/L)	95
Figura 6.17. Toma de muestras de bagazos de malta y lúpulo húmedos.....	97
Figura 6.18. Muestras de bagazo de malta y lúpulo preparadas para ser introducidas en la estufa.	97
Figura 6.19. Muestras de bagazo de malta y lúpulo tras ser secadas durante 5 horas a 100 °C.....	98

Figura 7.1. Diagrama de flujos del proceso de elaboración de la cerveza.....	100
Figura 7.2. Explicación de la Ecuación 6.1.....	101
Figura 7.3. Diagrama de flujo a la cocción para obtener la densidad del mosto macerado (ρ_3).	105
Figura 7.4. Diagrama de flujo por Etapas.	108
Figura 7.5. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Cálculo de densidades.	111
Figura 7.6. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de materia.	112
Figura 7.7. Corrientes de la etapa de extracción o maceración y filtrado (Etapa 2) con sus valores.	113
Figura 7.8. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.	118
Figura 7.9. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza Rubia de Centeno.	119
Figura 7.10. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza de Trigo.	120
Figura 7.11. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza Oscura de Abadía.	121
Figura 7.12. Cronograma del proceso de elaboración de 1000 litros de cerveza artesana con tanque de maceración y cocción de aproximadamente 500 litros de capacidad. 123	

Figura 7.13. Esquema de los equipos y sus temperaturas necesarios para la elaboración de cerveza artesana.....	125
Figura 7.14. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la ecuación 7.41 a la 7.47.....	134
Figura 7.15. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la Ecuación 7.34 a la 7.40.....	134
Figura 7.16. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la ecuación 7.48 a la 7.56.....	135

Figura 8.1. Diagrama general de los equipos de la planta de producción.....	137
Figura 8.2. Molino.....	138
Figura 8.3. Interacumulador.....	140
Figura 8.4. Slow Beer 500 plus.	142
Figura 8.5. Diagrama inicial para el dimensionado de los intercambiadores de calor de placas.....	145
Figura 8.6. Dibujo para la comprensión del funcionamiento de un intercambiador de placas.....	146
Figura 8.7. Diagrama de flujos de los dos intercambiadores de placas con los resultados.	150
Figura 8.8. Interfaz programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones del segundo intercambiador.	151
Figura 8.9. Interfaz programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones del primer intercambiador.	151
Figura 8.10. Fermentador isobárico.	153
Figura 8.11. Embotelladora.	154
Figura 8.12. Etiquetadora.	155
Figura 8.13. Diagrama para de necesidades térmicas para el cálculo de la caldera....	156
Figura 8.14. Diagrama para el cálculo de la caldera.....	157
Figura 8.15. Caldera de pellets.	158
Figura 8.16. Sistema de refrigeración.....	159
Figura 8.17. Esquema circuito de refrigeración.	160

Figura 8.18. Diagrama de Mollier para el ciclo de compresión mecánica del sistema de refrigeración.	162
Figura 8.19. Sistema de refrigeración CWCH-MCK441 de 50.7 kW de Brewery System.	164
Figura 8.20. Depósito acumulador de agua glicolada modelo ICWT-500 de Brewery System.	164

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Producción por lotes.....	7
Tabla 1.2. Cuadro de superficies útiles y construidas de la planta de producción.	10
Tabla 1.3. Resumen de los equipos de la planta de producción.....	13
Tabla 4.1. Materias primas utilizadas para 1000 litros de cerveza.	62
Tabla 4.2. Materias primas utilizadas para 500 litros de cerveza.	62
Tabla 5.1. Diferencias entre la cerveza industrial y la artesana.....	82
Tabla 6.1. Toma de datos de bagazo de malta.....	92
Tabla 6.2. Datos totales de la malta y su bagazo.	92
Tabla 6.3. Datos totales del lúpulo y su bagazo.	93
Tabla 6.4. Datos experimentales de las muestras de bagazo de malta y lúpulo, obtenidos en Cervezas Borda.....	98
Tabla 7.1. Cantidad de materias primas para cerveza Ámbar de Abadía.	102
Tabla 7.2. Relación grados BRIX, densidad y kilogramos de azúcar por litro de agua. 104	
Tabla 7.3. Representación de la cantidad de etanol y de azúcares en mezcla por separado.	106
Tabla 7.4. Valores de las variables conocidas para realizar el balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.....	107
Tabla 7.5. Representación de las ecuaciones e incógnitas del balance de materia. ...	110
Tabla 7.6. Resultados obtenidos del balance de materia de la cerveza Ámbar de Abadía.....	111
Tabla 7.7. Datos experimentales de las muestras de bagazo de malta y lúpulo, obtenidos en Cervezas Borda.....	112
Tabla 7.8. Cantidad de materias primas para la elaboración de 1000 litros de cerveza para diferentes recetas.....	115

Tabla 7.9. Cantidad de materias primas para la elaboración de 500 litros de cerveza Oscura de Abadía.....	115
Tabla 7.10. Resultados del balance de materia para la cerveza Rubia de Centeno.....	116
Tabla 7.11. Resultados del balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.	116
Tabla 7.12. Resultados del balance de materia para la cerveza de Trigo.	117
Tabla 7.13. Resultados del balance de materia para la cerveza Oscura de Abadía.	117
Tabla 7.14. Datos necesarios para la realización de los balances de energía.....	127
Tabla 7.15. Resultados del balance de energía.	133
Tabla 8.1. Datos técnicos del molino de malta.	139
Tabla 8.2. Datos técnicos del equipo Slow Beer 500 plus.....	143
Tabla 8.3. Tabla de valores típicos del coeficiente global de transferencia de calor de diferentes tipos de intercambiadores de calor.	144
Tabla 8.4. Datos de los intercambiadores de calor de placas.	146
Tabla 8.5. Tamaños de placa dependiendo del modelo de intercambiador.....	147
Tabla 8.6. Temperatura de congelación del agua glicolada en función de la concentración de glicol en agua.....	149
Tabla 8.7. Resultados intercambiadores de placas.	150
Tabla 8.8. Características fermentador.	153
Tabla 8.9. Características embotelladora.....	154
Tabla 8.10. Características etiquetadora.....	155
Tabla 8.11. Características caldera pellet.....	158
Tabla 8.12. Datos recopilados en una práctica de la asignatura de instalaciones agroindustriales.	161
Tabla 8.13. Propiedades termodinámicas de los diferentes puntos del ciclo de compresión mecánica.....	162
Tabla 8.14. Resultados equipo de refrigeración.....	163
Tabla 8.15. Datos técnicos depósito de agua glicolada.....	165
Tabla 8.16. Datos técnicos equipo de refrigeración.....	165
Tabla 8.17. Resumen de los equipos de la planta de producción.....	166

RESUMEN

En el presente proyecto preliminar se trata el diseño y distribución en planta de una cervecería artesana, la cual se ubicará en una parcela a las afueras del pueblo de Canfranc-Estación, donde el abastecimiento de agua, la red de alcantarillado, la electricidad, el internet y la telefonía están garantizados por el Ayuntamiento del municipio. Se propone producir 3500 litros de cuatro tipos diferentes de cerveza y que la cervecería tenga la capacidad de poder duplicar su producción en el caso de que la demanda lo permita. Para conseguir este propósito se explicará en profundidad las materias primas y recetas, el proceso de elaboración, se realizará una prueba experimental para la obtención de datos necesarios para los balances de materia y energía, previo al dimensionado de los equipos y la distribución en planta. Este proyecto preliminar también incluye un apartado histórico donde contextualiza el producto y un análisis del sector actual.

Palabras clave: Cerveza, artesana, cervecería, malta, lúpulo.

ABSTRACT

In this preliminary project the purpose is to design and lay out the equipment of a brewery which will be located in a plot on the outskirts of Canfranc-Estación, where water supply, sewer system, electricity, the internet and phone network are guaranteed by the city hall. It is meant to produce 3,500 liters of four different types of beer and in case of the consumers' demand to double its production. In order to achieve this objective I will explain the raw materials, the recipes and the beer-making thoroughly; an experimental test will be performed to get the necessary data so as to know the material balance and energy before the equipment sizing and the layout of the plan. This preliminary project also includes a background section where the product is contextualized together with a current analysis of the sector.

Key words: beer, craft , brewery, malt, hop.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivo del proyecto

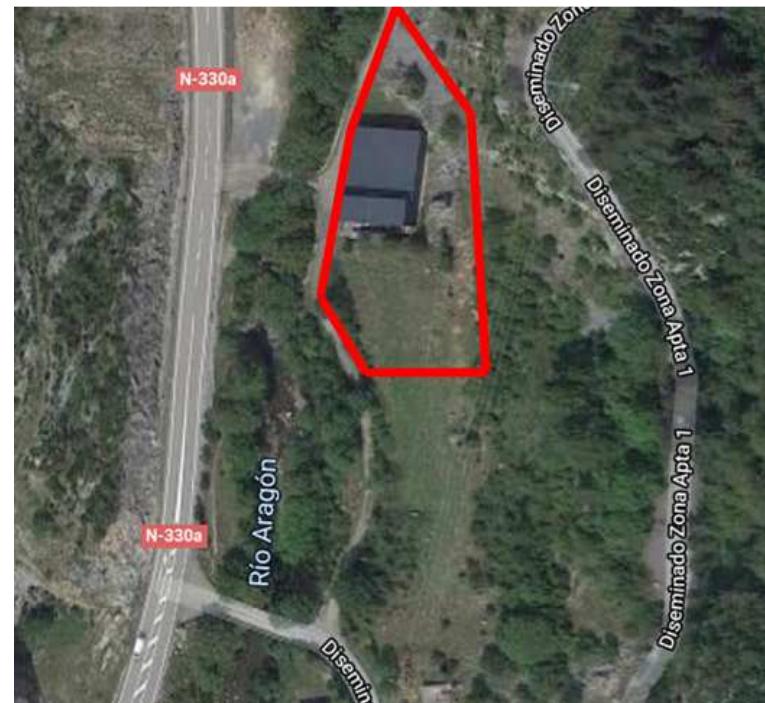
El objetivo de este proyecto preliminar es el diseño y distribución en planta de los equipos necesarios para la elaboración de cuatro tipos diferentes de cerveza artesana, dos cervezas de abadía, ámbar y oscura, una de centeno y otra de trigo. Por motivos que se expondrán a lo largo del proyecto se ha decidido producir 1000 litros de cada una de ellas, excepto de la oscura de abadía, de la cual se producirán 500 por lote, es decir un total de 3500 litros.

Para conseguir el objetivo de este proyecto se debe dar una visión general del producto. Para ello se realiza una explicación histórica y un análisis del sector, tanto artesano como industrial. Se aporta una amplia explicación de las diferentes materias primas y de las recetas que se van a elaborar. En cuanto al proceso de elaboración se explica tanto el industrial como el artesano, así como sus diferencias, y se completa con una práctica en una cervecería en la que el autor ayuda a Felipe, maestro cervecer de cervezas Borda, a elaborar un lote de 500 litros de cerveza de trigo. Con toda esa información ya se puede llevar a cabo el dimensionado y distribución en planta de todos los equipos necesarios, apoyándose de los balances de materia y energía previamente realizados.

1.2 Situación

1.2.1 Localización

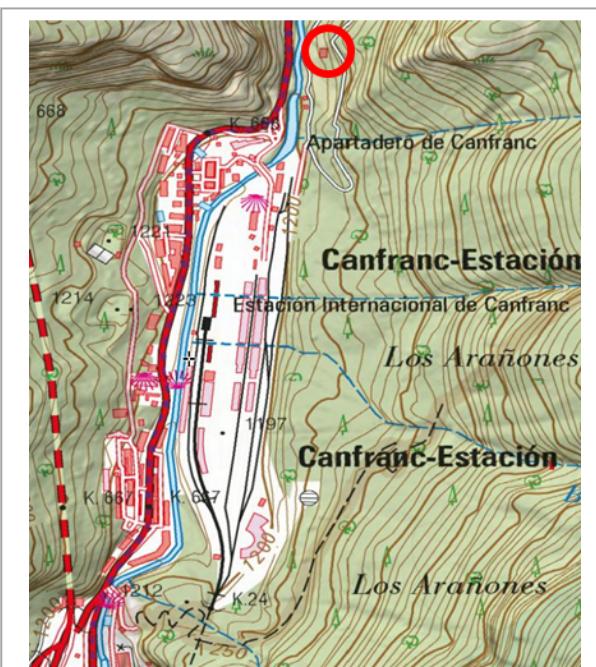
La agroindustria se ha situado en la salida norte del pueblo de Canfranc-Estación. En la Figura 1.2 se puede observar el perímetro de la parcela delimitado en color rojo. Está ubicada en la ribera izquierda del río Aragón, aunque la carretera (N-330a) transcurra por la ribera derecha la parcela se comunica con ella con un puente. El firme hasta la llegada a la parcela, desde la carretera, no está asfaltado, pero el camino es accesible por cualquier vehículo.



Fuente: Visor de Google Maps.

Figura 1.2. Parcela.

El pueblo de Canfranc-Estación se encuentra en el Valle del Aragón. El río Aragón nace en Astún y transcurre por el Valle del Aragón hasta Jaca, donde cambia su orientación por la canal de Berdún hasta tierras Navarras, donde desembocará en el río Ebro. En la Figura 1.1 se muestra donde está ubicada la parcela, rodeada con un círculo de color rojo, con respecto al pueblo Canfranc-Estación.



Fuente: Visor Iberpix, del Instituto Geográfico Nacional.

Figura 1.1. Posición de la parcela con respecto al pueblo Canfranc-Estación.

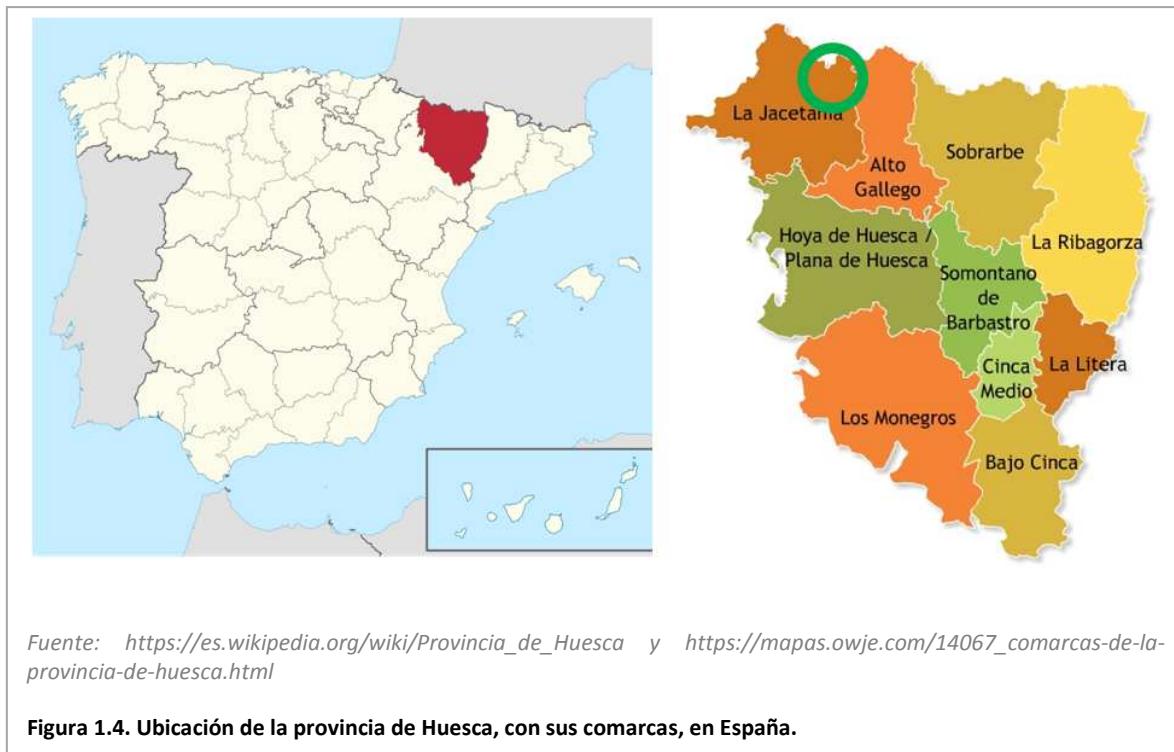
En la Figura 1.3 se representa el valle del Aragón, en toda su extensión donde aparece Jaca y Sabiñánigo, esta última no pertenece al valle, dos ciudades más conocidas que ayudan a la ubicación del pueblo. Y por último en la Figura 1.4 se da una visión mucho más general donde se muestra la ubicación de la provincia de Huesca en España y la comarca en la que se encuentra Canfranc-Estación dentro de la provincia.



Fuente: <http://www.lospirineos.info/mapas/mapas.htm#>

Figura 1.3. Valle del Aragón.

En la Figura 1.4 se da información de donde está ubicada la provincia de Huesca en España y de sus comarcas, donde se rodea con un círculo verde la ubicación aproximada de la cervecera.



1.2.2 Comunicaciones y servicios

El nombre del pueblo, Canfranc-Estación se debe a que a finales del los años 20 se inauguró la estación ferroviaria, que comunicaba Francia y España por Somport. Esta conexión fue cerrada en los años 70 debido al que un tren descarriló en el lado francés. A día de hoy conecta, una línea de tren llamada el Canfranero, la ciudad de Zaragoza con el pueblo. Es un trayecto muy largo, porque la velocidad del tren es muy lenta y va parando a lo largo de la línea en multitud de pueblos y ciudades, Huesca, Ayerbe, Murillo de Gállego, Jaca y Villanúa entre otros muchos. Se está reformando para volver a conectar Francia y España.

A parte de la línea de tren, la nacional ya nombrada, N-330, hace de conexión con Jaca, que es la ciudad más cercana y también conecta con Francia a través del túnel del Somport. Jaca, en un futuro, cuando se acaben las obras, conectará con Pamplona gracias la A-21, y con Huesca, a falta de la apertura de algunos tramos, por la Autovía Mudéjar.

Esta red de carreteras y vías ferroviarias hacen de Canfranc-Estación un lugar con muy buenas comunicaciones, incluso en los meses de invierno, porque al ser lugar

de paso de esquiadores con destino a Astún y Candanchú, las carreteras son limpiadas de nieve con gran rapidez.

En la Figura 1.5 se muestra un mapa general de Los Pirineos, que se va a utilizar para justificar el emplazamiento de la cervecera.



Fuente: <http://www.lospirineos.info/mapas/mapas.htm#>

Figura 1.5. Mapa general de los Pirineos.

En el punto 3, Análisis del sector, de este proyecto se muestra la Figura 3.11, la cual ubica las diferentes cerveceras artesanas cercanas a la ciudad de Huesca. Las más cercanas al pueblo de Canfranc-Estación son la de Pirineos Bier, ubicada unos pocos kilómetros sobre Hecho, la de Tramacastilla de Tena, a pocos kilómetros de Panticosa y la de Tiberio en el balneario de Panticosa. Después de estas la más cercana se encuentra en Aineto (Cervezas Borda) a 84 kilómetros y la de Navarri (Rondadora) a 118 kilómetros.

Se ha decidido ubicar la cervecera en esta localidad por varias razones:

- Las comunicaciones, como ya se ha dicho, son muy buenas, tanto de carreteras como en un futuro de ferrocarril.
- La zona es un lugar emblemático de Los Pirineos, tanto por la cercanía de dos de las cinco estaciones de esquí altoaragonesas, como por la cercanía a la ciudad de Jaca, por sus recorridos de alta montaña, en los cuales se realizan varias carreras de montaña a lo largo del año, y por supuesto por su lugar más emblemático la estación de tren. En resumen es un lugar muy visitado tanto en verano como en invierno.

- El valle del Aragón no posee ninguna agroindustria de estas características. En los valles colindantes, el de Hecho y Ansó y el de Tena sí que tienen. Esta razón es un aliciente para que la gente del valle, desde Astún hasta Jaca sean consumidores de este producto local.
- El agua utilizada procede de manantial y es agua muy blanda, por lo que el tratamiento es mínimo.

Tanto el abastecimiento de agua, como la red de alcantarillado, como la electricidad, el internet y la telefonía están garantizados por el Ayuntamiento del municipio.

1.1 Parcela

En la Figura 1.1 se aprecia el punto de acceso desde la carretera a la parcela. Se ve una edificación en ella la cual era el antiguo horno de pan, ahora abandonado. Este proyecto preliminar no trata aspectos de edificación, simplemente se dará una posible distribución en planta de la cervecería que se podría proponer dentro de la edificación actual tras una reforma. La parcela permite tener un espacio de aparcamiento y a su vez de carga y descarga de las materias primas y del producto acabado. Su área aproximada es de 2000 metros cuadrados.

1.2 Producto

1.2.1 Elección del producto

Se ha decidido elaborar cerveza artesana porque es un sector que está en auge, tal y como se expondrá en el punto 2, Análisis del Sector. La cerveza artesana es un producto de calidad, elaborado con las mejores materias primas y de forma que el factor humano sea determinante en el producto final.

1.2.2 Recetas

Se ha elegido elaborar cuatro recetas diferentes, para intentar cubrir un amplio abanico de la demanda. Para los amantes de las cervezas negras se elaborará una cerveza oscura de abadía. Para los demandantes de cervezas con cuerpo, y sabores fuertes se ha optado por la cerveza ámbar de abadía. De cara al consumo más habitual se ha decidido elaborar dos tipos más suaves pero con carácter, uno es la rubia de

centeno, la cual a la vez que refrescante tendrá aromas y sabores propios de las cervezas elaboradas con este cereal, y la cerveza de trigo que también será suave, pero con el sabor característico de las cervezas elaboradas con malta de trigo. Estas dos últimas se utilizarán para fidelizar nuevos clientes, los que estén acostumbrados a beber cerveza industrial, ya que notarán el frescor propio de la cerveza industrial pero con sabores y aromas que no encontrarán en los productos industriales.

1.2.3 Lotes

En la Tabla 1.1 se muestran las cantidades a realizar de cada una de las recetas. Se pretende elaborar 1000 litros de cada una de ellas, exceptuando la Oscura de Abadía, de la cual se elaborarán tan solo 500 litros. Se pretende elaborar menos cerveza negra porque la demanda de este producto suele ser menor. Dependiendo de las ventas se adecuarán las cantidades a elaborar.

Tabla 1.1. Producción por lotes.	
Recetas	Cantidad por lote (L)
Ámbar de Abadía	1000
Rubia de Centeno	1000
De Trigo	1000
Oscura de Abadía	500

Un lote tarda en elaborarse aproximadamente un mes. Necesita un día para realizar las primeras etapas hasta la fermentación, que durará alrededor de una semana, y la guarda durará aproximadamente tres semanas. Estos tiempos se justifican y explican con mayor detenimiento a lo largo del proyecto y serán determinantes a la hora del dimensionado de los equipos. Se adelanta que para poder elaborar cuatro lotes de diferentes recetas es necesario que la planta de producción esté equipada con 4 fermentadores los cuales puedan albergar las cantidades totales de cada una de las cervezas.

1.2.4 Nicho de mercado

Al comienzo se centrarán las ventas en el consumo local, es decir, los ciudadanos del valle, desde Astún hasta Jaca. La población del valle del Aragón es de aproximadamente casi 15000 habitantes. Se distribuirá tanto a supermercados de la zona como al sector hostelero. Dependiendo de la demanda se adecuarán las cantidades y se plantearán nuevos mercados, ya sea en los valles colindantes, en Francia o en el resto de la provincia, pero el grueso de las ventas se pretende realizar en zonas próximas a la industria, promoviendo el consumo de cercanía e incluso en la misma cervecería, donde se habilitará una zona al aire libre donde la gente podrá comprar allí mismo los productos y degustarlos.

1.2.5 Materias primas

Existe gran variedad de tiendas online las cuales suministran malta, lúpulo y levadura.

En el año 2014 abrió una maltería para abastecer a cerveceros artesanos en León, llamada Grannaria. Elaboran sus maltas con los métodos artesanos obteniendo un producto de gran calidad (Grannaria, 2014). The Swaen es una maltería que ha crecido desde principios del siglo XX hasta llegar a distribuir internacionalmente en la actualidad. Se ubica en un pequeño pueblo al sur de los Países Bajos, casi en la frontera con Bélgica (TheSwaen, 2014). Se priorizará el abastecimiento a partir de Grannaria, pero en caso de falta de stock The Swaen es una empresa fiable con gran calidad de materias primas.

En cuanto al lúpulo también existe gran variedad de oferta. Prácticamente todo el lúpulo producido en España está destinado a las grandes industrias cerveceras, pero una pequeña cantidad queda para la cerveza artesana, aunque también se utilizan lúpulos cultivados fuera de España. La forma más extendida en la cerveza artesana es la utilización de pellet de lúpulo. Se ha decidido abastecerse de el distribuidor de muchos de los equipos que se van a utilizar en la planta, del equipo de Home Brew SL (HomeBrew, 2003). En caso de no tener suficiente stock se recurriría al distribuidor en España de la malta The Swaen que también distribuye lúpulo (Cervezanía, 2005).

La levadura se obtendrá de cualquiera de las dos distribuidoras de lúpulo, y el agua de la red pública del pueblo.

1.2.6 Subproductos

Se producirán bagazos de malta, de lúpulo y de levadura. El más representativo en cuanto a cantidad es el de malta, que se utilizará para alimento animal en granjas de la zona. El bagazo de lúpulo y de levadura no se lo comen los animales, por lo que se puede utilizar como abono para algún huerto, aunque no sea gran cantidad. En el punto 6, Prueba experimental se realiza un estudio de las cantidades de bagazo de malta y lúpulo que se producen.

Las aguas residuales que se produzcan serán de la limpieza de los equipos, que se realizará con agua caliente, por lo que se puede llevar directamente a la red de saneamiento.

1.3 Actividad a desarrollar

1.3.1 Usos y superficies de la agroindustria

En la Tabla 1.2 se aportan los datos de las superficies útiles y construida de la distribución en planta propuesta. Las superficies útiles se dividen en tres, cervecería, zona polivalente y terraza. En la cervecería se encuentra el almacén y la planta de producción. En la zona polivalente se encuentran las diferentes estancias para llevar a cabo las gestiones de la agroindustria y los servicios necesarios para el personal y visitas. La terraza será un espacio al aire libre donde se podrán probar los productos y un lugar de descanso y reunión para los empleados.

Tabla 1.2. Cuadro de superficies útiles y construidas de la planta de producción.

Cuadro de superficies					
Zonas	Estancias	Áreas (m ²)	Áreas totales (m ²)		
Cervecería	Almacén	17.22	83.7	Superficies útiles	
	Planta producción	66.48			
Zona polivalente	Recibidor	2.64	61.59		
	Zona común	30.48			
	Despacho	10.07			
	Vestíbulo	2.25			
	Aseo	4.53			
	Vestuario	7.14			
	Baño	4.48			
Terraza		52.73			
TOTAL		198.02			
Total		231.39		Superficie construida	

1.3.2 Plan productivo

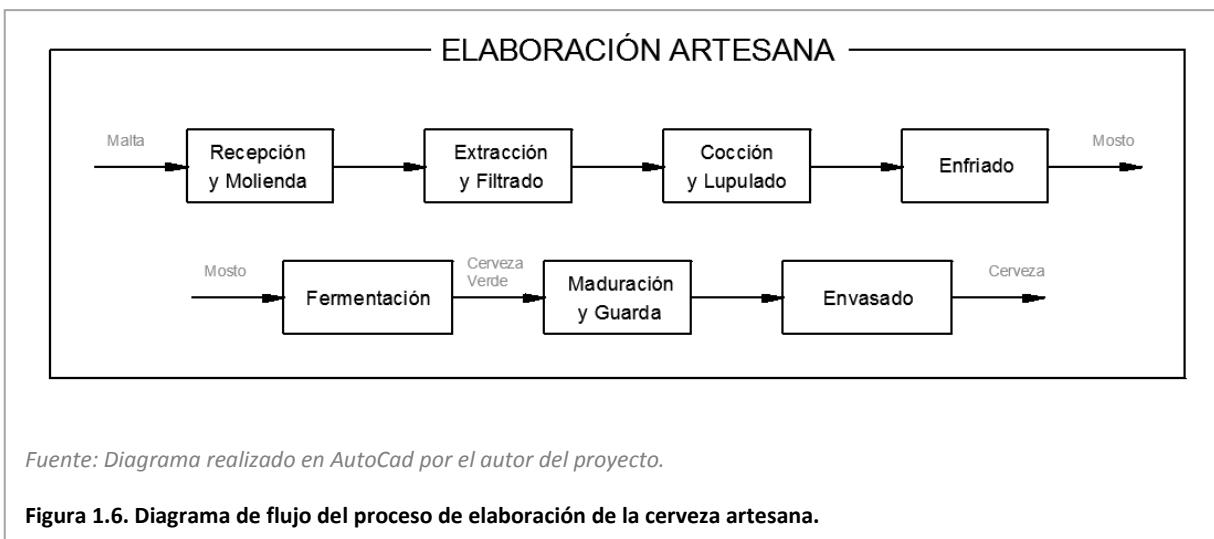
Como ya se ha expuesto anteriormente y se muestra en la Tabla 1.1 se ha decidido elaborar un total de 3500 litros de cerveza divididos en cuatro recetas diferentes. Al ser cuatro recetas diferentes se tardará cuatro días de trabajo intenso para la cocción de las cuatro recetas que pasarán a fermentar y madurar durante aproximadamente cuatro semanas. Esto quiere decir que pasado un mes del comienzo de la producción ya se dispondrá de los 3500 litros que tras ser embotellados estarán listos para ser distribuidos.

La idea es continuar produciendo al mes la misma cantidad o incluso 4000 litros, dependiendo de la aceptación de las diferentes recetas e innovar con alguna receta especial.

La cervecería se ha diseñado para tener la capacidad de doblar su producción con la compra de otros cuatro fermentadores, que sumarían un total de ocho. Con ese volumen se podrían producir 8000 litros de cerveza en unas cinco semanas. Todo dependerá de la demanda.

1.3.3 Proceso de elaboración

En la Figura 1.6, que es la misma que se mostrará en el punto 5, Proceso de elaboración, se muestra el diagrama de flujos dividido por etapas, para la elaboración de la cerveza en la planta de producción.



A lo largo del proyecto se explicará con mayor detenimiento en que consisten cada una de estas etapas, pero se va a anticipar una pequeña explicación:

- **Recepción y molienda:** Es el almacenaje de la malta de los diferentes cereales y su posterior paso por el molino, que machaca la cáscara partiéndola en grandes trozos y muele el interior del grano, donde se encuentran los azúcares necesarios para que se produzca la fermentación, formando una especie de harina.
- **Extracción o maceración y filtrado:** Es un proceso que sirve para disolver los azúcares de la harina formada en la molienda en agua caliente, a una temperatura que rondará entre 65-78 °C, dependiendo de la receta, formando el mosto dulce. Simplemente se mezcla la malta molida con agua caliente y se deja reposar durante una hora aproximadamente, después se drena el mosto por la parte inferior del tanque y gracias al lecho formado por la cáscara del grano, que se partió en grandes trozos en la molienda, se filtra de forma natural el mosto dulce.

- **Cocción y lupulado:** Durante una hora u hora y media se hierve el mosto dulce y a lo largo de la cocción se vierte el lúpulo en su interior para el mosto cocido obtenga nuevas propiedades organolépticas.
- **Enfriado:** Se trata de llevar el mosto cocido de una temperatura cercana a los 100 °C hasta unos 15 °C.
- **Fermentación:** Consiste en la transformación de los azúcares fermentables del mosto en etanol gracias a la levadura. Esta etapa dura alrededor de una semana y es la que dota a nuestro producto de su grado alcohólico.
- **Maduración y guarda:** Es la etapa más larga del proceso, puede durar desde dos semanas hasta meses. Se puede llevar a cabo en el mismo equipo que la fermentación, ya que necesita un sistema de refrigeración, al igual que la fermentación, para mantener una temperatura determinada, en este caso entre 1 y 6 °C. Es necesaria para armonizar y homogeneizar los sabores y olores del producto, ajustando sus propiedades organolépticas.
- **Envasado:** Es la etapa final que, como su nombre indica, envasa el producto en un recipiente. Puede ser lata, botella o barril. Algunas cerveceras en las cuales se vende el producto en el mismo lugar en el que se produce tienen los tanques de guarda conectados a los cañeros de manera que la sirven directamente, consiguiendo el mínimo contacto con oxígeno, evitando oxidaciones.

1.3.4 Equipos y dimensiones

El apartado 8, Dimensionado de equipos, se dedica únicamente a la explicación y cálculo de los diferentes equipos que van a formar la planta de producción. Solamente se va a mostrar en la Tabla 1.3, que es la misma que se mostrará en el apartado 8 (Tabla 8.16), para conocer la cantidad, modelo y distribuidor de los diferentes equipos.

Tabla 1.3. Resumen de los equipos de la planta de producción.

Equipos planta de producción				
Equipo	Modelo	Capacidad	Cantidad	Distribuidor
Molino	MOD. 150	150-200 (kg/h)	1	Home Brew
Interacumulador	WW-INOX 1000	1000 (L)	2	Ferco
Macerador-Cocción	Slow Beer 500 Plus	500 (L aprox.)	1	Slow Beer
Intercambiador de placas 1	IP 3600	29,27(Kw)	1	Suicalsa
Intercambiador de placas 2	IP 3600	63,87 (kW)	1	Suicalsa
Fermentador	Atmosférico termoaislado 1000 (L)	1000 (L)	4	Home Brew
Embotelladora	Embotelladora isobárica semiautomática con chapadora	200-3000 (botellas/hora)	1	Home Brew
Etiquetadora	Etiquetadora semiautomática	500 (botellas/h)	1	Home Brew
Caldera	D 80 P	80 (kW)	1	Atmos
Sistema de refrigeración	CWCH-MCK321	37 (Kw)	1	Brewery System
Depósito agua glicolada	ICWT-500	500 (L)	1	Brewery System

1.3.5 Mano de obra empleada

Para llevar a cabo la producción que se ha estimado se necesitarán entre dos y tres trabajadores. Se comenzará con dos, de los cuales uno será el maestro cervecero y el otro se encargará del manejo de los trámites administrativos. Aunque cada uno tenga esa función será necesario que durante los días de cocción estén ambos trabajando en la elaboración, los cuales serán cuatro al mes. El resto de tareas se pueden llevar a cabo individualmente, como son el marketing, la distribución, captación de clientes, atender la zona de visitas, gestiones administrativas, tareas de mantenimiento y abastecimiento de materias primas entre otras.

2 HISTORIA

2.1 Definiciones

La palabra cerveza deriva del término celto-latín *cerevisae*, que como se explicará en apartados posteriores dará nombre a la levadura más utilizada para la elaboración de este producto. A continuación cito varias definiciones.

La cerveza es una bebida alcohólica hecha con granos germinados de cebada u otros cereales fermentados en agua, y aromatizada con lúpulo, boj, etc. (RAE, 2019).

La cerveza es un alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado a partir de materias primas naturales (BOE, 2016).

Cervecería podría definirse como los procesos combinados para preparar bebidas, a partir de la extracción de granos germinados que posteriormente fermentará la disolución azucarada obtenida, produciendo etanol y dióxido de carbono (Hornsey, 1999).

Como veremos la cerveza es una bebida muy antigua, que ha evolucionado hasta nuestros días y lo seguirá haciendo. Cuando se escucha este sustantivo pensamos directamente en una bebida de color amarillo transparente brillante, espumosa y refrescante, que es la que fabrican todos los grandes grupos cerveceros y la más vendida en todo el mundo, es la cerveza tipo *lager*. Pero esta bebida, sobre todo en su elaboración artesana, está llena de matices pudiendo llegar a compararse con el vino. Está claro que la cultura vinícola es mucho más amplia en el sur de Europa, gracias a los romanos, pero el mercado de la cerveza artesana aún está por crecer.

2.2 Historia de la cerveza

2.2.1 El comienzo de la cerveza

Los primeros testimonios escritos se remontan a la civilización sumeria, aunque es muy probable que a lo largo del Paleolítico cuando se comenzaron a cultivar los primeros cereales ya se elaboraran bebidas fermentadas. Posiblemente las primeras

fermentaciones alcohólicas destinadas a consumo humano fueron accidentales, a partir de salvia de plantas y jugos de frutas, después con cereales. Los primeros escritos datan del año 4000 a.C. (antes de Cristo) en tablillas de escritura cuneiforme escritas en la región Sumer, Mesopotamia, entre los ríos Tigris y Eúfrates. Las tablas mencionan una bebida llamada "sikaru", que se obtenía de la fermentación de granos. En las tablas se describe una receta en la que "primero se cuece el pan, se deshace en migas, se mezcla con agua y así se consigue una bebida que vuelve a la gente feliz". Al parecer era un alimento importante en la dieta, así como moneda de cambio. También se utilizaba en actos religiosos como ofrendas a dioses (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Tras los sumerios las civilizaciones semitas y babilonios los reemplazaron en Oriente Medio. Continuaron con la elaboración de cerveza, que seguía siendo un alimento muy importante en la dieta, y lo dotaron de mayor carácter religioso. Comenzaron a utilizar plantas aromáticas, como precursores del lúpulo (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Los egipcios mejoraron las recetas fabricando diferentes tipos de bebidas, las cuales tenían mayor contenido alcohólico y por tanto mayor estabilidad, lo que les permitía la venta ambulante. De esta manera pierde el carácter religioso y pasa a



Fuente: <https://antcastillog.blogspot.com/2009/03/la-cerveza-en-el-antiguo-egipto.html>

Figura 2.1. "Cono funerario" del museo Egipcio de Barcelona, en el que dice: "Jefe de la dotación de aves, cervecero de Amón, Ab-em-useiet".

manos de todas las clases sociales. Estas bebidas las denominaban "zytum", "karme" y "korma". En el papiro de Zózime se explica el proceso de elaboración de este alimento, con cebada y trigo como materias primas y se han encontrado muchos grabados como el de la Figura 2.1 que hacen referencia a este producto, así como en la Figura 2.2 se puede observar una ofrenda. Los egipcios la importaron por todo el mediterráneo, llegando a Roma, donde compitió con el vino. Allí la llamaron "cerevisia" en honor a Ceres, diosa protectora de la tierra, la agricultura y la fertilidad (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).



Fuente: <https://decerveceo.wordpress.com/2015/06/03/la-cerveza-en-el-antiguo-egipto/>

Figura 2.2. La cerveza en el antiguo Egipto, ofrenda.

En la antigua Europa se consumía más en el norte, por germanos, escoceses y daneses, en contraposición del consumo del vino de romanos y griegos. A partir de los saqueos vikingos y del establecimiento de colonias en el sur de Europa crece el consumo de esta bebida en las costas del Mediterráneo (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

2.2.2 Cristianismo

Con la llegada del cristianismo la fabricación pasa a los monasterios, donde los monjes tienen acceso a escritos antiguos, buscando la mayor calidad posible del

producto, sin tener en cuenta el coste. Controlan el mercado de plantas aromáticas, aunque aún no se conoce el lúpulo y crean santorales cerveceros en Alemania, Irlanda y Francia (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Los monjes cerveceros de Baviera ya describieron la fermentación alta y baja, que en apartados posteriores se explicará. Y explicaban que las cervezas más estables surgían de fermentaciones bajas, ya que, la de fermentación alta eran más susceptibles a infección, sobre todo en los meses de verano. También observaron que si los productos se guardaban a temperaturas bajas se conservaban mejor. Otra aportación sustancial, que fue resultado de la investigación monástica, fue la incorporación del lúpulo, no solo para dar aroma, sino que también ayudaba a la conservación del producto, por sus propiedades antimicrobianas. Los escritos más antiguos que conocemos sobre el uso del lúpulo datan del año 736 d.C. (Hornsey, 1999).

Los señores feudales al ver el éxito de esta bebida intentan controlar el comercio para aumentar sus beneficios poniendo un impuesto. En el siglo XII consiguen que la fabricación pase a las ciudades. Así los monjes se centran en la fabricación del vino. A finales del siglo XV el Duque Guillermo IV, de Baviera, promulga la Ley de Pureza Alemana, Figura 2.3, quizás uno de los reglamentos más importantes



Fuente: <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-ley-de-la-pureza-alemana-cumple-500-anos.html>

Figura 2.3. Reinheitsgebot, Ley de Pureza Alemana.

de la historia, que permitía exclusivamente el uso de malta de cebada, agua, lúpulo y levadura para la elaboración de la cerveza, porque la cebada era el único cereal que no servía para producir pan (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

2.2.3 La revolución industrial

La aparición de la mecanización junto a la energía producida por el vapor mejoró la eficiencia de los procesos en la elaboración de cerveza. También fue de gran ayuda la mejora de las comunicaciones, de cara a la obtención de las materias primas.

La segunda revolución cervecera vino de la mano de Louis Pasteur que fue quien descubrió que la fermentación alcohólica era producida por las levaduras, que la contaminación de la cerveza se producía por microorganismos e ideó la pasteurización como método para eliminar las contaminaciones. Mejoró sustancialmente los procesos productivos, tomando como premisa que el producto debía estar en contacto con la atmósfera lo menos posible y que la calidad de la cepa de levaduras utilizada debía ser óptima (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

2.2.4 La cerveza en España

Las primeras pruebas escritas del consumo de cerveza en España se remontan a 1000 años a.C. escritas por los celtíberos. Con la invasión romana el consumo disminuyó y con los godos volvió a aumentar. Durante los casi mil años que estuvieron



Fuente: <http://desdesdr.eu/2019/03/06/la-fabrica-de-cervezas-de-la-cruz-blanca/>

Figura 2.4. Fábrica de cerveza La Cruz Blanca, 1797, en Santander.

los musulmanes en la Península el consumo fue muy escaso, y no se restablece hasta el reinado de Carlos I. Las primeras fábricas se instauraron en Madrid y Santander a finales del siglo XVI, en la Figura 2.3 podemos ver una de las fábricas de Santander. Se establecieron monopolios estatales a partir del año 1701, que duraron poco más de un siglo.

A finales del siglo XIX y principios del XX surgen las primeras compañías cerveceras españolas, como por ejemplo: San Miguel en 1890, al igual que Mahou y Damm en 1910 (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En 1922 se formó la agrupación de Cerveceros de España. Se fundó con la agrupación de las tres compañías antes nombradas más Heineken España, Hijos de la Ribera, Compañía cervecera de Canarias y La Zaragozana, que ahora pertenece al Grupo Ágora. A estas compañías se le han sumado un gran número de pequeñas empresas de talla artesana que han querido dar el salto a la distribución pero que no disponían de los medios para conseguirlo (Ministerio Agricultura & España, 2018).

2.2.5 Antecedentes de las recetas a elaborar

Más adelante se describirán las cuatro recetas que se van a producir en este proyecto. En este apartado se hablará de la historia de cada una de ellas, para ponerlas en contexto. Serán cuatro las recetas, de las cuales dos van a ser cervezas de abadía, una oscura y otra ámbar y las otras dos serán de centeno y de trigo.

Las cervezas de abadía son uno de los estilos belgas más conocidos. Es fácil confundir las cervezas trapaenses y las de abadía. Aunque las dos proceden del mismo estilo, las trapenses tienen una serie de estrictos criterios, y solo doce abadías pueden elaborar cervezas con sello trapense. Las cervezas de abadía son más densas y con mayor graduación alcohólica. La primera receta que se conoce data del año 1926. Las levaduras utilizadas tienen perfil atenuante, para conseguir gustos secos (Ibai, Del Grano a la Copa. Cervezas de Abadía. God Save the Monks, 2017).

El centeno es capaz de crecer en ambientes muy fríos, donde otros cereales no pueden. Por esta razón este estilo se hizo popular en países como Austria, República Checa o Alemania. La Ley de Pureza, antes citada, obligaba a utilizar solo la cebada

para la elaboración de cerveza, ya que era el único cereal con el que no se podía producir pan. Con esta ley la elaboración de cerveza a partir de centeno desapareció casi por completo, hasta que en 1888 unos cerveceros bárbaros comenzaron a elaborarla de nuevo. Es prácticamente imposible hacer cervezas solo con maltas de centeno, por lo que se mezclan con maltas de cebada o trigo. Suelen ser turbias y se suelen utilizar levaduras similares o iguales a las del trigo (Ibai, Del Grano a la Copa. Roggenbier, el Centeno como Protagonista, 2019).

La cerveza de trigo tomó importancia en Europa a partir del siglo XVI. La primeras cervezas de trigo producidas en Baviera dan nombre al estilo *Weissbier* que fue monopolizada por la realeza, así podían vender licencias para las industrias que quisieran producir este producto. En el siglo XIX la popularidad de esta bebida bajó considerablemente, por lo que la corona abolió la exclusividad de producción y la receta se dio a conocer al público. En Alemania es muy popular la elaboración de cerveza con este cereal, pero en mayor o menor medida se produce en todo el mundo, siendo bastante utilizada por las cervecerías artesanas, que muchas de ellas suelen tener una línea de producción en la que utilizan la malta de trigo. Como curiosidad estas cervezas se suelen servir en vasos estrechos y alargados (Kegerator, 2018).

3 ANÁLISIS DEL SECTOR

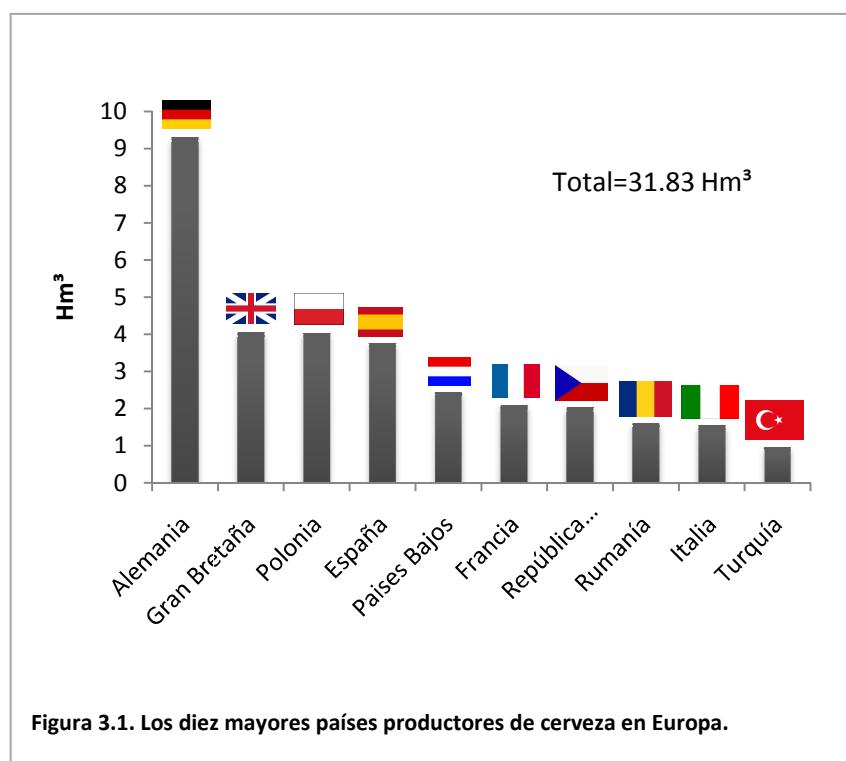
3.1 Introducción

En este punto del proyecto preliminar se va a aportar información sobre el sector cervecero, que se ha dividido en tres grandes mercados, el Europeo, el Español y el Artesano. El mercado que se analizará en mayor profundidad será el artesano, debido a que es el que incumbe a este proyecto, pero para comprender este último mercado se debe explicar la situación global.

