

Treball Final de Carrera

*Construcció d'un equip per a la producció de cervesa
artesana*

David Garcia Serrano

**Enginyeria Tècnica Agrícola, esp. d'Indústries Agràries i
Alimentàries**

Tutora: Anna Dalmau Roda

Vic, Setembre de 2014



AGRAÏMENTS

Vull donar les gràcies al meu pare pels seus consells de bricolatge, a l'Anna i a l'Albert per les fotografies i a Javi pel vídeo. A la meva mare pel seu suport incondicional. A Paco pels seus valuosos consells. A Rubén i a Juan per haver-me ajudat durant les elaboracions. A Eli, per la seva inestimable ajuda en els moments difícils.

També estic molt agraït a totes les persones de les microcerveceries, fires i botigues que han compartit la seva experiència i coneixements amb mi, especialment a la gent de la Companyia Cervesera del Montseny, i de la botigua 2D2Dspuma.

Gràcies a la meva tutora, Anna Dalmau.

En definitiva, estic molt agraït a totes les persones que m'han donat el seu suport al llarg d'aquest any.

ÍNDIX DE CONTINGUTS

RESUM	6
SUMMARY	7
1. INTRODUCCIÓ	8
2. OBJECTIUS	9
3. LA CERVESA	10
3.1 DEFINICIONS	10
3.2 HISTÒRIA DE LA CERVESA	10
3.3 ACTUALITAT DEL SECTOR CERVESER	12
3.4 CLASSIFICACIÓ DE LA CERVESA	13
3.4.1 Estils i classificació.....	13
3.4.2 Classificació segons el Beer Judge Certification Program (BJCP)	14
3.5 MATÈRIES PRIMERES	15
3.5.1 Aigua	15
3.5.2 Malt d'ordi.....	17
3.5.3 Llúpol.....	21
3.5.4 Llevat	24
4. PROCÉS D'ELABORACIÓ DE LA CERVESA	28
4.1 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ	29
4.2 MÒLTA	30
4.2.1 Tipus de molins	30
4.3 MACERACIÓ	31
4.3.1 Processos de degradació en la maceració	31
4.3.2 Tipus de maceracions	33
4.4 FILTRAT	35
4.5 RENTAT.....	36
4.5.1 Rentat Continu	36
4.5.2 Rentat per etapes	37
4.6 COCCIÓ	37
4.6.2 Addicions de llúpol durant la cocció.....	38
4.7 REFREDAMENT DEL MOST	39
4.8 FERMENTACIÓ	40
4.8.1 Tipus de fermentació.....	40
4.8.3 Transformacions i canvis durant la fermentació	42
4.8.4 Microorganismes indesitjats	43
4.8.5 Maduració.....	44

4.10 Carbonatació	46
5. METODOLOGIA	47
6. EXPERIMENTACIÓ AMB KIT <i>HOMEBREWER</i>	48
6.1 INTRODUCCIÓ	48
6.2 DESCRIPCIÓ DE L'EQUIP	48
6.3 ELABORACIÓ SEGONS UNA RECEPTA	51
6.4 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ AMB EL KIT <i>HOMEBREWER</i>	53
6.5 PROCÉS D'ELABORACIÓ	54
6.6 ANÀLISI DEL PROCÉS	58
6.7 CONCLUSIONS DE L'ANÀLISI	59
7. CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP PER A LA PRODUCCIÓ DE CERVESA ARTESANA.....	60
7.1 INTRODUCCIÓ	60
7.2 ELEMENTS NECESSARIS	60
7.2.1 Tancs de l'equip	60
7.2.2 Molí	60
7.2.3 Estructura de l'equip	60
7.2.4 Tanc de maceració	60
7.2.5 Sistema d'escalfament.....	61
7.2.6 Tanc de cocció/escalfament	61
7.2.7 Sistema de refredament	61
7.2.8 Fermentador cilíndric	61
7.2.9 Cambra de fermentació	62
7.2.10 Sistema de bombeig	62
7.2.11 Quadre de control de l'equip	62
7.3 CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT DE L'EQUIP	63
7.3.1 Tancs de l'equip	63
7.3.2 Molí	63
7.3.3 Estructura de suport de l'equip.....	63
7.3.4 Tanc de maceració	63
7.3.5 Sistema d'escalfament.....	67
7.3.6 Tanc de cocció/escalfament	68
7.3.7 Sistema de refredament	70
7.3.8 Fermentador cilíndric	70
7.3.9 Cambra de fermentació	76
7.3.10 Sistema de bombeig	78
7.3.11 Quadre de control de l'equip	80
7.4 Equip finalitzat.....	81
8. ELABORACIÓ AMB L'EQUIP CONSTRUÏT	82
8.1 DISSENY D'UNA RECEPTA	82