3.2 Mercado europeo

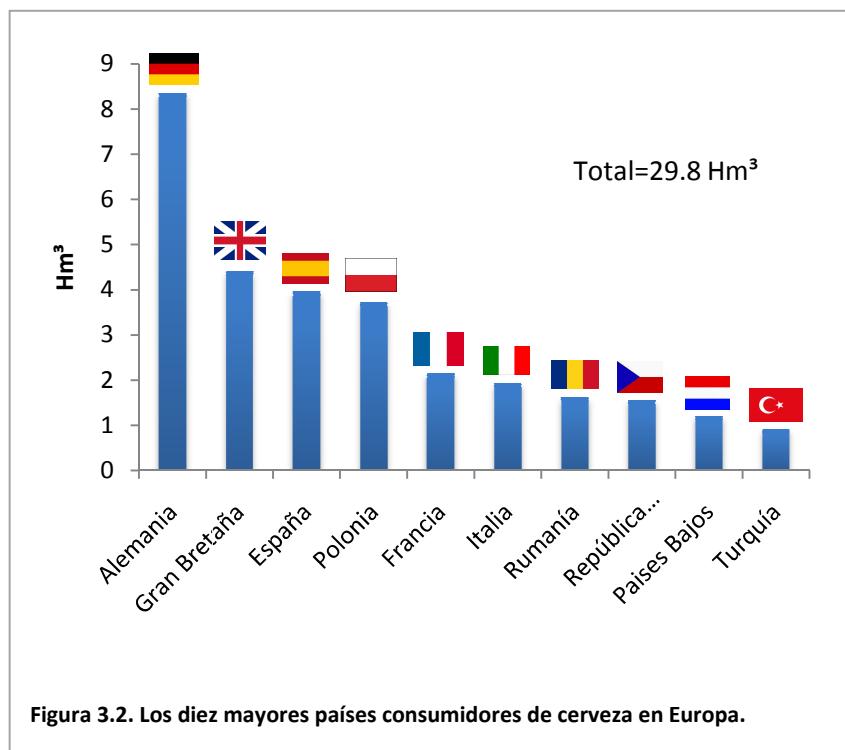
Todos los datos recogidos en este apartado se han obtenido de un estudio realizado por un foro de 800 participantes relacionados con la industria cervecera. El foro se llama The Brewers of Europe y se reúnen para aportar datos sobre el mercado cervecero de todos los países de la unión europea y de mercados afines a este grupo, como Turquía, Suiza o Noruega (Europe, 2018).

Los datos aportados en este apartado pueden variar con respecto a los que se darán en el apartado siguiente, llamado Mercado Español, debido a que los estudios son de años diferentes.



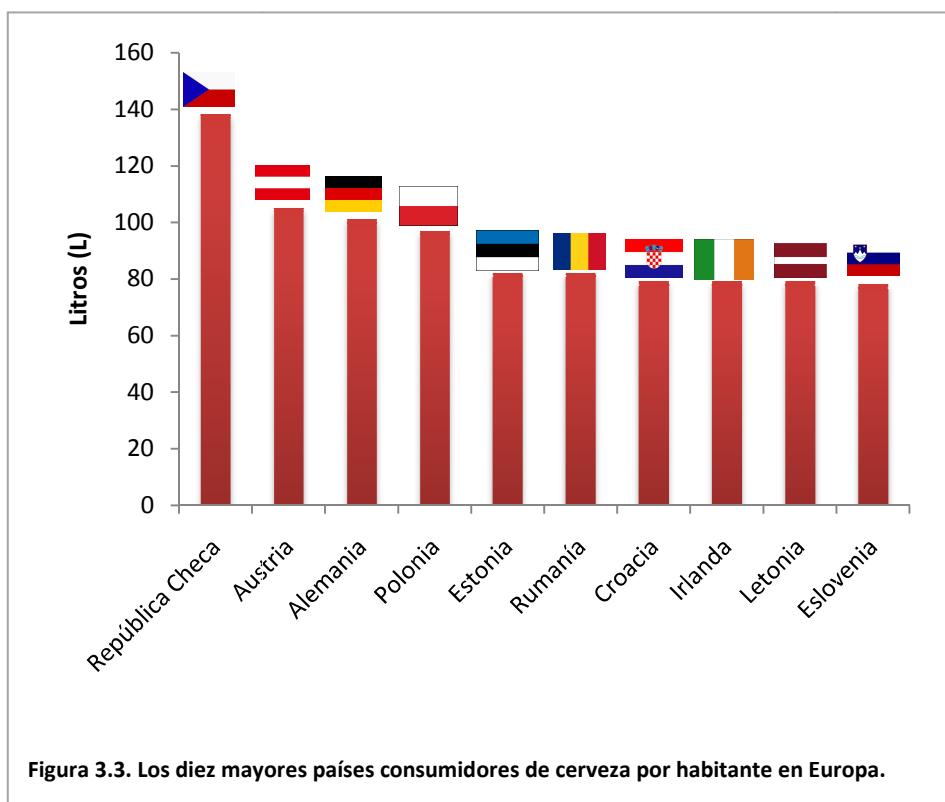
Como podemos observar en la Figura 3.1 el mayor productor cervecero es Alemania con una diferencia de más del doble con su perseguidor más cercano, Gran Bretaña. Polonia es la tercera productora con muy poca diferencia de la segunda y en cuarta posición se coloca España, con una producción cercana a los 4 hectómetros cúbicos (hm^3). Después de los cuatro primeros les siguen seis países con producciones inferiores a los $2.5 hm^3$.

En Europa se consumen casi $40 hm^3$ de cerveza al año de los cuales alrededor del 75 % son consumidos por los diez países que más cerveza beben. Podemos observar, en la Figura 3.2, que Alemania consume aproximadamente un hm^3 menos de los que produce, es decir, más de $8 hm^3$. Le sigue Gran Bretaña, España y Polonia, con un consumo similar, entre ellos, que ronda entre 3.7 y $4.4 hm^3$. Cabe destacar que los primeros diez países Europeos tanto productores como consumidores son los mismos, aunque el orden varíe.



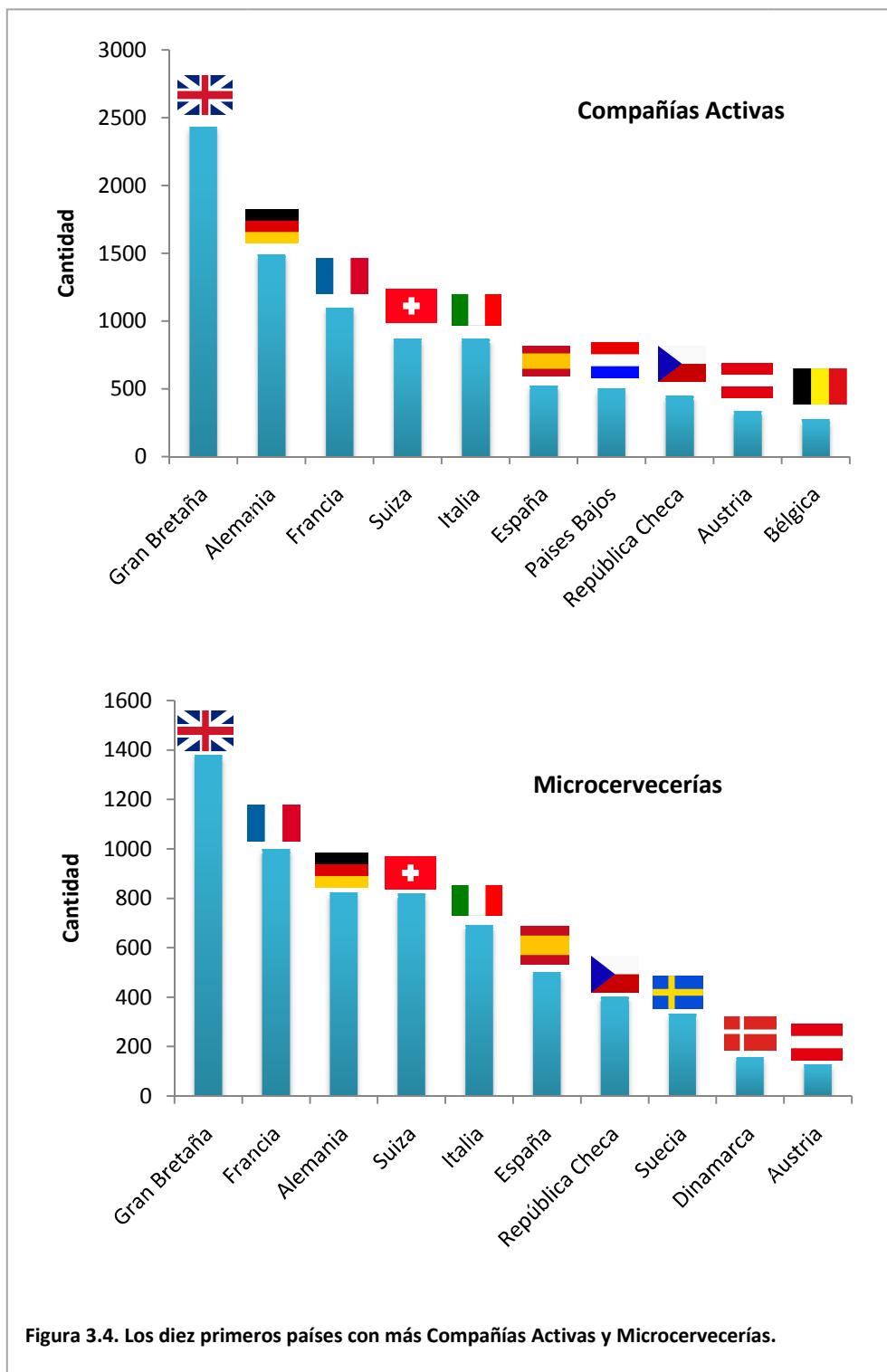
Alemania es líder en producción y consumo como país, pero en cuanto a consumo por habitante está en la tercera posición con unos 100 litros por persona y año, igual que Austria, en segundo lugar y Polonia en el cuarto. El habitante Europeo

que más cerveza consume al cabo del año es el Checo, con un consumo de 138 litros. Los últimos seis de la lista son Estonia, Rumanía, Croacia, Irlanda, Letonia y Eslovenia, rondando un consumo entre los 78 y 82 litros por año. En esta Figura (Figura 3.3) aparecen países que no han sido nombrados en las Figuras anteriores, de hecho solo República Checa, Alemania, Polonia y Rumanía habían aparecido. No han aparecido en las Figuras 3.1 y 3.2, porque son países pequeños, exceptuando Austria que tiene alrededor de 8 millones de habitantes los demás tienen 5 millones o menos, por lo que la producción o consumo en bruto del país no puede competir con países de más de 20 millones de habitantes, como son la mayoría de los que aparecen en la Figuras 3.1 y 3.2.



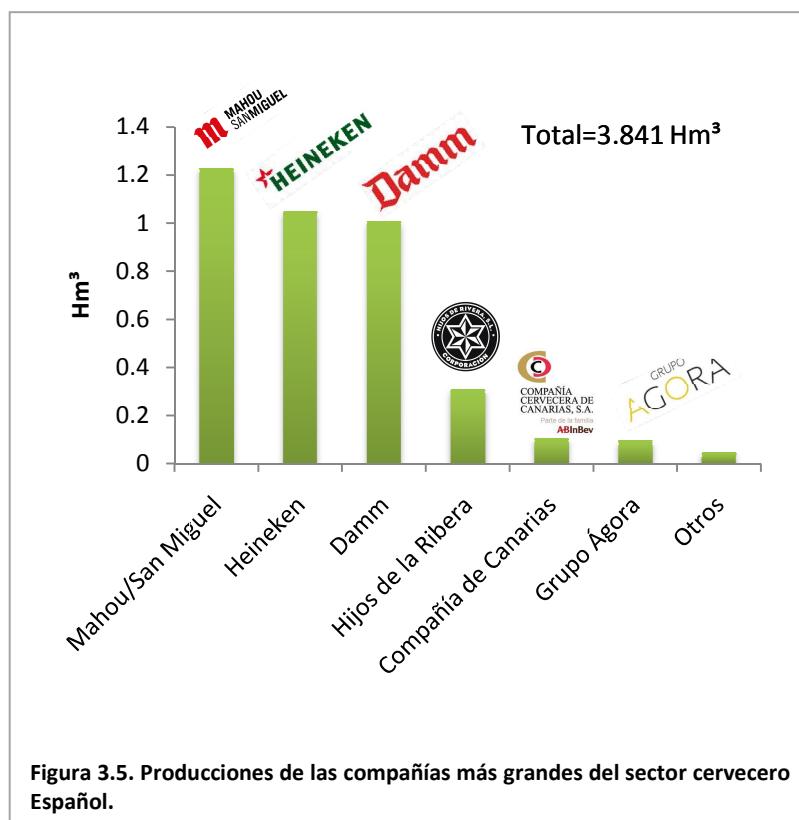
La Figura 3.4 está formada por dos gráficas, una titulada Compañías Activas, que representa todas las compañías cerveceras que están en el mercado. Y la titulada Microcervecerías, que son aquellas cerveceras activas con volúmenes de producción menores de 40.000 hectolitros por año. Estas serían las cerveceras consideradas como artesanas. Al observar ambas gráficas a la vez podemos ver que en la mayoría de países existen diferencias, de por lo menos 100 empresas, entre el número de

compañías activas y microcervecerías, exceptuando España, con solo 19, República Checa con 48 y Suiza con 51. Esas cifras indicarán el número de grandes compañías que habrá en el país, aproximadamente. Por lo que en España las grandes producciones se centran en unas pocas empresas, comparado con el resto de países Europeos.



3.3 Mercado español

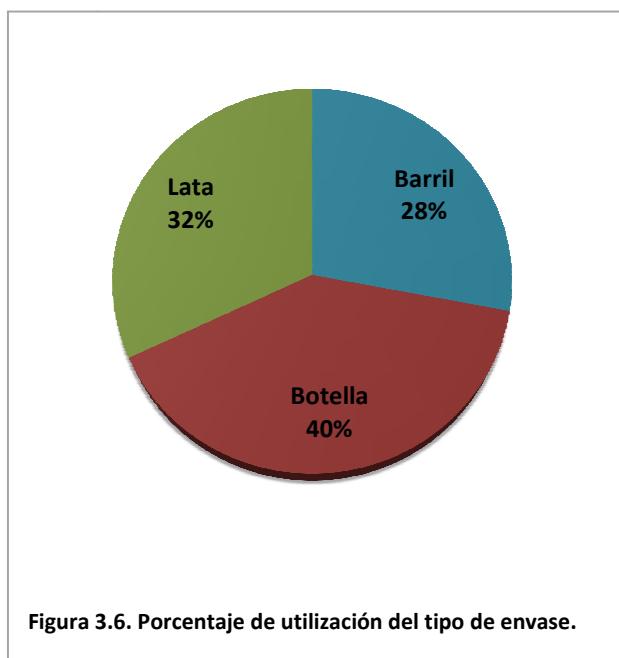
En este apartado se van a aportar datos proporcionados por una entidad denominada Cerveceros de España (Ministerio Agricultura & España, 2018). Es una asociación empresarial, fundada por las grandes marcas del sector, las cuales aparecen en la Figura 3.5, y por gran cantidad de empresas más pequeñas que se han ido asociando con el paso de los años.



El consumo per cápita de cerveza, en España, se sitúa en 51.8 litros, por debajo de los niveles Europeos, como podemos ver en la Figura 3.3. El 67 % del consumo de este producto se sitúa fuera del hogar, fundamentalmente en el sector hostelero, lo que nos lleva a suponer que es un producto que se consume en compañía y en gran número de ocasiones acompañado de comida.

Los envases utilizados en la industria cervecera son el barril, la lata y la botella. Los barriles son de acero inoxidable y reutilizables, aunque en las microcervecerías artesanas se utilizan barriles de plástico, los cuales se describirán en apartados posteriores. En cuanto a las botellas hay de dos tipos. Las retornables, que se

comercializan exclusivamente para el sector hostelero, son aquellas que tras su uso vuelven a las fábricas en las que se esterilizan y se vuelven a llenar del producto, como es de suponer los tratamientos tienen que estar muy controlados, porque si no se hacen correctamente serán nocivos para la salud. El resto de botellas son reciclables. Y por último las latas, que también son reciclables. Los envases en la industria cervecera siguen una economía circular. En la Figura 3.6 podemos ver los porcentajes de utilización de diferentes envases.



Los porcentajes de la Figura 3.6 son representativos para las grandes industrias. En el sector artesano el envase más común es la botella reciclabl, no retornable, porque la logística no permite llevar a cabo los procesos necesarios para la esterilización de botellas retornables. Los barriles, como se ha dicho antes, son de plástico reciclabl y las latas ahora están comenzando a utilizarse más.

3.4 Mercado artesano

3.4.1 Definición del producto

En primer lugar hay que aclarar que la cerveza artesana no es el mismo producto que el producido por las grandes corporaciones que han sido nombradas en el apartado anterior, lo que ellas fabrican son refrescos de cerveza, que se hacen a

partir de productos sucedáneos como pueden ser los extractos de lúpulo, o aromas producidos industrialmente, lo que les permite poder fabricar grandes lotes obteniendo siempre el mismo producto, con las mismas características.

La fabricación artesana es la elaboración de un producto que se lleve a cabo íntegramente en una misma instalación, en el cual la intervención personal constituye el factor predominante bajo la dirección del maestro cervecero con experiencia demostrable y primando el factor humano sobre el mecánico, obteniendo un resultado final individualizado, que no se produzca en grandes series, siempre y cuando se cumpla la legislación que le sea aplicable en materia de artesanía (BOE, 2016).

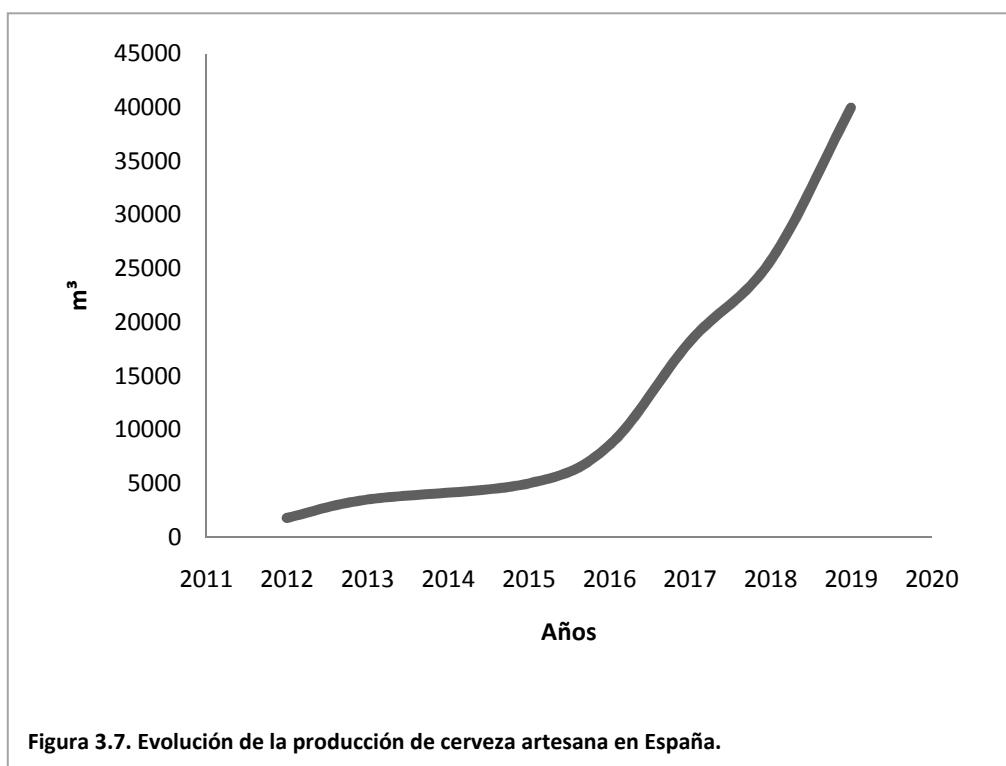
Una vez se ha elaborado la cerveza artesana van a seguir cambiando sus propiedades, por lo que se puede asemejar más al vino que a los refrescos de cerveza. Reproducir un mismo producto es muy complicado, bien es cierto que las recetas serán las mismas, pero las materias primas no tendrán siempre las mismas características, ya que los productos vegetales varían según la época del año, el tipo de recolección, la meteorología,... Esto es lo que hace a la cerveza artesana un producto muy interesante, y como se verá a continuación un producto en crecimiento.

3.4.2 Datos del sector cervecero artesano

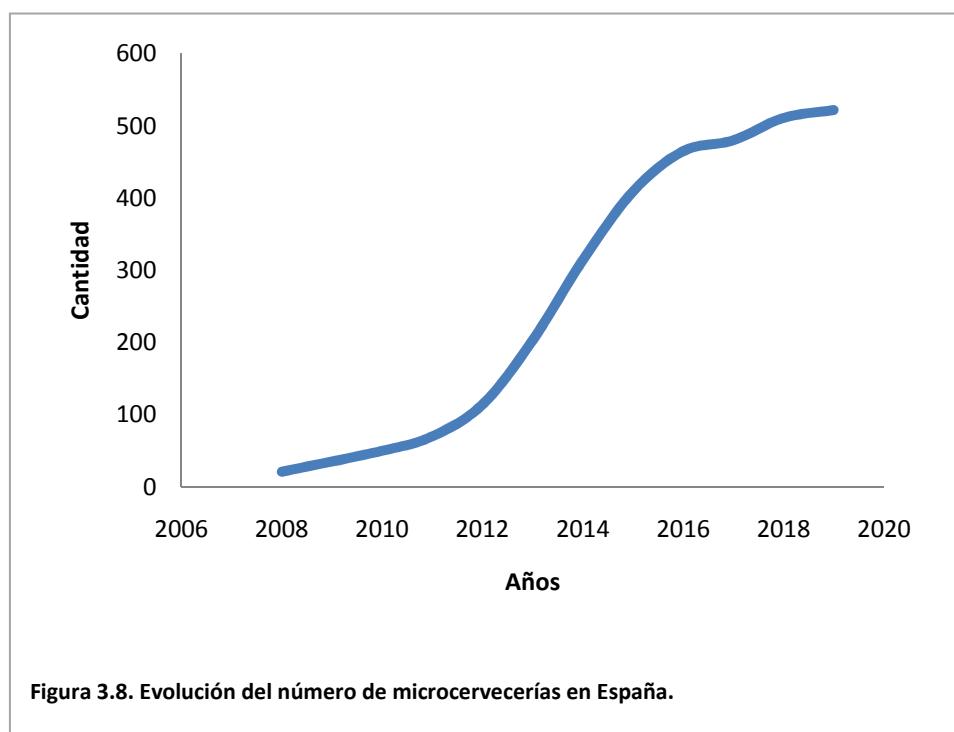
Para la realización de las gráficas de este apartado he utilizado varios documentos obtenidos en la red, entre ellos se encuentra el resumen de un informe socioeconómico, sobre la cerveza artesana, realizado por DBK Informa (DBK.Informa, 2019) que es una plataforma que realiza informes de diferentes sectores, controlando información de muchas de las empresas que los forman. También he utilizado dos artículos del periódico El País (Fernández, 2018) (Doncel, 2019) y otro de Mercasa (Murcia, 2017), que es una empresa pública que gestiona diferentes aspectos del sector agroalimentario.

Como podemos observar en la Figura 3.7 la producción de cerveza artesana comenzó a crecer con gran rapidez desde el año 2016. Hay que destacar que la producción total actual de cerveza artesana es la mitad de la producción de cerveza del Grupo Ágora, que es el productor más pequeño de las grandes corporaciones. De todos modos se deben observar estas cifras positivamente porque en siete años la

producción ha crecido más de 20 veces y la curva de producción a lo largo de los años se asemeja a una curva de crecimiento exponencial.

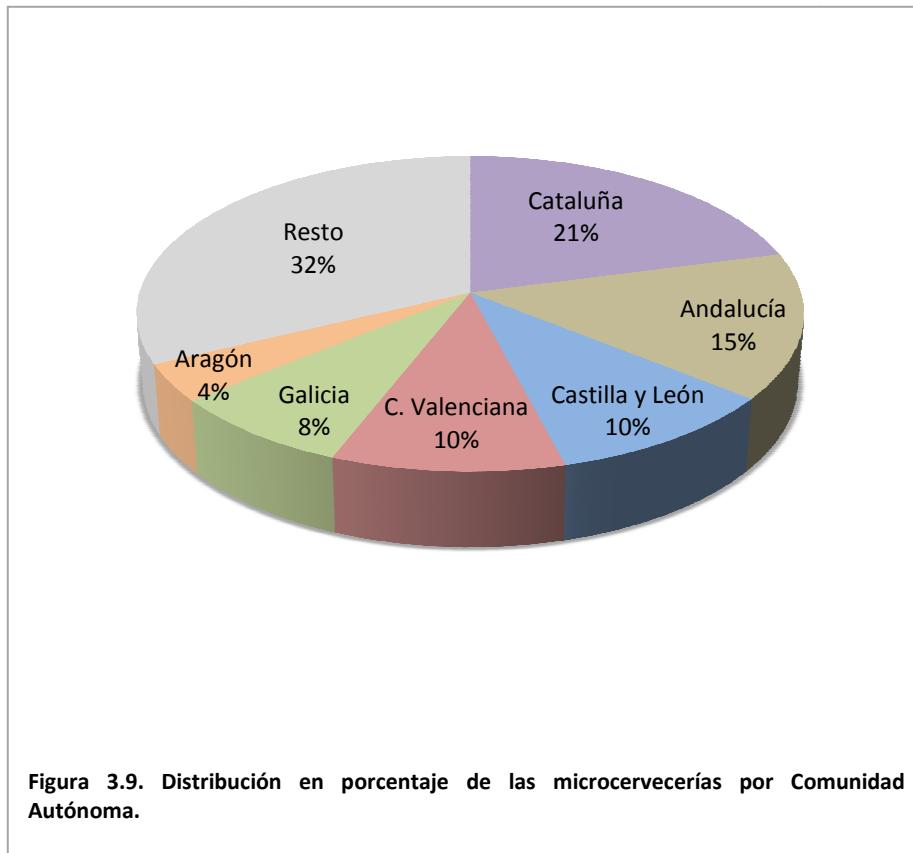


El crecimiento del número de microcervecerías también es alcista, véase la Figura 3.8, pero se observa que la curva de crecimiento se asemeja a un crecimiento celular en un reactor discontinuo, similar al que experimentan las levaduras en la



fermentación de la cerveza, y que en la actualidad ya hemos pasado el crecimiento exponencial y estamos en el estacionario. Este fenómeno invita a pensar que el mercado se ha estancado, pero como se puede observar en la Figura 3.7 la producción continúa creciendo. Esto puede significar que las microcervecerías crecen y cada vez producen más, de hecho, es así como se explicará más tarde y adelanto que las grandes empresas están comprando cervecerías artesanas porque quieren lucrarse de este mercado en alza. También es positivo observar otros mercados que van por delante de España en el sector artesano, como Reino Unido con 1828 microcervecerías o Alemania con 717 y que continúan creciendo considerablemente.

La distribución por comunidades autónomas de las microcervecerías está ligada al consumo y cultura artesana de cada comunidad. Se ve reflejado en la Figura 3.9. Cataluña es la comunidad con mayor número de microcervecerías y por lo tanto con mayor público de este producto. Esta comunidad junto a Andalucía, Castilla y León y la Comunidad Valenciana acaparan más de la mitad del número de microcervecerías en España. Aragón con solo un 4% le queda mucho por crecer, bien es cierto que la gran



mayoría de estas empresas se concentran en el norte de la comunidad, cerca de Los Pirineos, con mayor cultura de mercado local y en su capital, Zaragoza, con mayor cultura cervecería. Por esta razón queda un largo camino por recorrer en esta Comunidad de cara a la educación del público para el consumo de este producto.

3.4.3 Descripción general del sector cervecería artesano

Los datos obtenidos para la confección de este apartado se recogen de los mismos artículos que se han nombrado en el apartado anterior. (DBK.Informa, 2019) (Fernández, 2018) (Doncel, 2019) (Murcia, 2017)

Como ya se ha nombrado anteriormente el sector cervecería artesano es diferente al sector formado por las grandes cervecerías, como puede ser Mahou San Miguel, Heineken,... Aunque estas grandes marcas quieran sumarse a este mercado en notable efervescencia. Ya se ha explicado que es un mercado que está creciendo, como indican los datos de la Figura 3.8 en 2008 había 21 microcervecerías en España, y ahora son más de medio millar, aunque la producción total de cerveza artesana sea una alícuota de la producción de cerveza industrial. Bien es cierto que el panorama ha cambiado radicalmente, debido a que las grandes empresas han comenzado a fabricar líneas de productos del gusto artesano, con la idea de competir con las cervecerías artesanas.

Por poner algún ejemplo La Sagra, microcervecería toledana, produjo en 2016 2.5 millones de litros o La Virgen, en Madrid, ha aumentado su capacidad de producción de los 300.000 litros a los 4 millones. La Cibeles, El Boquerón, Rosita, Salvaje, La Malteadora,... son otras de las microcervecerías más conocidas en España.

Desde hace varios años grandes grupos cerveceros han ido entrando en el mercado de la cerveza artesanal, a través de la adquisición de cervecerías artesanas como las que han sido nombradas antes o al menos parte de ellas. La multinacional Anheuser-Busch Inbev es importadora, en España, de Coronita, Budweiser y Franziskaner entre otras y ya es propietaria de varias cervecerías artesanas en todo el mundo, como es Bogotá Beer, Birra del Borgo,... y ahora lo es de La Virgen, que fue creada en Madrid en 2011, y es una de las más conocidas en España. El grupo Heineken compró en 2018 el 51% de La Cibeles, otra cervecería artesana muy famosa

de Madrid. Molson Coors, una cervecera multinacional de Estados Unidos, compró en 2017 La Sagra, cervecera toledana. Mahou comercializa dos cervezas "craft", artesanas, en Estados Unidos, la Founders y Avery Brewing y aquí en España posee el 40% de Nómada Brewing. El Grupo Ágora ha comenzado a comercializar la marca Ambiciosas de Ámbar y las Red Ipa de Motriz, que son cervezas adaptadas al gusto artesano. Todos estos movimientos de las grandes cerveceras confirman que el mercado de la cerveza artesana va a continuar creciendo, y produciendo grandes beneficios. En España el consumo de cerveza artesana no llega al 1%, pero en Italia donde comenzó antes el movimiento artesano, y es un país de cultura gastronómica similar a España, su consumo está situado en el 7% y en Estados Unidos el consumo es de un 24%, ambos con cifras ascendentes. Estos hechos son indicios suficientes para afirmar que el crecimiento no parará.

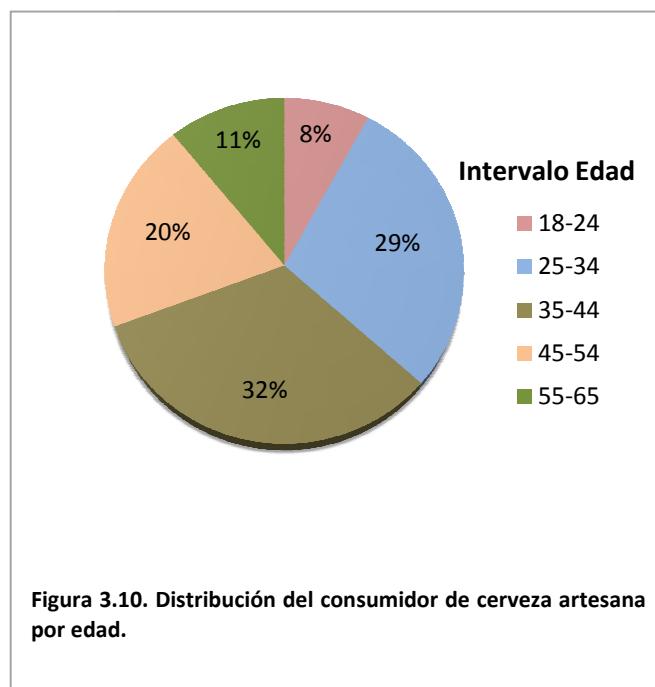
Al mirar a otros mercados Estados Unidos es el país que encabeza el movimiento "craft", artesanal en inglés, que comenzó en los años ochenta, aunque su auge llega alrededor de los años 2008-2012, como en el resto del mundo. En el país norteamericano las pequeñas cerveceras crecen más que las grandes, y las multinacionales y cerveceras industriales que comercializan cervezas "craft" comienzan a perder público, ya que el consumidor exige una calidad y unos métodos que los grandes productores no pueden realizar. En Europa también se está produciendo este fenómeno en los países con mayor cultura cervecera, como es Reino Unido, Alemania,... Otra de las razones por las que este producto triunfa es porque genera consumo y empleo local, y fomentan el emprendimiento. Y aunque las grandes industrias busquen comprar marcas artesanas el consumidor, que suele ser curioso, se enterará y dejara de consumir esa marca, porque buscan un producto de calidad y diferente.

3.4.4 Consumidor de cerveza artesana

En este apartado se va a explicar qué público tiene la cerveza artesana, gracias a un estudio realizado por La Sagra (PuntoDeFuga, 2015).

La gran mayoría de los consumidores de cerveza artesana se guían por el sabor en primer lugar, después por la calidad, por las pequeñas producciones y por el

mercado local. Un 15% de la población Española es consumidora de cerveza artesana y el 61% del consumidor de este producto se encuentra entre los 25 y 44 años, como se indica en la Figura 3.10.



Este consumidor es más pausado y degusta más el producto. Es un producto con gran variedad de matices, y aunque el sector cervecero quiera conseguir que maride comidas, es un logro difícil de conseguir, porque el vino es un producto muy arraigado en este ámbito. Lo que sí que es cierto que la cerveza artesana puede sustituir totalmente a la industrial y ser mucho más versátil a la hora de escoger diferentes sabores para determinados momentos. El género no importa prácticamente en este sector, siendo ligeramente superior el público masculino, sin llegar al 60%, aunque las mujeres están comenzando a consumir cada vez más.

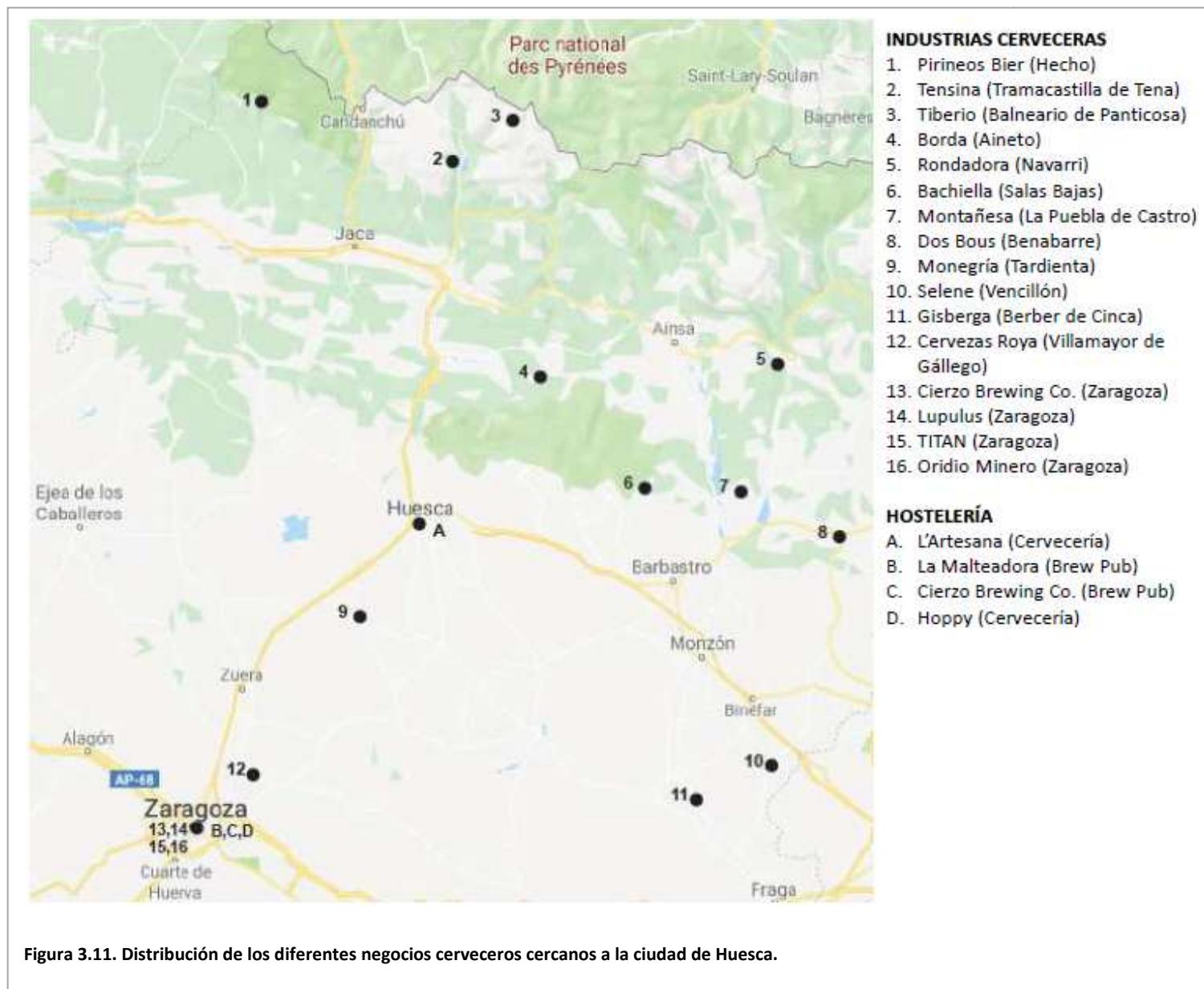
El consumidor se puede encontrar en cuatro etapas: El consumidor inexperto que busca encontrar nuevos sabores y experiencias, atraído por el mundo artesano; Un segundo consumidor que ya conoce diferentes sabores y que comienza a conocer sus gustos; Aquel que ya conoce varios estilos teniendo favoritos y que incluso prescinde de la cerveza convencional; Y por último un consumidor ya experto, que el mundo "craft" es su hobby, que conoce bien gran cantidad de estilos e incluso sus

recetas, sabe en qué momento del día le gusta más consumirlos, visita fábricas e incluso hace su propia cerveza.

3.4.5 Cerveceras y negocios cerveceros cerca de Huesca

En la Figura 3.11 podemos observar los negocios que están actualmente en activo. Han sido ordenados por números y letras. Los números se refieren a las industrias cerveceras artesanas de la zona, y las letras a otros tipos de negocios más cercanos a la hostelería pero que tienen relación directa con las cerveceras. La fábrica de Ámbar no aparece debido a que no es una cervecera artesana, por mucho que produzca las antes citadas Ambiciosas.

Ya sean más o menos grandes las cerveceras marcadas con número son lugares de producción, que después distribuyen a diferentes negocios. En cuanto a los negocios marcados con letra hay dos tipos, las cervicerías y los Brew Pub. Las cervicerías son bares o restaurantes hosteleros que se dedican a la venta del producto, en este caso, su producto estrella, la cerveza artesana. El Brew Pub es otro concepto de negocio que consiste en la venta del producto en el mismo lugar donde se produce, es decir, unir la hostelería con la industria cervecera. De esta manera se eliminan los costes de distribución e incluso de embotellado. Por lo que en líneas generales es un negocio más rentable.



4 MATERIAS PRIMAS Y RECETAS

4.1 Cebada

4.1.1 Introducción

Todas las especies cultivadas de la cebada pertenecen al género *Hordeum*, miembro de la familia de las Gramineae (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000).

Después del trigo, maíz y arroz la cebada es el cereal más cultivado en el mundo, ya que se puede utilizar para alimentación animal y humana. Este cereal se produce, en su mayoría, en zonas donde el clima no es apropiado para cultivar los otros tres cereales anteriormente citados. Es un cereal capaz de soportar gran variedad de climas, por ello se puede cultivar en muchos lugares del mundo, desde el ecuador hasta los 70° N, así como en la árida Australia o en las altiplanicies del Himalaya (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.1.2 La planta de cebada

En la actualidad hay un gran número de variedades de cebada. Se pueden diferenciar por la forma y el tamaño de la planta y de la espiga, así como por sus características fisiológicas, por su momento óptimo de siembra y por su periodo de desarrollo. Las variedades modernas poseen tallos que no suelen sobrepasar el metro de altura. La cebada se incluye en el género *Hordeum* del que existen varias especies, de las cuales *H. vulgare* y *H. distichon* son las especies más importantes en la industria cervecera.

Según sus rasgos taxonómicos *H. vulgare* y *distichon* pertenece a la familia de las Poaceae o Gramineae, son anuales, solo tienen crecimiento primario, no tienen ni indumento ni estípulas, poseen lígula membranosa, son hermafrodita, tienen tres estambres libres homodínamos unidos al tálamo, un ovario sincárpico, un estilo y un estigma plumoso, flor hipógina, con una inflorescencia de espiga de espiguillas, dos brácteas (glumillas desiguales), sin bracteolas y fruto cariópside (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000).

Cada inflorescencia tiene un eje, que se separan por pequeños espacios internodales. De cada nudo salen tres flores que se agrupan en un mismo lado del tallo, y en cada nudo sucesivo estas flores se agrupan en el lado opuesto del tallo. La cebada de seis carreras (*H. vulgare*, 6C) es aquella que las seis flores de dos inflorescencias seguidas son fértiles, y por lo tanto forman seis granos de cebada, como podemos ver en la Figura 4.1. En cambio la de dos carreras (*H. distichon*, 2C) solo es fértil la flor central de cada inflorescencia. Esta diferencia lleva a que los granos de la cebada de 2C sean del mismo tamaño, en cambio en la de 6C el grano central será más grande que los laterales (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000).

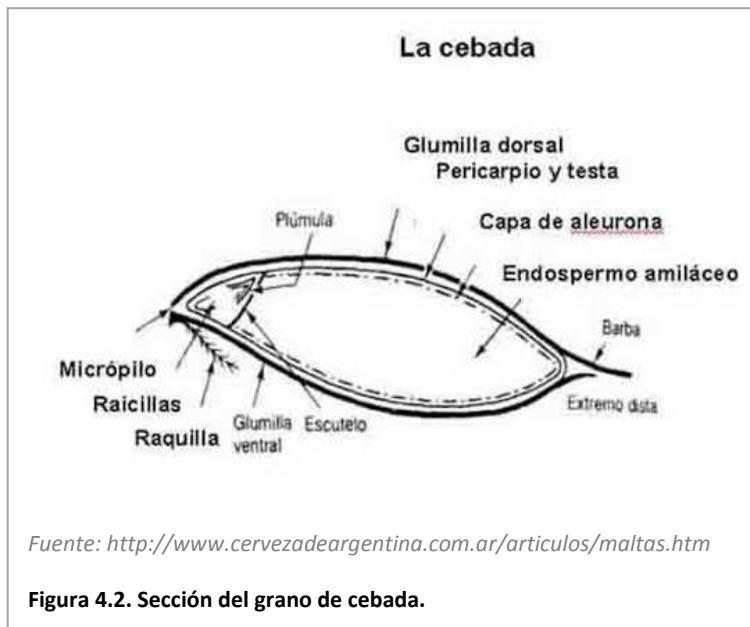


Fuente: <http://hablemosdealimentos.com/c-cereales/la-cebada/>

Figura 4.1. Planta de cebada.

4.1.3 El grano de cebada

El grano de cebada no es exactamente una semilla, si hablamos en términos botánicos ortodoxos, sino que, como se ha nombrado antes en sus rasgos taxonómicos, es un fruto seco indehiscente, lo que es la descripción de fruto cariópside. La morfología del grano de cebada es fusiforme, aunque los granos de cebada cervecera de gran calidad tienen forma más redondeada, con una cascarilla fina y un color amarillo claro, que es síntoma de una buena maduración en condiciones secas (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000).



En la Figura 4.2 se pueden observar las partes del grano de cebada. Podemos dividir el grano de cebada en tres partes. La más exterior y protectora serían las cubiertas, constituidas por la glumilla exterior o dorsal (lemma) y la glumilla interior o ventral (pálea) (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000). Las cubiertas, sobre todo la lemma se arrugan durante la época de maduración en las variedades de cascarilla fina, las cuales suelen ser muy útiles para maltería. El embrión es la parte del grano de la cual brotará la plántula una vez germine, y se sitúa en la zona dorsal del grano, rodeado por el escutelo. El endospermo es la tercera parte del grano utilizado como tejido de reserva para ayudar al embrión a brotar (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En la base del grano se encuentra la zona de unión de la flor a la planta madre, y muy próxima a ella el micropilo, por donde puede penetrar el aire y el agua directamente al embrión (Hornsey, 1999).

4.1.4 Composición química

La estructura bioquímica del grano de cebada es muy compleja, por lo que solo explicaré los principales componentes.

Los polisacáridos amiláceos se localizan en gránulos que forman el almidón. Estos gránulos serán pequeños y grandes, siendo los pequeños los más abundantes,

aunque el extracto final tras el malteado provenga de los gránulos de almidón más grandes. El almidón del grano de cebada consta de dos fracciones químicas, la amilopectina, que constituirá un 75-80 % del almidón total, y la amilosa, que supondrá el 20-25 % del almidón. Su temperatura de gelatinización es relativamente baja 52-59 °C. Este dato será relevante de cara a la elección de la cebada para el proceso de malteado (Hornsey, 1999).

Los polisacáridos no amiláceos son tres: Los azúcares simples que el más abundante es la sacarosa; Las gomas que serán solubles en agua; y por último las hemicelulosas que no serán solubles en agua (Hornsey, 1999).

Las proteínas estarán relacionadas con el contenido en nitrógeno del grano. La mayor parte están localizadas en el endospermo, como proteína enzimática y de reserva. A parte del contenido en proteínas existen diversos compuestos los cuales contienen pequeñas cantidades de nitrógeno, como los ácidos nucleicos, aminas, amidas y aminoácidos libres, que serán muy útiles a la hora de la fase de latencia de las levaduras en la etapa de fermentación (Hornsey, 1999).

4.1.5 Cebada cervecera

Una de las características fundamentales en el grano elegido para la fabricación de cerveza es su riqueza en almidón, por esto podemos preguntarnos por qué ha sido elegido el grano de cebada y no otro. Se ha probado que la utilización de granos de maíz como componente mayoritario nos llevaba al enranciamiento del producto por su alto contenido en grasa y el trigo nos da problemas por la contaminación de microorganismos presentes en su superficie durante la germinación, aunque este problema se puede solventar fácilmente, por esta razón el trigo es el segundo cereal más utilizado para la elaboración de cerveza.

Se ha elegido la cebada por varias razones. Una de ellas es que la cubierta protege al germen durante los procesos de malteo y a su vez favorece la filtración del mosto, ya que actúa como medio filtrante. Por otra parte cada grano contiene hasta un 90% de carbohidratos, del cual un 70-80% son gránulos de almidón, y una relación entre proteínas y sustancias nitrogenadas que ayuda al crecimiento de las levaduras y a la formación de la espuma. Otra de las razones es que la temperatura de

gelatinización del almidón de cebada es de unos 52-59°C, rango el cual está por debajo de la temperatura de degradación de las amilasas, favoreciendo la descomposición del almidón en la maceración (Hornsey, 1999)

La producción mundial de cebada va destinada a dos líneas, la alimentación animal y la fabricación de cerveza. Las características según la línea a la que vayan destinadas son diferentes. Para la alimentación animal se requieren altos contenidos en proteínas, y para el sector cervecero se necesita un mayor contenido en almidón. Es interesante que las variedades sean resistentes a las enfermedades más típicas y que puedan resistir condiciones climatológicas adversas, así como que su rendimiento sea suficiente como para obtener beneficios y, de esta manera, atraer al agricultor a cultivar ese tipo de cebada.

Se buscarán diferentes características para el beneficio del producto final. Una germinación homogénea, que para ello necesitaremos tamaños del grano similares, cuyos valores óptimos abarcarán entre 2-2.5 mm. También buscaremos que su capacidad germinativa sea elevada, superior al 97%. El contenido en agua debe ser inferior al 12%, el de proteína deberá estar entre 10-11%, deberá haber un porcentaje inferior al 4% de granos partidos y una pureza varietal superior al 95% (Ministerio Agricultura & España, 2018).

Las variedades dentro de *Hordeum vulgare* que más se acercan a las características exigidas por las malterías son Pewter, Shakira y Traveler. Son las más apreciadas por su calidad. Se han hecho ensayos con otras tres variedades, llamadas RGT Planet, KWS Fantex y Chronicle, que muestran gran potencial agronómico y cualidades interesantes (Ministerio Agricultura & España, 2018).

4.2 Lúpulo

4.2.1 Introducción

Los primeros documentos del cultivo del lúpulo se remontan al año 736 d.C. en Baviera, aunque escritos escandinavos lo nombran y datan en el año 1000 a.C. aproximadamente. Se cultivó extensamente en Baviera, Eslovenia y Bohemia entre los siglos IX y XII, desde donde se difundió a toda Europa. En Inglaterra se encuentra en un

edicto monástico del año 822 d.C. el uso y cultivo del lúpulo, pero no prospera en esta región por la falta de interés de los cerveceros ingleses para la utilización de este producto en sus cervezas "ale" (Hornsey, 1999).

En la actualidad las principales zonas de cultivo son los Estados de Washington, Oregón e Idaho (Hornsey, 1999). Aunque España es el sexto productor Europeo y noveno del mundo. Fundamentalmente se cultiva en la Ribera del Órbigo (León), La Rioja, Navarra, Galicia y Cataluña, que suman 500 hectáreas cultivadas, las cuales en el año 2018 produjeron 900 toneladas de flor de lúpulo (Ministerio Agricultura & España, 2018).

En Aragón también hay solamente una plantación, exactamente en Daroca, que es una zona en la que abundan las plantaciones de maíz, vid, patatas, almendro y cerezo. El lúpulo Aragonés, debido a su clima seco, posee un mayor amargor y aroma. Varias marcas aragonesas utilizan, entre otros, lúpulo aragonés, como Tensina, Pirineos Beer, Bachiella, Oridio o Selene (Alimentos, 2019).

4.2.2 La planta

Se conoce con el nombre científico de *Humulus lupulus* es una planta perteneciente a la familia de las Cannabinaceas, que a pesar de su proximidad con otras plantas de esta familia no posee propiedades alucinógenas. Está relacionada con las ortigas, olmos y cáñamo, siendo esta última su pariente más próximo (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000). A parte de aportar aromas a nuestro producto final ayuda a mejorar la estabilidad de la espuma, a dar claridad a



Fuente: <https://www.jardineriaon.com/cultivar-lupulo-y-disfrutar-de-la-cerveza-artesanal.html>

Figura 4.3. Flor del lúpulo.

nuestra cerveza y sobre todo da estabilidad microbiológica debido a sus resinas y ácidos.

El *Humulus lupulus* es una planta perenne, aunque realmente las raíces, en forma de rizomas, son las únicas partes de la planta que lo son, porque las partes aéreas mueren tras la floración. La planta tiene una vida útil de entre 5-15 años (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000). También es trepadora pudiendo llegar a alcanzar los 6 metros de altura. Es una especie dioica, es decir, los órganos masculinos y femeninos se encuentran en plantas diferentes. Esta planta florece en julio y agosto y es nativa de Europa y Asia continental (Hornsey, 1999).

Para satisfacer la demanda de la industria cervecería ahora se planta en todas las regiones templadas del mundo. Al ser plantas dioicas, la especie es altamente heterocigótica, por lo que las plantas que procedan de semillas tendrán grandes variaciones morfológicas. Por esta razón los agricultores propagan esta planta de forma vegetativa. Ya sea por esquejes leñosos, por brotes plantados en recipientes estériles o por acodadura, que consiste en enterrar el tallo cuando está creciendo y una vez la estación de crecimiento se haya acabado procedemos a desenterrarlo, cortarlo y plantarlo (Hornsey, 1999).



Fuente: <https://www.amazon.com.mx/Cerveza-ingrediente-animados-calcoman%C3%ADa-Cualquier/dp/B079X4MLN9>

Figura 4.4. Dibujo de la flor del lúpulo.

Desde el punto de vista de la cervecería la parte de la planta que interesa es el cono femenino o también llamado estróbilo, que se puede ver en las Figuras 4.3 y 4.4. Tiene un eje central con una serie de nodos. Cada nodo tiene dos brácteas membranosas, persistentes y de color amarillo-pálido-verdoso y cuatro bracteolas en su base y un ovario al que se adhiere una pequeña glándula de lupulina (Aizpuru, Aseginolaza, Uribe-Echebarria, Urrutia, & Zorrakin, 2000). En estas glándulas se encuentran todas las resinas, que aportan amargor, y aceites esenciales, responsables del aroma y del amargor de nuestro producto. Si la flor es fertilizada se desarrollará

una sola semilla. Esta semilla estará rodeada por un pericarpo cuya capa externa contendrá mayor concentración de resinas, por lo que aportarán mayor amargor. Según el tipo de producto final que queramos obtener utilizaremos flores de lúpulo fecundadas o sin fecundar. Los lúpulos macho carecen de interés cervecer, porque tienen pocas glándulas de resina, solo serán interesantes de cara a fecundar las flores hembra. Para ello bastará con plantar dos o tres machos por cada campo, ya que es una planta anemófila, es decir que poliniza por acción del viento (Hornsey, 1999).

4.2.3 Recolección y secado

Tanto los sistemas de recolección como de separación de los conos están altamente mecanizados. En el hemisferio Norte la recolección es en septiembre. Y una vez recolectados los conos deben secarse, lo antes posible, desde una humedad inicial del 80% aproximadamente, hasta un 8-10%. Los secaderos de lúpulo son similares a los de grano, con las diferencias técnicas que conlleva su mayor tamaño. Se utilizan corrientes de aire caliente. Hay que tener especial cuidado con las condiciones, ya que un exceso de estas puede provocar reacciones de Maillard, pardeamiento del producto y aparición de sabores y aromas no deseados, así como la pérdida de contenido de α -ácidos. Una vez ha finalizado el secado se empaqueta a gran presión, para eliminar la mayor cantidad de aire posible, y así proteger el producto de oxidaciones. Se deberá almacenar a temperaturas de refrigeración, 4°C, así conservamos sus propiedades organolépticas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Con el paso del tiempo se han mejorado los tratamientos para que el volumen final del lúpulo sea mucho menor, de este modo el transporte y almacenamiento es mucho más eficiente. Los principales productos son el polvo de lúpulo, aunque este pierde muchos compuestos aromáticos y resinas, debido al gran aumento de superficie de partícula, el extracto de lúpulo, que es muy utilizado para las cervezas tipo "lager" que se producen de forma industrial, y por último el pellet de lúpulo, que suele ser el más utilizado por los cerveceros artesanos.

4.2.4 Composición química

En líneas generales el lúpulo comercial está compuesto por un 5-24% de resinas totales, siendo los α -ácidos o humulonas las mayoritarias, por delante de los β -ácidos o

Iupulonas. Estas sustancias son las responsables de aportar a nuestro producto estabilidad bacteriostática. La humedad suele rondar entre un 8-12%, los aceites esenciales son inferiores al 2%, los carbohidratos están comprendidos entre el 10-20% y las cenizas un 5-9% (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.2.5 Enfermedades

Son causadas por hongos, artrópodos y virus.

El marchitamiento por verticillium está causado por *Verticillium albo-atrum*. Es un organismo perteneciente al reino fungi, que fue mencionado por primera vez en Kent, año 1923. Es una enfermedad que persiste en el suelo en forma de espora, la cual puede llegar a sobrevivir durante cuatro años. Las infecciones se producen por la raíz. Hasta la fecha no se conoce ningún agente químico que sea capaz de erradicar esta enfermedad, por lo que si una cosecha está infectada hay que cortarla y quemarla y el terreno donde se ha producido la infección no puede ser replantado sin permiso del gobierno (Hornsey, 1999).

El moho veloso, *Pseudopernospora humuli*, llegó a Gran Bretaña en la década de 1920, aunque en el Lejano Oriente y en EE UU ya se había descrito a principios de ese siglo. Este hongo hiberna en las raíces, y en verano genera esporas negras que son capaces de infectar las partes aéreas de las plantas, reduciendo notablemente el rendimiento de la cosecha. Como la mayoría de los hongos necesita altos niveles de humedad relativa. Existen fungicidas capaces de eliminar estas plagas, como por ejemplo el matalaxilo (Hornsey, 1999).

Sphaerotheca humuli es una cepa que adopta el nombre de moho pulverulento, o más conocido como "midíu" fue detectado por primera vez en el siglo XIX. Causó grandes pérdidas en su aparición, pero en la actualidad se han diseñado fungicidas muy efectivos, pero hay que utilizarlos de forma preventiva, como la mayoría de estos tratamientos, ya que, una vez implantada la enfermedad es difícil combatirla. Es fácil de detectar, ya que salen manchas blancas en las hojas que cambian de color al rojo. Si no somos capaces de eliminarla antes de que infecte los conos perderemos la cosecha, y al tener capacidad de hibernación si no la tratamos correctamente corremos el riesgo de que infecte la cosecha de años venideros (Hornsey, 1999).

El ácaro o araña roja solo presentará problemas graves en climas cálidos y secos. *Tetranychus urticae* se detecta cuando aparecen pequeñas manchas plateadas, que si no son tratadas pasarán a adoptar un color rojizo. El problema de esta plaga es que hospedan un gran rango de plantas, por lo que es difícil su control, a parte ya se ha apreciado que han desarrollado resistencia a los acaricidas organofosfatados (Hornsey, 1999).

El áfido del lúpulo y del ciruelo (*Phorodon humuli*) ha sido una peste que infectó Inglaterra hasta el siglo XIX, hasta que pudo ser posible su control químico. Se regaba con soluciones de nicotina, aunque se han sustituido por compuestos organofosfatados. La infección se produce en mayo, mientras tanto hibernan en la corteza de diversos *Prunus*, excepto en verano que solo el lúpulo es capaz de alojarlo. Los áfidos alojados dentro de los conos de floración están protegidos de las aspersiones, y en verano generan aceites que pueden ser sustrato para diferentes agentes alterantes (Hornsey, 1999).

Solo existen dos virus en el lúpulo que sean capaces de causar enfermedades, son el virus del mosaico del lúpulo (VML) y el virus del mosaico arabis (VMA), y son causantes de la enfermedad conocida como la ortiga de cabecera, que impide el crecimiento de los tallos y causa la caída de las hojas (Hornsey, 1999).

4.3 Agua

4.3.1 Introducción

Es el componente principal de la cerveza, con más de un 90%, por lo que necesitaremos de agua con una gran calidad para la fabricación de nuestro producto. No solo la necesitaremos para la elaboración, también será necesaria para labores de limpieza de la planta de producción y para el funcionamiento de algunos equipos, llegando a utilizarse hasta 6 veces más volumen que el que vamos a envasar.

Es sabido que el agua se considera como un bien escaso, lo que nos lleva a racionalizar todo lo que podamos los procesos, para que la utilización de esta sea mínima.

En el pasado, la fábrica se tenía que situar cerca de reservas de agua naturales de gran calidad y que el suministro de esta fuera continuo. Por ejemplo en Checoslovaquia las cervezas Pilsner obtenían ese gusto suave por sus aguas blandas, en cambio la dureza de las aguas de Londres o Dublín eran características de sus cervezas negras (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Con el avance de las técnicas de análisis químico se fueron obteniendo conocimientos más amplios de la composición del agua, lo que nos ha permitido caracterizar de forma más precisa diferentes parámetros como el pH o la dureza y corregirlos en caso de que no se ajusten a los requeridos. De este modo nos aseguramos de que nuestra cerveza se haga siempre con el mismo tipo de agua y no cambie su sabor drásticamente. También es cierto que la cerveza artesana busca un poco volver a este estilo de elaboración, buscando lugares donde no sea necesario tratar el agua, o que el tratamiento sea mínimo. Sin embargo en las grandes industrias de cervezas comerciales hay un puesto de control de todas las aguas a la entrada de la fábrica, la cual tendrá que tener unas características muy concretas. De este modo son capaces de hacer el mismo tipo de cerveza en cualquier lugar del mundo.

Hay que tener cuidado con el tipo de agua que utilicemos, ya que, tendrá diferentes características aquella que empleemos para la elaboración y la que utilicemos para las labores de limpieza, por citar un ejemplo, el agua que utilicemos para las labores de limpieza no tendrá que contener agentes que dañen las tuberías.

4.3.2 Composición química

La dureza es uno de los parámetros más importantes a la hora de analizar el agua. La medida del calcio y del magnesio es lo que denominamos dureza total, y la expresaremos como carbonato cálcico. La dureza equivalente a la alcalinidad por carbonato y bicarbonato, llamada dureza temporal se puede eliminar por ebullición y aireación. De esta manera hacemos precipitar el carbonato cálcico y eliminamos el dióxido de carbono. El carbonato de magnesio precipita peor y es más soluble, por lo que de este modo no seremos capaces de eliminarlo (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La dureza que no está relacionada con los carbonatos se denomina dureza permanente y es la cantidad de calcio y magnesio asociada a aniones, los cuales no son

carbonatos ni bicarbonatos, principalmente son iones sulfato, nitratos y cloruros. Una de las maneras de tratar este tipo de dureza consiste en la adición de carbonato sódico (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Podemos utilizar resinas de intercambio iónico. Para la dureza temporal estas resinas serán débilmente ácidas, es decir serán catiónicas. Si lo que se quiere es eliminar la dureza permanente tendremos que utilizar una resina aniónica. Si queremos eliminar ambas tendremos que utilizar resinas catiónicas, después desgasificar el agua para eliminar el dióxido de carbono y por último utilizar resinas aniónicas. La técnica de ósmosis inversa también se puede aplicar, según el volumen de agua a tratar es muy caro (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La dureza temporal del agua que utilicemos para la elaboración de cerveza no excederá los 25 miligramos por litro. Es importante la presencia de iones calcio, magnesio y bicarbonato (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000):

Antes de explicar las causas de por qué estos compuestos nos van a ser útiles debemos apuntar que en una mezcla donde el agua es la sustancia principal el pH dependerá, entre otros parámetros, de cómo se encuentre el carbono. Si predomina el dióxido de carbono, CO_2 , el pH será bajo, es decir ácido, y existirá peligro de corrosión de elementos metálicos. Si el pH se eleva de ácido a neutro dominarán los iones bicarbonato, HCO_3^- . Y si el pH sube por encima del neutro dominarán los iones CO_3^{2-} , carbonatos. Otra de las funciones de los carbonatos es la formación de incrustaciones de carbonato cálcico, CaCO_3 , sobre superficies debido a las reacciones de los iones calcio y carbonato. (Atkins & Jones, 1999).

En el momento que hervimos el mosto el bicarbonato al unirse al hidrógeno eleva el pH liberando dióxido de carbono; La malta contiene ácido fosfórico, en presencia de iones calcio forma fosfato cálcico, que al ser muy insoluble precipita y lleva a la liberación de iones de hidrógeno y a la disminución del pH. Un pH demasiado elevado sería muy desfavorable, nos llevaría a un peor rendimiento, no coagularían bien las materias nitrogenadas en la ebullición, se agriaría nuestro producto y favoreceríamos a los fermentos lácticos; Las α -amilasas no actúan en ausencia de iones calcio; Los iones calcio ayudan a la floculación de las levaduras; El magnesio es un

cofactor necesario para el funcionamiento de muchas de las enzimas de las levaduras, como la piruvado descarboxilasa, que cataliza la descarboxilación del ácido pirúvico a acetaldehido y dióxido de carbono, y es la responsable de la formación de etanol en condiciones anaerobias (Freeman, 2009).

El agua para la elaboración de cerveza no debe sobrepasar los 20-50 miligramos por litro de nitratos, ya que, pueden ser transformados a nitritos por las levaduras aportando mal gusto.

Deberemos tener bajas concentraciones de hierro en nuestra cerveza, porque inhibe el crecimiento de las levaduras, aportándonos sabores y olores indeseados. Es cierto que ayudará a la formación de espuma, pero le dará un color marrón.

4.3.3 Tratamientos de agua

El agua que utilicemos para la elaboración de la cerveza tendrá que cumplir las exigencias legales de un agua potable, por lo que tendrá que estar exenta de microorganismos alterantes. Lo normal es que el abastecimiento de agua de nuestra planta de producción ya sea potable. Por lo que solo tendremos que regular la dureza y eliminar el cloro presente en nuestro agua.

Las pequeñas industrias cerveceras cuentan solamente con un pequeño equipo de ósmosis inversa, el cual elimina la dureza del agua y el cloro, que es un elemento que no podemos permitir que esté presente en forma de ión en nuestra agua, y una descalcificadora para el agua que se vaya a utilizar en los procesos de limpieza (Fermun, 2019).

4.4 La Levadura

4.4.1 Introducción

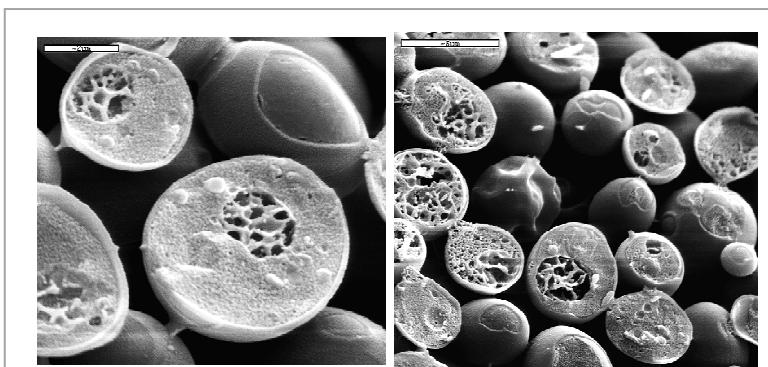
Las levaduras más utilizadas en la industria cerveceras son del género fúngico *Saccharomyces*, se conocen más de treinta especies de este género. Los hongos pertenecen al grupo Protista y dentro de los hongos las levaduras pertenecen a la subdivisión ascomicetos, que al producir esporas se clasifican como Euascomycetos (Hornsey, 1999).

El término *Saccharomyces* como casi todos los nombres y términos científicos suelen estar basados en raíces léxicas griegas o latinas. La raíz griega *saccharo* significa 'azúcar', y *myces* hace referencia a un 'hongo', por lo que *Saccharomyces* se denominará 'hongo del azúcar'. En cuanto a *cerevisae* es 'cerveza' en latín. Por lo tanto el nombre científico de la levadura de los cerveceros, con permiso de los panaderos y enólogos, significa 'hongo del azúcar para la cerveza' (Freeman, 2009).

La relativa facilidad de *Saccharomyces cerevisae* para ser cultivada y manipulada en laboratorio a llevado a que se realicen diversos estudios de este hongo que han ayudado a comprender y ser capaces de controlar el ciclo celular y la expresión genética de eucariotas, ya que su morfología es sencilla y constituyen un ejemplo ideal de célula eucariota "pura". Incluso varios genes que controlan la división celular y la reparación del DNA en levaduras tienen sus homólogos en el ser humano (Freeman, 2009).

4.4.2 Taxonomía del género *Saccharomyces*

Las levaduras son microorganismos del reino fungi, por lo general unicelulares, los cuales se reproducen vegetativamente por gemación multipolar. Se puede observar la apariencia de las levaduras en la Figura 4.5. La gemación es un tipo de reproducción asexual que consiste en una división que no tiene por qué ser simétrica, por lo que el organismo crecerá con protuberancias que podrán ser separadas totalmente de él, formando otra célula o puede que no se llegue a separar por completo, de esta



Fuente: <http://caeliacerea.blogspot.com/2015/04/ingredientes-iv-la-levadura.html>

Figura 4.5. *Saccharomyces cerevisae* Imagen de microscopía electrónica de barrido (SEM) con crio fractura. A.V. Carrascosa.

manera forman colonias. Multipolar quiere decir que la gemación puede darse en cualquier lugar de la superficie de la célula. Sus células tienen forma esférica, oval o cilíndrica y no son filamentosas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.4.3 Estructura

Las levaduras están rodeadas de una pared rígida que puede presentar cicatrices, producidas por las diferentes divisiones que hayan sufrido. En la parte interna de la pared está la membrana celular. Su interior está lleno de citoplasma, y de diferentes orgánulos, el retículo endoplasmático, mitocondrias, vacuolas y núcleo. Cuando se produce la gemación el núcleo se divide y se producen nuevos orgánulos que se irán distribuyendo entre la célula madre y la hija, que, esta última, se puede denominar yema (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La pared celular es el 30% del peso seco total de la célula. Esta estructura es la responsable de que la cepa sea de fermentación alta o baja. Las levaduras de fermentación alta son aquellas que se extraen de la superficie del tanque al detener la fermentación. Este tipo de fermentación es característica de las cervezas "ale" y se debe a pequeñas protuberancias microfibrilares que les dotan de flotabilidad y a la unión con moléculas de CO₂. Las de fermentación baja sedimentan. Estas últimas son cepas de levaduras que tras la reproducción asexual las yemas que forman no llegan a separarse, formando largas cadenas que sedimentan más rápidamente. Existen otras cepas que son floculantes. Esto quiere decir que las células se atraen entre sí, y que forman puentes de calcio o de hidrógeno que provocan su unión, cuando se acercan lo suficiente, así forman agrupaciones que o bien sedimentan en el fondo del tanque o flotan en la superficie. Las cepas floculantes tienen mayor facilidad a la hora de sedimentar (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La membrana está compuesta en su mayoría por lípidos y fosfolípidos, aunque también contiene proteínas y carbohidratos. La fluidez de la membrana dependerá de los fosfolípidos y de ella dependerá la tolerancia al etanol de la levadura. El retículo endoplasmático está formado por una serie de membranas, las que aportan superficie para reacciones químicas y un lugar de almacenamiento y transporte para las moléculas formadas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

El citoplasma es una matriz en la que se encuentran diversas sustancias celulares. Entre ellas se encuentran una serie de varillas llamadas microfilamentos y microtúbulos, que en su conjunto forman el citoesqueleto, que dota de estructura a la célula (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

El núcleo contiene el material genético, en su interior se observa un espacio más denso que se denomina nucleolo, en él se observan dos regiones, una de partículas y otra fibrilar (Hornsey, 1999).

Las mitocondrias tienen forma de judía o de riñón y se encuentran en el citoplasma. Están formadas por una doble membrana, similar a la membrana plasmática. En su interior esta membrana forma una serie de pliegues que se denominan crestas. Contiene enzimas respiratorias que participan en el ciclo de Krebs y encargadas de la fosforilación oxidativa. En los estadios de crecimiento, excepto en el exponencial, las levaduras contienen varias mitocondrias, y una de ellas está ramificada y es mucho más grande. Este fenómeno se debe a que en el momento de crecimiento rápido de la fase exponencial el orgánulo que está ramificado se divide rápidamente para así poder generar el mayor número de células posible (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Generalmente las levaduras cuando se encuentran en la fase estacionaria de crecimiento tienen una gran vacuola, en su interior suele presentar granos densos de polifosfato. En cambio en la fase exponencial presentan varias vacuolas que crecen de estos granos densos, se cree que esto se produce para la movilización de fosfatos de reserva que contienen en su interior. Contienen enzimas hidrolíticas, cuya función es reciclar moléculas de la propia célula (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.4.4 Nutrición

La fermentación es un proceso anaerobio producido por las levaduras, pero estas necesitan oxígeno en las etapas iniciales para la síntesis de aminoácidos esenciales y ácidos grasos insaturados necesarios para componentes de la membrana celular. Esta fase aerobia se puede llevar a cabo antes de introducir las levaduras en el tanque de fermentación, o en el mismo, en el caso de la elaboración artesana se hace en el mismo tanque de fermentación, ya que se necesita un pequeño laboratorio para

esta práctica. En el caso de hacerlo en el tanque no correremos riesgo de oxidaciones debido a que el dióxido de carbono producido arrastrará el oxígeno hacia el exterior. Aproximadamente en un día el oxígeno se consume y es cuando comienza la fase exponencial de la producción de etanol. Al igual que una insuficiencia en la aireación tampoco es bueno un exceso, porque nos arriesgamos a un crecimiento excesivo de la levadura, oxidaciones y bajos ratios de fermentación y producción de etanol (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

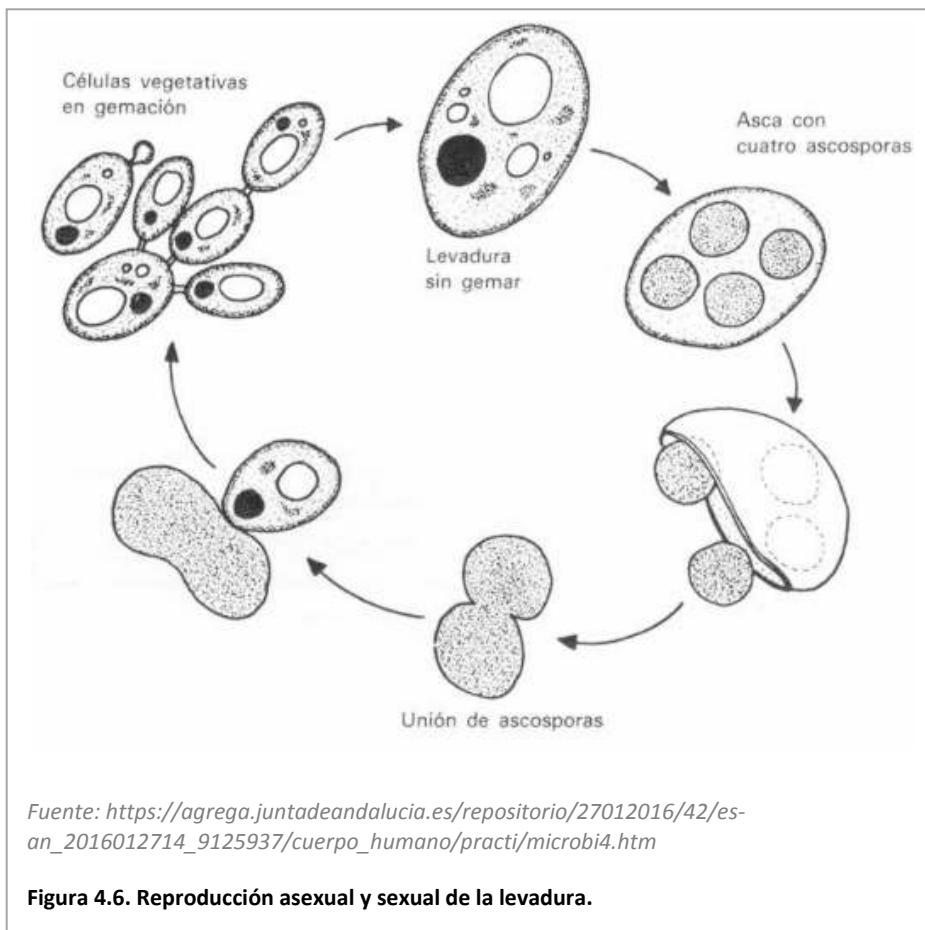
El nutriente principal para las levaduras en sus fases de crecimiento es el carbono, presente en los carbohidratos. Los azúcares presentes en el mosto por orden de concentración son la maltosa, dextrinas, maltotriosa, glucosa, fructosa y sacarosa. La sacarosa es el primer azúcar en ser metabolizado, como la levadura no es capaz de asimilarlo primero lo hidroliza y después consume los productos residuales, que son glucosa y fructosa, los siguientes azúcares en ser consumidos por la levadura. Por último la maltosa y la maltotriosa son absorbidos por la célula y en el citosol son hidrolizados, también en forma de glucosa y fructosa. Las dextrinas no son metabolizadas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

La levadura también necesita nitrógeno, que lo puede obtener de iones amonio, algunas cepas, aunque la mayor parte del nitrógeno lo toma de aminoácidos y de los di- y tri- péptidos del mosto, que han sido liberados con la ruptura de proteínas en los procesos de malteado y en la maceración.

4.4.5 Ciclo vital

El ciclo celular está comprendido entre dos divisiones sucesivas. Cuando la levadura se reproduce asexualmente es diploide y lo hace por gemación. Esta circunstancia puede mantenerse indefinidamente si los nutrientes y las condiciones del medio son las adecuadas. Puede darse el caso de que se den condiciones adversas o escasez de nutrientes, en ese momento ciertas células entran en fase asexual, las cuales se transformarán en ascas que contienen las ascosporas. En este proceso se forman cuatro esporas haploides, dos de tipo a y dos de tipo α . En el momento que las condiciones vuelvan a ser favorables germinarán formando células haploides que se

unirán entre sí solo si sus signos son diferentes, formando una célula diploide. Todo este ciclo vital está representado en la Figura 4.6 (Diaz, 2012).



4.4.6 Floculación

Es la habilidad, de las levaduras cerveceras, para unirse entre sí y formar agrupaciones o flóculos, los cuales sedimentarán de forma más rápida. Es una propiedad muy importante de las levaduras, que nos ayudará a extraerlas al final de la fermentación. Existen cepas que no floculan por si solas, si no que necesitan de la presencia de otra cepa diferente para que ambas lo hagan, a este fenómeno se llama cofloculación y solo se ha observado en levaduras de fermentación alta (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Existen factores que pueden afectar a la floculación como los fisiológicos y ambientales (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La edad de las células está relacionada con la floculación, de forma que si las levaduras se encuentran en estado estacionario su floculación será máxima. Se ha comprobado que en presencia de glucosa las levaduras no flocularán, y en altas concentraciones de sustancias nitrogenadas tardarán en hacerlo. Estos serán los factores fisiológicos (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En cuanto a los factores ambientales los dividiremos en físicos, químicos y biológicos. Los físicos estarán relacionados con la temperatura. Cada levadura tendrá una temperatura óptima, que oscilará entre 15 y 40 °C, también será favorable una agitación suave para provocar una fermentación uniforme. El pH será muy importante para estos microorganismos, que trabajarán de forma eficiente a un valor determinado, dependiendo del medio y del tipo de organismo, entre 3.6 y 4.6. Y los biológicos serán el número de células que haya por unidad de volumen (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.4.7 Propiedades deseadas por los cerveceros

El objetivo, como es lógico, es buscar la máxima eficiencia de las materias primas y los equipos de los que disponemos, obteniendo una mayor calidad de nuestro producto final. Por esta razón las levaduras deben ser de alta calidad cumpliendo unas características óptimas. Los maestros cerveceros tradicionales buscaban propiedades tales como: Una alta velocidad de fermentación, sin que las colonias de levaduras crecieran en exceso, buena conversión de maltosa y maltotriosa a etanol, resistencia a las concentraciones finales de etanol y a la presión osmótica, que sean regulares a la hora de producir los mismos producto, que floculen correctamente y que sean fáciles de manejar (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Las levaduras no solo se ocupan de transformar azúcares fermentables en etanol y dióxido de carbono, también producen compuestos que dotan a nuestro producto de unas características organolépticas propias. Por esta razón, en la actualidad, gracias a la biotecnología podemos dotar a las levaduras de características que nos ayuden en nuestro proceso. Podemos dotar a las levaduras de la habilidad de producir proteasas, así degradarán proteínas que enturbian nuestro producto en las etapas de maduración, de esta manera los procesos finales de clarificación no habrá

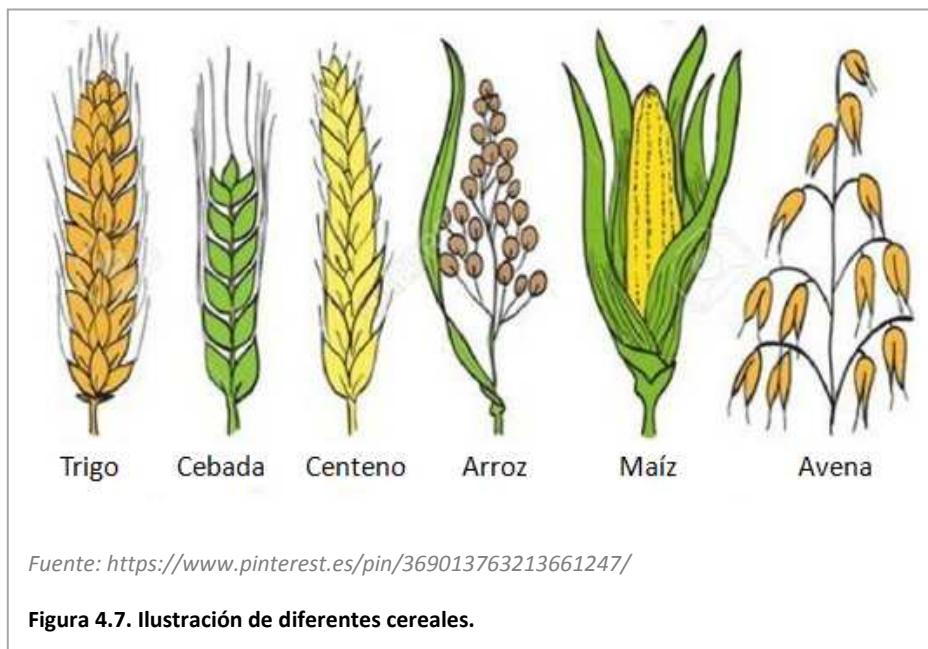
que realizarlos, o serán menos costosos. También podemos mejorar sus forma de flocular y dotarlas de resistencia a contaminantes y toxinas para que sean más eficientes (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.5 Otros cereales utilizados en cervecería

4.5.1 Adjuntos

Se considera adjunto a cualquier producto distinto a la malta de cebada que se utilice en la cuba de maceración para producir extracto (Hornsey, 1999).

Los adjuntos se utilizan para abaratar costes, aportar una fuente de azúcar, aportar estabilidad coloidal y para producir cervezas más claras. En Europa la legislación nos dicta que podremos utilizar un 10-30% de adjuntos en nuestro producto, dependiendo del país (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).



En cuanto a la producción artesanal de cerveza los adjuntos se utilizan para dotar a nuestro producto de propiedades especiales, dándole carácter y diferenciación. A diferencia de las cervezas producidas por las grandes empresas, que utilizan los adjuntos para aportar mayores cantidades de azúcar al mosto, así abaratan costes y regulan la graduación de alcohol al demandado por el público. Los cereales que nombran a continuación se han ordenado desde el más al menos utilizado, aunque

conforme crezca la producción de cerveza artesanal este orden puede cambiar. En la Figura 4.7 se puede apreciar una ilustración de varios cereales que pueden utilizarse como adjuntos.

4.5.2 Trigo

Triticum aestivum es el cereal más cultivado en el mundo, y por lo general se emplea en esta industria como adjunto. Una de las grandes causas de que no se suela utilizar el trigo, es que las paredes celulares del endospermo contienen pentosanos, los cuales producen enturbiamientos en el producto final. Es cierto que el trigo tiene mayor cantidad de almidón, pero al no contener cáscara también nos provoca problemas en el maleado, así como ya se mencionó anteriormente que es más propenso a contener microorganismos patógenos en su superficie. Es cierto que la temperatura de gelatinización del almidón es lo suficientemente baja, 52-64 °C, como para añadirlo a la cuba de mezcla sin cocción previa (Hornsey, 1999).

Estas razones nos indican que si que podemos hacer cerveza a partir de solamente malta de trigo, de hecho hay muchas marcas que apuestan por hacer un tipo de cerveza utilizando este cereal, pero al no aportar facilidades con respecto a la cebada, y la tradición de utilizar *Hordeum vulgare* para la elaboración de este producto, nos explica porque la gran mayoría de las cervezas están elaboradas a partir de maltas de cebada. Aunque prácticamente todas las grandes marcas españolas en su gama de cerveza especial, y en muchas otras, utilicen un porcentaje de malta de trigo para regular los parámetros del producto final a su gusto.

4.5.3 Arroz

Su temperatura de gelatinización del almidón es más elevada, 70-80 °C, por lo que deberemos cocer los granos antes de la maceración, debido a que la etapa de maceración no alcanza tales temperaturas, por lo que no se romperían los gránulos de almidón. Es el segundo cereal más cultivado en el mundo, pero se utiliza un porcentaje muy pequeño para la elaboración de cerveza. El grano de arroz tiene más almidón que la cebada y el trigo, y menos proteínas, fibra y lípidos, lo que podría ser interesante para el maestro cervecero, pero la producción por hectárea en términos de extracto cervecero es muy pequeña (Hornsey, 1999).

La razón por la que se utiliza como adjunto, sobre todo en EE UU, es porque tiene menor contenido en grasas que el maíz y posee sabor y aroma neutro. Bien es cierto que no todas las variedades de arroz sirven y que sus elevadas temperaturas de gelatinización dificultan la producción de los copos o almidón puro (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.5.4 Avena

Contiene altos niveles de lípidos y proteínas, es muy extraña su utilización en esta industria, aunque sí que hay antecedentes de su utilización, por falta de los otros cereales. La temperatura gelatinización del almidón comprende los 55-60 °C, y su cáscara es fibrosa, por lo que no se producen problemas a la hora de separarla del mosto (Hornsey, 1999).

4.5.5 Centeno

Es más común su utilización en la producción del whisky y pan. Las grandes productoras de cerveza no lo utilizan porque su aporte en carbohidratos no sale rentable para el precio que tiene, pero en la elaboración artesana es un cereal muy interesante, porque nos da aromas muy característicos, de hecho una de las recetas que incumben a este proyecto preliminar necesita de malta de centeno. Rusia es la mayor productora de este cereal (Hornsey, 1999).

4.5.6 Maíz

Este cereal, *Zea mays*, se utiliza muy poco en cervecería. Sus gránulos de almidón, que ocupan una proporción del 72% en extracto seco, son fácilmente hidrolizables, pero su gelatinización se produce a temperaturas muy elevadas, por lo que necesitamos hacer una pre-cocción. Si se utiliza habrá que eliminar el germe del maíz (Hornsey, 1999).

Se suele utilizar en forma de sémola, copos o almidón puro. La sémola se produce moliendo los granos secos, así eliminamos la cascarilla y el embrión, que es rico en aceites, de esta manera obtenemos el endospermo que también será molido. Los copos se producirán calentando la sémola, así gelatinizaremos el almidón por lo que lo haremos vulnerables a las amilasas, que posteriormente se dejará enfriar (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

4.5.7 Sorgo

Es propio de regiones áridas. Las cervezas africanas suelen utilizar este cereal para su elaboración. Aunque contiene altos niveles de polifenoles y las pérdidas en el malteado son elevadas. Es un cereal propenso a infecciones fúngicas y genera mostos deficientes en nitrógeno, por esta razón las levaduras tendrán dificultades en las fases iniciales de crecimiento (Hornsey, 1999).

4.6 Recetas

4.6.1 Introducción

En este apartado se van a explicar a grandes rasgos los tipos de maltas y lúpulos que hay en el mercado. Una vez se hayan descrito se darán las cantidades de cada materia prima que se van a utilizar para cada receta.

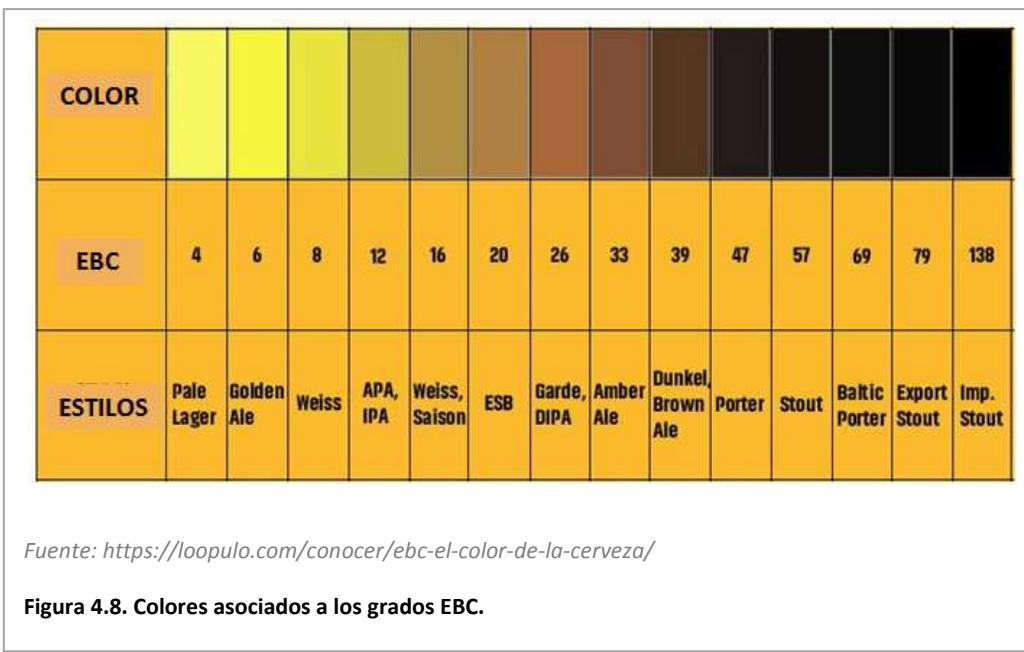
Como ya se ha explicado anteriormente en este proyecto preliminar se van a realizar cuatro recetas diferentes. Dos de ellas serán las denominadas de abadía, una ámbar y otra oscura. Las otras dos serán de trigo y de centeno. Se ha decidido elaborar estos cuatro tipos para llegar a todos los públicos. A aquellos que les gusten cervezas suaves y refrescantes podrán optar por la de centeno o la de trigo, porque estarán elaboradas en su mayoría con malta base de cebada, lo que las hará suaves al gusto, y las maltas de trigo y de centeno aportarán los sabores especiales propios de estos estilos. Para aquellos que les gusten los sabores más fuertes podrán optar por la ámbar de abadía, que se elabora con maltas más tostadas. Y para los amantes de la cerveza negra y sus gustos a café y chocolate se ha escogido la oscura de abadía.

4.6.2 Maltas

La malta es, simplemente, granos de cereal que han sido germinados y posteriormente han sufrido unos procesos de tostado más o menos intensos. La germinación se realiza de manera forzada, siguiendo unos procesos de remojo siempre en presencia de oxígeno. Una vez se ha conseguido germinar los granos se secan con corrientes de aire forzado, que dependiendo del tipo de malta que queramos obtener la temperatura y caudal de este aire será mayor o menor. La elaboración de este producto corresponda, generalmente, a las malterías y no a las cerveceras. Los granos seleccionados para el malteado son aquellos con mayor calidad. Su selección

dependerá de un alto contenido en almidón, un tamaño uniforme de grano, bajo contenido en nitrógeno y de un alto poder diastático, que es la cantidad de enzimas diastáticas que contiene el grano, encargadas de la descomposición del almidón en azúcares simples.

Las maltas se pueden dividir en tres tipos diferentes, las maltas base, las caramel o cristal y las tostadas o torrefactadas. El color de las maltas, en Europa, se mide en grados EBC (European Brewing Convention), en Estados Unidos en SRM (Standar Reference Method) y en Gran Bretaña en grados Lovibond ($^{\circ}\text{L}$). Se suelen ser los Lovibond para las maltas y los ECB para la cerveza, esta última escala se ve representada en la Figura 4.8 (Artesana, Cerveza Artesana, 2014. La guía definitiva de la malta).



Las **maltas base** son las maltas más claras, y todas las recetas utilizan este tipo de maltas en porcentajes superiores al 80 %. El tostado que experimentan es a bajas temperaturas y de corta duración, prácticamente se podría denominar como secado. Estas bajas temperaturas no eliminan a las enzimas diastáticas, por lo que conservan su capacidad de hidrolizar el almidón, así como no se cristalizan los azúcares y son más fáciles de disolver en el mosto. Por estas razones se utilizan en tales porcentajes, porque al conservar este tipo de enzimas ayudarán a hidrolizar los azúcares de otras

maltas utilizadas en la misma receta que no tengan esta capacidad. Este tipo de maltas se elaborarán a partir de granos de cebada o de trigo. Las más conocidas son las maltas Pilsner, Pale Ale, Munich o Viena. Las dos últimas se hornean a temperaturas ligeramente mayores, por lo que se pueden encontrar clasificadas como maltas base o cristal. Este tipo de maltas no suelen sobrepasar los 10 °L.

Las **maltas caramel**, denominadas por los americanos, o **cristal** por los ingleses no se secan, directamente pasan al proceso de tostado. Primero se calientan a temperaturas entre 65-70 °C para degradar el almidón, y posteriormente se eleva la temperatura a temperaturas comprendidas entre los 100-160 °C, dependiendo del color y flavor que se desee conseguir. Este tostado llevará a la cristalización o caramelización, de estos procesos su nombre, de los azúcares y el oscurecimiento de los granos debido a las reacciones de Maillard. Las más oscuras darán sabores a azúcar quemado o café y las más claras a caramelo. Este tipo de maltas suelen rondar entre los 10-120 °L, aunque pueden llegar hasta los 150 °L.

Las **maltas tostadas o torrefactadas** se preparan a partir de maltas base totalmente secas y horneándolas a más de 170 °C, generando fuertes reacciones de Maillard, que aportarán sabores a café, galleta o tostado. Las más utilizadas son las Black, Coffee o Chocolate.

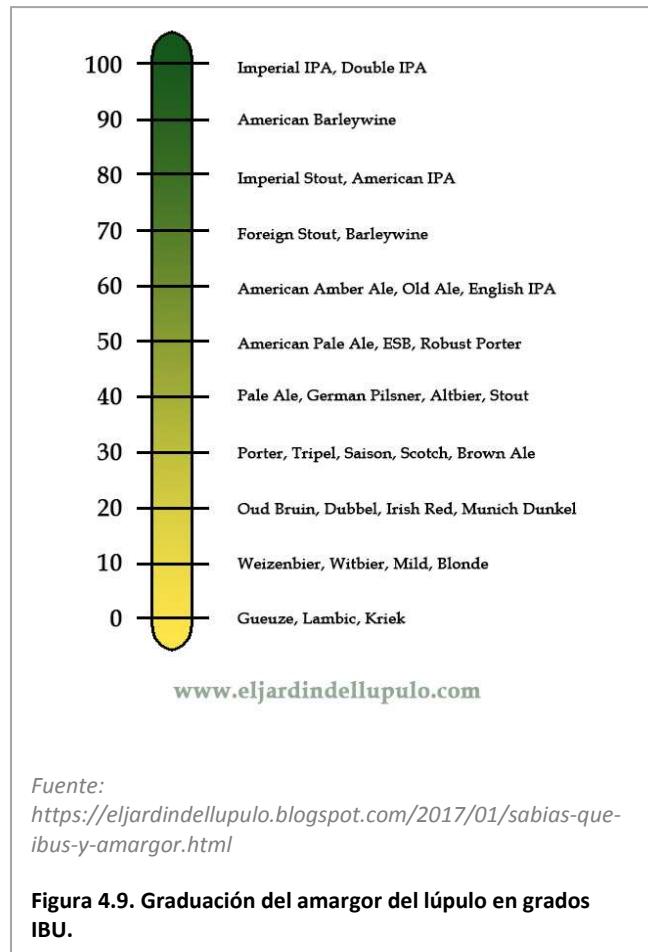
4.6.3 Lúpulo

Los lúpulos se clasifican en tres categorías según su función, los aromáticos, los alfa y los de doble finalidad (Hornsey, 1999). Los lúpulos aromáticos son aquellos que tienen bajo contenido en α -ácidos y los alfa aquellos que dan mayor amargor por su alto contenido en α -ácidos.

También pueden ser clasificados por su origen. En esta clasificación dividimos los lúpulos en nobles, ingleses y americanos. Los primeros son originarios de Europa, son los más caros y se dividen, a su vez, en 4 tipos, Hallertau, Tettnang, Spalt y checo Saaz, dotan a nuestro producto de un amargor suave y un aroma floral y suelen ir destinados a cervezas de tipo "lager". Los ingleses abarcan tanto aromáticos como alfa, teniendo como valor distintivo toques florales y a césped. Y por último los americanos dotan de gustos afrutados y resinosos, siendo utilizados en cervezas American Pale Ale

y en las Indian Pale Ale (IPA), aunque también existen variedades más amargas (Artesana, Cerveza Artesana, 2014. La guía definitiva del lúpulo).

Su amargor se mide en grados IBUs, que son siglas de International Bitterness Unit. Es una escala subjetiva y en la Figura 4.9 podemos observar la escala que va de 0 a 100 dividida con varios estilos conocidos, para poder hacernos una idea, aproximada, de los valores.



4.6.4 Cantidades de materias primas

En este apartado se van a mostrar dos Tablas, la 4.1 y la 4.2. En ellas se ve representadas las cantidades de materias primas necesarias para cada receta. Se muestran de dos maneras. Como materias primas desglosadas, donde se puede ver la cantidad de cada tipo de malta, lúpulo y levadura que se va a utilizar y como materias primas totales, que es la suma de ellas por separado.

Se han confeccionado dos tablas debido a que en la Tabla 4.1 se ven reflejadas tres recetas de las cuales los lotes de producción serán de 1000 litros. Estas tres recetas son la cerveza Ámbar de Abadía, Rubia de Centeno y de Trigo. En la Tabla 4.2 aparecerá la cerveza Oscura de Abadía, debido a que de este tipo de cerveza se elaborarán 500 litros por lote. La razón de que este tipo se elabore menos es porque el público suele consumir menos este tipo de cervezas, pero es un público con gran fidelidad a esta cerveza y hay que cubrir esa demanda. También habrá que prestar

atención a las unidades de cada materia prima, porque los datos de la malta se dan en kilogramos y los del lúpulo y la levadura en gramos.

Tabla 4.1. Materias primas utilizadas para 1000 litros de cerveza.

Receta	Materias Primas Desglosadas						Materias Primas Totales							
	MALTA		LÚPULO		LEVADURA		MALTA	LÚPULO	LEVADURA					
	Tipos	Cantidad (kg/1000L)	Tipos	Cantidad (g/1000L)	Tipos	Cantidad (g/1000L)	Cantidad (kg/1000L)	Cantidad (g/1000L)	Cantidad (g/1000L)					
Ámbar de abadía	Cebada Pilsen 2RS	150	Saaz	750	Levadura Fermentis SafAle	700	250	1000	700					
	Cebada Munich Light	75	Hallertau tradition	250										
	Cebada Crystal	25												
Rubia de Centeno	Cebada Pilsen 2RS	220	Magnum	700	Danstar Munich (Wheat)	600	310	1000	600					
	Trigo Wheat Blanc	30	Cascade	180										
	Centeno Rye	60	Amarillo	45										
			Saaz	75										
De Trigo	Cebada Pilsen 2RS	200	Magnum	800	Danstar Munich (Wheat)	500	250	1600	500					
	Trigo Wheat Blanc	50	Stirian Golding	800										

Tabla 4.2. Materias primas utilizadas para 500 litros de cerveza.

Receta	Materias Primas Desglosadas						Materias Primas Totales							
	MALTA		LÚPULO		LEVADURA		MALTA	LÚPULO	LEVADURA					
	Tipos	Cantidad (kg/500L)	Tipos	Cantidad (g/500L)	Tipos	Cantidad (g/500L)	Cantidad (kg/500L)	Cantidad (g/500L)	Cantidad (g/500L)					
Oscura de Abadía	Cebada Pilsen 2RS	45	Hallertau tradition	250	Levadura Fermentis SafAle	350	137.5	375	350					
	Cebada Pale Ale	45												
	Cebada Crystal	45	Tettnang	125										
	Cebada Chocolate	2.5												

5 PROCESO DE ELABORACIÓN

5.1 Introducción

En este apartado se va a describir el proceso de elaboración de la cerveza. Para comprenderlo en profundidad se va a explicar tanto la manera de elaboración industrial como la artesana. Esta última es la que incumbe a este proyecto preliminar, pero se explican ambas para conocer las diferencias que existen entre una y otras, tanto técnicas, como de las diferentes calidades de las materias primas o la importancia del producto final. En cada etapa se va a explicar primero el procedimiento industrial y después el artesano.

5.2 Producción del mosto

5.2.1 Recepción y molienda de la malta

Cuando la malta llega a la industria cervecera se pesa y se criba, también será importante hacerla pasar por separadores magnéticos que eliminaran polvo y posibles partículas metálicas, que podrían llegar a producir chispas y explosiones. Se almacena en silos de la propia fábrica tomando las precauciones necesarias para que no se humidifique o caliente, lo que podría generar la aparición de contaminantes (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La molienda consiste en triturar el grano ya que tenemos que conseguir que el endospermo llegue a un tamaño de partícula suficiente para una correcta hidratación y degradación por parte de las enzimas en el siguiente proceso, la extracción o maceración. Si las partículas son demasiado pequeñas podrán suceder problemas en el drenaje del mosto y si son excesivamente grandes no se degradarán de forma completa. Es interesante que la cascarilla de la malta no se triture demasiado, porque nos ayudará a la filtración del mosto y liberará menos taninos, que no nos interesan en nuestro producto. Lo que obtenemos después de la molienda son las cascarillas, la sémola y la harina (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

Podemos utilizar dos tipos diferentes de molinos, los que trabajan en seco y los que lo hacen en húmedo. El sistema de ambos es el mismo, la única diferencia es que

se humedecerá la malta previamente o no. Es interesante humedecer la malta antes, así la cascarilla se machacará menos porque será más flexible, pero habrá que tener en cuenta que la pasta que obtengamos habrá que utilizarla cuanto antes, por problemas de formación de contaminantes, por lo que inmediatamente después de haberla molido se mezcla con el agua y pasa directamente a la cuba de maceración. Por lo general la molienda húmeda y la maceración suelen ser procesos combinados. También hay que resaltar que la molienda húmeda reduce el riesgo de explosiones, mejorando el extracto potencial y la capacidad de filtrado posterior. (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

En cuanto a la **fabricación artesana** la malta llega a la cervecería en sacos de 25 ó 50 kilogramos, los cuales ya han sido cribados. De esta manera se pueden moler directamente. Por lo general la molienda es en seco debido a que el volumen de malta molida es pequeño. Por cada cien litros de mosto se utilizan alrededor de 15-30 kilogramos de malta.

En España solo existe una maltería que elabore malta para las cervecerías artesanas, la cual está ubicada en León y se llama Grannaria. Esta maltería elabora su producto de manera artesana, con germinación en suelo y el horneado lo realiza con fuego directo de diferentes maderas, las cuales aportan diferentes matices a la malta. Utilizan cereales tanto ecológicos como convencionales (Grannaria, 2014). Bien es cierto que existen distribuidores en España que traen maltas de importación, como por ejemplo el grupo SlowBeer que distribuye malta de la maltería The Swaen, ubicada en los Países Bajos (Fermun, 2019).

5.2.2 MACERACIÓN O EXTRACCIÓN

El objetivo de la extracción es la obtención de un líquido a partir de la malta molida, con suficientes sustancias solubles en agua que sirvan a la levadura cervecería para fermentar correctamente y así obtener el producto final deseado. Consistirá en mezclar el producto obtenido de la molienda con agua a unos 60-70 °C (Hornsey, 1999).

Hay que tener en cuenta que las condiciones óptimas de las α -amilasas son de 64-68 °C, para las β -amilasas 60-65 °C, por lo que para obtener un extracto máximo de

azúcares fermentables las condiciones rondarán los 65-68 °C. También habrá que tener en cuenta que para la degradación de proteínas las condiciones óptimas serán de 50-55 °C y facilitará este proceso bajas concentraciones de malta (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

El pH será un factor muy importante durante y después de la maceración. Afectará a la actividad enzimática, controlará parte de la extracción de productos de la cáscara no deseados, como taninos y resinas amargas e influirá también sobre el color de los extractos y sobre la facilidad con la que posteriormente se filtre el mosto (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000). El pH óptimo del agua de maceración tendrá un valor de 5.4. Si el pH es más bajo se producirá baja actividad de las amilasas, si es más alto se producirán sustancias fenólicas dando sabores fuertes y enturbiamientos (Hornsey, 1999).

Durante el proceso de extracción los diferentes componentes de la malta experimentarán una serie de cambios.

Los carbohidratos son las sustancias principalmente afectadas, sobre todo el almidón ya que su degradación formará parte de un 90% de los sólidos del mosto, de los cuales un 75% serán fermentables. El almidón se degrada siguiendo unos pasos, primero si hidrata, que junto a la temperatura del agua gelatiniza, aumentando su viscosidad y volviéndose vulnerable a la degradación enzimática, produciéndose primero la licuefacción y después la sacarificación. En el mosto dulce existirán cuatro tipos de carbohidratos:

- Los oligosacáridos, de los cuales los más abundantes serán las dextrinas formadas por la degradación parcial del almidón, podrán llegar a suponer hasta un 30% de los carbohidratos totales del mosto, no serán fermentables y contribuirán al valor calórico de nuestro producto final
- La maltotriosa supondrá un 14% de los carbohidratos totales y será el trisacárido mayoritario
- Los disacáridos, que supondrán alrededor de un 20% se repartirán en maltosa y sacarosa

- Los monosacáridos que rondando el 10% de los carbohidratos totales, se repartirán en glucosa y fructosa (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

Para que la extracción se lleve a cabo correctamente deberemos tener una malta de calidad que durante el malteado, haya sufrido una correcta proteólisis, de esta manera durante la extracción se obtendrán sustancias nitrogenadas y seguirá produciéndose la proteólisis aumentando a mayores concentraciones de malta (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Las maltas base, al haber experimentado temperaturas más bajas, tienen un gran poder proteolítico, o como se ha nombrado en apartados anteriores diastático, por estar muy bien desagregadas. Esto ayuda a la degradación de las maltas más tostadas, las cuales contienen azúcares cristalizados debido a las condiciones de tostado.

Existen dos técnicas para realizar la maceración o extracción:

- La técnica denominada **infusión**, es una técnica simple y barata. La malta se humedece poco a poco con el agua caliente dentro del tanque de maceración formando una papilla a unos 60-65 °C. Una vez humedecida en su totalidad se continua vertiendo agua hasta obtener una mezcla diluida, que se deja macerar durante una hora aproximadamente. Una vez terminan los procesos de extracción se drena lo que denominaremos mosto dulce, y es el momento de que la cascarilla actúe como medio filtrante, ya que forma un lecho en el fondo del tanque. Una vez realizado el primer drenaje hemos conseguido que el lecho filtrante se haya compactado lo suficiente por lo que volvemos a recircular el mosto dulce que habíamos obtenido en el primer drenaje. Una vez se vuelve a filtrar el mosto alimentamos agua a 68-72 °C, para llevarnos todos los compuestos solubles. Este último paso se detendrá cuando obtengamos la densidad deseada para el mosto dulce, teniendo en cuenta que la densidad aumentará en la etapa de cocción (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).
- Otra de las técnicas utilizadas es la de **decocción**. Consiste en ir elevando paulatinamente la temperatura con la utilización de dos calderas. En una de las

calderas se comienza extrayendo toda la mezcla a 40 °C, a esa temperatura la proteólisis es óptima. Para aumentar la temperatura se separa una porción de la mezcla que se llevará a la segunda caldera, donde la haremos hervir y se retornará a la caldera inicial donde se volverá a mezclar la masa total, que a su vez aumentará de temperatura, a unos 54 °C. Esta temperatura es óptima para la acción de las β -glucanasas. Se repetirá la misma operación dos veces más, elevando la temperatura a 65 °C, donde las β -amilasas trabajarán en su punto óptimo y después a 70-72 °C donde la principal actividad enzimática corresponderá a las α -amilasas. La temperatura final de la mezcla será de unos 75 °C que ayudará a acabar de degradar los gránulos de almidón que aún no lo hayan hecho. Este método es menos utilizado porque los equipos de bombeo tienen que ser potentes y se necesitan dos calderas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En el sector artesano se pueden utilizar ambos procedimientos, dependiendo del tipo de equipos que se disponga, aunque el método de decocción se ha simplificado utilizando una sola caldera de macerado la cual es capaz de aumentar la temperatura en el mismo tanque. El método de infusión es útil cuando el tanque de maceración no es capaz de regular la temperatura, de esta manera utilizaremos el tanque de cocción como calentador de agua, elevaremos la temperatura de esta y bombearemos el agua ya caliente al tanque de maceración, donde realizaremos la mezcla. El único filtrado que se llevará a cabo independientemente del método de maceración que se utilice será el que realice la propia cascarilla de la malta en el fondo del tanque de maceración, el cual está equipado con unas rejillas con agujeros pequeños, para impedir que pasen los sólidos más grandes. Este tipo de filtrado es similar al de la cuba-filtro que se va a explicar en la siguiente etapa, pero se realiza en la mismo tanque de extracción.

5.2.3 Filtrado y lavado del mosto dulce

De este proceso queremos obtener el mayor extracto soluble y eliminar los elementos sólidos más grandes, de esta manera conseguiremos bajos niveles de turbidez. Otro de sus objetivos principales es la disminución del oxígeno disuelto en el

mosto. Todo esto lo tendremos que hacer reduciendo al mínimo la humedad del bagazo y produciendo la mínima cantidad de aguas residuales.

Los sistemas más empleados son la cuba-filtro y el filtro-prensa, siendo el primero el más utilizado. Su diseño es similar al de la cuba de extracción, aunque a veces es más ancho y suele ser menos profundo. La masa de malta debe ser lo suficientemente fluida para que pueda ser bombeada y las cubas poseerán un sistema de rastrillos que corten el lecho de grano. El fondo tendrá agujeros más estrechos que la cuba de extracción, ya que las partículas sólidas son más pequeñas. Se deposita la masa de malta en el fondo de la cuba, donde se ubicarán las partículas más densas en el fondo y las más ligeras en la parte superior. Unos rastrillos se utilizarán para mejorar el drenaje del mosto, los cuales cortarán el lecho. El filtrado lo realizaremos en tres etapas, primero se recirculará el turbio hasta que salga claro, se filtrará el mosto principal y por último se lavará los granos agotado con agua a 75-78 °C para que extraiga las últimas sustancias solubles. Los filtros-prensa consisten en una serie de bastidores de acero inoxidable en los que se intercalan los filtros, por donde se hará circular el mosto dulce. Tiene la ventaja de poder filtrar mayores volúmenes en menos espacio, pero el tamaño de partícula debe ser muy fino (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En la **elaboración artesana** este paso ya se ha realizado en la caldera o tanque de maceración. Dependiendo de la tecnología de los equipos el propio tanque de maceración contiene unos rastrillos similares a los de la cuba-filtro que ayudan tanto a mezclar el mosto al principio de la maceración como para romper el lecho y conseguir un filtrado más eficiente. En caso de no contener estos rastrillos se hará manualmente dejando drenar bien el mosto y una vez se tiene solamente la torta en el fondo del tanque se cortará, tal y como aparece en la Figura 5.1 y se volverá a bombear agua, en forma de paraguas, es decir, difuminándola para que no agite la torta y así conseguiremos fijar la densidad deseada para la etapa de cocción.

Esta es la primera gran diferencia entre cerveza artesana e industrial: en la industrial se realizan dos filtrados antes de la cocción y en la artesana solamente uno, aunque el método sea similar. Al final de este punto del proyecto preliminar se muestra la Tabla 5.1 la cual resume todas las diferencias entre un producto y otro.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 5.1. Lecho filtrante de malta cortado manualmente en el fondo del tanque de maceración.

5.2.4 Cocción y lupulado

Una vez hemos filtrado el mosto dulce procedemos a añadir los componentes aromáticos, como es el lúpulo. En la cervecería más industrial se utilizan extractos de lúpulo para abaratar costes y que el producto obtenido tenga unas propiedades más homogéneas, pero en la cervecería artesana se utiliza el mismo cono de la planta del lúpulo, ya sea comprimido en balotes, pellet o polvo. Los pellets y las tiras de los conos del lúpulo serán la forma de utilización más eficiente, esta sería otra diferencia entre la fabricación artesana y la industrial (Hornsey, 1999).

Son varios los objetivos de esta etapa. Buscamos la inactivación de todas las enzimas derivadas de la malta y la esterilización del mosto por calor. A su vez

concentraremos el mosto al producirse la evaporación de agua y compuestos volátiles indeseables. Se producirán reacciones de Maillard que nos aportarán aroma, sabor y color a nuestro producto final. Muchas proteínas y taninos coagularán y descenderá el pH hasta valores de 5.2, estos productos se pueden apreciar tras varios minutos de cocción en forma de espuma blanca dentro del tanque de cocción. Los α -ácidos aportados por la resina del lúpulo se transformarán en iso- α -ácidos, que dotarán del sabor amargo al mosto. Al alcanzar todos estos objetivos, conseguiremos los efectos deseados en esta etapa, que son la aparición de sabores amargos, adición de aceites esenciales que reducirán la tensión superficial y mejoraremos las propiedades de la espuma gracias a la aparición de iso- α -ácidos (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

El tiempo de cocción puede variar entre 45 y 120 minutos dependiendo de los equipos utilizados, de las materias primas y de la cerveza que se quiera producir. Se pueden utilizar equipos que actúen a presiones superiores a la atmosférica pero no suelen ser muy utilizados. Se llevará a cabo en calderas de acero inoxidables que poseerán un sistema de calentamiento y chimenea para la salida de los vapores. Los sistemas de limpieza, y sistemas de medida de volumen y densidad, dependerán de la tecnología de los equipos (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

Las enzimas se inactivarán rápidamente, sobre todo nos interesará eliminar las de origen bacteriano y fúngico que hayan podido introducirse a partir de la adición de las maltas o de los compuestos aromáticos. Algunas de estas enzimas resisten hasta temperaturas de 95°C, por lo que solo con el proceso de maceración no basta para eliminarlas. En esta etapa conseguiremos eliminar todos los patógenos que pudiese haber en nuestro mosto, exceptuando algún microorganismo esporulado que será inhibido por el pH de nuestro producto. Por esta razón habrá que tener especial cuidado tras esta etapa de que todos los equipos que la sigan estén lavados y esterilizados correctamente para evitar contaminaciones (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

Con la ebullición conseguimos la evaporación de agua, que como ya se ha nombrado anteriormente concentrará nuestro mosto y eliminará compuestos volátiles no deseados que se hayan incorporado con la adición de las maltas o el lúpulo, aunque

también se eliminarán, inevitablemente, sustancias que serían interesantes para nuestro producto. Aproximadamente se evapora un 5-15 % del agua presente en el mosto. También sucederán reacciones de pardeamiento no enzimático, conocidas como reacciones de Maillard (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

Una vez terminada esta etapa un 90-92% de los sólidos solubles del mosto serán carbohidratos, de los cuales alrededor de un 75% serán fermentables. La concentración de compuestos nitrogenados rondará los 500-1100 miligramos por litro, siendo más que suficientes para las levaduras (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

5.2.5 Clarificación y enfriamiento

En el caso de utilizar conos de lúpulo se podrá filtrar a través del propio lecho que éstos formen, reteniendo las sustancias sólidas, incluyendo los turbios. Sin embargo esta técnica solo se utiliza en casos muy concretos, porque hay que modificar el equipo de cocción tal y como funciona el tanque de extracción cuando filtra a partir del lecho formado por la malta. Esta técnica se utilizaba en la antigüedad. Ahora la más utilizada son los tanques remolino o "whirlpool" que siempre se emplea en la elaboración industrial y en ocasiones en la artesana, y que se basan en la fuerza centrífuga o simplemente la utilización de un tanque con sistema calefactor. Los sistemas "whirlpool" bombean el mosto en los tanques de forma tangencial, así se genera un movimiento de remolino dentro del tanque, haciendo que las partículas más densas, es decir los turbios, se positionen en el eje del tanque, y así se consiguen separar las dos fases. En las industrias cerveceras después de la cocción se utilizan otros sistemas como la centrifugación o el filtrado a través de perlina. Esta es otra diferencia entre la cerveza artesana y la industrial, en la industrial tras la cocción, siempre con el sistema "whirlpool", sistema que no siempre se utiliza en la artesana, se lleva a cabo un centrifugado o filtrado, en el que se retienen todos los turbios, pero también aromas y sabores interesantes para nuestro producto. Por esta y otras razones que se nombrarán más adelante la cerveza artesana no es cristalina, e incluso tiene sólidos en el producto fina (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Una vez clarificado el mosto tendremos que enfriarlo desde 95°C hasta unos 10-20°C, dependiendo del tipo de cerveza que vayamos a producir. El sistema que se

suele utilizar es un intercambiador de placas con glicol, agua o alcohol como refrigerante. El refrigerante se calienta hasta temperaturas de 70-80°C por lo que se podrá recircular para la etapa de extracción o incluso si el refrigerante es agua se podrá utilizar directamente para guardarla en un tanque y aprovecharla para macerados o cocciones posteriores. Este sistema no aireará el mosto ni eliminará los turbios que se puedan producir al enfriarlo. Si el sistema de enfriamiento no ha aireado el mosto tendremos que inyectar oxígeno artificialmente, la cantidad dependerá del tipo de cepa que utilicemos. Será interesante inyectarlo en frío, así evitaremos oxidaciones no deseadas y tendrá mayor capacidad de difusión (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000) (Hornsey, 1999).

5.3 Fermentación

5.3.1 Introducción

La fermentación es el fenómeno biológico principal en el proceso de elaboración de la cerveza. Consiste en una serie de actividades metabólicas realizadas por la levadura en las cuales el mosto dulce se transforma en cerveza verde. Este producto no será aún el definitivo. Este microorganismo utiliza sustancias presentes en el mosto, azúcares, como alimento para crecer y reproducirse, formando subproductos, etanol y dióxido de carbono, los cuales dotarán a nuestro producto final de sus cualidades. Para reproducir un mismo producto deberemos mantener constantes las propiedades del mosto, los parámetros de fermentación y las condiciones fisiológicas de la levadura (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

5.3.2 Entrada de los nutrientes a la célula

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la levadura cervecería son los carbohidratos, nitrógeno, minerales y vitaminas. Los carbohidratos asimilables por las levaduras son de cadena corta, y las fuentes de nitrógeno más fácilmente utilizables son los aminoácidos. También necesitarán de presencia de esteroles, ácidos grasos y oxígeno para las fases iniciales del proceso y para formar la membrana celular (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Las sustancias necesarias para la vida de la célula están en el exterior. Algunas quedan fijadas en la pared externa, pero la gran mayoría atraviesan la pared celular

llegando hasta la membrana. Para atravesarla las sustancias lo podrán hacer de tres maneras, por difusión libre, por difusión facilitada o por transporte activo, este último estará regulado por sistemas de transporte como la difusión facilitada, pero no dependerá del gradiente de concentración y consumirá energía (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Como ya se ha explicado anteriormente en la descripción de la levadura dentro del apartado de materias primas los azúcares se consumen ordenadamente, en el orden siguiente: glucosa, fructosa, sacarosa, maltosa y maltotriosa. La sacarosa es hidrolizada en el exterior de la célula por una enzima invertasa ligada a la membrana, transformándola en glucosa y fructosa, asimilable para la célula y entrando en ella por difusión facilitada. La maltosa y maltotriosa entran en la célula gracias a unas enzimas permeasas, una vez en el interior son degradadas a glucosa. Es muy importante que la levadura sea capaz de asimilar la maltosa, porque es el azúcar más abundante en el mosto (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

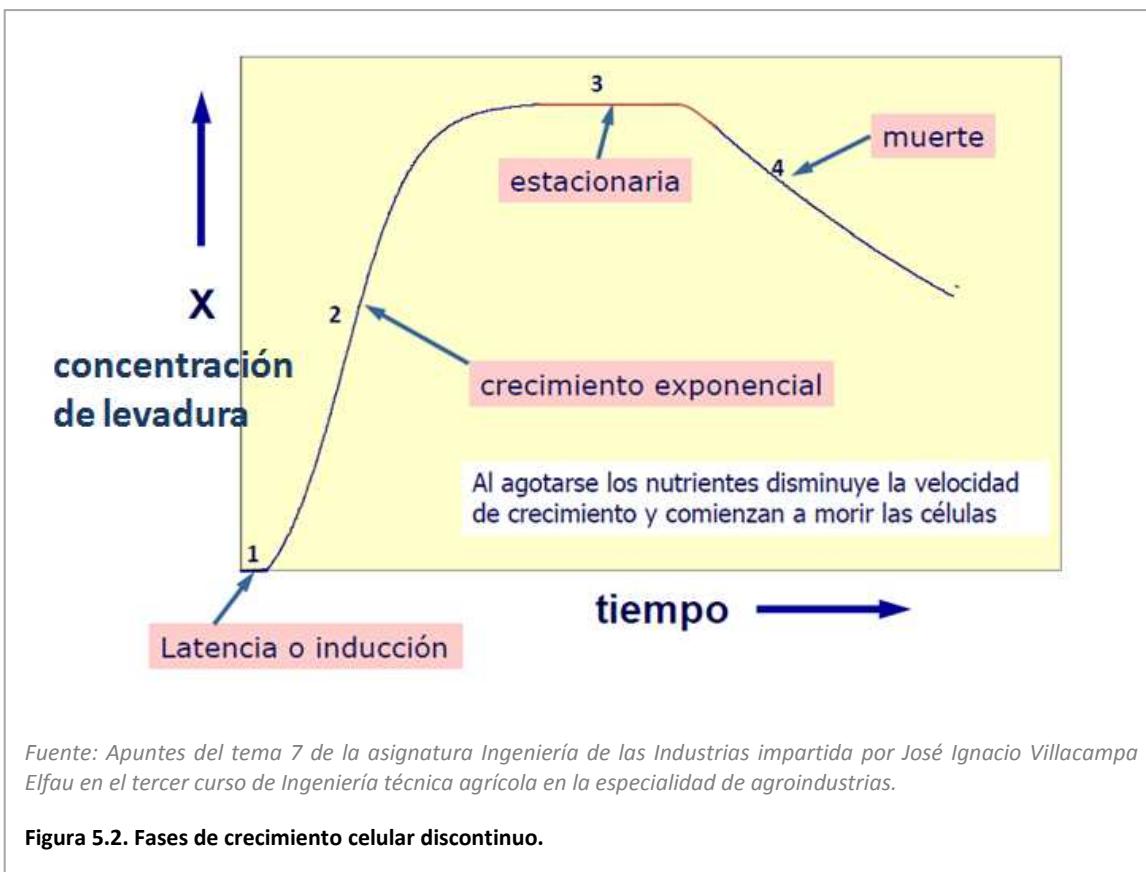
La entrada de aminoácidos se realiza por transporte activo, y también sigue un orden. La levadura será capaz de tomar cadenas de 3 aminoácidos como máximo (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La fermentación en sí se produce de manera anaerobia, pero al comienzo la levadura necesita oxígeno para generar esteroles y ácidos grasos insaturados que son componentes esenciales para la formación de la membrana. En esta fase inicial la levadura consigue generar los suficientes para realizar una correcta fermentación, ya que es capaz de generar reservas de estas sustancias (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En cuanto a vitaminas y minerales el mosto tendrá más que de sobra para cubrir las necesidades de la levadura. Será también muy importante, como se ha citado en apartados anteriores la presencia de iones calcio, aportados por el agua, los que ayudarán a las levaduras a flocular (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

5.3.3 El crecimiento celular

El ritmo de crecimiento de la célula dependerá del estado fisiológico, calidad microbiológica, de la dosis y de las condiciones de siembra. El crecimiento de estos



microorganismos seguirán las fases de crecimiento en discontinuo, tal y como se puede apreciar en la Figura 5.2, que se dividirá en una primera fase de latencia o fase *lag*, fase de crecimiento exponencial o logarítmica, fase estacionaria y muerte. En la primera fase las células se preparan al nuevo ambiente, y comienzan a adaptar las rutas metabólicas, así como a ganar reservas que serán necesarias en las siguientes fases. La fase logarítmica consistirá en un crecimiento exponencial de las células, y mientras no falten los nutrientes continuará. El crecimiento se suele frenar por el desgaste de los ácidos grasos esenciales y los esteroles que han generado en el periodo en presencia de oxígeno y comenzará a flocular a medida que los azúcares, la maltosa y maltotriosa, van desapareciendo (Díaz, 2012).

5.3.4 Tipos de fermentación y sus características

Los tipos de levadura a utilizar los dividiremos en dos grupos, las de fermentación baja y las de fermentación alta. La diferencia entre estos dos tipos es el lugar del tanque de fermentación o biorreactor en el que actúan, es decir, que las de fermentación alta se posicionan en la parte alta del fermentador y allí es donde realizan sus actividades metabólicas. Este tipo de fermentaciones generan gran

cantidad de espuma y en las grandes industrias extraen esta espuma para obtener las levaduras de nuevo y así pueden realizar cultivos para volverlas a utilizar, pero su extracción al final de la fermentación se llevará a cabo en el fondo. Las de fermentación baja actuarán en la parte baja del fermentador.

En cuanto a la fermentación baja es interesante sembrar la levadura en frío, en torno a unos 6-8°C, que es la temperatura a la que el mosto entra al fermentador. Al comienzo de la fermentación se deja que la temperatura aumente por medio de la actividad de la levadura, pero deberemos controlarlo. Los rangos de temperatura para la fermentación están comprendidos entre 6 y 14 grados centígrados, y tradicionalmente se realizaba entre 8 y 20 días, pero las prácticas modernas utilizan rangos de temperatura más altos y esta etapa suele durar unos 7 días. En las primeras horas se comienza a consumir el oxígeno y no se detecta consumo de azúcares, hasta que no pasa el primer día no comienza el consumo de azúcares y el aumento de temperatura, que serán indicios de que ha comenzado la gemación. En el segundo día, el crecimiento y por lo tanto el consumo de azúcares llegará a su máximo, pudiéndose medir por la cantidad de dióxido de carbono formado. Durante el proceso de fermentación el pH disminuirá hasta valores que rondarán 3.8 y 4.4. El valor final dependerá del pH al que estaba el mosto, de la cantidad de sustancias tamponantes presentes en el mosto y del crecimiento de las levaduras, este fenómeno es muy interesante, porque inhibe el crecimiento de cualquier organismo no deseado. Habrá que tener especial cuidado de no detener la fermentación antes de terminar los azúcares de la mezcla (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Desde el punto de vista bioquímico la fermentación alta no se diferencia mucho de la baja. La diferencia es que actúa en la parte alta del tanque y como ya se ha dicho se pueden obtener muestras en la espuma formada para realizar cultivos. Al final de la fermentación estas levaduras se desplazan al fondo del tanque donde serán extraídas. Se podrán extraer por succión o desespumado antes de su muerte o por sedimentación tras la fermentación. Las temperaturas de siembra suelen ser más altas, en torno a los 15-17°C y dejando que aumente gradualmente hasta los 20-22°C. La aireación también es mayor, por lo que con estos parámetros conseguimos menores tiempos de fermentación, realizándose en unos 3 días. Este tipo de levaduras suelen

ser las más utilizadas en la elaboración artesana debido a su eficiencia. En cambio en la elaboración industrial dependiendo del tipo de tecnología utilizan unas u otras. (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La utilización de cultivos propios por las industrias cerveceras puede ser un punto a favor para ellas, porque pueden seleccionar diferentes tipos de levaduras que les den a su producto propiedades diferenciadas, en cambio en la **elaboración artesana** al no tener medios para realizar cultivos propios se utilizan concentrados de levaduras.

5.3.5 Factores que afectan a la fermentación

La calidad y el tipo de levadura influirán mucho en el producto final y en sus cualidades organolépticas. Se escogerá el tipo de levaduras según el producto final que queramos obtener. La dosis de siembra también será importante, porque puede determinar la velocidad de crecimiento, aunque el oxígeno aportado al inicio de la fermentación actuará como factor limitante para la fase de latencia. Por esta razón podemos concluir que en cuanto a las levaduras nos importará más la calidad que la cantidad (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La temperatura influirá directamente en la actividad metabólica de la levadura y en la velocidad de crecimiento, por lo que será uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta. Será muy importante el control estricto de este parámetro, porque en la fase exponencial la liberación de energía es alta, por lo que la temperatura ascendería rápidamente si no se controlase (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

5.3.6 Metabolitos formados en la fermentación

Los alcoholes son los productos que se generan en mayor cantidad. El etanol es el principal, pero también se forman alcoholes superiores denominados fusel que darán sabores a nuestro producto final. La generación de estos alcoholes dependerá, sobre todo, del tipo de levadura utilizada y de la temperatura de fermentación, aunque la aireación, condiciones de siembra y la composición del mosto también condicionarán la producción de los alcoholes superiores (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La producción de ésteres, que son compuestos volátiles y están relacionados con el metabolismo de los lípidos, influirá en el sabor y el aroma de nuestra cerveza (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Los aldehídos y cetonas también son importantes para el aroma y el sabor, porque sus valores umbral de percepción son muy bajos (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

Los ácidos grasos libres varían mucho durante la fermentación, por ser necesarios para la formación de la membrana de las levaduras (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

5.3.7 Manejo de las levaduras

Una vez hemos realizado la fermentación es el momento de separar la levadura de la cerveza verde. Como ya se ha explicado anteriormente la forma de obtenerla dependerá de si su fermentación es alta o baja. Para poder manejar la levadura con mayor facilidad nos interesa que flocule bien. En caso de que sea pulvurulenta, es decir que flocule mal, la única manera de separarla será por centrifugación. La técnica de centrifugación nos servirá para aclarar nuestra cerveza, pero las células sufrirán un gran deterioro, por lo que no podrán ser reutilizadas (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La levadura cuando flocula lo hace de manera estratificada. Para las levaduras de fermentación baja se desecha la capa inferior, por contener demasiados turbios, y la superior, porque en esa capa hay mayor cantidad de células muertas, pequeñas y residuos celulares. Las de fermentación alta como ya se ha dicho se recogen en la superficie del tanque en el interior de la espuma formada. Una vez recogida se almacenará en tanques cerrados y refrigerados. Se podrá almacenar bajo agua estéril, soluciones tamponantes, en cerveza o en mosto, aunque la conservación en agua ha dado malos resultados. El almacenaje debe ser lo más breve posible y a temperaturas de 0 a 1 grados centígrados, de esta manera incentivamos a la levadura a producir reservas de glucógeno que serán necesarias para la siguiente fermentación (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La cantidad de levadura que se utilice en la siembra dependerá del perfil fermentativo que queramos obtener. Podremos medir la cantidad de levadura por volumen, por peso, por dispositivos de medida de la turbidez del mosto en línea antes y después de la siembra o por conductancia (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

En la **elaboración artesana** normalmente no existe la posibilidad de tener un laboratorio en la planta de producción, por lo que se utilizarán concentrados de levadura que tendrán que ser guardados en refrigeración y antes de ser inoculados en el tanque de fermentación se hidratarán con la misma agua que hemos utilizado para la elaboración del producto o bien con el mosto cocido una vez enfriado. Las necesidades iniciales de oxígeno para la levadura no supondrán un problema, porque el mosto se aísla a lo largo de todas las etapas del proceso.

5.4 Procesos finales

5.4.1 Maduración

Esta etapa variará su tiempo según el tipo de cerveza que estemos produciendo. Tras la fermentación lo que obtenemos es la cerveza verde, que necesitará unos ajustes de sabor, eliminación de alguna sustancia en suspensión y ajustar sus niveles de dióxido de carbono, todo esto en ausencia de aire (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

La cerveza verde suele tener fuertes sabores a levadura, siendo muy amarga. Para afinar su sabor debemos someterla a unos procesos de maduración en el almacenamiento, modificando diferentes compuestos. Durante la maduración quedan restos de levaduras y pequeñas cantidades de azúcares fermentables, gracias a estos dos residuos de la fermentación conseguiremos producir el dióxido de carbono que necesita nuestra cerveza, favoreciendo la formación de espuma.

Para esta etapa debemos bajar la temperatura de la cerveza verde a valores que ronden los 5-10°C, de forma progresiva. De esta manera conseguimos que decanten partículas, en las que se encuentran proteínas, taninos y levaduras muertas (Hornsey, 1999).

Para la **cerveza artesana** durante la guarda se armonizan los sabores. Si se dispone de tanques isobáricos podremos ajustar el contenido de dióxido de carbono de nuestro producto, pero no se suele hacer, porque también será necesario que la embotelladora sea isobárica y son equipos demasiado caros para pequeñas industrias. Las grandes industrias suelen inyectar dióxido de carbono que han recuperado de la fermentación o que tienen en bombonas antes del embotellado, para ajustar la carbonatación. En el apartado de clarificación se explicará cómo se logra carbonatar la cerveza artesana sin la necesidad de estos equipos.

5.4.2 Clarificación

Los grandes grupos cerveceros no pueden permitirse clarificar su cerveza por sedimentación, porque quieren productos brillantes y transparentes que no tengan ninguna partícula en suspensión, y esto les llevaría muchísimo tiempo, de 3 a 5 meses, y no conseguirían el mismo resultado. También lo hacen para que no quede ninguna partícula en suspensión que pueda modificar las propiedades del producto tras el envasado y así fabrican un producto constante y con las mismas características. Por esta razón tras la guarda y antes de embotellar realizan una micro o ultra filtración o un centrifugado, para eliminar cualquier partícula en suspensión y así obtener un producto transparente y brillante. Estos procesos afectan negativamente a las propiedades del producto porque eliminan sabores y aromas, aunque esto sea una ventaja para las cervezas industriales, que lo que buscan es un producto que siempre sea exactamente el mismo.

Las **cervecerías artesanas** no buscan un producto final brillante, de hecho muchas de las cervezas artesanas son turbias, buscando fermentaciones secundarias, que mejoren su producto después de ser envasada. A parte la utilización de según qué equipos para el clarificado puede afectar negativamente a las propiedades organolépticas de nuestro producto final. Una vez acaba la fermentación se eliminan las levaduras por decantación, y durante la maduración continúan sedimentando partículas al fondo del tanque. Algunos maestros cerveceros las eliminan y otros no, dependiendo de sus métodos. Si se desea realizar una fermentación secundaria debemos guardar parte del mosto con el inóculo de levadura, es decir, recuperar un volumen del mosto antes de que empiece la etapa de fermentación y congelarlo. De

esta manera conservamos las levaduras y parte de los azúcares. Antes del envasado se introducirá en el tanque de guarda para que se mezcle con el resto de la cerveza ya acabada y de esta manera conseguiremos que se produzca una segunda fermentación en el envase que utilicemos. Gracias a esta segunda fermentación conseguiremos que nuestro producto se carbonate, y habrá que tener en cuenta que el grado alcohólico aumentará unas décimas de grado. Este método es muy interesante para nuestro producto final, porque obtendrá nuevas propiedades a lo largo del tiempo, mejorando, tal y como le ocurre al vino. Por esta razón, aparte de porque no se filtra tan severamente como en las cervezas industriales, la cerveza artesana suele tener posos.

5.4.3 Envasado y estabilidad biológica

Los envases más utilizados para este producto son la lata, la botella y el barril. En los últimos años se ha comenzado a distribuir la cerveza en camiones cisterna, que llenan grandes depósitos en el punto de venta. Este sistema ayuda a que nuestro producto no esté en contacto con el aire en ningún momento, y por tanto su degradación sea menor y sus propiedades sean más duraderas.

La estabilización biológica se lleva a cabo por pasteurización, en cerveza industrial. En envases pequeños se llevará a cabo después del envasado y en grandes antes, teniendo en cuenta que el envase sea aséptico, por lo que habrá que seguir controles rigurosos. En el **sector artesano** nunca se pasteurizará, porque todos los aromas y sabores que hemos logrado a lo largo de las diferentes etapas se perderían. Esta operación la hacen las grandes cerveceras para conseguir que su producto sea más duradero, sin importar las propiedades organolépticas, en cambio la elaboración artesana busca la calidad del producto y no importa que este caduque antes, porque las propias propiedades de la cerveza inhiben la aparición de cualquier patógeno. De hecho las cervezas con sabores más fuertes tras superar la fecha de caducidad continúan mejorando, como el vino, porque sus características cambian debido a la segunda fermentación. En cervezas más suaves sí que pueden aparecer aromas no deseados, como enranciamiento, producidos por organismos alterantes.

En **cervecería artesana** también se utilizará la botella y la lata. Ahora se han introducido barriles, pero son diferentes a los utilizados por las grandes industrias, los

cuales están fabricados de acero inoxidable y son retornables. En cervecería artesana, como la carbonatación es propia de cada cerveza el sistema de impulsión no es con dióxido de carbono, sino que se hace por aire. Los barriles utilizados son de plástico recicitable o retornable, dependiendo de la lejanía o de la logística del punto de venta. En su interior se coloca una bolsa, también de plástico, la cual está ya esterilizada, y será la que esté en contacto con el producto. De aquí que el sistema de impulsión del barril al tirador de cerveza sea por aire, porque lo que hace es presionar la bolsa haciendo que la cerveza salga por el cañero, pero sin entrar en contacto con el producto.

También es posible que el lugar de producción también sea punto de venta. De esta manera podemos vender la cerveza "recién hecha". Es una forma diferente de negocio, como ya se explico anteriormente. Tiene la ventaja, de cara al envasado, de que no es necesario, simplemente con tener los depósitos de nuestra cerveza en refrigeración conectados a los cañeros ya podremos proveer de nuestro producto a los clientes.

Solo ha habido un caso de intoxicación por ingesta de cerveza. Este caso no tuvo nada que ver con el mal estado del producto, si no que la intoxicación provenía de una mala gestión o error puntual en el protocolo de limpieza de envases retornables. Al parecer quedaron restos de un agente tóxico utilizado para la limpieza de estos. Lo más normal es que el agente tóxico fuera sosa caustica, que es uno de los más empleados en estas labores (País, 2003).

5.5 Diferencias entre la cerveza industrial y la artesana

A lo largo de este apartado se ha descrito el proceso de elaboración de la cerveza, tanto a nivel industrial como artesano. Se han ido nombrando diferencias entre estos dos productos que se suelen relacionar como si fueran el mismo, pero no es así. Como ya se ha repetido varias veces la cerveza industrial es un producto cristalino, de tonalidad ámbar o amarillenta que cumple la función de refrescar al consumidor y de quitar la sed. El principal valor añadido de la cerveza artesana es que es un producto con mayor calidad, debido a que sus materias primas la poseen y que a lo largo del proceso de elaboración se busca conservar la calidad en todo el proceso.

Existe una gran cantidad de estilos que cada maestro cerveceros los interpreta a su manera y es un producto que no busca exclusivamente quitar la sed, si no que intenta generar aromas y sabores nuevos, tal y como ocurre en el sector vinícola.

En la Tabla 5.1 se pueden ver las diferencias entre un producto y otro, pero la principal y más importante es que la calidad del producto artesano es mucho mayor que la del producto industrial.

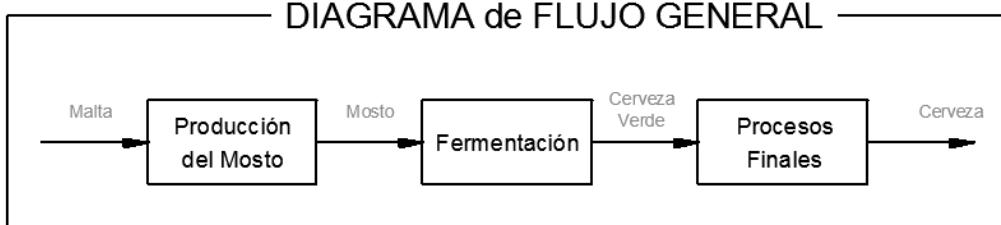
Tabla 5.1. Diferencias entre la cerveza industrial y la artesana.

Diferencias entre la elaboración industrial y artesana			
Elementos		Industrial	Artesana
Materias Primas	Lúpulo	Extracto	Conos o pellets de lúpulo
	Otros aromas	Extractos	Material vegetal de calidad (gengibre, limón,...)
	Levadura	Cultivos propios	Concentrados
Proceso de elaboración	Filtrado tras extracción	2 filtrados (cuba-filtro o filtro-prensa)	1 filtrado con cuba-filtro
	Sistema whirpool	Siempre	A veces
	Filtrado tras cocción	Siempre (membrana, filtro prensa o centrífuga)	A veces (por rejilla)
	Clarificación	Siempre (micro/ultra filtración o centrifugación)	No siempre se hace. Cono sea así se hará por sedimentación en la guarda.
	Carbonatación	Siempre y con altos contenidos de CO ₂	Por segunda fermentación en envase o en algunos casos antes del envasado si se dispone de los equipos
	Pasteurización	Siempre	Nunca
	Segunda fermentación	Nunca	Frecuentemente
Características	Posos	No	Frecuentemente
	Flavor	Siempre igual	Puede variar de un lote a otro
	Sistema impulsor de barriles	CO ₂	Aire

5.6 Diagramas de flujo

En la Figura 5.3 podemos observar el diagrama de flujo general para la elaboración de cerveza, que es igual tanto para la fabricación artesana como para la industrial. La Figura 5.4 muestra el diagrama de flujo propio de la cerveza artesana y en

la Figura 5.5 se puede ver el de la cerveza industrial. Podemos observar que en el proceso industrial hay más etapas que en el artesano y dentro de cada etapa hay más operaciones también. Tal y como se puede observar en la Tabla 5.1 del punto anterior existen grandes diferencias entre un producto y otro, por lo que es lógico que los diagramas de flujo sean diferentes.



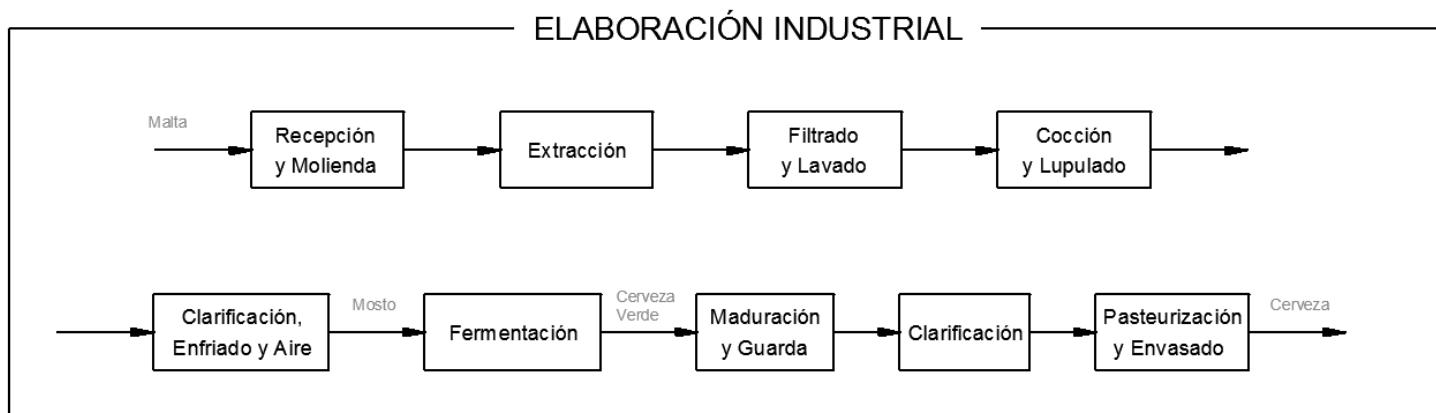
Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 5.3. Diagrama de flujo general de la cerveza.



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 5.4. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza artesana.



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 5.5. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cerveza industrial.

6 PRUEBA EXPERIMENTAL

6.1 Introducción

En este apartado se va a explicar con detenimiento los procesos y protocolos llevados a cabo durante la elaboración de un lote de 500 litros de cerveza en Aineto, en la cervecería de Cervezas Borda. Gracias al maestro cervecer Felipe Esteban (Esteban, 2020), el cual se prestó a poder llevar a cabo esta práctica. El autor tuvo el privilegio de acompañar al maestro cervecer en la fabricación de una de sus cervezas, exactamente la llamada Trigo Duro (Véase Figura 6.1), así pudo observar cómo se hace realmente este producto.

Este apartado servirá para afianzar las etapas del proceso de elaboración, que se han explicado en el apartado anterior, y para la obtención de datos experimentales que posteriormente servirán para el balance de materia.

6.2 Cervecería

En la Figura 6.3 se puede observar la sala de cocción. En ella se sitúa el tanque de maceración, que es el que está al lado de la ventana y la caldera de cocción, el equipo más grande, que podemos ver a la derecha de la Figura 6.2. Apoyado en el suelo, debajo del tanque de maceración, hay otro tanque de un tamaño similar que se llamará tanque auxiliar. También se puede observar, en la Figura 6.2, delante del tanque de maceración un intercambiador de calor de placas, que se utiliza para la etapa de enfriado del mosto cocido.

El equipo de la Figura 6.2 es un fermentador troncocónico. En él se lleva a cabo la fermentación y la guarda. Este equipo está recubierto de un aislante para evitar las pérdidas o ganancias de calor, ya que, estas etapas son las más largas del proceso, y



Fuente: <https://www.cervezasborda.es/cerveza-trigo-duro>

Figura 6.5. Cerveza Trigo Duro, de Cervezas Borda.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.2. Sala de cocción.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.1. Fermentador troncocónico.

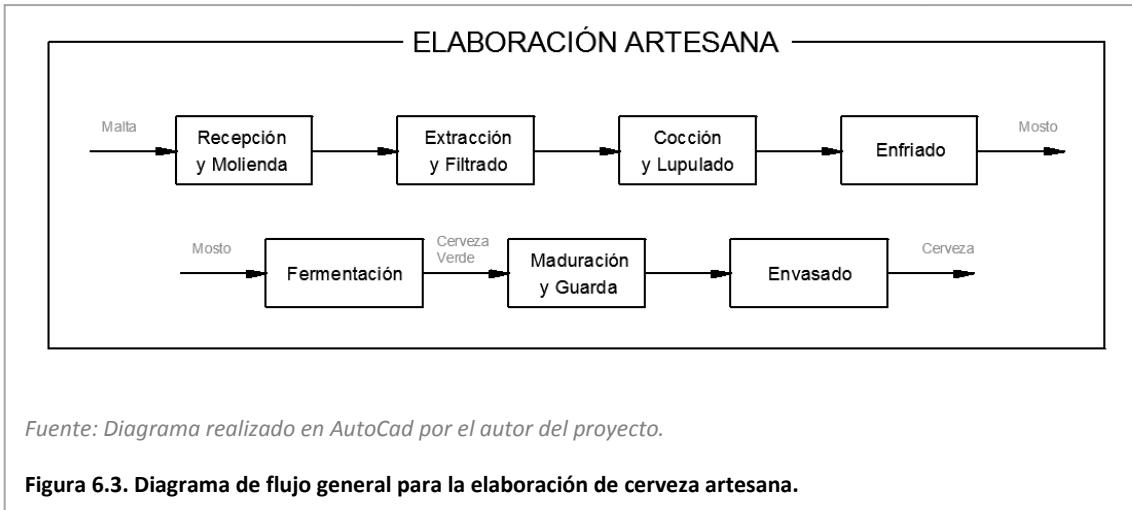
cuanto mejor sea su aislamiento menos pérdidas habrá. Se ubica en una sala separada de la de cocción, pero no es necesario que sea así. Sí que es cierto que el calor generado por la sala de cocción es elevado, y esto puede penalizar a la hora de ganancias de calor en el fermentador.

Estos son los equipos necesarios para llevar a cabo la elaboración de cerveza, teniendo en cuenta el molino de la malta, que no aparece en las Figuras. Bien es cierto que para el envasado, ya sea en barril o en botella, se necesita una embotelladora, que para manejar las materias primas puede ser necesario el uso de una transpaleta. También se necesitará un densímetro, báscula, nevera, almacén,... pero los equipos que realmente llevan a cabo las etapas para la elaboración de cerveza artesana son los mostrados en las Figuras 6.2 y 6.3 a falta del molino de la malta.

6.3 Proceso de elaboración de cerveza artesana

6.3.1 Diagrama de flujo

La Figura 6.4 es la misma que aparece en el punto anterior (5. Proceso de elaboración), con el nombre de Figura 5.4. Representa el diagrama de flujo general que



hay que seguir para la elaboración de cerveza artesana. En este apartado se va a describir como fue la experiencia del autor en la elaboración de un lote de 500 litros de cerveza, que como ya se ha dicho anteriormente, se llevó a cabo en Cervezas Borda.

6.3.2 Recepción y molienda

La recepción es la llegada de las materias primas a la cervecería. Para ello es necesario tener un espacio acondicionado para poder guardarlas adecuadamente. Tanto la malta como el lúpulo se pueden almacenar en un lugar que no tiene por qué estar climatizado, pero la levadura es necesario conservarla en refrigeración, por lo que el almacén, o el lugar donde se guarde debe tener una nevera, ya que la cantidad de esta materia prima que se utiliza no es muy grande.

El molino es el equipo que lleva a cabo la etapa de molienda, tritura el interior del grano y rompe la cáscara, sin triturarla en exceso, ya que servirá como lecho filtrante. En este caso se molieron 78 kilogramos de diferentes maltas.

6.3.3 Maceración o extracción y filtrado

La extracción se lleva a cabo en el tanque de maceración. Este tanque está equipado con unas rejillas en el fondo, el cual retiene las cáscaras del grano de malta y, estas cáscaras, actúan como lecho filtrante. En este caso se empleó la técnica de infusión que consiste en ir humedeciendo la malta poco a poco dentro del tanque de maceración, formando una papilla, y una vez se ha introducido toda la malta y se ha empapado bien de agua se continua echando agua hasta conseguir una mezcla diluida. El agua utilizada debe ser previamente calentada. En este caso el precalentamiento se

llevó a cabo en el tanque de cocción, hasta alcanzar unos 75 °C, así al mezclarla con la malta se consigue una temperatura aproximada de 65 °C. Es muy importante que la temperatura no baje de los 60 °C, porque no se conseguirá que los azúcares se disuelvan completamente en el mosto y no se obtendrá la densidad deseada.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.4. Interior del tanque de maceración.

En la Figura 6.5 se puede observar el interior del tanque de maceración una vez ya se ha formado la papilla y se continúa vertiendo agua. Es muy importante que el agua se vierta tal y como se puede ver en la Figura 6.5, en forma de paraguas, así no se remueve la mezcla y se va formando el lecho filtrante. Es decir, permitimos que las cascarillas vayan sedimentando en el fondo del tanque formando un lecho que al principio estará sin compactar.

Una vez se ha llenado el tanque lo suficiente, medida que el maestro cervecer determina, se detiene el flujo de agua y se comienza a drenar el mosto al tanque auxiliar. Este primer drenaje sirve para compactar el lecho filtrante y que su capacidad de filtración sea mayor. Una vez que se observa que el mosto ya sale suficientemente claro, es decir sin partículas sólidas en suspensión, detenemos el drenaje, ya que se ha conseguido que el lecho formado por las cascarillas de la malta se compacte lo suficiente para que filtre correctamente. En ese momento se recirculará el mosto

almacenado en el tanque auxiliar al tanque de maceración, para que se filtre correctamente y se concentre más. Siempre que vertamos agua en el tanque de maceración, exceptuando el momento de humedecer la malta, hay que hacerlo en forma de paraguas, para no remover ni la mezcla ni el lecho filtrante. Una vez recirculado todo el mosto se vuelve a drenar. Este drenaje se podrá llevar ya al tanque de cocción. Como el tanque de maceración utilizado no está equipado con rejas que cortan el lecho filtrante se detiene el drenaje cuando se vea el lecho filtrante y se corta manualmente, tal y como se aprecia en la Figura 6.6. Una vez cortado se vuelve a verter agua en el interior y se continúa el drenaje.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Ainetu (Huesca).

Figura 6.5. Lecho filtrante formado por la cascarilla de malta cortado manualmente.

Antes de comenzar a elaborar un tipo de cerveza hay que tener muy claro la densidad que debe tener el mosto antes de la cocción, teniendo en cuenta que en la cocción se concentrará, por lo tanto aumentará la densidad. La densidad dependerá del grado alcohólico que se quiera conseguir. Los cálculos necesarios para obtenerla se explicarán en el apartado posterior con detenimiento. Felipe determinó que la densidad necesaria en el mosto dulce, es decir, el mosto previo a la cocción debía tener una densidad de 1.037 kilogramos por litro, ya que, conoce sus equipos y sabe que tras la cocción se concentrará hasta 1.040 kilogramos litro, que esa es la densidad necesaria



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.7. Densidad del mosto dulce sin ajustar.
Valor= 1.042 (kg/L).



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.6. Densidad del mosto dulce ajustada.
Valor= 1.037 (kg/L).

para obtener la graduación de su cerveza de trigo duro, que se sitúa en 5 % en volumen.

Conforme el tanque de cocción se va llenando se puede encender el equipo calefactor para que vaya ganando temperatura y así se optimiza el tiempo. El drenaje se detendrá en el momento que la densidad en el tanque de cocción haya alcanzado el valor determinado. En esta práctica se tomó un primer valor, Figura 6.8, el cual marcaba una densidad de 1.042 (kg/L) por lo que se continuó drenando mosto hasta que en el segundo valor tomado se alcanzó la densidad deseada, 1.037 (kg/L), Figura 6.7. Para la toma de datos de la densidad se empleó un densímetro y una probeta. Hay que tener especial cuidado con la temperatura del mosto cuando se mide con el densímetro, debido a que está preparado para medir a una temperatura determinada de 20 °C, ya que los líquidos a mayor temperatura disminuye su densidad.

Una vez se ha terminado la etapa de maceración es necesario limpiar el tanque, ya que queda todo el bagazo en el fondo, tal y como se aprecia en la Figura 6.9. Para su limpieza se procede a extraerlo del tanque con una pala y se lleva a un palé de volumen suficiente para almacenarlo todo, en la Figura 6.11 se puede ver el palé con el



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.8. Bagazo de malta en el fondo del tanque de maceración.

bagazo en su interior. Esa foto está realizada en el exterior de la cervecería, ya que el autor del proyecto llevó a cabo una medición de la cantidad de bagazo extraído, con el fin de utilizar esos datos para realizar los balances de materia y para secar varias muestras y conocer su contenido en humedad. En la figura 6.11 se puede observar



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.10. Bagazo de malta extraído del tanque de maceración.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.9. Toma de datos del bagazo de malta.

todo el bagazo de malta almacenado en un palé de color amarillo. En la Figura 6.10 se aprecia cómo se pesó esa cantidad de bagazo. La báscula utilizada era capaz de pesar hasta los 100 kilogramos, pero se tuvo que llevar a cabo el pesaje en varias tomas de unos 7-11 kilogramos, sobre la barquilla negra que se ve en la Figura 6.10. Al final se obtuvieron unos 100 kilogramos de bagazo húmedo, a partir de 78 kilogramos de malta. Las datos obtenidos están reflejados en la Tabla 6.1 y 6.2. Gracias a la Tabla 6.2 se puede obtener la primera conversión utilizada en el balance de materia, Ecuación 6.1, que determina la cantidad de bagazo de malta obtenido por cada kilogramo de malta molida.

$$Conv1 = \frac{100.26}{78} \approx 1.3 \text{ (Ecuación 6.1)}$$

Tabla 6.1. Toma de datos de bagazo de malta.

Bagazo malta, pesado por partes	
nº Pesada	kg
1	7.36
2	8.76
3	7.64
4	7.52
5	9.48
6	6.76
7	7.82
8	8.78
9	10.26
10	8.84
11	10.84
12	6.2
Total	100.26

Tabla 6.2. Datos totales de la malta y su bagazo.

	kg
Malta molida	78
Bagazo malta	100.26

6.3.4 Cocción y lupulado

Esta etapa consiste en la ebullición del mosto durante al menos una hora, dependiendo de la receta. En esta receta el tiempo necesario era de una hora. Ya se ha explicado que mientras se va introduciendo el mosto en el tanque de cocción se va calentando para que vaya ganando temperatura y así conseguir la temperatura de ebullición antes. En este caso la temperatura de ebullición era de 98.1 °C. Una vez alcanzada, que se considera que lo ha hecho cuando el hervor es evidente se cronometra el tiempo.



Fuente: <http://lupulu.com/es/tienda/lupulo-simcoe-pellets-100-grs/>

Figura 6.11. Pellet de lúpulo.

El lúpulo se incorpora a la mezcla dependiendo de la receta, en este caso se incorporaron 500 gramos de lúpulo después de 20 minutos de hervor. Se utilizó pellet de lúpulo, que es la forma más utilizada de este producto en cerveza artesana, Figura 6.12. Para incorporarlo a la mezcla se puede hacer directamente al tanque de cocción, pero Felipe lo disuelve primero en mosto que ha guardado de la etapa de maceración para que al verterlo no se forme espuma, ya que corremos el riesgo de perder todo su aroma y amargor en la espuma. En la Figura 6.13 se puede ver el momento en el que se vertió el lúpulo en la mezcla. Una vez se ha pasado el tiempo de cocción ya se puede comenzar la etapa de enfriado.

El bagazo de lúpulo se quedará en el fondo del tanque y con gran cantidad de líquido en su superficie, debido a que si se continuase absorbiendo ese líquido se correría el riesgo de obturar el intercambiador de calor de placas que se va a utilizar en la etapa posterior. Por esta razón el índice de conversión de esta etapa, de lúpulo introducido y bagazo de lúpulo a la salida es tan alto, véase Tabla 6.3 y Ecuación 6.2.

$$Conv2 = \frac{10.25}{0.5} = 20.5 \text{ (Ecuación 6.2)}$$

En el próximo apartado, tras la explicación del resto de etapas, se darán los datos obtenidos al secar las diferentes muestras de bagazo, que también serán útiles para el balance de materia.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.12. Vertido de lúpulo en el tanque de cocción.

Tabla 6.3. Datos totales del lúpulo y su bagazo.

	kg
Lúpulo	0.5
Bagazo Lúpulo	10.25

6.3.5 Enfriado

Como ya se ha dicho anteriormente en esta etapa se va a enfriar el mosto, de unos 100 °C hasta 15-20 °C. El equipo utilizado es un intercambiador de calor de placas. En la Figura 6.15 el intercambiador de placas ya está funcionando. Por el circuito primario se conduce el mosto cocido, y por el secundario el refrigerante, que en este caso es agua. El agua utilizada no se tira, se lleva a un tanque que la almacena para posteriores cocciones. La impulsión de las corrientes se lleva a cabo por una bomba que aparece en la parte inferior de la Figura 6.15. Y el mosto ya enfriado se lleva directamente al tanque fermentador, tal y como se puede apreciar en la Figura 6.15. Habrá que fijarse si se está consiguiendo llevar el mosto a la temperatura deseada en el tanque de fermentación, y en caso de que no sea la adecuada se regulará el caudal de refrigerante o de mosto para obtener la temperatura deseada. Dependiendo del equipo utilizado ya lleva un sistema de control de temperatura que regula por si solo los caudales.

6.3.6 Fermentación

Esta etapa se realiza en un tanque como el de la Figura 6.3. En la Figura 6.14 se puede ver cómo se va llenando el tanque de fermentación tras pasar por el



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aíne (Huesca).

Figura 6.14. Etapa de enfriado. Conexiones del intercambiador de placas.



Figura 6.13. Relleno del tanque de fermentación con el mosto ya enfriado.

Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aíne (Huesca).



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.15. Tanque de fermentación lleno y con la levadura.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.16. Densidad de la cerveza fermentado (cerveza verde). Valor= 1.006 (kg/L)

intercambiador de placas. Mientras se va llenando el tanque se hidrata la levadura. Se puede hacer en el mosto sobrante de la etapa de maceración, pero Felipe recomienda hacerlo en agua embotellada. La levadura se guarda en refrigeración, y para hidratarla simplemente se mezcla con agua. Antes de acabar de llenar el tanque ya se puede introducir la levadura.

Para poder llevar a cabo la segunda fermentación en el envase se extraerá una vez lleno y mezclado el mosto con la levadura, unos cuantos litros de la mezcla y se congelarán. De esta manera se conserva el mosto mezclado con la levadura y antes del embotellado se devolverán estos litros extraídos al tanque. Esta práctica consigue que una vez envasada nuestra cerveza fermente y así se consigue aportarle dióxido de carbono en su interior y cambiarán sus propiedades organolépticas a lo largo del tiempo.

La levadura se extraerá tras observar que no se genera más dióxido de carbono lo que nos indica que la fermentación ha terminado. Según Felipe, extrae unos 15 litros del fondo del tanque donde elimina toda la levadura sedimentada. Este es otro dato que se utiliza para el balance de materia del siguiente apartado. Una vez terminada la fermentación se mide la densidad. El valor obtenido fue de 1.006 (kg/L) tal y como se aprecia en la Figura 6.17. Para medir el grado alcohólico existen fórmulas que lo calculan por diferencia de densidad entre el mosto enfriado, antes de entrar al fermentador, y la cerveza verde. Estas fórmulas son aproximadas,. Uno de los métodos más fiable es la utilización de un ebullómetro, que nos dirá exactamente el grado alcohólico que posee el producto final.

6.3.7 Guarda

La guarda se lleva a cabo en el mismo tanque de fermentación, aunque se puede trasvasar de este a otro tanque refrigerado. La temperatura no suele superar los 5 °C, y el tiempo de almacenamiento va de 1 o 2 semanas hasta lo que el maestro cervecer considera. Este periodo de tiempo sirve para que los aromas y sabores se armonicen entre sí.

6.3.8 Envasado

Dependiendo del tipo de envase escogido se utilizarán unos equipos u otros. Los envases más utilizados en cerveza artesana son el barril y la botella. Si se quiere provocar una segunda fermentación en el envase, como ya se ha explicado, se verterá el mosto con levadura extraída del tanque de fermentación y congelado para que se disuelva en el tanque. Una vez disuelto y bien mezclado se procede a envasar.

6.4 Bagazos

6.4.1 Toma de datos

Se realizó una toma de muestras de los bagazos de la malta y del lúpulo, los cuales se pesaron en húmedo, tal y como se puede apreciar en la Figura 6.18. Se tomaron 4 muestras de bagazo de malta en el interior de unas barquillas de plástico numeradas del 1 al 4. Y dos muestras, también en barquillas, de lúpulo numeradas de la 5 a la 6. En la Figura 6.18 no se encuentra la barquilla número 6, porque se estaba pesando en ese momento. La toma de datos de este estudio se realizó con una báscula



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.17. Toma de muestras de bagazos de malta y lúpulo húmedos.

más pequeña que la que aparece en la Figura 6.11, debido a que estos pesos rondaban los 150 gramos.

Una vez tomadas las muestras de los bagazos se llevaron a uno de los laboratorios de la Escuela Politécnica de Huesca para proceder a secarlos en una estufa



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aineto (Huesca).

Figura 6.18. Muestras de bagazo de malta y lúpulo preparadas para ser introducidas en la estufa.

de aire forzado a 100 °C. Las muestras se acondicionaron para poderlas introducir en la estufa y se numeraron adecuadamente, tal y como se aprecia en la Figura 6.19.

Tras 5 horas en la estufa se consideró que ya se habían secado completamente, por lo que se procedió a pesar cada una de las muestras. El resultado tras el secado se puede observar en la Figura 6.20.



Fuente: Fotografía realizada por el autor del trabajo en Cervezas Borda en Aíne (Huesca).

Figura 6.19. Muestras de bagazo de malta y lúpulo tras ser secadas durante 5 horas a 100 °C.

En la Tabla 6.4 se muestran los datos recogidos de este estudio de los bagazos. Se han realizado unos cálculos para obtener el porcentaje medio de extracto seco y de humedad tanto de malta como de lúpulo, para conocer la composición de los bagazos.

Tabla 6.4. Datos experimentales de las muestras de bagazo de malta y lúpulo, obtenidos en Cervezas Borda.

Datos experimentales de los bagazos				Cálculos a partir de los datos				
Materia Prima	Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Agua en bagazo (g)	% Extracto seco	Media % Extracto Seco	% Agua	Media % Agua
Malta	Malta (1)	79	18.4	60.6	23.29	21.22	76.71	78.78
	Malta (2)	90	20.24	69.76	22.49		77.51	
	Malta (3)	126	25.1	100.9	19.92		80.08	
	Malta (4)	155	29.73	125.27	19.18		80.82	
Lúpulo	Lúpulo (1)	275	21.4	253.6	7.78	9.50	92.22	90.50
	Lúpulo (2)	204	22.9	181.1	11.23		88.77	

Es interesante porque el bagazo de malta se puede utilizar para diferentes fines, aunque el más corriente es para alimentación animal. El bagazo de lúpulo no se suele reutilizar debido a que los animales no se lo comen y no tiene muchas utilidades. El conocimiento de estos porcentajes sirve para conocer la cantidad de extracto seco que contiene el bagazo y para saber qué cantidad de componentes del grano seco se han disuelto en el mosto.

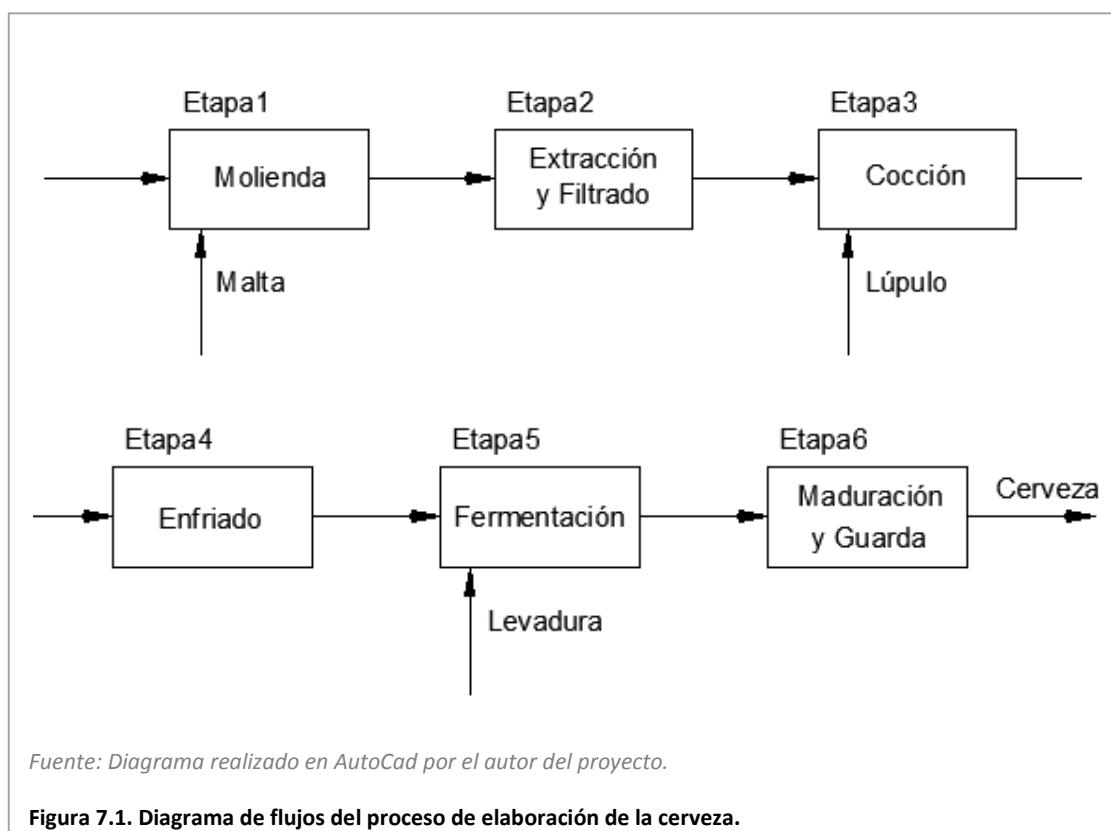
7 BALANCES DE MATERIA Y DE ENERGÍA

7.1 Introducción

Para la realización de este apartado se han utilizado diferentes trabajos de final de grado (Argemí Fontvila, 2016-06) (Sanchez Torres, 2016), una tesis (Melero Espinar & Zúñiga Tapia, 2013-03) y la ayuda del maestro cervecer de Cervezas Borda, en Ainet, Felipe, (Esteban, 2020) que se ofreció a que el autor de este proyecto preliminar le ayudara a elaborar un lote de 500 litros de cerveza en su cervecería. De esta práctica se han obtenido muchos de los datos que se van a mostrar a continuación, los cuales han sido mostrados en el apartado anterior (6. Prueba experimental)

7.2 Balance de Materia (BM)

El objetivo de este apartado es calcular de forma teórica las cantidades de materias primas que van a circular por los equipos de la instalación, para cada una de las recetas que se han propuesto en este proyecto preliminar. Para conseguir que el



sistema de ecuaciones sea compatible determinado hay que igualar el número de ecuaciones al número de incógnitas, por lo que se han utilizado una serie de datos experimentales que se explicarán más adelante, de los cuales varios se han obtenido en una práctica realizada en Cervezas Borda, tal y como se explica en el apartado anterior.

El diagrama de flujos general para todas las recetas aparece en la Figura 7.1.

Como la cantidad de materias primas utilizadas en cada receta será diferente los resultados variarán entre una y otra, pero la forma de realizarlos será la misma, por lo que solo se explicarán los cálculos de una de las recetas y para el resto se darán los resultados.

Se va a utilizar un programa informático para la resolución del sistema de ecuaciones algebraicas denominado *Engineering Equation Solver (EES)*.

Para resolver estos balances utilizaremos la Ley de la Conservación de la Materia, que enuncia dos premisas: Que la masa total inicial (reactivos) es igual a la masa total final (productos más los reactivos no consumidos), por lo que el número de átomos de los reactivos será igual al número de átomos de los productos; La segunda premisa dicta que los moles iniciales no tienen por qué ser los mismos que los finales. Esta ley se corresponde a la Ecuación 7.1 (Díaz, 2012).

$$E - S + G - C = A \text{ (Ecuación 7.1)}$$

$$\begin{bmatrix} \text{masa que} \\ \text{entra a través} \\ \text{de los límites} \\ \text{del sistema} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{masa que} \\ \text{sale a través} \\ \text{de los límites} \\ \text{del sistema} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{masa} \\ \text{generada} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{masa} \\ \text{consumida} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{masa} \\ \text{acumulada} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{bmatrix}$$

Fuente: (Díaz, 2012)

Figura 7.2. Explicación de la Ecuación 6.1.

7.2.1 Cálculos para el balance de materia. Receta: Ámbar de Abadía.

Para la realización del balance de materia se ha dividido el diagrama de flujo en seis etapas, tal y como se muestra en la Figura 7.1. Ya se ha explicado que para cada receta se utilizan diferentes tipos de maltas, lúpulo y levadura. A efectos de cálculo nos interesa conocer las cantidades totales de estas materias primas, independientemente de los tipos utilizados. En la Tabla 7.1 podemos ver las cantidades necesarias de materias primas para la fabricación de 1000 litros de esta receta.

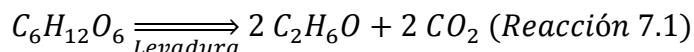
Tabla 7.1. Cantidad de materias primas para cerveza Ámbar de Abadía.

Receta	MALTA (m_1)	LÚPULO (m_{3A})	LEVADURA (m_{5A})
	Cantidad (kg/1000L)	Cantidad (g/1000L)	Cantidad (g/1000L)
Ámbar de abadía	250	1000	700

La cerveza ámbar de abadía debe tener un grado alcohólico de 0.06 litros de etanol por litro de cerveza, es decir, un 6 % en volumen, que es la unidad de medida utilizada para las bebidas alcohólicas. La densidad del mosto tiene que rondar valores entre 1.04-1.06 (kg/L) y la de la cerveza dependerá del grado alcohólico, pero a grandes rasgos rondará los valores comprendidos entre 0.95-1.2 (kg/L). Estos datos han sido obtenidos gracias al maestro cervecer Daniel Fermun de SlowBeer (Fermun, 2019).

Antes de comenzar con los balances debemos conocer las densidades de las diferentes etapas del proceso de elaboración para obtener el grado alcohólico de la receta. Es necesario conocer la densidad del mosto a la salida de la etapa 2 (ρ_3), es decir la densidad a la salida del tanque de maceración. En la cocción al hacer hervir la mezcla esta se concentra, por lo que su densidad aumentará (ρ_4). Y durante la fermentación, como ya ha sido explicado en apartados anteriores, gran parte de los azúcares van a ser consumidos por la levadura y se va a generar etanol, que es menos denso que el mosto, y dióxido de carbono, que se dejará escapar a la atmósfera. Por lo tanto la densidad de la cerveza verde (ρ_6) será menor que la del mosto cocido.

Se va a utilizar como base de cálculo (bc) 1 litro de mezcla. Conocemos la densidad del etanol (ρ_{et}) que es igual a 0.79 (kg/L) y el volumen de etanol (Vol_{et}) en la mezcla, 6 %. Es necesario conocer la conversión de etanol por cada gramos de glucosa para el cálculo de las densidades (Y_{PS}). La Reacción 7.1 es una simplificación de la ruta de Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), en la cual no se observa crecimiento de la biomasa.



Se dan los datos de los pesos moleculares (Datos 7.1) para obtener el rendimiento teórico de producción de etanol por cada gramo de sustrato ($Y_{PS;Teórico}$), calculado en la Ecuación 7.2.

$$Pm_{C_6H_{12}O_6} = 180 \left(\frac{g}{mol} \right); Pm_{C_2H_6O} = 46 \left(\frac{g}{mol} \right); Pm_{CO_2} = 44 \left(\frac{g}{mol} \right) \text{ (Datos 7.1)}$$

$$Y_{PS;Teórico} \left(\frac{g_{Et}}{g_S} \right) = \frac{1mol_S}{180g_S} * \frac{46g_{Et}}{1mol_{Et}} * \frac{2mol_{Et}}{1mol_S} = 0.51 \left(\frac{g_{Et}}{g_S} \right) \text{ (Ecuación 7.2)}$$

Este rendimiento ($Y_{PS;Teórico}$) no ocurre en la realidad, porque parte de la energía obtenida por el consumo de sustrato es utilizada por la levadura para realizar funciones vitales, sobre todo para el crecimiento. En uno de los trabajos de final de grado citados al principio de este apartado se estudió la cinética fermentativa de *Saccharomyces cerevisiae*, y uno de los datos obtenidos experimentalmente fue la producción de etanol por cada gramo de sustrato a una temperatura de 20 °C, es decir, el rendimiento observado, teniendo en cuenta el crecimiento de la biomasa ($Y_{PS}=0.469$ (g_{Et}/g_S)) (Sanchez Torres, 2016).

Gracias a la utilización de el rendimiento observado se puede utilizar una reacción más completa que la Reacción 7.1, la Reacción 7.2, en la cual se va incluye la levadura, a partir de una fórmula media ($CH_{1.8}O_{0.5}N_{0.2}$) obtenida de un documento utilizado en la asignatura de ingeniería de las industrias agroalimentarias, cursada en tercero del grado en ingeniería agroalimentaria y del medio rural que se obtuvo de: (Ride, 2010). Los coeficientes de cada uno de los productos y reactivos son calculados en el apartado de balances de energía, más adelante. Con la Reacción 7.2 ya se puede

utilizar el rendimiento experimental, porque incluye a la biomasa en ella. Este rendimiento será necesario para el cálculo de las densidades en cada etapa.



(Reacción 7.2)

También será necesario la utilización de la Tabla 7.2, la cual nos aporta datos

Tabla 7.2. Relación grados BRIX, densidad y kilogramos de azúcar por litro de agua.

Grados BRIX	Densidad (kg/L)	Kg de azúcar por litro de agua
1	1.0038	0.0101
2	1.0077	0.02041
3	1.0117	0.03093
4	1.0157	0.04167
5	1.0197	0.05265
6	1.0237	0.06385
7	1.0277	0.07527
8	1.0318	0.08696
9	1.0359	0.0989
10	1.0401	0.11111
11	1.0443	0.12359
12	1.0485	0.13656
13	1.0527	0.14942
14	1.057	0.16279
15	1.0613	0.17647

Fuente: <http://boddbo.blogspot.com/2012/02/densidad-del-jarabe-en-grados-baume.html> (Adaptada a las unidades que nos interesa en Excel)

que relacionan la densidad de una mezcla azucarada con la cantidad en gramos de azúcar por cada litro de mezcla.

Ahora ya se puede comenzar a realizar los **cálculos para obtener la densidad de el mosto cocido (p4)**. En Ecuación 7.3 obtenemos la cantidad de etanol en volumen por litro de disolución y en la Ecuación 7.4 la cantidad en masa.

$$v_{et} = \frac{Vol_{et}}{100} \rightarrow v_{et} = \frac{6}{100} = 0.06 \text{ (L)} \text{ (Ecuación 7.3)}$$

$$m_{et} = v_{et} * \rho_{et} \rightarrow m_{et} = 0.06 * 0.79 = 0.0474 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.4)}$$

$$m_{AzFerm} = \frac{m_{et}}{Y_{PS}} \rightarrow m_{AzFerm} = \frac{0.0474}{0.469} = 0.101 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.5)}$$

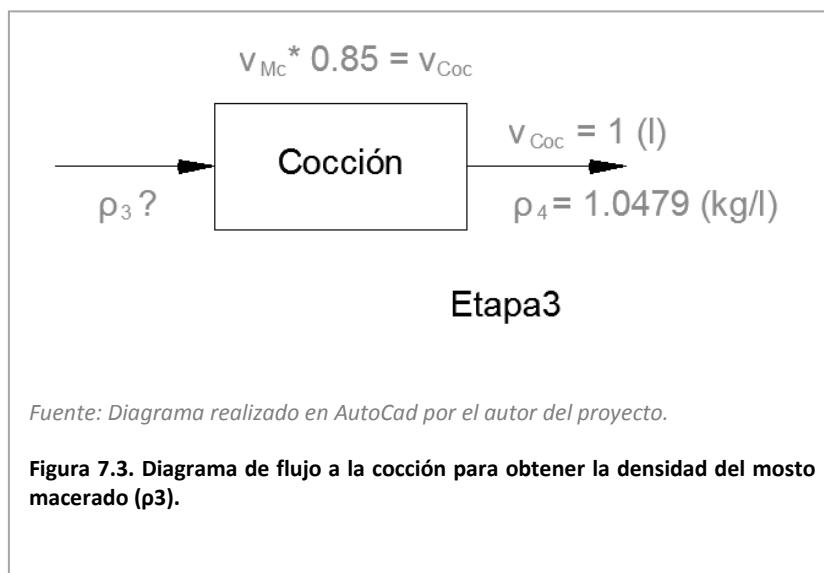
En la Ecuación 7.5 se obtiene la cantidad de azúcares fermentables (m_{AzFerm}) que hay en un litro de mezcla. Como ya se ha dicho en apartados anteriores un 75 % de los azúcares del mosto son fermentables, y el resto formarán parte del aporte calórico de la cerveza final, por lo que se debe calcular, en la Ecuación 7.6, la masa de azúcares totales en el mosto (m_{AzCoc}) (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000).

$$m_{AzCoc} = m_{AzFerm} * \frac{100}{75} \rightarrow m_{AzCoc} = 0.101 * \frac{100}{75} = 0.1348 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.6)}$$

Ahora ya podemos realizar la Ecuación 7.7 que mediante interpolación de los datos aportados por la Tabla 7.2 se puede obtener la densidad del mosto cocido (ρ_4).

$$\frac{1.0485 - \rho_4}{0.13656 - m_{AzCoc}} = \frac{1.0485 - 1.04433}{0.13656 - 0.12359} \rightarrow \rho_4 = 1.0479 \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \text{ (Ecuación 7.7)}$$

Para el **cálculo de la densidad del mosto de maceración (ρ_3)** sabemos que el volumen de mezcla durante la cocción disminuye en un 15 % (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000). También conocemos la cantidad de azúcar (m_{AzCoc}) a la salida de la cocción e



imponemos como en el cálculo de ρ_4 una base de cálculo (bc) de un litro, de manera que obtenemos un diagrama como el de la Figura 7.3.

Lo primero es realizar la Ecuación 7.8, en la que obtendremos el volumen a la entrada del macerador (V_{Mc}).

$$v_{Mc} * 0.85 = v_{Coc} \rightarrow v_{Mc} = 1.1765 (L) \text{ (Ecuación 7.8)}$$

Con una regla de tres, Ecuación 7.9, obtenemos la cantidad de azúcares que habrá en un litro de disolución a la entrada de la cocción (m_{AzMc}).

$$m_{AzMc} = \frac{m_{AzCoc} * bc}{v_{Mc}} \rightarrow m_{AzMc} = 0.1145 (kg) \text{ (Ecuación 7.9)}$$

Y como se ha hecho anteriormente gracias a la Tabla 7.2 se interpolan sus datos, en la Ecuación 7.10, para obtener la densidad del mosto de maceración (ρ_3).

$$\frac{1.0443 - \rho_3}{0.12359 - m_{AzMc}} = \frac{1.0443 - 1.0401}{0.12359 - 0.11111} \rightarrow \rho_3 = 1.0412 \left(\frac{kg}{L} \right) \text{ (Ecuación 7.10)}$$

Para **calcular la densidad de la cerveza verde (ρ_6)**, que será igual a la densidad de la cerveza acabada (ρ_7), primero debemos obtener, en la Ecuación 7.12, por interpolación de la Tabla 7.2, la densidad que tendría la mezcla de azúcares sin contar el etanol (ρ_m), a partir de la masa de azúcares no fermentables ($m_{AzNoFerm}$), que se obtiene en la Ecuación 7.11, por diferencia de los azúcares totales antes de la fermentación (m_{Az4}) y los azúcares fermentables (m_{AzFerm}).

$$m_{AzNoFerm} = m_{AzCoc} - m_{AzFerm} \rightarrow m_{AzNoFerm} = 0.0338 (kg) \text{ (Ecuación 7.11)}$$

$$\frac{1.0157 - \rho_6}{0.0416 - m_{AzNoFerm}} = \frac{1.0157 - 1.0117}{0.0416 - 0.03093} \rightarrow \rho_m = 1.0127 \left(\frac{kg}{L} \right) \text{ (Ecuación 7.12)}$$

Ahora conocemos la densidad sin contar el etanol en el líquido, tal y como se aprecia en la Tabla 7.3. Las cantidades de etanol han sido calculadas anteriormente y el volumen total, el de la cerveza, es la base de cálculo.

Simplemente al restar el volumen total al del etanol obtenemos el de la mezcla de azúcares no fermentables. Con ese dato y el de la densidad obtendremos la masa

Tabla 7.3. Representación de la cantidad de etanol y de azúcares en mezcla por separado.

	Masa (kg)	Densidad (kg/L)	Volumen (L)
Etanol	0.0474	0.79	0.06
Mezcla		1.0127	
Cerveza			1

de mezcla, que al sumarla a la de etanol obtenemos la masa de un litro que es la densidad. Los resultados a estos cálculos se reflejan en la Tabla 7.3 (bis).

Tabla 7.3 (bis). Resultado de la densidad de la cerveza (ρ_6).

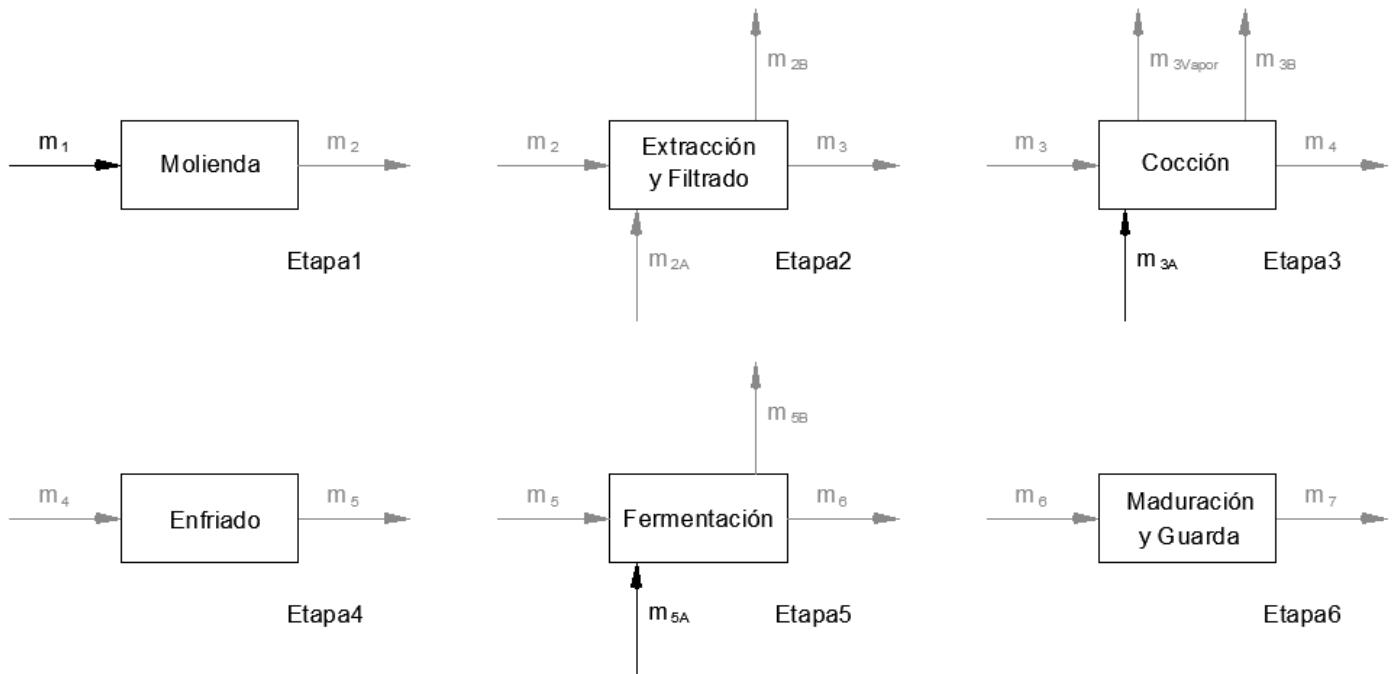
	Masa (kg)	Densidad (kg/L)	Volumen (L)
Etanol	0.0474	0.79	0.06
Mezcla	0.951938	1.0127	0.94
Cerveza	0.999338	0.999338	1

En la Tabla 7.4 se muestran todas las variables conocidas hasta el momento, con las cuales ya podemos resolver los balances de materia. Bien es cierto que se van a utilizar unos factores para calcular la cantidad de bagazo de las materias primas los cuales se han obtenido en la práctica experimental realizada en cervezas Borda. Para el bagazo de levadura no se utilizará ninguna conversión, simplemente se comprobó en la práctica que por cada 500 litros de cerveza se extraían 15 litros, por lo que para 1000 litros se extraerán el doble (Esteban, 2020).

Tabla 7.4. Valores de las variables conocidas para realizar el balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.

Cerveza Ámbar de Abadía			
Variables Conocidas			
Corriente	Descripción	Valor	Unidades
m_1	Malta	250	kg
m_{3A}	Lúpulo	1	kg
m_{5A}	Levadura	0.7	kg
v_7	Cerveza	1000	L
ρ_3	Densidad mosto	1.0412	kg/L
ρ_4	Densidad mosto cocido	1.0479	kg/L
ρ_6	Densidad cerveza	0.9993	kg/L
v_{5B}	Volumen bagazo levadura	30	L
Vol_{etanol}	Grado alcohólico	6	%
$Conv1$	Conversión para bagazo malta	1.3	-
$Conv2$	Conversión para bagazo lúpulo	20.5	-

Antes de mostrar las ecuaciones del balance de materia hay que conocer todas las corrientes de entrada y salida del diagrama de flujo dividido por etapas. Estas corrientes son mostradas en la Figura 7.4, donde las corrientes de color negro son



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 7.4. Diagrama de flujo por Etapas.

corrientes conocidas. Puede resultar extraño que la corriente m_7 no sea de color negro, es porque conocemos el volumen de producto final (v_7) y no la masa. Esta explicación aporta una pista para la forma de leer los nombres que se le han puesto a las corrientes: la letra "m" se refiere a masa en kilogramos (kg), la "v" a volumen en litros (L), la letra griega rho " ρ " se refiere a densidad en (kg/L) y los números que se ven como subíndices de estas letras corresponden al número de la etapa para aquellas corrientes propias a ella y al de la siguiente para las que salen de una y van a la posterior. Las letras "A", en los subíndices, corresponden a la materia prima de entrada y la "B" a los bagazos propios de cada etapa. En la Etapa 3 aparece un subíndice diferente en el que pone vapor, simplemente es la masa de vapor que se evapora en el proceso de cocción.

Una vez ya se conoce en su totalidad el diagrama de flujo por etapas y la manera de interpretarlo ya se puede explicar el sistema de ecuaciones.

- **Etapa 1. Molienda:**

$$m_1 = m_2 \text{ (Ecuación 7.13)}$$

- **Etapa 2. Macerado o Extracción:**

$$m_2 + m_{2A} = m_{2B} + m_3 \text{ (Ecuación 7.14)}$$

$$m_2 * Conv1 = m_{2B} \text{ (Ecuación 7.15)}$$

Explicación En la Ecuación 7.15 aparece una de las conversiones utilizadas para este balance de materia, que han sido comprobadas en la práctica. Quiere decir que la masa de bagazo a la salida de la Etapa 2 es 1.3 veces mayor que la masa de entrada de malta seca, aunque parte de los compuestos de la malta se hayan solubilizado en el agua gran cantidad de agua ha sido absorbida por la malta, por lo que la masa de bagazo a la salida del tanque de maceración (m_{2B}) estará en base húmeda. Este valor, $Conv1$, ha sido calculado en el apartado anterior en la Ecuación 6.1 (Esteban, 2020). Más adelante se explicara con mayor detenimiento la composición de los bagazos.

- **Etapa 3. Cocción:**

$$m_3 + m_{3A} = m_{3B} + m_4 + m_{3Vapor} \text{ (Ecuación 7.16)}$$

$$m_{3A} * Conv2 = m_{3B} \text{ (Ecuación 7.17)}$$

$$v_3 * 0.85 = v_4 \text{ (Ecuación 7.18)}$$

$$v_3 = \frac{m_3}{\rho_3} \text{ (Ecuación 6.19)} ; v_4 = \frac{m_4}{\rho_4} \text{ (Ecuación 7.20)}$$

Explicación En la Ecuación 7.17 aparece la segunda conversión ($Conv2= 20.5.$), ha sido calculada en la Ecuación 6.2 del apartado anterior, es mucho mayor que la anterior debido a que se deja en el fondo del tanque agua superficial a los restos de lúpulo, para evitar el paso de sólidos al enfriador (Esteban, 2020). Por cada hora y media de cocción el volumen de la mezcla disminuye entre un 10-15 % por el agua evaporada (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000), tal y como se ha nombrado anteriormente cuando se ha calculado la densidad del mosto de maceración, de este dato aparece la Ecuación 7.18 y como el porcentaje de pérdida de agua hace referencia al volumen debemos calcular los volúmenes de ambas corrientes en las Ecuaciones 7.19 y 7.20.

- **Etapa 4. Enfriamiento:**

$$m_4 = m_5 \text{ (Ecuación 7.21)}$$

- **Etapa 5. Fermentación:**

$$m_5 + m_{5A} = m_{5B} + m_6 \text{ (Ecuación 7.22)}$$

$$m_{5B} = v_{5B} * \rho_5 \text{ (Ecuación 7.23)}$$

Explicación La Ecuación 7.23 calcula la masa de bagazo de levadura, para que en la Ecuación 7.22 todas sus variables estén en las mismas unidades.

- **Etapa 6: Maduración y Guarda:**

$$m_6 = m_7 \text{ (Ecuación 7.24)}$$

$$m_7 = v_7 * \rho_{Cerveza} \text{ (Ecuación 7.25)}$$

Con estas trece ecuaciones, desde la Ecuación 7.13 a la 7.25, obtenemos un sistema compatible determinado, ya que tenemos tantas ecuaciones como incógnitas. El número de la ecuación junto con las incógnitas se ven reflejados en la Tabla 7.5, donde se aprecia con más claridad que hay trece ecuaciones para despejar las trece incógnitas.

En la Tabla 7.6 aparecen los parte de los resultados del balance de materia para la fabricación de 1000 litros de la cerveza Ámbar de Abadía. Se muestran los resultados necesarios para la elaboración del lote. Los más importantes son las densidades que se tienen que conseguir tras la etapa de maceración y cocción. Es así, porque el grado alcohólico de nuestro producto debe ser el que pone en la etiqueta. Solo puede variar 0.5 grados por encima por debajo, por esta razón son tan importantes las densidades. El resto de resultados serán datos aproximados, útiles para la elección de los equipos.

Tabla 7.5. Representación de las ecuaciones e incógnitas del balance de materia.

Sistema Compatible Determinado		
Número	Ecuaciones	Incógnitas
1	7.13	m_2
2	7.14	m_3
3	7.15	m_4
4	7.16	m_5
5	7.17	m_6
6	7.18	m_7
7	7.19	m_{2A}
8	7.2	m_{2B}
9	7.21	m_{3Vapor}
10	7.22	m_{3B}
11	7.23	m_{5B}
12	7.24	v_3
13	7.25	v_4

Tabla 7.6. Resultados obtenidos del balance de materia de la cerveza Ámbar de Abadía.

Cerveza Ámbar de Abadía									
Resultados									
Corriente	Descripción	Valor	Unidades	Corriente	Valor	Unidades	Corriente	Valor	Unidades
m_2	Malta molida	250	kg	-	-	-	-	-	-
m_3	Mosto Dulce	1204	kg	v_3	1156	L	ρ_3	1.041	kg/L
m_4	Mosto Cocido	1030	kg	v_4	983	L	ρ_4	1.048	kg/L
m_5	Mosto Frío	1030	kg	v_5	983	L	ρ_5	1.048	kg/L
m_6	Cerveza Verde	999.4	kg	v_6	1000	L	ρ_6	0.9994	kg/L
m_7	Cerveza	999.4	kg	v_7	1000	L	ρ_7	0.9994	kg/L
m_{2A}	Agua	1279	kg						
m_{2B}	Bagazo Malta	325	kg						
m_{3Vapor}	Vapor	154.3	kg						
m_{3B}	Bagazo Lúpulo	20.8	kg						
m_{5B}	Bagazo Levadura	31.44	kg						

En la Figura 7.5 se puede ver la interfaz del programa informático utilizado para el cálculo de las densidades de cada etapa y en la Figura 7.6 las ecuaciones utilizadas para el balance de materia, que han sido explicadas anteriormente.

```

"Grado Alcohólico"
"Datos"
bc=1 [l]
vol_et=6 [%]
rho_et=0.79 [kg/l]
Y_PS=0.469 [g_et/g_AzFerm]

"Densidad del mosto cocido"
v_et=vol_et/100
m_et=v_et*rho_et
m_AzFerm=m_et/Y_PS
m_AzCoc=m_AzFerm*100/75
{Esta conversión se debe a que el 75 % de los azúcares del mosto son fermentables}
(1.0485-rho[4])/(0.13656-m_AzCoc)=(1.0485-1.0443)/(0.13656-0.12359)
{Esta ecuación se saca de interpolar la Tabla 7.2}
"Ecuación 7.3"
"Ecuación 7.4"
"Ecuación 7.5"
"Ecuación 7.6"
"Ecuación 7.7"

"Densidad mosto maceración"
v_Mc=1/0.85
m_AzMc=m_AzCoc*1/v_Mc
{Una vez conocida la cantidad de azúcar por litro que hay en la maceración ya se puede interpolar}
(1.0443-rho[3])/(0.12359-m_AzMc)=(1.0443-1.0401)/(0.12359-0.11111)
"Ecuación 7.8"
"Ecuación 7.9"
"Ecuación 7.10"

"Densidad de la cerveza verde"
m_AzNoFerm=m_AzCoc-m_AzFerm
(1.0157-1.0117)/(0.04167-0.03093)=(1.0157-rho_m)/(0.04167-m_AzNoFerm)
{Así obtenemos la densidad de la mezcla de azúcares sin contar la cantidad de etanol}
v_m=1-v_et
m_m=v_m*rho_m
rho[6]=(m_m+m_et)/bc
"Ecuación 7.11"
"Ecuación 7.12"
"Tabla 7.3 (bis)"
"Tabla 7.3 (bis)"
"Tabla 7.3 (bis)"

```

Figura 7.5. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Cálculo de densidades.

"Balance de Materia"	"Etapa1. Molienda"	"Ecuación 7.13"
"Datos"	$m[1]=m[2]$	
$v[7]=1000 \text{ [l]}$		
$m[1]=250 \text{ [kg]}$		
$m_3_A=1 \text{ [kg]}$	"Etapa2. Extracción y Filtrado"	"Ecuación 7.14"
$m_5_A=0.7 \text{ [kg]}$	$m[2]+m_2_A=m_2_B+m[3]$	
$v_5_B=30 \text{ [l]}$		
$Conv1=1.3 \text{ [-]}$	$m[2]*Conv1=m_2_B$	"Ecuación 7.15"
$Conv2=20.5 \text{ [-]}$		
	"Etapa3. Cocción"	"Ecuación 7.16"
	$m[3]+m_3_A=m_3_vapor+m_3_B+m[4]$	
	$m_3_B=m_3_A*Conv2$	"Ecuación 7.17"
	$v[3]*0.85=v[4]$	"Ecuación 7.18"
	$v[3]=m[3]/rho[3]$	"Ecuación 7.19"
	$v[4]=m[4]/rho[4]$	"Ecuación 7.20"
	"Etapa4. Enfriado"	"Ecuación 7.21"
	$m[4]=m[5]$	
	"Etapa5. Fermentación"	"Ecuación 7.22"
	$m[5]+m_5_A=m_5_B+m[6]$	
	$m_5_B=v_5_B*rho[5]$	"Ecuación 7.23"
	"Etapa6. Guarda"	"Ecuación 7.24"
	$m[6]=m[7]$	"Ecuación 7.25"
	$m[7]=v[7]*rho[7]$	
	$rho[6]=rho[7]$	
	"Volúmenes y Densidades"	
	$rho[5]=rho[4]$	
	$v[5]=m[5]/rho[5]$	
	$v[6]=m[6]/rho[6]$	

Figura 7.6. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de materia.

Todos los cálculos obtenidos hasta el momento son los que nos interesan para el dimensionado de los equipos. Antes de dar los datos de el resto de recetas se va a proceder a describir con mayor profundidad los **bagazos obtenidos en esta receta**. En las recetas restantes se aportarán las cantidades de bagazo seco de malta y de

Tabla 7.7. Datos experimentales de las muestras de bagazo de malta y lúpulo, obtenidos en Cervezas Borda.

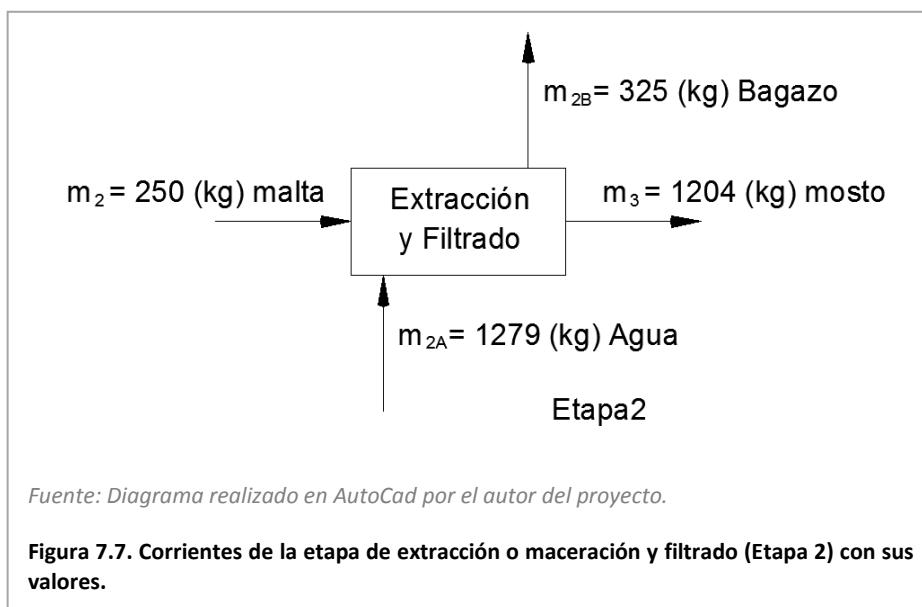
Datos experimentales de los bagazos			Cálculos a partir de los datos					
Materia Prima	Muestra	Peso Húmedo (g)	Peso Seco (g)	Agua en bagazo (g)	% Extracto seco	Media % Extracto Seco	% Agua	Media % Agua
Malta	Malta (1)	79	18.4	60.6	23.29	21.22	76.71	78.78
	Malta (2)	90	20.24	69.76	22.49		77.51	
	Malta (3)	126	25.1	100.9	19.92		80.08	
	Malta (4)	155	29.73	125.27	19.18		80.82	
Lúpulo	Lúpulo (1)	275	21.4	253.6	7.78	9.50	92.22	90.50
	Lúpulo (2)	204	22.9	181.1	11.23		88.77	

azúcares en el mosto. El resto de datos se omitirán por no ser relevantes.

Antes de comenzar a justificar las composiciones de los bagazos se debe mostrar la Tabla 7.7. Es la misma que la que se ha mostrado en el apartado anterior, Tabla 6.4. En ella se han calculado los porcentajes de sólidos y de agua de los bagazos. Gracias a estos porcentajes es posible calcular la cantidad de sólidos que contienen los bagazos.

Una vez conocidos estos datos ya es posible calcular las composiciones de los bagazos.

El **bagazo de malta** es el primero, por orden del diagrama de flujos. En la Figura 7.7 se pueden observar las corrientes de la etapa de maceración o extracción (Etapa 2), con la nomenclatura utilizada en el diagrama de flujos para el balance de materia, así como sus cantidades, que han sido previamente calculadas en el balance de materia.



En la Tabla 7.7 aparece la composición de este bagazo, que es un 21.22 % sólido (%_{sm}) y un 78.78 % agua (%_{H20m}). Con estos porcentajes se obtienen las cantidades de agua y de sólido de nuestro bagazo, tal y como muestran las Ecuaciones 7.26 y 7.27.

$$SolSeco_{Bag.Malta} = m_{2B} * \frac{\%_{sm}}{100} = 325 * \frac{21.22}{100} = 68.97 \text{ (kg)} \quad (\text{Ecuación 7.26})$$

$$Agua_{Bag.Malta} = m_{2B} * \frac{\%_{H20m}}{100} = 325 * \frac{78.78}{100} = 256.03 \text{ (kg)} \quad (\text{Ecuación 7.27})$$

En la ecuación 7.26 obtenemos la cantidad de sólidos que se han desecharado de la malta molida introducida en el tanque de maceración. Esto quiere decir que el resto de sólidos han pasado al mosto (m_{smosto}). En la Ecuación 7.28 se expresa esta cantidad. Estos sólidos gran parte son azúcares, pero el resto serán proteínas, vitaminas, aminoácidos y diferentes compuestos que poseía la malta. En la Ecuación 7.29 se calcula la cantidad de azúcares presentes en el mosto a partir de la masa que contiene un litro (m_{AzMc}) hallada en la Ecuación 7.9.

$$m_{smosto} = m_{2B} - SolSeco_{Bag.Malta} = 250 - 68.97 = 181.03 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.28)}$$

$$m_{AzTot} = m_{AzMc} * m_3 = 0.1145 * 1204 = 137.9 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.29)}$$

Como se puede observar más de un 75 % de los sólidos disueltos en el mosto son azúcares, de los cuales la gran mayoría son fermentables. El resto de sólidos disueltos en el mosto son, como ya se ha explicado en el párrafo anterior vitaminas, proteínas, taninos,... Muchos de estos compuestos son necesarios para el crecimiento de las levaduras. Otros aportaran aromas característicos al producto.

Con estos cálculos se buscaba dar veracidad al balance de materia, comprobando que la cantidad de azúcares necesarios en el mosto para obtener el grado alcohólico necesario realmente se solubilizaban.

En cuanto al **bagazo de lúpulo** no se van a realizar estos cálculos, porque prácticamente todo el lúpulo utilizado en la elaboración sale como bagazo. Posee unos aromas tan potentes que se disuelve una cantidad despreciable en el mosto.

El **bagazo de levadura** es una cantidad fija. Para esta receta se fijó en 30 litros. La masa era de 31.44 kilogramos. Como se conoce la cantidad de azúcares fermentables por cada litro de disolución (m_{AzFerm}) hallada en la Ecuación 7.5, la masa de disolución (m_5) calculada en el balance de materia y el rendimiento de la biomasa, que se puede obtener a partir de los pesos moleculares de la Reacción 7.2, tal y como se expresa en la Ecuación 7.30.

$$Y_{XS} = \frac{24.6g_X}{1mol_X} * \frac{1mol_S}{180g_S} * \frac{0.471mol_X}{1mol_S} = 0.0644 \left(\frac{g_X}{g_S} \right) \text{ (Ecuación 7.30)}$$

De esos 31.44 kilogramos de levadura que extraemos aproximadamente 6.7 kilogramos son levadura, el resto es líquido. Este dato es calculado en la Ecuación 7.30.

$$\begin{aligned}
 m_{levadura} &= m_5 * m_{AzFerm} * Y_{XS} = 1030 * 0.101 * 0.0644 \\
 &= 6.69 \text{ (kg)} \text{ (Ecuación 7.30)}
 \end{aligned}$$

Los cálculos de los bagazos, es decir los realizados desde la Ecuación 7.26 hasta la 7.30 no se realizarán para el resto de recetas, porque no son datos relevantes para el diseño de los equipos. Se han matizado para conocer sus composiciones y porque se tuvo la oportunidad de realizar el secado de estos.

7.2.2 Resultados de los balances de materia para todas las recetas.

Los resultados de los balances de materia se muestran en las Tablas 7.10, 7.11, 7.12 y 7.13. Las Tablas 7.8 y 7.9 aportan datos sobre la cantidad de materias primas que se van a utilizar en cada receta, de forma más visual, ya que en las Tablas que dan los resultados de los balances de materia también aparecen estas cantidades.

En las Figuras 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11 se muestran los diagramas de flujos de cada una de las recetas, que son los mismos, pero con los resultados para cada una de ellas, con el objetivo de mostrar los resultados de un modo más visual.

Tabla 7.8. Cantidad de materias primas para la elaboración de 1000 litros de cerveza para diferentes recetas.

Receta	Materias Primas para lotes de 1000 litros			
	MALTA	LÚPULO	LEVADURA	Grado Alcohólico
	Cantidad (kg)	Cantidad (g)	Cantidad (g)	Vol %
Ámbar de Abadía	250	1000	700	6
Rubia de Centeno	310	1000	600	8
De Trigo	250	1600	500	5

Tabla 7.9. Cantidad de materias primas para la elaboración de 500 litros de cerveza Oscura de Abadía.

Receta	Materias Primas para lotes de 500 litros			
	MALTA	LÚPULO	LEVADURA	Grado Alcohólico
	Cantidad (kg)	Cantidad (g)	Cantidad (g)	Vol %
Oscura de Abadía	137.5	375	350	9

Tabla 7.11. Resultados del balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.

Cerveza Ámbar de Abadía (%Vol=6)				
Subíndice	Descripción	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)
1	Malta	250	-	-
2	Malta molida	250	-	-
3	Mosto dulce	1204	1156	1.041
4	Mosto cocido	1030	983	1.048
5	Mosto frío	1030	983	1.048
6	Cerveza verde	999.4	1000	0.9994
7	Cerveza	999.4	1000	0.9994
2A	Agua	1279	1279	1
2B	Bagazo malta húmedo	325	-	-
3A	Lúpulo	1	-	-
3B	Bagazo lúpulo húmedo	20.5	-	-
3Vapor	Vapor	154.6	-	-
5A	Levadura	0.7	-	-
5B	Bagazo levadura	31.44	30	1.048
AzTot	Azúcares Totales	132.362	-	-
AzFerm	Azúcares Fermentables	99.3813	-	-
SS _{Bag.Malta}	Bagazo malta seco	68.97	-	-

Tabla 7.10. Resultados del balance de materia para la cerveza Rubia de Centeno.

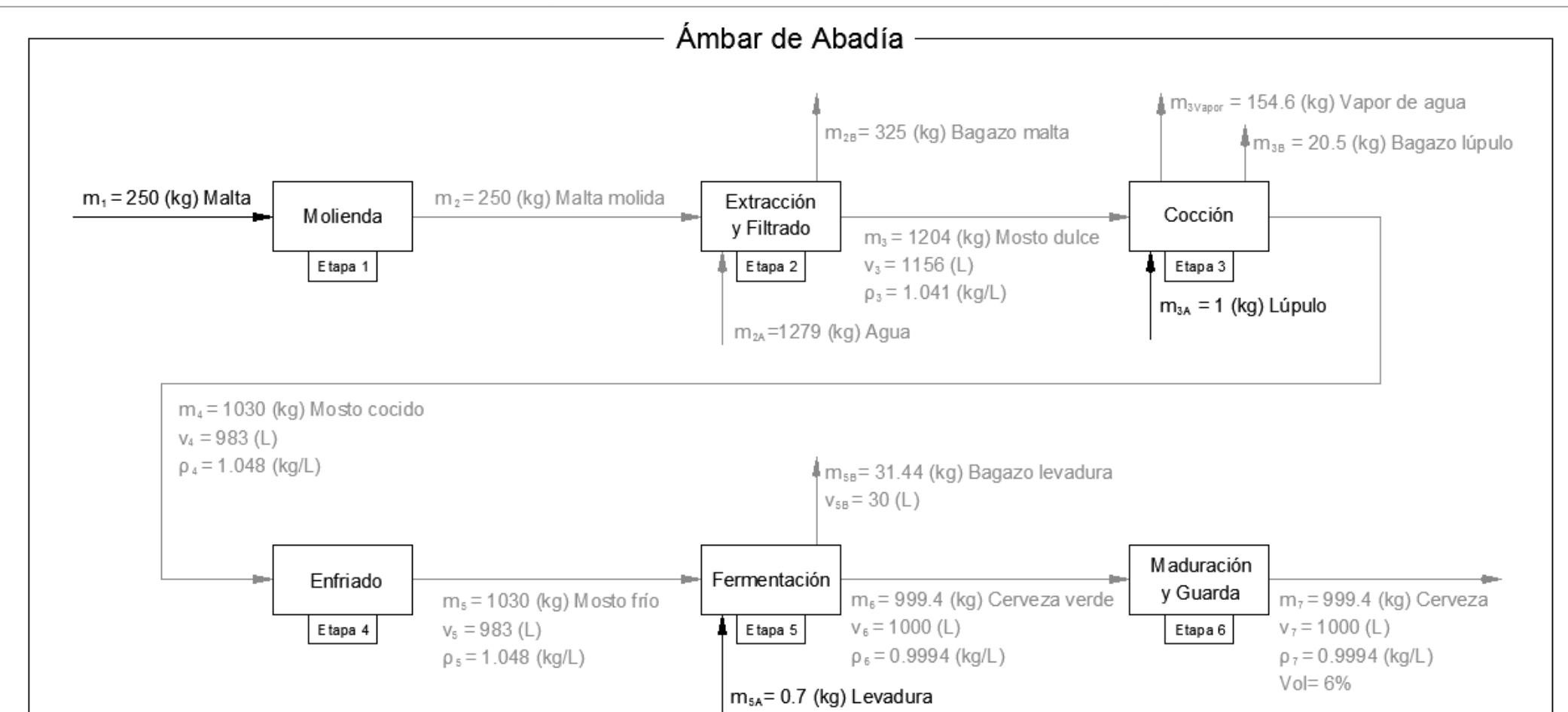
Cerveza Rubia de Centeno (%Vol=8)				
Subíndice	Descripción	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)
1	Malta	310	-	-
2	Malta molida	310	-	-
3	Mosto dulce	1202	1141	1.054
4	Mosto cocido	1030	969.6	1.062
5	Mosto frío	1030	969.6	1.062
6	Cerveza verde	998.7	1000	0.9987
7	Cerveza	998.7	1000	0.9987
2A	Agua	1295	1295	1
2B	Bagazo malta húmedo	403	-	-
3A	Lúpulo	1	-	-
3B	Bagazo lúpulo húmedo	20.5	-	-
3Vapor	Vapor	152.5	-	-
5A	Levadura	0.6	-	-
5B	Bagazo levadura	31.87	30	1.062
AzTot	Azúcares Totales	174.2307	-	-
AzFerm	Azúcares Fermentables	130.70208	-	-
SS _{Bag.Malta}	Bagazo malta seco	85.52	-	-

Tabla 7.12. Resultados del balance de materia para la cerveza de Trigo.

Cerveza de Trigo (%Vol=5)				
Subíndice	Descripción	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)
1	Malta	250	-	-
2	Malta molida	250	-	-
3	Mosto dulce	1205	1165	1.035
4	Mosto cocido	1030	989.3	1.042
5	Mosto frío	1030	989.3	1.042
6	Cerveza verde	999.7	1000	0.9997
7	Cerveza	999.7	1000	0.9997
2A	Agua	1280	1280	1
2B	Bagazo malta húmedo	325	-	-
3A	Lúpulo	1.6	-	-
3B	Bagazo lúpulo húmedo	32.8	-	-
3Vapor	Vapor	143.4	-	-
5A	Levadura	0.5	-	-
5B	Bagazo levadura	31.25	30	1.042
AzTot	Azúcares Totales	111.19925	-	-
AzFerm	Azúcares Fermentables	83.318846	-	-
SS _{Bag.Malta}	Bagazo malta seco	68.97	-	-

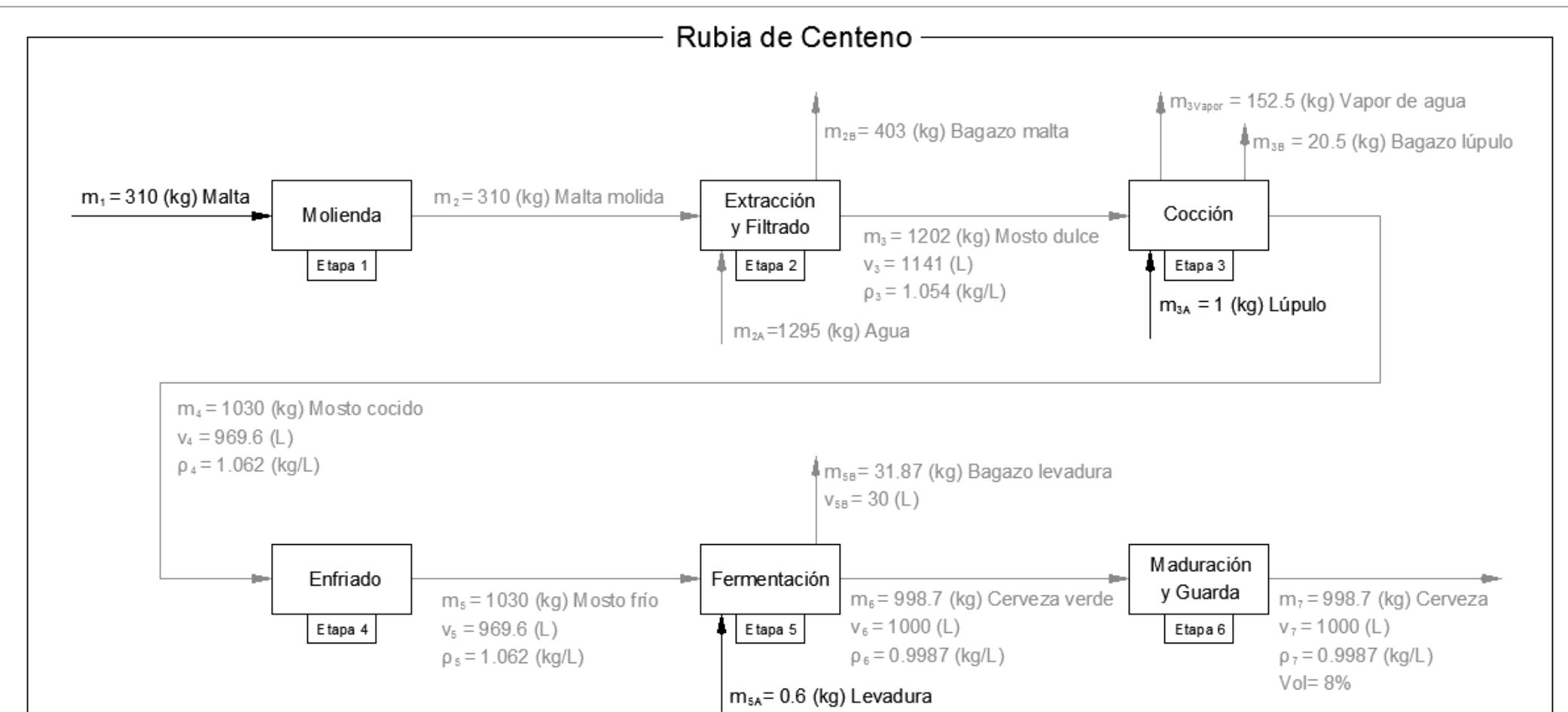
Tabla 7.13. Resultados del balance de materia para la cerveza Oscura de Abadía.

Cerveza Oscura de Abadía (%Vol=9)				
Subíndice	Descripción	Masa (kg)	Volumen (l)	Densidad (kg/L)
1	Malta	137.5	-	-
2	Malta molida	137.5	-	-
3	Mosto dulce	601.9	566.6	1.062
4	Mosto cocido	515	481.6	1.069
5	Mosto frío	515	481.6	1.069
6	Cerveza verde	499.3	500	0.9985
7	Cerveza	499.3	500	0.9985
2A	Agua	643.2	643.2	1
2B	Bagazo malta húmedo	178.8	-	-
3A	Lúpulo	0.375	-	-
3B	Bagazo lúpulo húmedo	7.688	-	-
3Vapor	Vapor	79.64	-	-
5A	Levadura	0.35	-	-
5B	Bagazo levadura	16.04	15	1.069
AzTot	Azúcares Totales	97.34188	-	-
AzFerm	Azúcares Fermentables	73.01056	-	-
SS _{Bag.Malta}	Bagazo malta seco	37.93	-	-



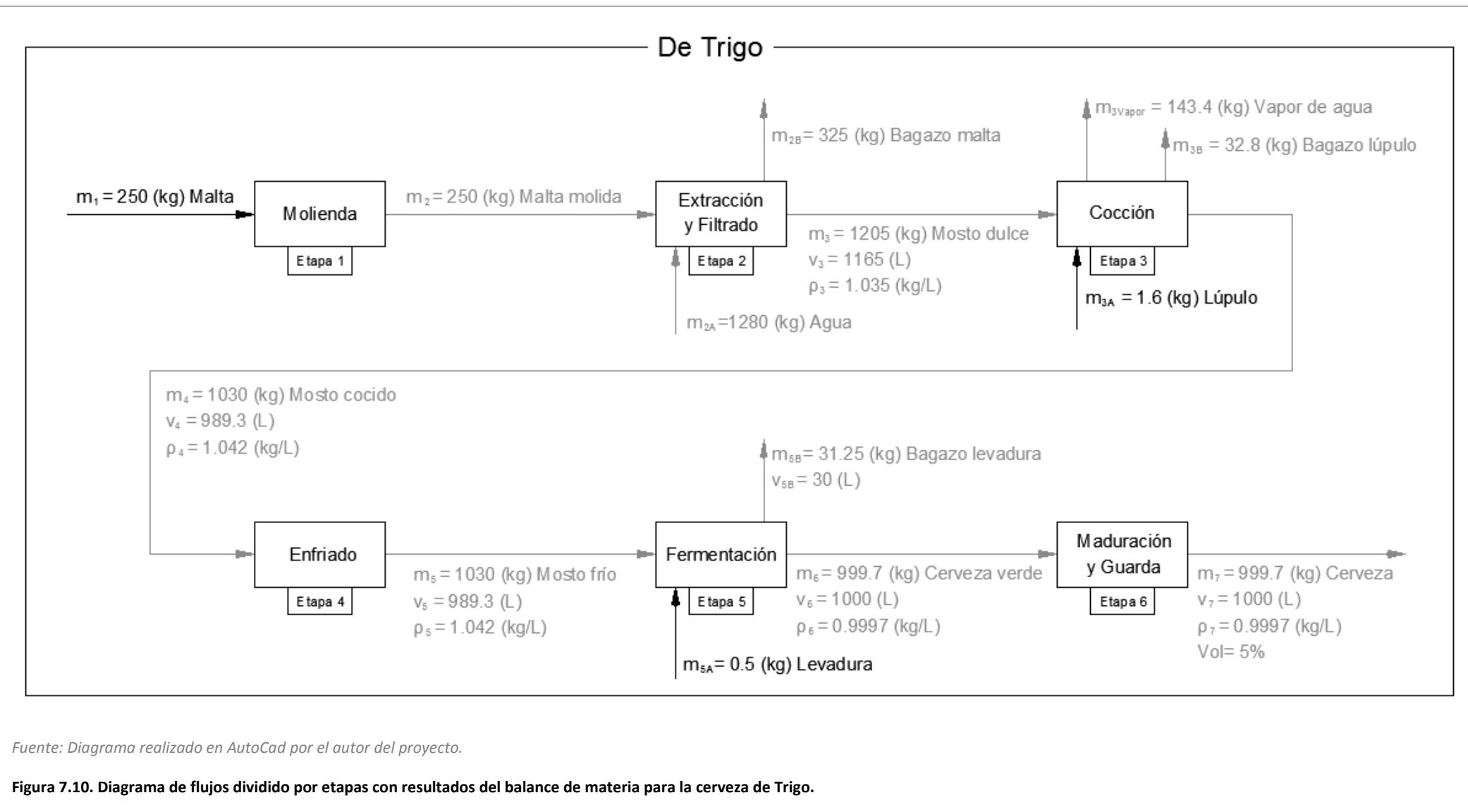
Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 7.8. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza Ámbar de Abadía.



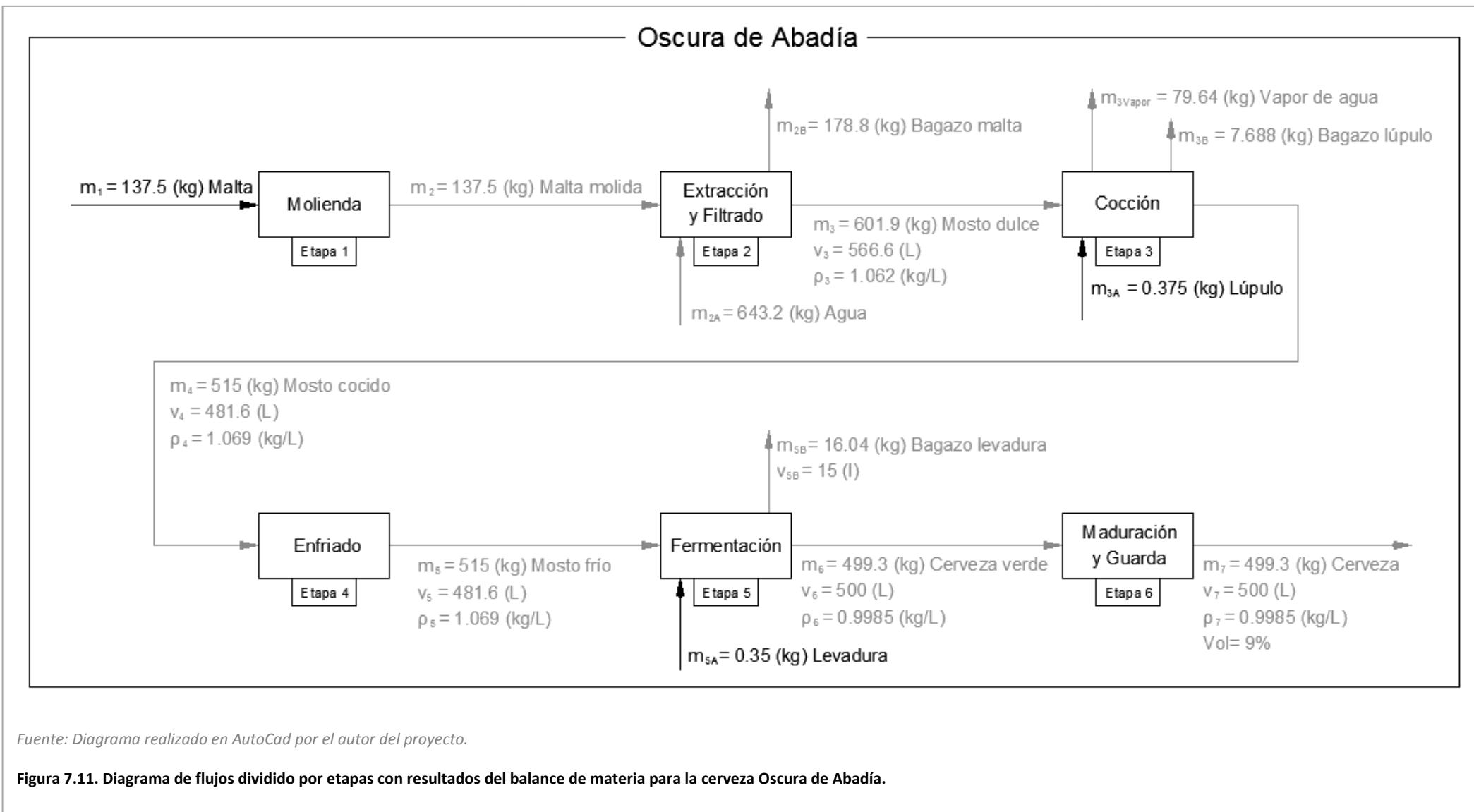
Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 7.9. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza Rubia de Centeno.



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 7.10. Diagrama de flujos dividido por etapas con resultados del balance de materia para la cerveza de Trigo.



7.3 Balance de Energía (BE)

7.3.1 Introducción

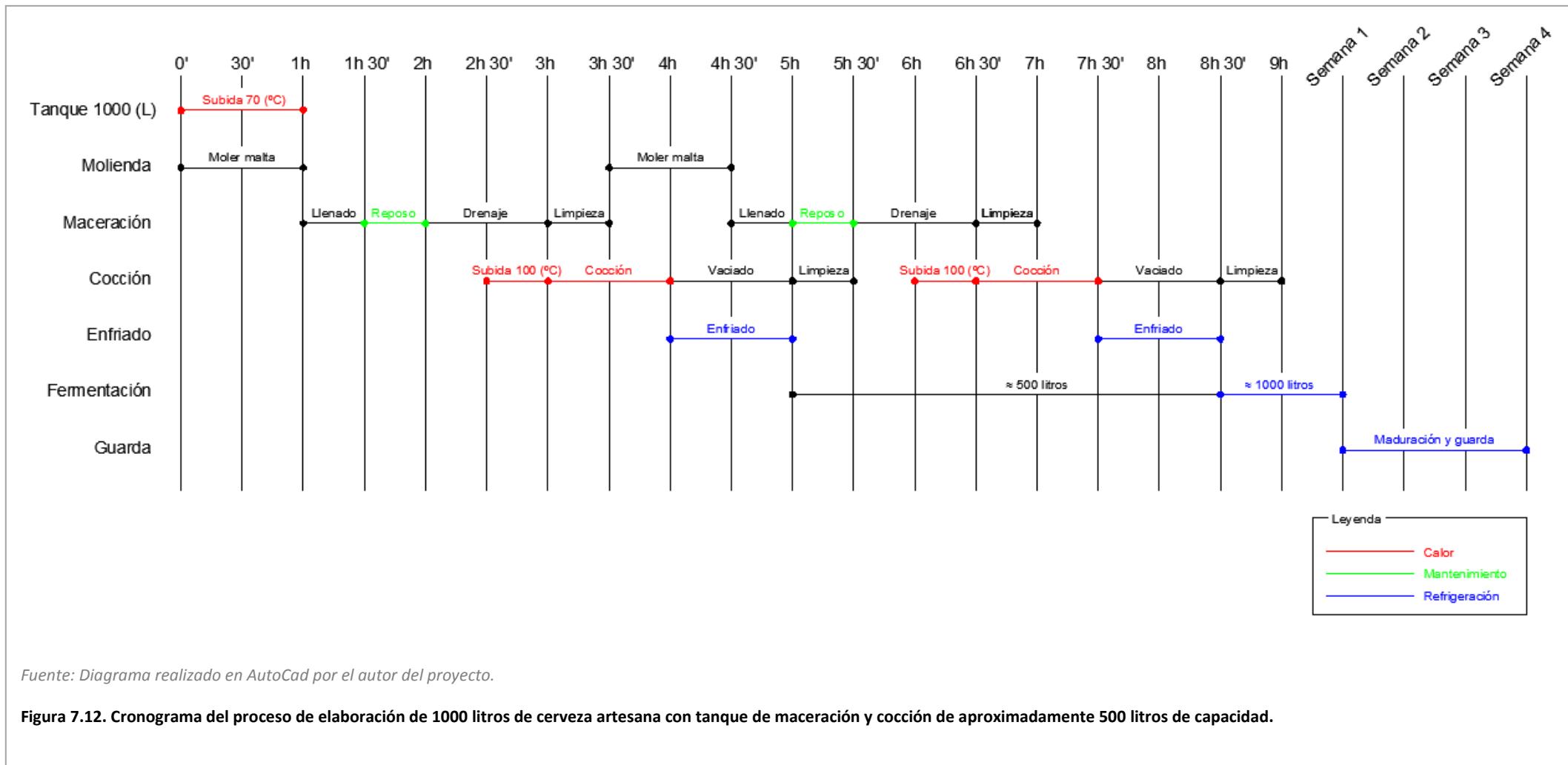
En este apartado se va a calcular la cantidad necesaria de calor, medida en kilojulios (kJ), y de potencia, en unidades de kilovatios (kW), para cada uno de los equipos de la planta de producción. Para llevar a cabo estos cálculos se deben conocer las temperaturas de cada proceso, el orden de los equipos y el tiempo invertido en cada etapa.

La cantidad de materia que circula por cada uno de los equipos ya ha sido calculada y mostrada en las Tablas 7.10, 7.11, 7.12 y 7.13 y en las Figuras 7.8, 7.9, 7.10 y 7.11, del apartado anterior.

7.3.2 Cronograma

Como ya se ha dicho es necesario conocer el tiempo de cada una de las etapas, y los pasos a seguir. En la Figura 7.12 se ve la sucesión de cada una de las etapas. El proceso comienza con la molienda y la subida de temperatura del agua del tanque. Es cierto que el dimensionado de los equipos se realiza en el siguiente punto del proyecto, pero en este apartado se va a adelantar las dimensiones de algunos de los equipos, como por ejemplo la del tanque, que tendrá una capacidad de 1000 litros. Tras estas etapas de preparación comienza el llenado del tanque de maceración. Una vez se haya realizado el reposo de la extracción se comienza a drenar el mosto, que tras realizar los reciclos convenientes se transvasa al tanque de cocción. Allí aumentará su temperatura hasta 100 °C y comenzará la cocción. Le sucederá el vaciado del mosto cocido para llegar al enfriador, donde descenderá la temperatura hasta 15 °C y se verterá en el fermentador. Tardará una semana en fermentar. Después de la fermentación se hará descender la temperatura de la cerveza verde a 4 °C y madurará durante tres semanas a esa temperatura para obtener el producto final.

Se realizan dos extracciones y dos cocciones, porque la capacidad del tanque de cocción y de maceración es de 500 litros aproximadamente. En el próximo punto (7. Dimensionado de Equipos) se explicará el por qué de tales dimensiones.



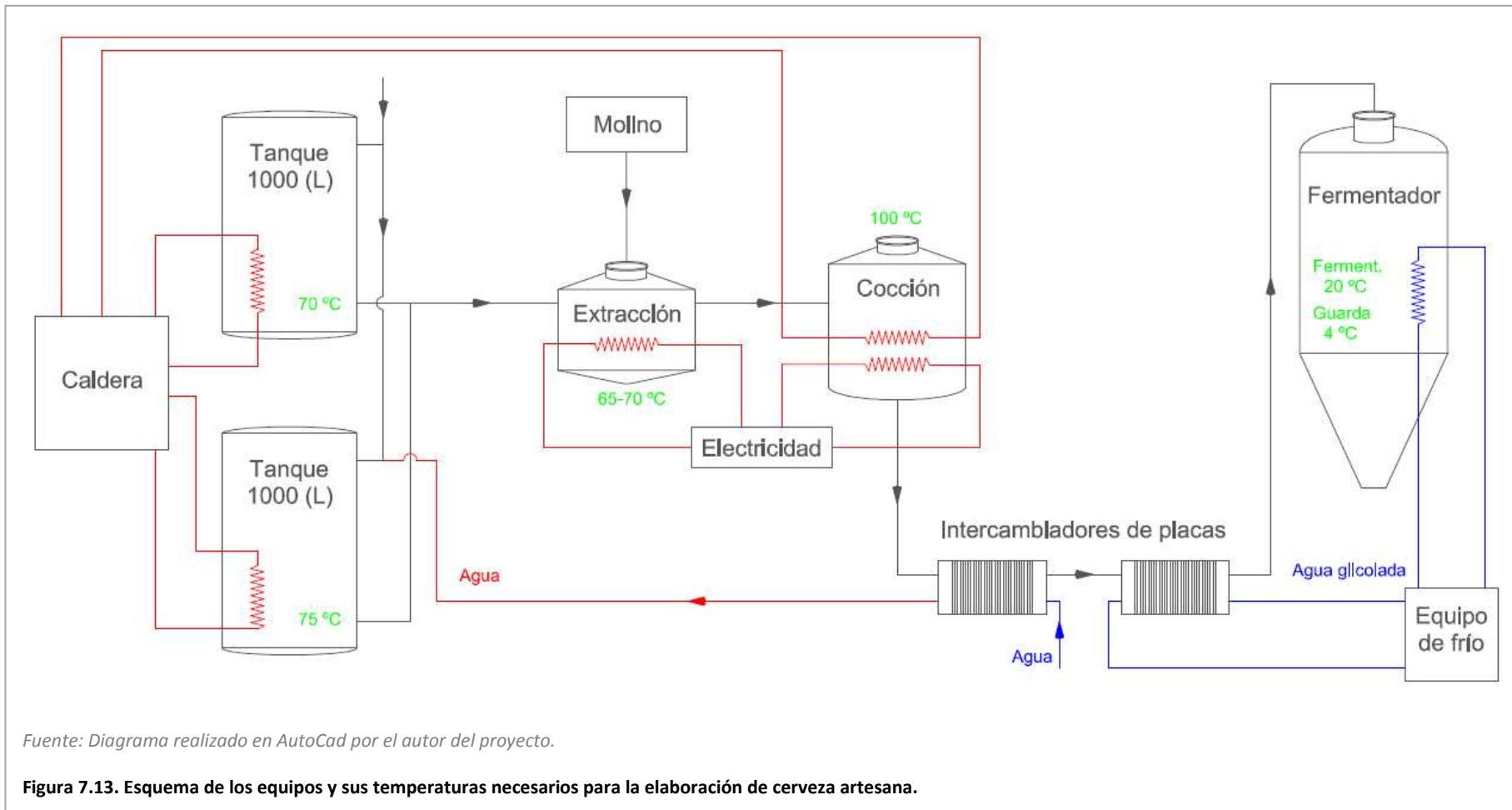
Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 7.12. Cronograma del proceso de elaboración de 1000 litros de cerveza artesana con tanque de maceración y cocción de aproximadamente 500 litros de capacidad.

7.3.3 Esquema distribución de equipos

El esquema representado en la Figura 7.13 muestra la sucesión de los diferentes equipos que llevan a cabo la elaboración de la cerveza artesana. En el cronograma representado en la Figura 7.12 se ve la sucesión de actividades llevadas a cabo y los tiempos de cada una de ellas, que nos servirán para el cálculo de la potencia de cada uno de los equipos, pero previamente al cálculo de la potencia se debe calcular el calor necesario para alcanzar las temperaturas requeridas en cada una de las etapas. En la Figura 7.13 aparecen esas temperaturas. También se representan los equipos necesarios para que se consigan alcanzar dichas temperaturas.

Como se puede apreciar las temperaturas están representadas en color verde, las corrientes que van de un equipo a otro en negro, en rojo las instalaciones utilizadas para aumentar la temperatura o corrientes calientes y en azul las instalaciones que corresponden al circuito de frío.



7.3.4 Obtención de datos para los cálculos

Antes de comenzar a explicar los cálculos es necesario determinar todos los datos que se van a necesitar para realizarlos. Ya tenemos las temperaturas y los tiempos, las masas también han sido calculadas anteriormente, pero hay que matizar que se va a manejar la mitad de las masas obtenidas en los balances de materia, debido a que los equipos de maceración y cocción tienen una capacidad aproximada de 500 litros, por esta razón y como se ha explicado anteriormente, se llevan a cabo dos maceraciones y dos cocciones.

Para obtener el calor específico (c_p) del mosto se han utilizado datos bibliográficos que relacionan la c_p de una mezcla azucarada con los grados Brix (Toulza Balseiro, 2017). Los grados Brix de la mezcla cambian a lo largo del proceso, igual que la densidad, y se obtienen gracias a la Tabla 7.4 que se ha utilizado previamente para el cálculo de las densidades. La c_p del mosto y los grados Brix se relacionan con la Ecuación 7.31. El factor 4.184 se ha añadido a la ecuación para que las unidades concuerden con las requeridas, así obtenemos kilojulios partido por kilogramo y grado Kelvin.

$$c_p = \left(\frac{100 - Brix}{100} + 0.2 * \frac{Brix}{100} \right) * 4.184 \text{ (Ecuación 7.31)}$$

Se va a considerar que las pérdidas de los equipos son despreciables, exceptuando el periodo de fermentación y de guarda, ya que, son etapas que duran semanas. En cuanto la etapa de fermentación se estima que habrá que suplir unas pérdidas de 2 °C por cada día de fermentación. Para la guarda se estima que las pérdidas serán de 6 °C por día. En la guarda se producen más pérdidas porque la temperatura en el interior del tanque será inferior a la de fermentación.

En la Tabla 7.14 aparecen los datos necesarios para realizar el balance de energía con el programa *Engineering Equation Solver (EES)*. Hay que puntualizar que se van a realizar los cálculos para la cerveza de Trigo debido a que es la que más masa utiliza para su elaboración, por lo tanto el caso más desfavorable.

Tabla 7.14. Datos necesarios para la realización de los balances de energía.

Datos para el Balance de Energía de la cerveza de Trigo											
Num.	Etapa	Descripción	Masa (kg)	Volumen (L)	Densidad (kg/L)	°Brix	cp (kJ/kg*K)	Lv (kJ/kg)	Ti (°C)	Tf (°C)	t (s)
1	Tanque 1000 (L)	Agua	1000	1000	1	-	4.181	-	12	70	3600
2	Subida cocción	Subida de temp. (70-100 °C)	602.5	582.1256039	1.035	9	3.882752	-	70	100	1800
3	Cocción	Evaporación	143.4	-	-	-	-	2100	100	100	3600
4	Enfriamiento	Bajada de temp. (100-15 °C)	515	494.2418426	1.042	10.5	3.832544	-	100	15	3600
5	Fermentación	Control de calor de reacción	83.31	-	-	2.5	4.10032	-	20	20	604800
6	Bajada temp. guarda	Bajada de temp. (20-4 °C)	999.7	1000	0.9997	2.5	4.10032	-	20	4	3600
7	Guarda	Mantenimiento temperatura	999.7	1000	0.9997	2.5	4.10032	-	4	4	1814000

7.3.5 Cálculos

Los cálculos se realizarán de acuerdo al primer principio de la termodinámica utilizando las Ecuaciones 7.32 y 7.33. La primera representa el calor cedido (negativo) o absorbido (positivo) por una cantidad de materia dependiendo de su variación de temperatura. La segunda es el calor absorbido o cedido por una cantidad de materia cuando cambia de estado (Diaz, 2012).

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad (\text{Ecuación 7.32})$$

$$Q = m * L_v \quad (\text{Ecuación 7.33})$$

- **1. Tanque de agua**

$$c_{p;1} = cp(\text{Water}, T = 41, P = 101.3) \quad (\text{Ecuación 7.34})$$

La Ecuación 7.34 es una función del programa informático EES, que calcula propiedades termodinámicas de sustancias conocidas a temperaturas y presiones determinadas. Se ha escogido una temperatura de 41 °C debido a que es la temperatura media entre 12 y 70 °C, que coinciden con la temperatura inicial del tanque y la final, y la presión atmosférica, 101.3 kilopascales.

$$Q_1 = m_1 * c_{p;1} * (T_{f;1} - T_{i;1}) \quad (\text{Ecuación 7.35})$$

En la Ecuación 7.35 se ha escogido como temperatura inicial 12 °C por ser la temperatura de la red pública de Canfranc en los meses más fríos, así se calcula el caso más desfavorable.

$$P_1 = \frac{Q_1}{t_1} \quad (\text{Ecuación 7.36})$$

- **2. Subida de temperatura en la cocción**

La cocción se ha dividido en dos partes. Esta es la primera y representa la subida de temperatura del mosto recién macerado hasta su temperatura de ebullición. La temperatura de ebullición del mosto suele ser un poco inferior a los 100 °C, pero se va a considerar 100 °C como temperatura de ebullición.

$$Q_2 = m_2 * c_{p;2} * (T_{f;2} - T_{i;2}) \quad (\text{Ecuación 7.37})$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{t_2} \quad (\text{Ecuación 7.38})$$

- **3. Cocción**

En esta segunda parte de la cocción se va a calcular la cantidad de calor necesario para mantener el hervor durante la hora que tarda en cocerse el mosto. Como en esta etapa no se consideran pérdidas el calor aportado será igual a la cantidad de vapor de agua generado, que en los balances de materia corresponde con la corriente $m_{3;\text{vapor}}$, pero en este apartado se denomina m_3 .

$$Q_3 = m_3 * L_v \quad (\text{Ecuación 7.39})$$

$$P_3 = \frac{Q_3}{t_3} \quad (\text{Ecuación 7.40})$$

- **4. Enfriamiento**

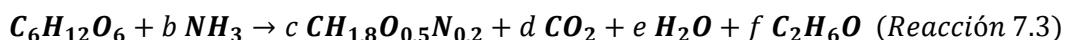
Es necesario enfriar el mosto antes de la fermentación. En esta etapa se va a llevar el mosto cocido de 100 °C a 15 °C.

$$Q_4 = m_4 * c_{p;4} * (T_{f;4} - T_{i;4}) \quad (\text{Ecuación 7.41})$$

$$P_4 = \frac{Q_4}{t_4} \quad (\text{Ecuación 7.42})$$

- **5. Fermentación**

En la etapa de fermentación se debe calcular el calor liberado en reacción de conversión de glucosa en etanol llevada a cabo por la levadura. En el apartado de balances de materia se dio la reacción (Reacción 7.2) con los valores estequiométricos determinados. Ahora es el momento de explicar cómo se han calculado.



Para la obtención de los valores estequiométricos (b, c, d, e, f) se ha de realizar un balance a cada elemento, carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Con estos cuatro balances se obtienen cuatro ecuaciones para cinco incógnitas, por lo que se utilizará el rendimiento de producción de etanol (Y_{PS} (g_P/g_S)) como quinta ecuación

(Ecuación 7.47). Las unidades de f son moles de producto partido de moles de sustrato, para que las unidades concuerden en la Ecuación 7.47 se debe multiplicar por el peso molecular del sustrato y dividir por el del producto. Realmente el nitrógeno utilizado por la levadura proviene de aminoácidos libres que se han generado por rotura de proteínas. Existe gran variedad de aminoácidos libres en el mosto, por lo que para simplificar los cálculos se ha decidido utilizar como fuente de nitrógeno el amoniaco, aunque no esté presente en el mosto, ya que la cantidad utilizada es muy pequeña y no afecta en gran medida a la reacción.

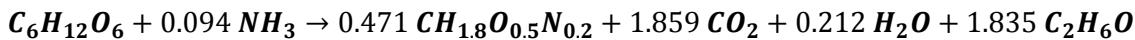
$$\text{Balance al } C \equiv 6 = c + d + 2 * f \quad (\text{Ecuación 7.43})$$

$$\text{Balance al } H \equiv 12 + 3 * b = 1.8 * c + 2 * e + 6 * f \quad (\text{Ecuación 7.44})$$

$$\text{Balance al } O \equiv 6 = 0.5 * c + 2 * d + e + f \quad (\text{Ecuación 7.45})$$

$$\text{Balance al } N \equiv b = 0.2 * c \quad (\text{Ecuación 7.46})$$

$$f = Y_{PS} * \frac{Pm_S}{Pm_P} \quad (\text{Ecuación 7.47})$$



(Reacción 7.2)

Una vez se conocen los valores estequiométricos de la reacción ya se puede calcular el calor de reacción (Δh_{rxn}), Ecuación 7.49, a partir de los calores de combustión de los reactivos y productos dados en la Ecuación 7.48. El calor de reacción se calcula sumando los calores de combustión de los reactivos y restando los de los productos, y a su vez multiplicando cada uno por su coeficiente estequiométrico.

$$\begin{aligned} \Delta h_{c,S} &= -2805; \Delta h_{c,NH_3} = -382.6; \Delta h_{c,X} = -552; \Delta h_{c,P} \\ &= -1366.8 \left(\frac{kJ}{mol} \right) \quad (\text{Ecuación 7.48}) \end{aligned}$$

$$\Delta h_{rxn} = (\Delta h_{c,S} + b * \Delta h_{c,NH_3} - c * \Delta h_{c,X} - f * \Delta h_{c,P}) * \frac{1000}{Pm_S} \quad (\text{Ecuación 7.49})$$

Se multiplica por 1000 y divide por el peso molecular del sustrato en la Ecuación 7.49 para adecuar las unidades a las requeridas. El valor del calor de reacción se ve reflejado en la Ecuación 7.50.

$$\Delta h_{rxn} = -408.1 \left(\frac{kJ}{kg_s} \right) \text{ (Ecuación 7.50)}$$

Que el valor del calor de reacción sea negativo quiere decir que la reacción es exotérmica. Otro dato relevante es que el valor de la energía libre de Gibbs para la fermentación alcohólica es de -234.6 kilojulios partido de mol (Urbina, 2014). Este valor negativo significa que la reacción es espontanea, es decir, que se genera por sí sola, sin tener que forzar unas determinadas condiciones. Es cierto que la temperatura se fija en 20 °C, pero esto se debe a que es la temperatura óptima para nuestro proceso (Sanchis, Orive, & Ramos, 2000). Por debajo de 10-13 °C se producen paradas de la fermentación.

Como se ha dicho anteriormente cada día de fermentación se considera que se perderán 2 °C, al durar una semana el calor perdido sería de -14 °C. En la Ecuación 7.51 se ve reflejado el calor de refrigeración necesario para mantener la temperatura de 20 °C. El calor de reacción se multiplicará por la masa de sustrato, es decir por la masa de azúcares fermentables presentes en el mosto (m_5) y para el cálculo de las pérdidas se multiplicará por la masa de mosto enfriado que va a fermentar en el tanque, que en este caso corresponde con la masa que pasa por el enfriador (m_4). Habrá que tener en cuenta que en el caso más desfavorable van a estar fermentando a la vez cuatro fermentadores (N_{ferm}).

$$Q_5 = (\Delta h_{rxn} * m_5 + m_4 * c_{p;5} * (-14)) * N_{ferm} \text{ (Ecuación 7.51)}$$

$$P_5 = \frac{Q_5}{t_5} \text{ (Ecuación 7.52)}$$

- **6. Bajada a temperatura de guarda**

Una vez transcurrida la semana de fermentación se debe madurar la cerveza durante tres semanas para armonizar los sabores y aromas del producto final. Al igual que la cocción se ha dividido en dos partes, esta primera consiste en hacer descender

la temperatura de 20 °C hasta 4 °C. El calor y la potencia requeridos se calculan gracias a las Ecuaciones 7.53 y 7.54 respectivamente.

$$Q_6 = m_6 * c_{p;6} * (T_{f;6} - T_{i;6}) \quad (\text{Ecuación 7.53})$$

$$P_6 = \frac{Q_6}{t_6} \quad (\text{Ecuación 7.54})$$

- **7. Pérdidas en la guarda**

Durante las tres semanas de guarda el tanque experimentará pérdidas debidas a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Se ha estimado un valor de 6 °C por día. Estas pérdidas son mayores que en la fermentación porque la temperatura en el interior es 16 °C más baja. En las Ecuaciones 7.55 y 7.56 se calcula el calor de refrigeración necesario y la potencia. El valor de los grados perdidos por día es negativo porque ese calor sale del sistema y se multiplicará por el tiempo que dure la guarda en días, a diferencia del tiempo utilizado para el cálculo de la potencia que se expresa en segundos. Se dará el caso de que los cuatro tanques de guarda estén funcionando simultáneamente, así que habrá que multiplicar el calor necesario por cuatro (N_{ferm}).

$$Q_7 = (m_7 * c_{p;7} * (-6) * t_8 \text{ (en días)}) * N_{ferm} \quad (\text{Ecuación 7.55})$$

$$P_8 = \frac{Q_8}{t_8} \quad (\text{Ecuación 7.56})$$

Tabla 7.15. Resultados del balance de energía.

Resultados Balance de Energía		
Etapas	Calor (kJ)	Potencia (kW)
Tanque de Agua	242412	67.34
Subida Temperatura Cocción	70131	38.69
Cocción	301140	83.65
Enfriado	-167658	46.57
Fermentación	-252957	0.4182
Bajada Temperatura Guarda	-65580	18.22
Perdidas Guarda	-2066000	1.139

Los resultados del balance de energía en las condiciones más desfavorables se ven reflejados en la Tabla 7.15. Estos resultados junto a los aportados por el balance de materia servirán para el próximo punto del proyecto para el dimensionado de los equipos de la planta de producción.

En las Figuras 7.14, 7.15 y 7.16 aparece la interfaz del programa informático utilizado para los cálculos de las ecuaciones, cada una de las ecuaciones está numerada concordando con el número de ecuación que se ha explicado a lo largo de este apartado.

<p>"Balances de Energía" "Tanques de agua" "Datos" $m[1]=1000 \text{ [kg]}$ $T_o[1]=12 \text{ [°C]}$ $T_f[1]=70 \text{ [°C]}$ $t[1]=3600 \text{ [s]}$ "Cálculos" $c_p[1]=cp(\text{Water}, T=41, P=101.3)$ $Q[1]=m[1]*c_p[1]*(T_f[1]-T_o[1])$ $P[1]=Q[1]/t[1]$</p> <p>"Subida Temperatura Cocción" "Datos" $c_p[2]=3.88 \text{ [kJ/kg*K]}$ $T_o[2]=70 \text{ [°C]}$ $T_f[2]=100 \text{ [°C]}$ $m[2]=1205/2$ $t[2]=30*60$ "Cálculos" $Q[2]=m[2]*c_p[2]*(T_f[2]-T_o[2])$ $P[2]=Q[2]/t[2]$</p> <p>"Cocción" "Datos" $m[3]=143.4 \text{ [kg]}$ $t[3]=3600 \text{ [s]}$ $L_v[3]=2100 \text{ [kJ/kg]}$ "Cálculos" $Q[3]=m[3]*L_v[3]$ $P[3]=Q[3]/t[3]$</p>	<p>"Ecuación 7.34" "Ecuación 7.35" "Ecuación 7.36"</p> <p>"Ecuación 7.37" "Ecuación 7.38"</p> <p>"Ecuación 7.39" "Ecuación 7.40"</p>
---	--

Figura 7.15. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la Ecuación 7.34 a la 7.40.

<p>"Enfriamiento" "Datos" $c_p[4]=3.83 \text{ [kJ/kg*K]}$ $T_f[4]=15 \text{ [°C]}$ $T_o[4]=100 \text{ [°C]}$ $m[4]=1030/2$ $t[4]=3600 \text{ [s]}$ "Cálculos" $Q[4]=m[4]*c_p[4]*(T_f[4]-T_o[4])$ $P[4]=Q[4]/t[4]$</p> <p>"Calor de reacción de fermentación" "Reacción: $C_6H12O_6 + b^*NH_3 \Rightarrow c^*CH_1.8O_0.5N0.2 + d^*CO_2 + e^*H_2O + f^*C_2H_6O$" "Datos" $Y_{PS}=0.469 \text{ [g_P/g_S]}$ $Pm_P=46 \text{ [g_P/mol_P]}$ $Pm_S=180 \text{ [g_S/mol_S]}$ $c_p[5]=4.1 \text{ [kJ/kg*K]}$ $m[5]=83.31 \text{ [kg]}$ $t[5]=3600*24*7$ $t_{perdida_ferm}=-2^*7 \text{ [°C]}$ "Balances elementales" $6=c+d+2^*f$ $12+3^*b=1.8^*c+2^*e+6^*f$ $6=0.5^*c+2^*d+e+f$ $b=0.2^*c$ $f=Y_{PS}Pm_S/Pm_P$</p>	<p>"Ecuación 7.41" "Ecuación 7.42"</p> <p>"Balance al C. Ecuación 7.43" "Balance al H. Ecuación 7.44" "Balance al O. Ecuación 7.45" "Balance al N. Ecuación 7.46" "Ecuación 7.47"</p>
---	--

Figura 7.14. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la ecuación 7.41 a la 7.47.

```

"Calor de reacción"
DELTAh_c_S=-2805 [KJ/mol_S] "Ecuación 7.48"
DELTAh_c_NH3=-382.6 [KJ/mol_NH3] "Ecuación 7.48"
DELTAh_c_X=-552 [KJ/mol_X] "Ecuación 7.48"
DELTAh_c_P=-1366.8 [KJ/mol_P] "Ecuación 7.48"
DELTAh_rxn=(DELTAh_c_S+b*DELTAh_c_NH3-c*DELTAh_c_X-f*DELTAh_c_P)*1000/180 "Ecuación 7.49"
"Fermentación"
Q[5]=(DELTAh_rxn*m[5]+m[4]*c_p[5]*t_perdida_ferm)*N_ferm "Ecuación 7.51"
P[5]=Q[5]/t[5] "Ecuación 7.52"

"Bajada Temp. Guarda"
"Datos"
m[6]=999.7 [kg]
c_p[6]=4.1 [kJ/kg*K]
T_o[6]=20 [°C]
T_f[6]=4 [°C]
t[6]=3600 [s]
"Cálculos"
Q[6]=m[6]*c_p[6]*(T_f[6]-T_o[6]) "Ecuación 7.53"
P[6]=Q[6]/t[6] "Ecuación 7.54"

"Pérdidas Guarda"
"Datos"
m[7]=999.7 [kg]
c_p[7]=4.1 [kJ/kg*K]
T_perdida_dia=-6 [°C]
Dias=3*
t[7]=3600*24*7*3
"Cálculos"
Q[7]=(m[7]*c_p[7]*T_perdida_dia*Dias)*N_ferm "Ecuación 7.55"
P[7]=Q[7]/t[7] "Ecuación 7.56"

```

Figura 7.16. Interfaz del programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones para el balance de energía. Desde la ecuación 7.48 a la 7.56.

8 DIMENSIONADO DE LOS EQUIPOS

8.1 Introducción

En este apartado se van a describir cada uno de los equipos de la planta de producción de este proyecto preliminar para la elaboración de cerveza artesana. Ya se han adelantado algunas de las dimensiones de los equipos en puntos anteriores, pero ahora es el momento de describirlos de forma técnica y de justificar el por qué de la elección de cada uno de ellos.

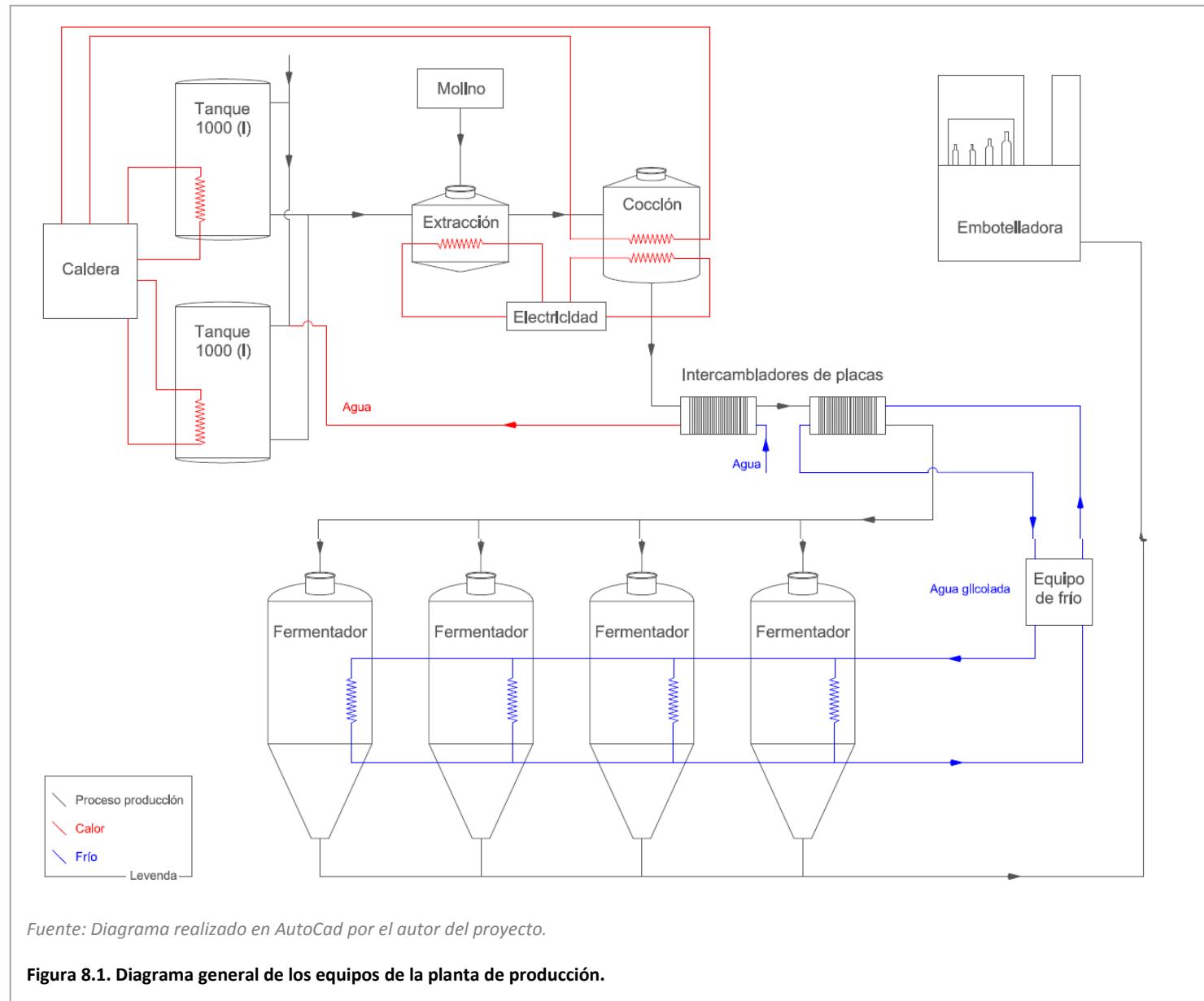
Se van a utilizar todos los datos aportados a lo largo del proyecto, tanto en los puntos teóricos como en los de cálculo. Los puntos de cálculo quizás sean los más relevantes a la hora de las dimensiones, pero la comprensión de los apartados teóricos también es necesaria para su elección.

La mayoría de los equipos escogidos para este proyecto provienen del equipo de Slow Beer (SlowBeer, 2003) y de Home Brew SL (HomeBrew, 2003). Ambos distribuidores son gestionados por el Instituto de la Cerveza Artesana ubicado en Barcelona, donde el autor del proyecto realizó un curso para emprendedores (Fermun, 2019).

Es muy importante tener en cuenta el cronograma (Figura 7.12) mostrado en el punto anterior de cara a la elección de los diferentes equipos. En el cronograma se ve reflejada la sucesión de las etapas a realizar, y como punto más importante es la doble cocción para elaborar los 1000 litros de producto deseados en cada receta.

8.2 Esquema general

La Figura 8.1 representa el esquema general de todos los equipos utilizados. Es similar al mostrado en punto anterior en la Figura 7.13, pero con alguna modificación. Tampoco aparecen las temperaturas de cada uno de ellos, porque este esquema sirve para comprender el conjunto de todos los equipos. Conforme se vayan explicando cada uno de los equipos se mostrarán esquemas concretos e individualizados de cada uno.



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 8.1. Diagrama general de los equipos de la planta de producción.

8.3 Molino

Este equipo sirve para moler los granos de la malta. Consigue romper la cascarilla del grano y moler su interior, en el cual se encuentran los azúcares necesarios para que la cerveza fermente. Los tipos de molino y su funcionamiento han sido descritos en el punto 5, Proceso de elaboración.

El molino elegido es el de la Figura 8.2. Es un molino que trabaja en seco, fabricado en Alemania, con rodillos ajustables dependiendo del tipo de malta que se vaya a moler, con una potencia del motor de 1,5 kilovatios, voltaje de 230-400 voltios y pesa 72 kilogramos. Sus dimensiones son de 580x400x330 milímetros, con una capacidad de tolva de 12,5 kilogramos y con posibilidad de aumentarla con un accesorio hasta 75 kilogramos más.



Figura 8.2. Molino.

Tiene una capacidad de molienda de 150-200 kilogramos por hora. Esta ha sido la característica principal de por qué se ha escogido este molino. La receta que necesita mayor cantidad de malta es la cerveza Rubia de Centeno con una cantidad de 310 kilogramos de malta. En el cronograma que aparece en el punto anterior, Figura 7.12, se ha estipulado que el tiempo necesario para moler de una hora. Como han de realizarse dos cocciones para la elaboración de los 1000 litros de cerveza se deberá

moler en dos ocasiones una cantidad de 160 kilogramos de malta en una hora, por esta razón este es el molino más adecuado para la planta de producción.

No es necesario moler justo antes de comenzar la maceración, por lo que se puede llevar a cabo esta etapa el día de antes. De todas formas el cronograma está hecho para llevar a cabo todas las operaciones necesarias en un mismo día.

En la Tabla 8.1 se aprecian todas las características técnicas del molino explicadas en este apartado.

Este equipo es ofertado por el equipo de HomeBrew del Instituto de la Cerveza Artesana de Barcelona (HomeBrew, 2003).

Tabla 8.1. Datos técnicos del molino de malta.

Fuente: <https://www.cervezartesana.es/molino-de-malta-automatico-mod-p2-150-200kg-h-mqmo004.html>

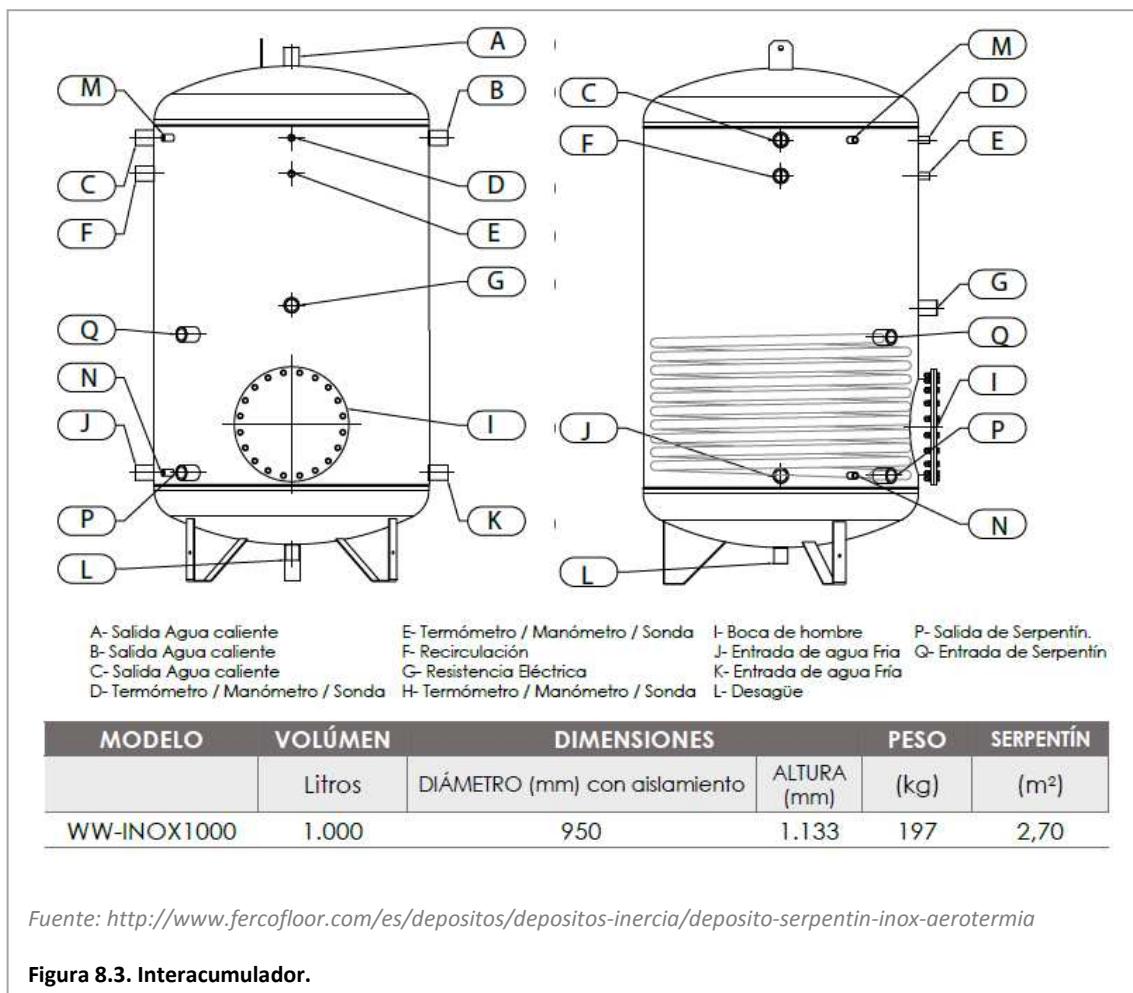
Datos molino de malta	
País Fabricación	Alemania
Tipo de rodillos	Ajustables
Material de rodillos	Acero inoxidable
Capacidad molienda	150-200 kg/h
Potencia motor	1,5 kW
Voltaje	230-400 V
Peso	72 kg
Dimensiones	580x400x330 mm
Capacidad tolva	12,5 kg
Tolva adicional	20-50-75 kg
Soporte	Si

8.4 Interacumulador de 1000 litros

Este tipo de equipos acumulan agua caliente sanitaria. Son depósitos acumuladores de agua que poseen un serpentín interno, el cual hace que podamos elevar su temperatura a la deseada. La fuente de calor debe ser externa. Se adelanta que la fuente externa será una caldera de pellet.

El interacumulador elegido es uno similar al de la Figura 8.3, el cual posee varios termómetros internos los cuales miden y ayudan a la regulación de la

temperatura en su interior. También está equipado con una sonda la cual da información sobre la cantidad de agua en su interior. La parte interior, denominada calderín, es de acero inoxidable y está envuelta de aislante para evitar las pérdidas de calor. En los balances de energía no se han tenido en cuenta las pérdidas porque el tiempo en el que el agua está en el interior del tanque a una temperatura de 70 °C es de tres horas y media, por lo que son despreciables.



Se ha decidido equipar la planta de producción con **dos interacumuladores** de 1000 litros cada uno. Para realizar las dos cocciones se va a utilizar 1295 litros para la receta rubia de centeno, que en este caso es la más desfavorable por lo que se llevarán los mil litros de un tanque a la temperatura estimada, 70 °C. En la primera maceración se gastarán 647,5, la mitad de los necesarios, por lo que se llenará de nuevo el interacumulador hasta llegar a la cantidad necesaria para la siguiente maceración y se calentará.

Como veremos más adelante en el dimensionado de los intercambiadores de placas uno de los utilizados refrigerará el mosto cocido con agua. El agua de refrigeración saldrá a una temperatura de 70 °C y se almacenará en el segundo interacumulador, pudiéndose utilizar para cocciones posteriores. Por esta razón la opción calculada, la más desfavorable se dará en muy pocas ocasiones, porque ya tendremos agua precalentada en el segundo depósito. Esta es la razón principal por la que se dispondrá de dos interacumuladores.

Otra de las razones para equipar la planta de producción con dos interacumuladores, que puede parecer excesivo, es para utilizarlos para el sistema de calefacción de la nave, aunque el cálculo de esta instalación no sea objeto de este proyecto preliminar.

8.5 Slow Beer 500 Plus

Este equipo incorpora el tanque de maceración y de cocción en un conjunto, véase la Figura 8.4. Entre ambos tanque se puede ver el equipo de control, que nos permite regular las temperaturas, el motor del corta bagazo y la velocidad a la que entra el mosto en el tanque de cocción para llevarala a cabo el efecto whirlpool.

Todo el equipo está fabricado en acero inoxidable AISI 304. El interior está pulido a espejo para evitar la adherencia de residuos. Posee un sistema de encamisado integrado el cual funciona con un sistema de calentamiento externo y como apoyo tiene un sistema eléctrico de calentamiento de aceite diatérmico. La temperatura se medirá con laser en las paredes y en la parte inferior del tanque.

El depósito de maceración está equipado con un falso fondo filtro, con rastrillos corta-bagazo accionados por motor, tapa superior para introducir la malta molida y otra lateral para retirar el bagazo.

El tanque de cocción posee una tapa superior por donde introducir el lúpulo y la entrada del mosto dulce se lleva a cabo tangencialmente para generar el efecto whirlpool. Este efecto, como ha sido explicado anteriormente, consiste en generar un remolino en el interior del tanque para que los sólidos se acumulen en la parte central, de esta manera la cantidad de turbios que van al sistema de enfriado es mínima.



Fuente: <http://www.slowbeer.es/read.html?post=657>

Figura 8.4. Slow Beer 500 plus.

Este equipo tiene la posibilidad de integrar en su conjunto un intercambiador de calor que enfriá el mosto hasta los 18 °C, pero se ha decidido no integrarlo. La razón es porque se ha decidido utilizar dos intercambiadores de placas, uno refrigerado con agua para obtener agua caliente y otro refrigerado con agua glicolada para llegar a la temperatura deseada.

El colector de procesos está equipado con un visor del mosto con iluminación, para ver la claridad del mosto en el drenaje de la maceración y decidir cuando sale lo suficientemente claro para llevarlo al tanque de cocción, un cuenta litros y una sonda de temperatura. Estos parámetros nos permiten calcular la densidad del mosto.

Todo el sistema está equipado con una bomba de 0,37 kW. Este tipo de bomba se utilizará para todos los puntos donde se necesite una impulsión.

Esta instalación tiene unas medidas de 2,59x1,26x1,88 metros (Largo * Ancho * Alto). Y su panel de control aporta todos los datos obtenidos en tiempo real, así como puede programar maceraciones escalonadas.

Existe un equipo similar con capacidad de producción de 1000 litros, pero se ha decidido que es un equipo demasiado grande para la planta de producción que se va a diseñar. Se puede ver en el cronograma del punto anterior (Figura 7.12) que con este equipo se puede llevar a cabo la producción de 1000 litros de una receta en un día. Como la planta está diseñada para elaborar cuatro tipos diferentes de cerveza el equipo se utilizará cuatro veces por mes, aproximadamente, ya que es el tiempo necesario para elaborar cada una de las recetas. A parte hacer dos cocciones permite corregir errores en la densidad, porque las materias primas no siempre tienen las mismas características.

En la Tabla 8.3 se pueden ver los datos más relevantes de este equipo.

Tabla 8.2. Datos técnicos del equipo Slow Beer 500 plus.

Fuente: <http://www.slowbeer.es/read.html?post=1358>

Slow beer 500 plus	
Cuba de maceración	530 (L)
Cuba de cocción	675 (L)
Acero inoxidable	AIS 304
Sistema calefactor	Eléctrico y vapor
Termómetro laser	Paredes y fondo
Caudalímetro	Si
Visor de mosto	Iluminado
Panel de control	Con pantalla táctil
Dimensiones	2,59x1,26x1,88 (m)

8.6 Intercambiadores de placas

Se ha decidido utilizar dos intercambiadores de placas. El primero utilizará agua como refrigerante y el segundo agua glicolada impulsada por un equipo generador de frío. La razón de utilizar dos intercambiadores en serie ya se ha explicado anteriormente. Se debe a que el primer intercambiador enfriará el mosto a una

temperatura de 100 °C hasta 41,71 °C, calculada en el dimensionado de los intercambiadores, que a su vez calentará el agua de refrigeración a una temperatura de 75 °C, la cual servirá para cocciones posteriores o para el sistema de agua caliente sanitaria de la nave, que como ya se ha dicho no se va a calcular en este proyecto preliminar. A parte de obtener agua para cocciones posteriores, ahorrando gran cantidad de energía al no tener que calentar el agua necesaria para casi toda maceración, se consigue descender la temperatura del mosto en gran medida, de esta manera el equipo de frío no tendrá que ser tan potente.

Para el que el cálculo de los intercambiadores fuese más sencillo se ha buscado en la bibliografía el coeficiente global de transferencia de calor (U) para un intercambiador de placas. La Tabla 8.3 refleja los valores típicos para diferentes intercambiadores de calor. Los valores normales para un intercambiador de placas comprenden entre 1-4 kilovatios partido de metros cuadrados y grados Kelvin (kW/m²*K). Se ha decidido utilizar un valor de 2 (kW/m²*K), porque es un valor

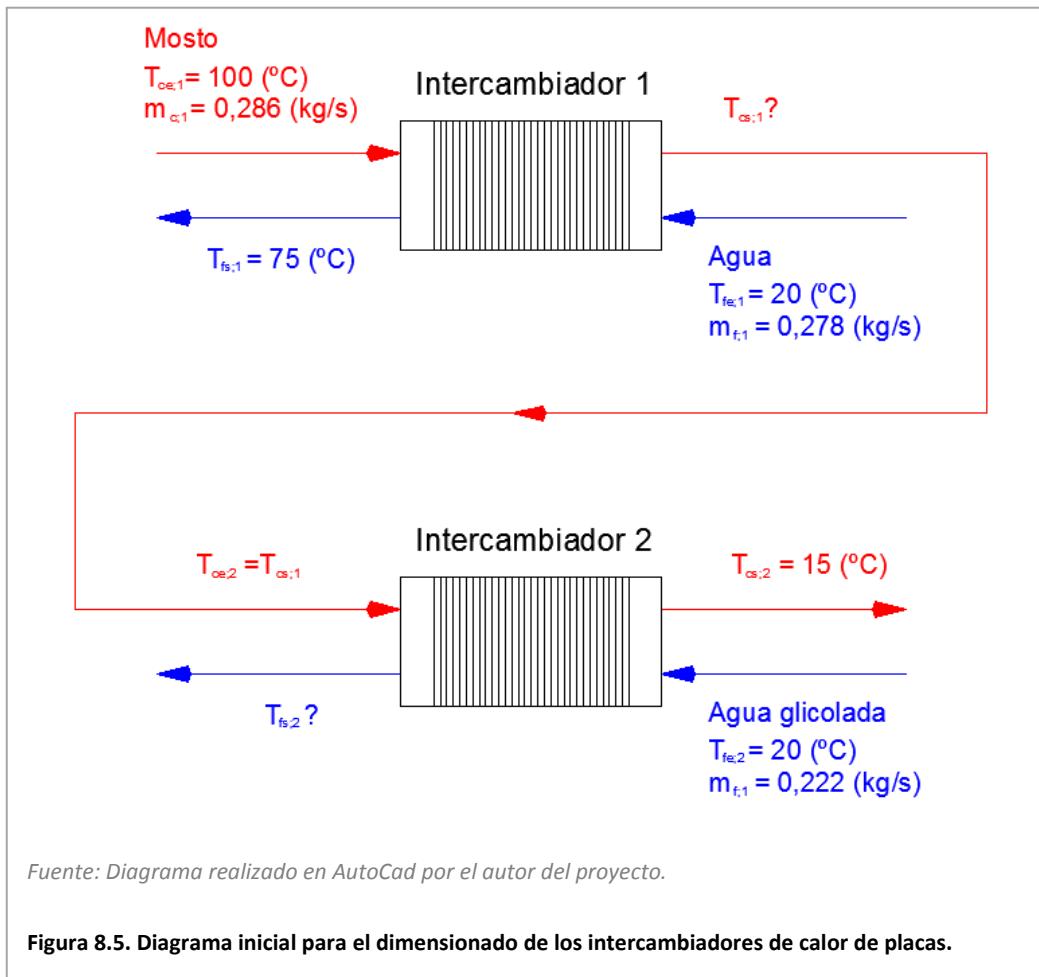
Tabla 8.3. Tabla de valores típicos del coeficiente global de transferencia de calor de diferentes tipos de intercambiadores de calor.

Fuente: <https://www.monografias.com/docs113/dimensionamiento-intercambiadores-calor-tubulares/dimensionamiento-intercambiadores-calor-tubulares.shtml>

Tipo	Aplicación	U (W/m ² K)
Calentamiento/enfriamiento, intercambiadores tubulares	<ul style="list-style-type: none"> Gases a P_{st}, dentro/fuera de tubos Gases a alta presión, dentro/fuera de tubos Líquidos dentro/fuera tubos, con gases a P_{st} dentro/fuera tubos Gases alta presión fuera/tubos con líquido dentro/tubos Vapor fuera/tubos con líquido dentro/tubos 	5 – 35 150 – 500 15 – 70 200 – 400 300 - 1200
Condensación, intercambiadores tubulares	<ul style="list-style-type: none"> Vapor fuera/tubos, agua enfriamiento dentro/tubos Vapores orgánicos fuera/tubos, agua dentro/tubos 	1500 – 4000 300 - 1200
Evaporación, intercambiadores tubulares	<ul style="list-style-type: none"> Vapor fuera/tubos, líquido viscoso dentro, circulación natural Vapor fuera/tubos, líquido poco viscoso, circulación natural Vapor fuera/tubos, líquidos en circulación forzada 	300 – 900 600 – 1700 900 - 3000
Enfriamiento con aire, intercambiadores tubulares	<ul style="list-style-type: none"> Agua Líquidos orgánicos livianos Asfalto Aire o gases de efluentes Hidrocarburos gaseosos Vapor a baja presión Vapores orgánicos 	600 – 750 400 – 550 30 – 60 60 – 180 200 – 450 700 – 850 350 - 500
Intercambiadores de placas	Líquido con líquido	1000 – 4000
Intercambiadores de espiral	<ul style="list-style-type: none"> Líquido con líquido Vapor condensado con líquido 	700 – 2500 900 - 3500

intermedio.

Para el cálculo de ambos intercambiadores se deben conocer las capacidades caloríficas específicas de cada uno de los fluidos, al menos tres de las cuatro temperaturas de entrada y en caso de no conocer las cuatro temperaturas los dos flujos másicos de los fluidos. En la Figura 8.5 se ve de forma gráfica los valores y la distribución de cada uno de los flujos.



La masa de mosto se ha calculado en los balances de materia, por lo que el caudal másico se obtiene al dividir la cantidad de mosto a refrigerar por el tiempo, que en cada uno de los intercambiadores serán 30 minutos. La cantidad de agua que se va a utilizar como refrigerante también se conoce, ya que, la cantidad total tras las dos refrigeraciones que se van a suceder en la elaboración de un lote de 1000 litros de cerveza debe llenar uno de los interacumuladores de 1000 litros de capacidad. El caudal másico del agua glicolada se ha fijado en 0,222 kilogramos por segundo, que son 400 kilogramos de agua glicolada por cada media hora de trabajo.

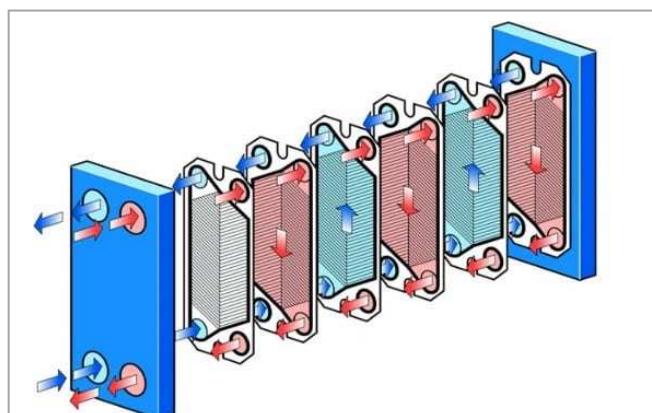
En cuanto a los subíndices la letra 'c' hará referencia al fluido caliente, la 'f' al fluido frío, la 'e' a los fluidos de entrada, la 's' a los de salida y el número, ya sea 1 ó 2, al intercambiador por el que circule el fluido.

Para una mejor comprensión de los datos conocidos se añade al documento la Tabla 8.4, en la que se ven reflejados los mismos datos que se han dado en la Figura 8.6, pero en formato tabla. La red pública de Canfranc en los meses de verano, es decir en el caso más desfavorable, suministra a una temperatura máxima de 20 °C.

Tabla 8.4. Datos de los intercambiadores de calor de placas.

Nº Intercambiador	Corriente caliente				Corriente fría		
	T_{ce} (°C)	T_{cs} (°C)	m_c (kg/s)	c_{pc} (kJ/kg*K)	T_{fe} (°C)	T_{fs} (°C)	m_f (kg/s)
Intercambiador 1	100	?	0,286	3,83	20	75	0,278
Intercambiador 2	$T_{cs;1}$	15	0,286	3,83	-5	28,11	0,222

El dimensionado de los intercambiadores de placas consiste en calcular el área necesaria de intercambio de calor para llegar a las condiciones impuestas. Los intercambiadores de placas están formados por una serie de placas de acero inoxidable colocadas una detrás de otra tal y como se puede apreciar en la Figura 8.6. Se sellan entre sí mediante juntas de goma para evitar que los fluidos se mezclen. Los fluidos caliente y frío se intercalan entre las placas, las cuales tienen formas que



Fuente: <https://www.termodinamica.com.pe/2018/06/18/la-importancia-de-la-caida-de-presion-en-el-intercambiador-de-calor/>

Figura 8.6. Dibujo para la comprensión del funcionamiento de un intercambiador de placas.

favorecen a que los flujos sean turbulentos y el intercambio de calor sea mayor.

Como el tiempo estimado de refrigeración es de una hora se ha decidido que los fluidos circularán media hora por cada uno de los intercambiadores.

Dependiendo del tamaño del intercambiador la placa será más grande o más pequeña. En la Tabla 8.5 se dan los diferentes tamaños facilitados en la web de una empresa de Toledo llamada Suicalsa.

Tabla 8.5. Tamaños de placa dependiendo del modelo de intercambiador.

Fuente: [https://suicalsa.com/categoría-
producto/intercambiadores-de-placas/](https://suicalsa.com/categoría-producto/intercambiadores-de-placas/)

Modelo	Nº Placas	A placa
2200	0-67	0,02
2600	0-67	0,031
3600	0-67	0,041
3605	0-67	0,08
3601	0-200	0,125
3700	0-81	0,14
3705	0-81	0,25
5600	0-300	0,24
6600	0-300	0,35
7600	0-275	0,55

8.6.1 Intercambiador 1

El calor específico del agua se ha calculado gracias al programa informático EES con una función termodinámica que da este valor a una presión y temperatura determinada de sustancias conocidas. Ecuación 8.1.

$$c_{p;f;1} = cp \left(Water, T = \frac{75 + 20}{2}, P = 101,3 \right) \text{ (Ecuación 8.1)}$$

El calor cedido por el fluido caliente ($Q_{c;1}$), calculado a partir de la Ecuación 8.2, debe ser igual al calor absorbido por el frío ($Q_{f;1}$), Ecuación 8.3. Este calor (Q_1) será el que utilicemos para dimensionar el primer intercambiador.

$$Q_{c;1} = m_{c;1} * c_{p;c} * (T_{ce;1} - T_{cs;1}) \text{ (Ecuación 8.2)}$$

$$Q_{f;1} = m_{f;1} * c_{p;f;1} * (T_{fs;1} - T_{fe;1}) \quad (\text{Ecuación 8.3})$$

En la Ecuación 8.4 al igualar los calores de los fluidos caliente y frío obtenemos la temperatura que era desconocida, la de salida del fluido caliente (T_{cs}). Y en la Ecuación 8.5 se da el valor del calor movilizado en el primer intercambiador (Q_1).

$$Q_{f;1} = Q_{c;1} \quad (\text{Ecuación 8.4})$$

$$Q_1 = 63,87 \text{ (kW)} \quad (\text{Ecuación 8.5})$$

Una vez conocido el calor que se va a transmitir por nuestro intercambiador es el momento de calcular el área de intercambio, Ecuación 8.7, pero antes se debe obtener el valor del diferencial de la temperatura media logarítmica, Ecuación 8.6.

$$\Delta T_{ml;1} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}} \quad (\text{Ecuación 8.6})$$

$$Q_1 = U * A_T * \Delta T_{ml;1} \quad (\text{Ecuación 8.7})$$

Así se obtiene el área total de intercambio, pero para dimensionar el intercambiador se necesita conocer el número de placas y su tamaño, gracias a la Ecuación 8.8. En esta ecuación se multiplica el área de la placa por el número de placas menos dos. Es así porque contabiliza el número de superficies en las que se enfrentan el fluido caliente y el fluido frío, por lo que la cara exterior de la primera y última placa no cumple esta premisa.

$$A_T = A_o * (N - 2) \quad (\text{Ecuación 8.9})$$

8.6.2 Intercambiador 2

Para el cálculo del segundo intercambiador se han seguido los mismos pasos que para el primero, a diferencia que el refrigerante es agua glicolada. Para obtener el calor específico de esta mezcla se recurre a la base de datos, "BRINEPROP2", del programa informático EES. Esta base de datos aporta propiedades termodinámicas de una mezcla de agua glicolada a una temperatura y concentración determinada. La concentración de glicol en agua se determina por el punto de congelación de esta, que deberá ser inferior a -5 °C. Con el EES se genera una tabla paramétrica en la que la

temperatura de congelación se calcule en función a la concentración de glicol en agua, tal y como se muestra en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6. Temperatura de congelación del agua glicolada en función de la concentración de glicol en agua.

Fuente: Base de datos "Brineprop2" del programa informático Engineering Equation Solver EES.

1..15	1 Conc [%]	2 FreezingPt [°C]
Run 1	17.5	-5.959
Run 2	20	-7.161
Run 3	22.5	-8.516
Run 4	25	-9.966
Run 5	27.5	-11.49
Run 6	30	-13.08
Run 7	32.5	-14.76
Run 8	35	-16.57
Run 9	37.5	-18.56
Run 10	40	-20.79
Run 11	42.5	-23.31
Run 12	45	-26.17
Run 13	47.5	-29.43
Run 14	50	-33.11
Run 15	52.5	-37.22

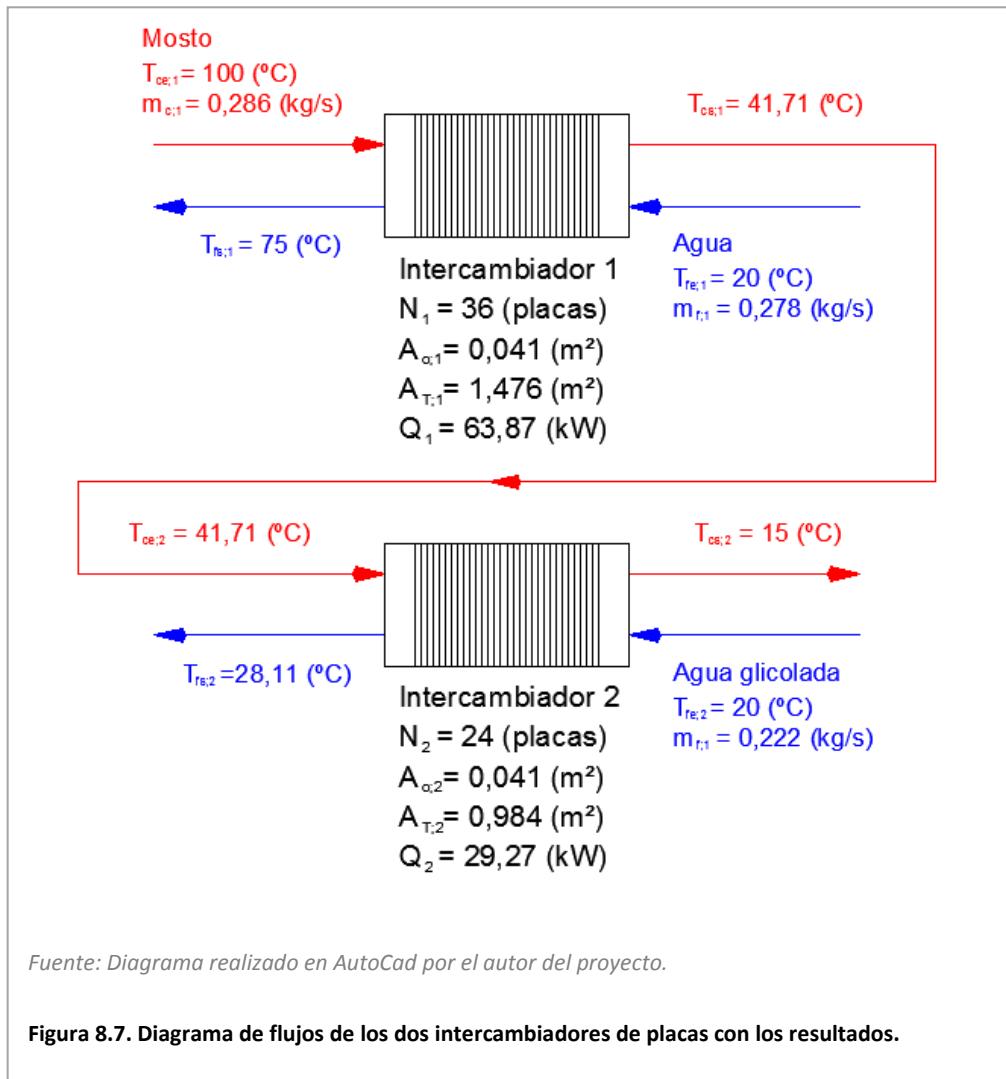
Se decide que la concentración de agua glicolada sea de un 25 %. Se podría utilizar una concentración menor, pero se da un margen de 4 °C para evitar posibles averías.

Como ya se ha dicho el resto de cálculos se llevan a cabo igual que en el intercambiador 1. En la Tabla 8.7 se dan los resultados de ambos intercambiadores. Se ha decidido utilizar la misma dimensión de placa para ambos intercambiadores, así los costes son menores. El número de placas se ha redondeado al número siguiente en ambos casos que ha resultado dar un valor con decimales.

Tabla 8.7. Resultados intercambiadores de placas.

Nº Intercambiador	$A_T (m^2)$	$A_o (m^2)$	N (Placas)	Q (kW)
Intercambiador 1	1,476	0,041	36	63,87
Intercambiador 2	0,984	0,041	24	29,27

En la Figura 8.7 se muestra el diagrama de flujos de los intercambiadores con los parámetro calculados.



En las Figuras 8.8 y 8.9 se muestra la interfaz del programa informático en el que se han realizado los cálculos. Las ecuaciones están numeradas en concordancia con la numeración de los cálculos explicados.

```

Equipo$[1]='Intercambiador 1 (Agua)';Equipo$[2]='Intercambiador 2 (Agua-glicolada)'

"Intercambiadores de calor de placas"
U=2 [kW/m^2*K]
c_p_c=3.83 [kJ/kg*K]

"Primer intercambiador"
t=1800 [s]

"Corriente caliente"
T_ce[1]=100 [°C]
m_c[1]=515/t

"Corriente fría"
c_p_f_1=cp(Water,T=((75+20)/2),P=101.3)
m_f[1]=500/t
T_fe[1]=20 [°C]
T_fs[1]=75 [°C]

"Calores"
Q_c_1=m_c[1]*c_p_c*(T_ce[1]-T_cs[1])
Q_f_1=m_f[1]*c_p_f_1*(T_fs[1]-T_fe[1])
Q_f_1=Q_c_1
Q[1]=Q_c_1

"Dimensionado"
A_o[1]=0.041 [m^2]
DELTAT_ml_1=((T_ce[1]-T_fs[1])+(T_cs[1]-T_fe[1]))/2
Q[1]=U*A_T_1*DELTAT_ml_1
A_T_1=A_o[1]*(N[1]-2)

"Ecuación 8.1"
"Ecuación 8.2"
"Ecuación 8.3"
"Ecuación 8.4"
"Ecuación 8.5"
"Ecuación 8.6"
"Ecuación 8.7"
"Ecuación 8.8"

```

Figura 8.9. Interfaz programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones del primer intercambiador.

```

"Segundo intercambiador"

"Corriente caliente"
T_ce[2]=T_cs[1]
T_cs[2]=15 [°C]
m_c[2]=515/t

"Corriente fría"
c_p_f_2=SpecHeat
m_f[2]=400/t
T_fe[2]=-5 [°C]

Call BRINEPROP2(Fl$,Conc,Temp:FreezingPt,Density,SpecHeat,ThermalConductivity,
DynamicViscosity, Pr)
Fl$='PG'
Temp=-5 [°C]
Conc=25

"Calores"
Q_c_2=m_c[2]*c_p_c*(T_ce[2]-T_cs[2])
Q_f_2=m_f[2]*c_p_f_2*(T_fs[2]-T_fe[2])
Q_f_2=Q_c_2
Q[2]=Q_c_2

"Dimensionado"
A_o[2]=0.041 [m^2]
DELTAT_ml_2=((T_ce[2]-T_fs[2])+(T_cs[2]-T_fe[2]))/2
A_T_2=A_o[2]*(N[2]-2)
Q[2]=U*A_T_2*DELTAT_ml_2


```

Figura 8.8. Interfaz programa informático Engineering Equation Solver (EES). Ecuaciones del segundo intercambiador.

8.7 Fermentadores

El objetivo de este proyecto preliminar es elaborar 4 tipos diferentes de cerveza. De la cerveza Ámbar de Abadía, de Centeno y de Trigo se van a elaborar 1000 litros de cada una y de la Oscura de Abadía 500 litros. Cada uno de los tipos de cerveza necesita un día para realizar todas las etapas, desde la molienda hasta el llenado del tanque de fermentación, pero la fermentación dura siete días y la guarda tres semanas. Ambas etapas se llevan a cabo en el fermentador. Debido al largo tiempo que tienen que estar en este equipo se precisarán tantos fermentadores como tipos de recetas, porque si solo dispusiéramos de un fermentador se necesitarían cuatro meses para la elaboración de los cuatro tipos. Si equipamos la planta de producción con cuatro fermentadores en un mes se obtendrán las cuatro recetas, por lo que ese será el número de fermentadores de la cervecería.

Durante la fermentación, como ya se ha explicado y calculado, se produce calor por la actividad de la levadura. A parte se han estimado unas pérdidas del equipo de fermentación de 2 °C por cada día que pasa. En la guarda las pérdidas serán mayores, porque la temperatura del interior del tanque será de 4 °C, once grados menos que la de fermentación. Se ha decidido estimar unas pérdidas de 6 °C por cada día que pasa. El fermentador posee un encamisado que rodea todo el tanque por el cual circulará el agua glicolada que actuará como fluido refrigerante. En los balances de energía se han calculado las necesidades de refrigeración durante la etapa de fermentación, la bajada de temperatura para la guarda y la guarda. En el cálculo del equipo de frío se tendrán en cuenta estas necesidades térmicas más las del intercambiador de placas.

En la Figura 8.10 se muestra el fermentador escogido. El distribuidor de este equipo es el mismo que el molino, Slow Beer 500 plus (HomeBrew, 2003). Este tipo de equipos se comercializan en los mercados más exigentes de Estados Unidos debido a su gran calidad. Tienen forma troncocónica con una inclinación de 60° de cono, para facilitar la extracción de las levaduras tras la fermentación. Es de acero inoxidable AISI 304, está termoaislado, con una camisa doble de enfriamiento tanto en la zona cilíndrica como cónica y con termómetro laser tanto en el sistema refrigerante como en el interior. Todo el cuerpo externo está soldado, la parte interna en contacto con el producto tiene un acabado pulido a espejo y tiene capacidad para acumular

sobrepresión en su interior, hasta 2,5 bares, por si se quiere regular el contenido de dióxido de carbono en el mismo tanque, en lugar de realizar una segunda fermentación en el envase. En la Figura 8.8 se muestran las características de dimensiones y peso.



Tabla 8.8. Características fermentador.

Fermentador isobárico	
Capacidad útil	1000 (L)
Capacidad teórica	1319 (L)
Altura total	2,8 (m)
Altura pies	1,2 (m)
Altura cono	1,25 (m)
Diámetro interior	1 (m)
Diámetro exterior	1,1 (m)
Peso	316 (kg)
Número fermentadores	4 (ud)

8.8 Embotelladora

Si necesitas que tu producto salga del lugar de fabricación, como es el caso de esta cervecera, que aparte de realizar catas en la cervecera y tener un espacio de bar, el resto de producto se vendrá en otros comercios, ya sean hosteleros, supermercados

o tiendas. Para llevarlo a esos lugares se debe envasar de alguna manera. Se ha decidido envasar en botella.

La embotelladora está equipada con una zona de llenado de las botellas y otra de chapado. Tendrá un tanque de almacenamiento con control de nivel, el cual se irá llenando directamente desde el fermentador, el sistema puede soportar una presión de hasta 5 bares, dispondrá de cuatro caños de llenado de acero inoxidable con un sistema de antiespuma, que distribuirá el producto por las paredes de la botella y la chapadora será automática y estará integrada en el mismo conjunto, tal y como muestra la Figura 8.11. En la Tabla 8.9 se muestran las características técnicas del equipo.

Este equipo es de los mismos distribuidores del molino, Slow Beer 500 plus y del fermentador (HomeBrew, 2003).



Tabla 8.9. Características embotelladora.

Embotelladora	
Diámetro mínimo de botella	70 (mm)
Diámetro máximo de botella	110 (mm)
Potencia	1,87 (kW)
Largo	1,5 (m)
Ancho	0,41 (m)
Alto	1,956 (m)
Peso	950 (kg)
Producción	200-300 (botellas/h)

8.9 Etiquetadora

Se ha escogido una etiquetadora semi-automática, esto quiere decir que se ha de colocar el envase en ella y cuando termina de poner la pegatina se ha de extraer

manualmente la botella. Dependiendo de la habilidad de la persona que la utiliza se pueden etiquetar hasta 500 botellas por hora. Su diseño permite etiquetar cualquier recipiente cilíndrico de superficie lisa que tenga unas medidas comprendidas entre 70-110 milímetros. Su material es de polietileno (PE 500). Tiene un amplio rango de tamaño de etiqueta para poder realizar diferentes diseños.

En la Figura 8.12 se muestra la etiquetadora, que será del mismo distribuidor que el molino, el Slow Beer 500 plus, el fermentador y la embotelladora (HomeBrew, 2003) y en la Tabla 8.10 se muestran las características técnicas de este equipo.



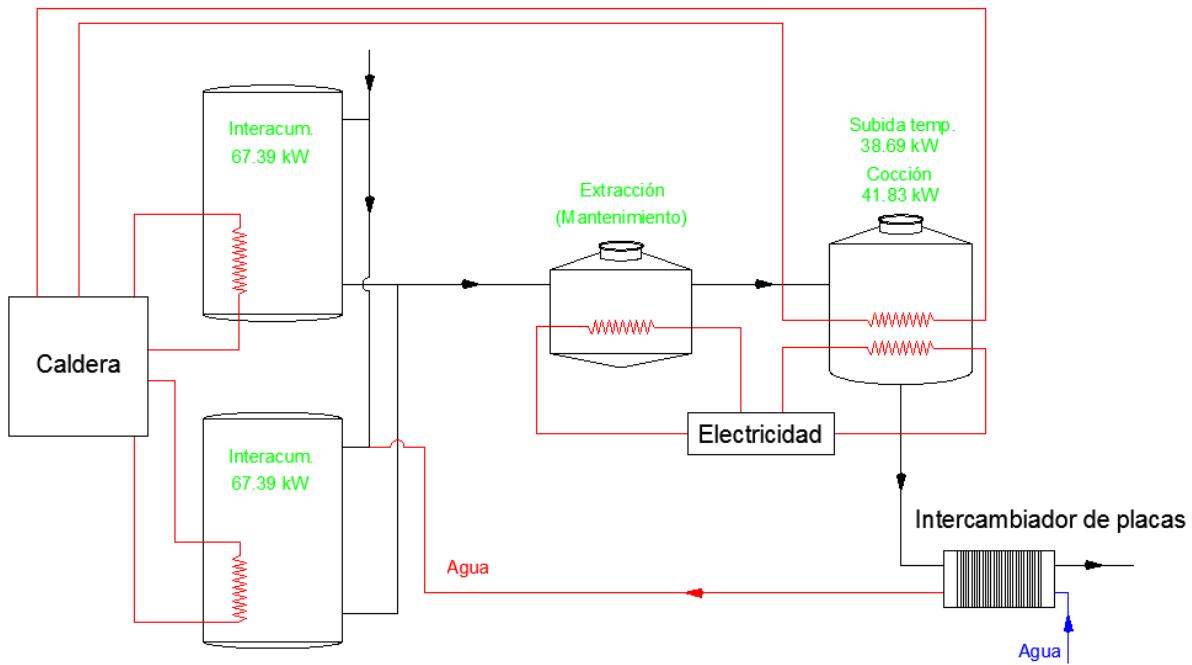
Tabla 8.10. Características etiquetadora.

Etiquetadora	
Material	PE 500
Peso	20 (kg)
Largo	0,44 (m)
Ancho	0,7 (m)
Alto	0,28 (m)
Alimentación	230V / 50 Hz
Potencia	0,09 (kW)

8.10 Caldera

Para el diseño de la caldera primero se debe conocer la energía necesaria que se requiere en nuestro proceso. En los balances de energía se ha calculado las necesidades térmicas para todos los equipos y en la Figura 8.1 se puede ver a qué elementos está conectada la caldera. En la Figura 8.13 se aprecia mejor a qué equipos llega la caldera y las necesidades térmicas de cada uno. Hay que fijarse en el cronograma de la Figura 7.12 para ver si alguna de las etapas que requieren de energía transmitida por la caldera son simultáneas. Las etapas en las que es necesario un

aporte energético de la caldera son las de subida de temperatura del agua del interacumulador, durante la subida de temperatura del mosto en la cocción y durante la cocción. Es posible que en la maceración se necesite un aporte de calor por la necesidad de hacer una maceración escalada, pero se alimentará de energía eléctrica,



Fuente: Diagrama realizado en AutoCad por el autor del proyecto.

Figura 8.13. Diagrama para de necesidades térmicas para el cálculo de la caldera.

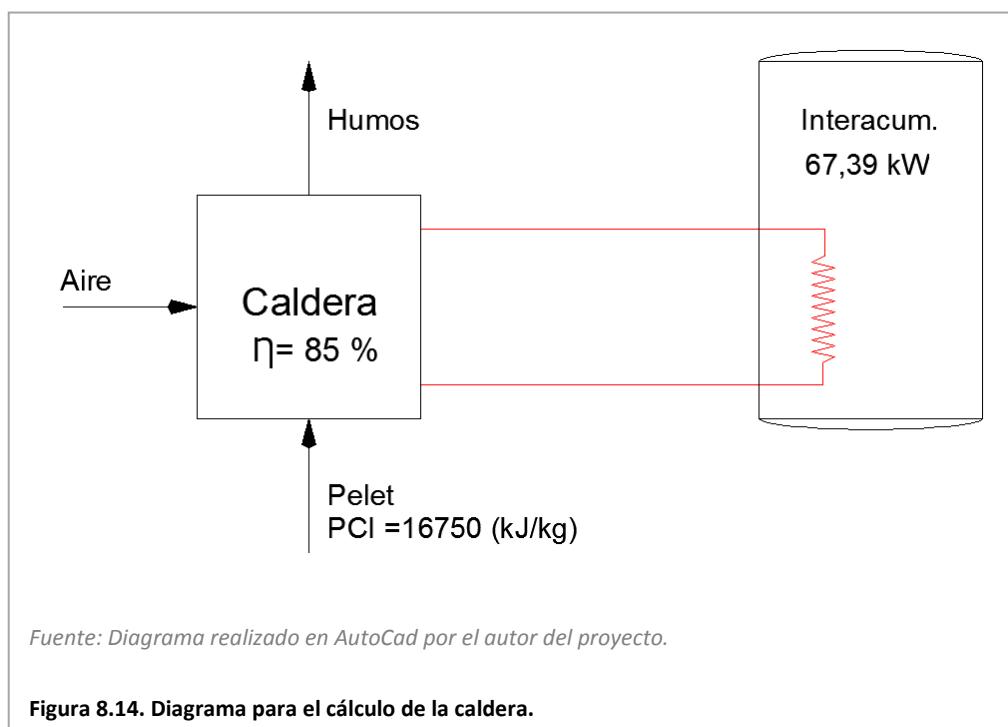
ya que necesitará poco aporte energético y el equipo lo permite. También existe la posibilidad de aportar energía eléctrica en el tanque de cocción si se necesitara.

Ninguna de las etapas que requieren la energía de la caldera se producen a la vez. Los interacumuladores son de 1000 litros, y la demanda de agua en la maceración es mayor a esa capacidad, en la receta que más agua se requiere es en la cerveza de Centeno, la cual necesita 1295 litros de agua. Al hacerse dos maceraciones primero se utilizan 647,5 litros de agua, por lo que quedarán en el interacumulador 352.5 litros, provocando un déficit de agua caliente de 295 litros de agua a 70 °C. Este déficit se suplirá con el agua utilizada en la refrigeración del primer intercambiador de placas, que saldrá a 75 °C y se acumulará en el segundo interacumulador, ya que esa refrigeración se produce antes que la segunda maceración. De esta manera la caldera deberá cumplir las necesidades de calentar agua desde 12 °C, que será la situación más

desfavorable en los meses de invierno, hasta 70 °C. Para ello se requiere una energía de 67,39 kilovatios.

Se ha decidido utilizar una caldera de pellet de alta eficiencia. Estas calderas queman el combustible con un sistema grano a grano, el cual obtienen la mayor eficiencia energética generando muy poca cantidad de humos. Se ha buscado en la bibliografía y tienen un rendimiento del 90-93 %, de todas formas se va a considerar del 85 % para los cálculos (ATMOS, 2004).

En la Figura 8.14 es mostrado el diagrama para el cálculo de la caldera.



En la Ecuación 8.10 se calcula la cantidad de potencia calorífica que tiene que generar la caldera, y en la 8.11 la masa de pellets por hora que se tienen que utilizar para generar esa cantidad de energía

$$Q_{caldera} = Q_{int.} * \frac{100}{85} = 79,28 \text{ (kW)} \text{ (Ecuación 8.10)}$$

$$m_{pellets} = \frac{Q_{caldera} * 3600}{PCI} = \frac{79,28 \text{ kJ}}{1 \text{ s}} * \frac{1 \text{ kg}}{16750 \text{ kJ}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \\ = 17,04 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) \text{ (Ecuación 8.11)}$$

Con estos datos ya se puede dimensionar la caldera, simplemente se va a necesitar una que genere la potencia demandada en la Ecuación 8.10. La empresa Atmos fabrica calderas de pellets que llegan hasta una potencia de 80 kilovatios, por lo que esta será la caldera que se utilizada.

En la Figura 8.15 se muestra la disposición de los equipos necesarios para el funcionamiento de la caldera. El conjunto está compuesto por tres elementos, la propia caldera, el interacumulador y el depósito de pellets. La que aparece en la Figura 8.15 es de 20 kilovatios, una de las más pequeñas y el depósito de pellets es de 500 litros.

En la Tabla 8.11 aparecen las características técnicas de la caldera con la que se va a equipar la planta de producción.



Fuente: <https://www.atmos.eu/spanish/kotle-004>

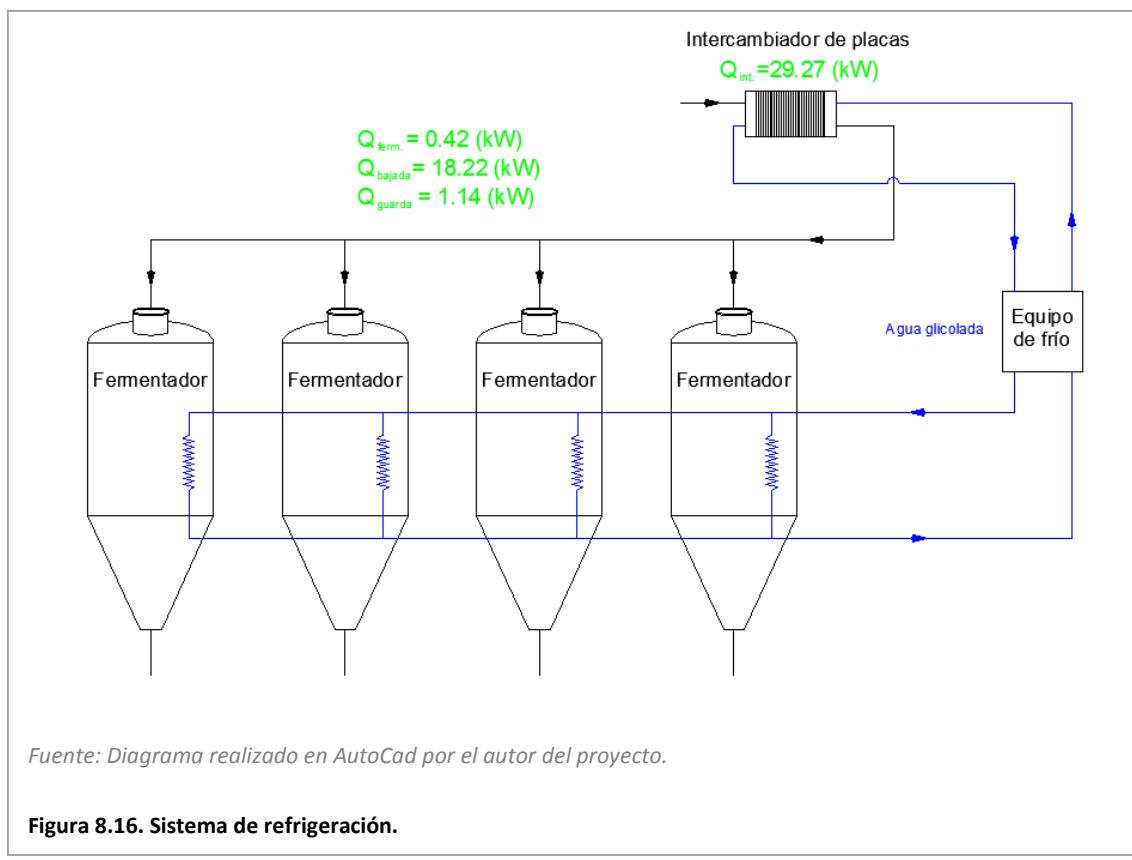
Figura 8.15. Caldera de pellets.

Tabla 8.11. Características caldera pellet.

Caldera pellets	
Potencia	80 (kW)
Largo	0,684 (m)
Ancho	1,41 (m)
Alto	1,663 (m)
Peso	695 (kg)
Tolva interna	180 (L)
Tolva externa	250-500-1000 (L)
Quemador	Atmos A 85
Eficiencia	91,20%
PCI pellet	16750 (kJ/kg)

8.11 Sistema de refrigeración

Al igual que en la caldera hay que analizar que etapas se van a llevar a cabo a la vez, para conocer el caso más desfavorable que se puede producir en el proceso. En la Figura 8.16 se ve el conjunto del sistema de refrigeración de agua glicolada al 25 % de concentración. Esta concentración se calculó en el dimensionado del segundo intercambiador de placas. En la Figura 8.16 se ven los calores que se van a tener que extraer tanto de los intercambiadores como de los fermentadores.



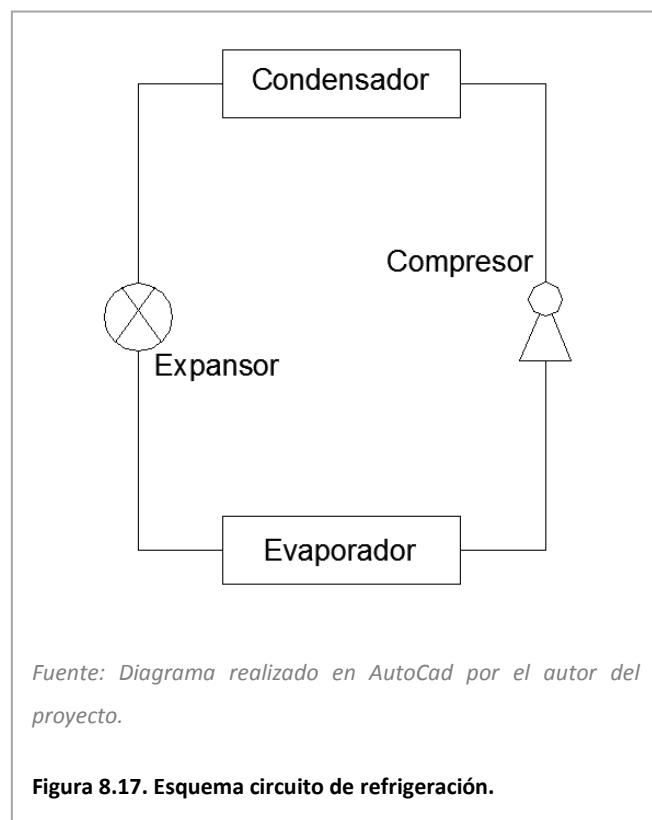
Como se van a realizar cuatro recetas, y cada cocción cuesta un día en llevarse a cabo al elaborar la cuarta receta se solaparía la etapa del intercambiador con la de refrigeración de tres fermentadores en la etapa de fermentación. De todas formas se va a plantear como escenario más desfavorable que se produzca la refrigeración del intercambiador de placas a la vez que en los cuatro fermentadores se esté produciendo la etapa de guarda. Aunque esta situación no se vaya a dar nunca es una forma de sobredimensionar el equipo. Sabiendo que las etapas más exigentes son la de refrigeración en el intercambiador de placas y la de descenso a la temperatura de guarda se tendrá que cuidar en los procesos de elaboración que estas dos etapas no

coincidan en ningún momento. En la Ecuación 8.12 se calculan las necesidades de refrigeración más desfavorables.

$$Q_{refri} = Q_{int} + Q_{guarda} * 4 = 33,83 \approx 35 \text{ (kW)} \text{ (Ecuación 8.12)}$$

Ya se conoce las necesidades de refrigeración, ahora se debe calcular la instalación frigorífica.

Este tipo de instalaciones constan de un circuito cerrado compuesto por cuatro elementos diferenciados, el compresor, condensador, evaporador y expansor. En la Figura 8.17 se puede ver su orden. En la Ecuación 8.12 se ha calculado la potencia que debe ser capaz de generar el evaporador, ya que es el elemento que absorbe calor del medio exterior. En la Figura 8.17 se puede ver el circuito cerrado de refrigeración. En este caso el evaporador se colocará en un recipiente en el que se encuentre el agua glicolada para que la enfríe, y ella se encargará de refrigerar los equipos. El fluido que se va a utilizar como refrigerante en el circuito cerrado de refrigeración será R-404.



El condensador se suele encontrar al aire libre y el resto de los equipos en el interior de la planta. El evaporador es el equipo que generará el frío, por lo que tiene que estar en contacto con el agua glicolada para enfriarla. Es un ciclo cerrado en el que

el serpentín de condensación recibe el refrigerante comprimido, a alta temperatura y en forma de vapor, ganando calor latente al pasar a estado líquido. Al pasar por el expansor el líquido pierde presión por lo que su temperatura disminuye en gran medida, formándose algo de gas, pero la mayoría es líquido. En el evaporador este líquido tan frío capta calor del medio para evaporarse por completo, de esta manera enfriá el medio exterior. La producción de frío va en contra de las leyes de la termodinámica, por lo que tiene una penalización en el consumo de energía del compresor.

Gracias a una práctica realizada en instalaciones agroindustriales en cuarto de grado se obtuvieron una serie de valores necesarios para el cálculo de esta instalación. En la Tabla 8.12 se ven reflejados.

Tabla 8.12. Datos recopilados en una práctica de la asignatura de instalaciones agroindustriales.

	Presión (bar)	Temperatura (°C)
Entrada compresor	2,5	10
Salida compresor	15	-
Entrada expansor	-	17
Salida condensador	-	30
Salida evaporador	-	-15
Rendimiento isentrópico compresor	0,8 (-)	

Partiendo de estos datos se va a calcular el ciclo de compresión mecánica. Para calcular el ciclo real se necesitarían muchos más datos experimentales, por lo que se va a hacer una aproximación ayudándonos del ciclo de Rankine, el cual mantiene constantes las presiones en el evaporador y condensador, el expansor realiza una descompresión a entalpía constante y el compresor aumenta la presión del gas a entropía constante. Se va a realizar una pequeña modificación en el ciclo de Rankine ya que se conoce el rendimiento isentrópico del compresor, por lo tanto la compresión no se realizará a entropía constante. Gracias al programa informático se ha dibujado el diagrama de Mollier, presión versus entalpia. En la Figura 8.18 se puede ver el diagrama del ciclo de compresión mecánica de nuestro equipo. En la Tabla 8.13 se explican a que parte del circuito corresponde cada punto del diagrama, así como los valores de las diferentes propiedades termodinámicas de cada uno.

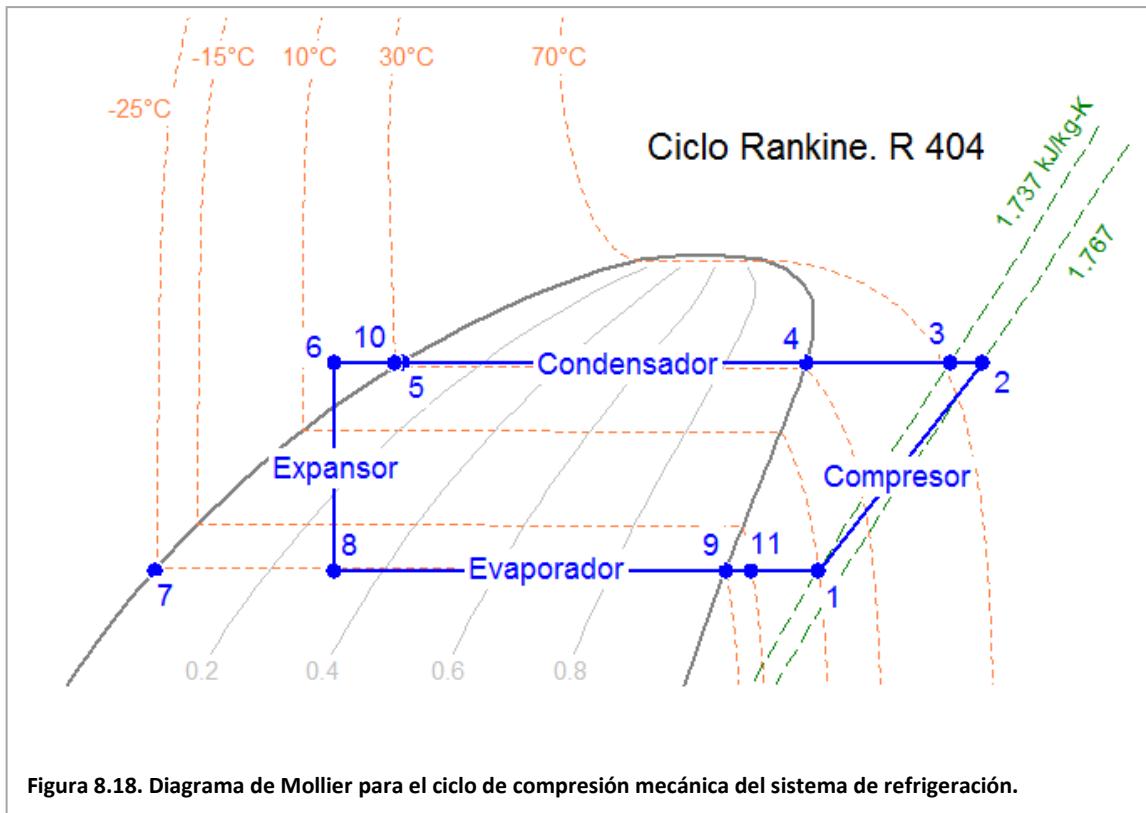


Tabla 8.13. Propiedades termodinámicas de los diferentes puntos del ciclo de compresión mecánica.

1 Punto \$i [Puntos]	2 \$P_i [bar]	3 \$T_i [°C]	4 \$h_i [kJ/kg]	5 \$v_i [m³/kg]	6 \$s_i [kJ/kg·K]	7 \$P_i [kg/m³]
1. EntradaComp	2.5	10	382.8	0.09155	1.737	10.92
2. SalidaComp	15	82.35	436.7	0.01729	1.767	57.84
3. Isentrópica	15	72.54	425.9	0.01647	1.737	60.73
4. PtoRocioAlta	15	32.3	378.8	0.01237	1.591	80.86
5. PtoBurbujaAlta	15	31.93	247	0.0009905	1.16	1010
6. EntradaExp	15	17	224.2	0.0009215	1.083	1085
7. PtoBurbujaBaja	2.5	-25.38	165.9	0.0008066	0.8702	1240
8. SalidaExp	2.5	-25.18	224.2	0.02474	1.105	39.65
9. PtoRocioBaja	2.5	-24.75	352.5	0.07743	1.622	12.91
10. SalidaCond	15	30	244	0.00098	1.15	1020
11. SalidaEvap	2.5	-15	360.9	0.08152	1.656	12.27

Una vez calculados todas la propiedades termodinámicas del ciclo ya se pueden dimensionar los equipos que lo van a componer. En las Ecuaciones 8.13, 8.14 y 8.15 se calculan las potencias necesarias de los elementos del sistema, aunque, como veremos, se va a utilizar un equipo que integra todos estos equipos en un conjunto compacto.

$$Q_{evap} = (h_{11} - h_8) * m_{refri} \quad (\text{Ecuación 8.13})$$

$$Q_{compresor} = (h_2 - h_1) * m_{refri} \quad (\text{Ecuación 8.14})$$

$$Q_{cond} = (h_{10} - h_2) * m_{refri} \quad (\text{Ecuación 8.15})$$

Tabla 8.14. Resultados equipo de refrigeración.

Resultados sistema refrigerante	
Parámetros	Valor
Q_{Evap}	35 (kW)
$Q_{Compresor}$	13,8 (kW)
Q_{cond}	49,33 (kW)
m_{Refri}	0,256 (kg/s)

Con el cálculo de estos datos ya se puede dimensionar el equipo. Como ya se ha adelantado antes se va a utilizar un equipo compacto, el cual incluye todos los elementos del ciclo mecánico de refrigeración. A parte de este equipo se necesitará un depósito acumulador del agua glicolada de donde se llevará a los fermentadores y al intercambiador de placas.

Se ha escogido el equipo CWCH-MCK321 de 37 kW del distribuidor Brewery System (Brewery System, 2015), porque concuerda con la potencia frigorífica requerida (Q_{evap}), el cual tiene 35,9 (kW), Véase la Tabla 8.14. Utiliza el refrigerante con el cual se han calculado las necesidades térmicas, R 404. En este caso el condensador se encuentra en el mismo conjunto, por lo que estará en el interior de la nave. Este conjunto trata el refrigerante y se lleva a un depósito acumulador de agua glicolada donde se encuentra el serpentín de enfriamiento o evaporador. En la Figura 8.19 se muestra el equipo de refrigeración y en la 8.20 el depósito. Para el tanque de enfriamiento de agua glicolada se ha escogido el modelo ICWT-500 de los mismos distribuidores que el equipo de refrigeración. En su interior contiene los serpentines de refrigeración, es decir el evaporador del equipo de refrigeración. Las necesidades de agua glicolada se calculan en la Ecuación 8.16, por esa razón se ha escogido un tanque

de 500 litros, sobredimensionando el tanque para las labores de refrigeración de los fermentadores, cuando el intercambiador de placas esté funcionando.

$$Volumen_{H2O-glicol} = m_{H2O-glicol} * \rho_{H2O-glicol} = 0,2222 * 1,027 = 389,5 \text{ (L)} \text{ (Ecuación 8.16)}$$



Fuente: <https://eshop.czechminibreweries.com/es/product/cwch-mck441/>

Figura 8.19. Sistema de refrigeración CWCH-MCK441 de 50.7 kW de Brewery System.



Fuente: <https://eshop.czechminibreweries.com/es/product/icwt-500/>

Figura 8.20. Depósito acumulador de agua glicolada modelo ICWT-500 de Brewery System.

En las Tablas 8.15 y 8.16 se muestran las características técnicas de ambos equipos.

Tabla 8.16. Datos técnicos equipo de refrigeración.

Equipo refrigeración	
Potencia frigorífica	35,9 (kW)
Conexión eléctrica	400V/50Hz
Largo	1 (m)
Ancho	1 (m)
Alto	2,055 (m)
Peso	320 (kg)
Depósito refrigerante	330 (L)

Tabla 8.15. Datos técnicos depósito de agua glicolada.

Depósito agua glicolada	
Capacidad útil	500 (L)
Largo	0,9 (m)
Ancho	0,7 (m)
Alto	1,4 (m)
Peso	160 (kg)
Aislamiento	Poliuretano

8.1 Recopilación de todos los equipos de la planta de producción

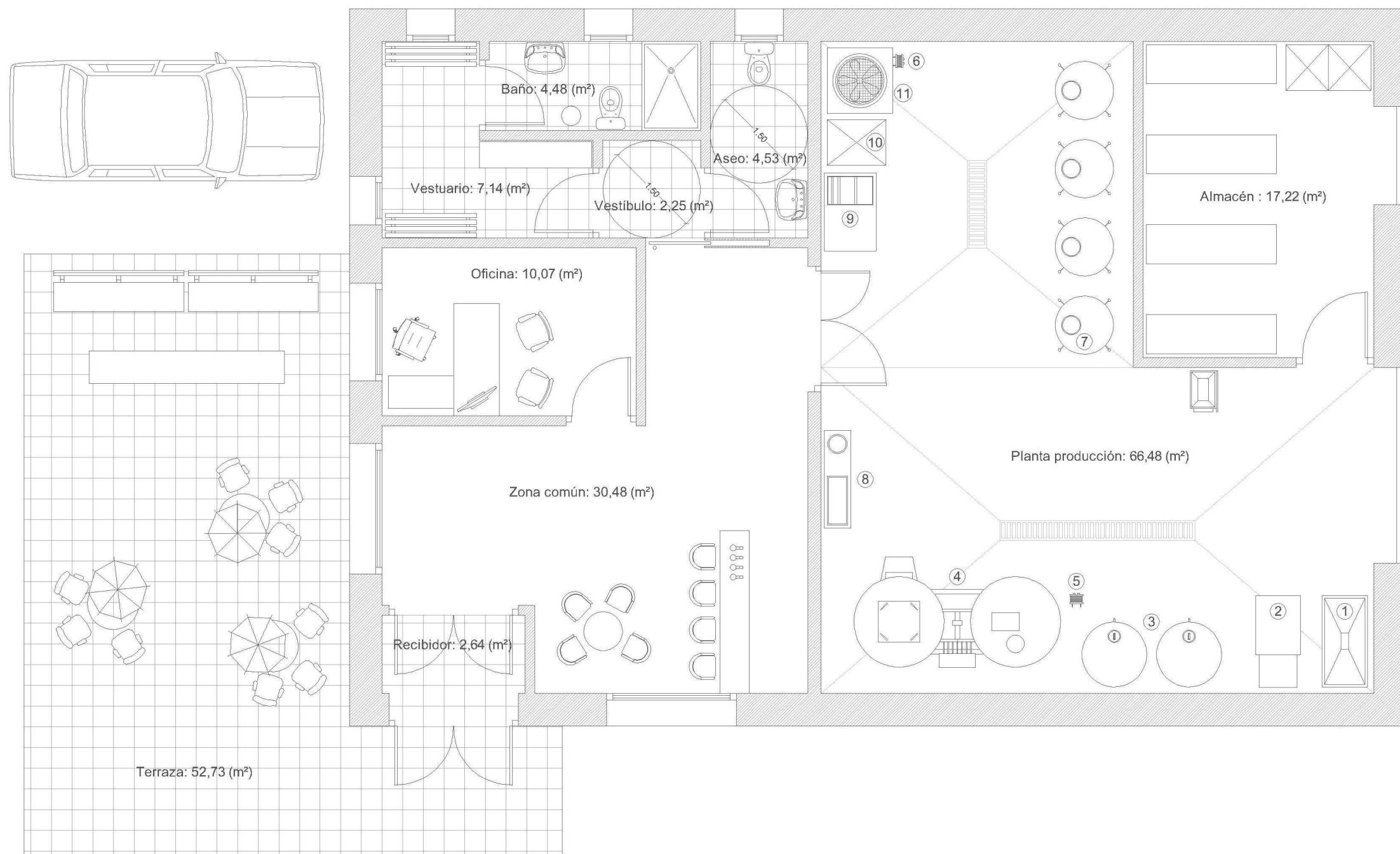
Este apartado resume todos los equipos de la planta de producción en la Tabla 8.17. Todos estos equipos aparecerán en el siguiente punto del proyecto, puesto que se realiza una distribución en planta de la cervecera.

Tabla 8.17. Resumen de los equipos de la planta de producción.

Equipos planta de producción				
Equipo	Modelo	Capacidad	Cantidad	Distribuidor
Molino	MOD. 150	150-200 (kg/h)	1	Home Brew
Interacumulador	WW-INOX 1000	1000 (L)	2	Ferco
Macerador-Cocción	Slow Beer 500 Plus	500 (L aprox.)	1	Slow Beer
Intercambiador de placas 1	IP 3600	29,27(Kw)	1	Suicalsa
Intercambiador de placas 2	IP 3600	63,87 (kW)	1	Suicalsa
Fermentador	Atmosférico termoaislado 1000 (L)	1000 (L)	4	Home Brew
Embotelladora	Embotelladora isobárica semiautomática con chapadora	200-3000 (botellas/hora)	1	Home Brew
Etiquetadora	Etiquetadora semiautomática	500 (botellas/h)	1	Home Brew
Caldera	D 80 P	80 (kW)	1	Atmos
Sistema de refrigeración	CWCH-MCK321	37 (Kw)	1	Brewery System
Depósito agua glicolada	ICWT-500	500 (L)	1	Brewery System

9 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

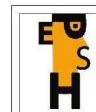
Para la elaboración del plano de distribución en planta se ha utilizado AutoCad. En el plano, a escala 1:75 se muestra la disposición de todas las estancias que componen la industria cervecera. Se ha dividido en dos grandes partes. La zona denominada cervecera, donde se encuentra el almacén y la zona de producción y la zona polivalente, que está compuesta del despacho, zona de catas y servicios. También se ha dispuesto un espacio al aire libre, de cara a posibles visitas o clientes.



Zonas	Estancias	Áreas (m ²)	Áreas totales (m ²)
Cervecería	Almacén	17,22	83,7
	Planta producción	66,48	
Zona polivalente	Recibidor	2,64	61,59
	Zona común	30,48	
	Despacho	10,07	
	Vestíbulo	2,25	
	Aseo	4,53	
	Vestuario	7,14	
	Baño	4,48	
	Terraza	52,73	
	TOTAL	198,02	

Equipos	nº
Depósito de pellet	1
Caldera de pellet	2
Interacumuladores	3
Slow Beer 500 plus	4
Intercambiador placas 1	5
Intercambiador placas 2	6
Fermentador	7
Embotelladora	8
Etiquetadora	9
Depósito agua-glicolada	10
Equipo de frío	11

Proyecto	Proyecto preliminar para el diseño y distribución en planta de una cervecería artesana	
Ubicación	Canfranc (Huesca)	
Plano	Distribución en planta	
Escala	1/75	Fecha
		Mayo 2020
Proyectista y Logo		Jesús Fernández Domingo



Escuela Politécnica
Superior - Huesca
Universidad Zaragoza

10 BIBLIOGRAFÍA

Aizpuru, I., Aseginolaza, C., Uribe-Echebarria, P., Urrutia, P., & Zorrakin, I. (2000).

Claves Ilustradas de la Flora del País Vasco y Territorios Limítrofes. Vitoria-Gasteiz: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

Alimentos, A. (31 de Julio de 2019). *Aragón Alimentos*. Recuperado el 2019 de Octubre de 2019, de <http://www.aragonalimentos.es/el-unico-lupulo-made-in-aragon/>

Argemí Fontvila, M. (2016-06). *Diseño de un Biorreactor para la Fabricación de Cerveza (Trabajo Final de Carrera)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Artesana, C. (19 de Septiembre de 2014. La guía definitiva de la malta). *Cerveza Artesana*. Recuperado el 21 de Enero de 2020, de <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-de-la-malta.html>

Artesana, C. (Septiembre de 2014. La guía definitiva del lúpulo). *Cerveza Artesana*. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de <https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-del-lupulo.html>

Artesana, C. (2019). *Cerveza Artesana*. Recuperado el 14 de Octubre de 2019, de <https://www.cervezartesana.es/>

Atkins, P., & Jones, L. (1999). *Chemical Principles. The Quest for Insight*. New York: W.H. Freeman and Company.

ATMOS. (2004). *ATMOS*. Recuperado el 1 de abril de 2020, de <https://www.atmos.eu/spanish/kotle-004>

BOE. (2016). *Real Decreto 678/2016, de 16 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta*.

Brewery System, C. (2015). *Brewery System*. Recuperado el 2 de Abril de 2020, de <https://www.czechminibreweries.com/es/>

Cervezanía. (2005). *Distribuidor materias primas*. Cervezanía. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <https://cervezania.com/>

- DBK.Informa. (2019). *Informes Especiales Basic: Cerveza Artesana*. Madrid.
- Díaz, M. (2012). *Ingeniería de bioprocesos*. Madrid: Paraninfo.
- Doncel, C. (16 de Mayo de 2019). *El País*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019
- El País, P. (11 de Julio de 2003). *El País*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://elpais.com/diario/2003/07/11/sociedad/1057874409_850215.html
- Esteban, F. (2020). Práctica realizada en la cervecería de cervezas Borda. Aineto (Huesca).
- Europe, T. B. (2018). *Beer statistics*.
- Fermun, D. (2019). *Curso de Emprendedores para Crear una Microcervecería*. Barcelona.
- Fernández, M. (7 de Diciembre de 2018). *El País*. Recuperado el 17 de Diciembre de 2019
- Freeman, S. (2009). *Biología*. Madrid: Pearson Education, S.A.
- Grannaria. (2014). *Maltería de León*. Recuperado el 18 de Febrero de 2020, de <https://grannaria.com/>
- HomeBrew. (2003). *Cerveza Artesana*. Recuperado el Febrero de 2020, de <https://www.cervezartesana.es/>
- Hornsey, I. S. (1999). *Elaboración de la cerveza: Microbiología, bioquímica y tecnología*. Zaragoza: ACRIBIA, S.A.
- Ibai. (9 de Abril de 2017). *Del Grano a la Copa. Cervezas de Abadía. God Save the Monks*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2019, de <https://www.delgranoalacopa.com/cervezas-abadia-god-save-the-monks/>
- Ibai. (14 de Diciembre de 2019). *Del Grano a la Copa. Roggenbier, el Centeno como Protagonista*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2019, de <https://www.delgranoalacopa.com/roggenbier-centeno-protagonista/>

Kegerator. (6 de Junio de 2018). *Maltosaa*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2019, de <https://maltosaa.com.mx/historia-estilos-weissbier/>

Melero Espinar, G. R., & Zúñiga Tapia, J. G. (2013-03). Tesis: Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3648>.

Ministerio Agricultura, P. y., & España, C. d. (2018). *Informe Socioeconómico del Sector de la Cerveza en España*. España: Ministerio Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica y Centro de publicaciones.

Murcia, J. L. (2017). *Mercasa*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2019

País, P. E. (11 de Julio de 2003). *El País*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de https://elpais.com/diario/2003/07/11/sociedad/1057874409_850215.html

PuntoDeFuga. (2015). *Cerveza La Sagra*. Recuperado el 3 de 12 de 2019, de <https://www.cervezalasagra.es/quien-como-donde-este-estudio-nos-descubre-al-consumidor-de-cerveza-artesanal/>

RAE. (2019). *Real Academia Española*. Recuperado el 20 de 11 de 2019, de <https://dle.rae.es>

Ride, D. R. (2010). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Chievf: Advisory Board.

Sanchez Torres, E. (2016). *Estudio de la cinética fermentativa de *Saccharomyces cerevisiae*, en presencia de lindano, en un proceso de fermentación discontinuo (batch) (Trabajo fin de grado)*. Escuela Politécnica Superior de Huesca, Huesca.

Sanchis, V., Orive, M., & Ramos, A. J. (2000). *LA CERVEZA: ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS*. Lleida: Universidad de Lleida.

SlowBeer. (2003). *SlowBeer*. Recuperado el Febrero de 2020, de <http://www.slowbeer.es/>

TheSwaen. (2014). *Maltería de Kloosterzande*. Recuperado el 12 de Abril de 2020, de <http://theswaen.com/>

Toulza Balseiro, S. E. (Junio de 2017). *ResearchGate*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de

https://www.researchgate.net/publication/325553323_PROPIEDADES_TERMOFISICAS_DEL_MOSTO_DURANTE_SU_HERVIDURA

Urbina, V. (26 de Noviembre de 2014). *Urbina vinos*. Recuperado el 24 de Marzo de 2020, de <http://urbinavinos.blogspot.com/2014/11/conceptos-de-la-l-fermentacion.html>

Vogel, W. (1999). *ELABORACIÓN CASERA DE CERVEZA*. Zaragoza: Acribia.

11 AGRADECIMIENTOS

Lo primero agradecer a los directores de este proyecto, Dª. María Eugenia Venturini Crespo y D. José Ignacio Villacampa Elfau su ayuda para llevar a cabo todos los trámites del proyecto, así como la realización de las correcciones pertinentes del mismo y de ayudarme a llevar a cabo la idea que tuve desde un principio.

Dar las gracias a Felipe y a Menchu, dueños de Cervezas Borda en Aineto (Huesca) los cuales me permitieron ir a sus instalaciones a llevar a cabo una práctica en la que pude ayudar a elaborar 500 litros de su Cerveza de Trigo. Esta práctica me ayudó mucho a la hora de comprender el proceso de elaboración de la cerveza artesana, así como para obtener datos experimentales, que han dotado de veracidad a este proyecto.

Por último dar las gracias a Daniel Fermun y a Nereo Garbin los cuales dirigen el Instituto de la Cerveza Artesana en Barcelona, donde elaboran su propia marca, Fermun Beers y propietarios de un bar donde venden su propia cerveza llamado el Abirradero. Gracias a ellos pude realizar un curso para emprendedores para crear una microcervecería, en el cual aprendí muchas de las cosas que he plasmado en este proyecto. A su vez son distribuidores de los equipos de Home Brew y Slow Beer, por lo que me aportaron gran cantidad de información sobre sus equipos.