8.1.1 Elecció d'un estil	82
8.1.2 Selecció de matèries primeres	83
8.1.3 Determinació de les característiques de la cervesa	84
8.1.4 Càlculs: teoria	85
8.1.5 Càlculs: aplicació per a la recepta.....	91
8.2 RECEPTA	96
7.3 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ AMB L'EQUIP	97
8.4 PROCÉS D'ELABORACIÓ	98
8.4.1 Mòlta.....	98
8.4.2 Maceració	98
8.4.3 Filtrat	99
8.4.4 Rentat	100
8.4.5 Cocció del most	100
8.4.6 Refredament del most	101
8.4.7 Fermentació	101
8.4.8 Maduració.....	103
8.4.9 Clarificació	103
8.4.10 Embotellament	104
8.5 ANÀLISI DEL PROCÉS	105
9. CALENDARI I RESULTATS DE SUCCESSIVES ELABORACIONS	107
10. BIBLIOGRAFIA	111
11. ANNEX	112

RESUM TREBALL FINAL DE CARRERA

Enginyeria Tècnica Agrícola

Títol: Construcció d'un equip per a la producció de cervesa artesana

Paraules clau: cervesa artesana, construcció, equip, fermentador cilíndric

Autor: David Garcia Serrano

Tutora: Anna Dalmau Roda (UVic)

Data: Setembre de 2014

Catalunya és un dels territoris on hi ha hagut més auge del sector de la cervesa artesana, i són molt nombroses les microcerveseries i les botigues especialitzades on es poden trobar els recursos materials necessaris, a més de ser centres difusió de coneixements relacionats. Així, doncs, aquest projecte està emmarcat en un context que permet el desenvolupament de tècniques d'elaboració de cervesa artesana.

Aquest projecte es basa en la construcció d'un equip amb materials reutilitzats i amb un pressupost limitat que permet reproduir a petita escala els processos d'elaboració que es duen a terme en les microcerveseries artesanes actuals. El projecte s'ha assentat sobre la comprensió dels fonaments teòrics i pràctics del procés d'elaboració de cervesa, i amb l'experiència inicial d'elaboració de cervesa amb un equip bàsic de tipus *homebrewer*.

Per minimitzar costos els tancs s'han construït a partir de barrils de cervesa i les parts sobrants s'han aprofitat per a altres elements. S'han emprat elements quotidians com una olla a pressió i s'ha construït un sistema regulador de pressió (per al tanc de fermentació cilíndric isobàric construït) en lloc d'adquirir-lo.

S'ha posat l'èmfasi en minimitzar la necessitat de manipulació manual durant l'elaboració. Per tant, s'han instal·lat els components de l'equip formant un circuit tancat amb sistema de bombeig, i s'ha incorporat un sistema que permet el control i la lectura de les temperatures de cada procés. Altres elements són el sistema de filtres amb mecanisme de tub en forma d'ela (que permet l'extracció del most dels tanc de maceració i de cocció d'una manera efectiva i sense necessitat de manipulació) i el sistema de dutxa (que permet automatitzar el procés de rentat i filtrat).

Un element que distingeix aquest equip d'altres equips emprats en algunes microcerveseries artesanes és el tanc de fermentació cilíndric isobàric amb vàlvula controladora de pressió, que permet prescindir de la doble fermentació en ampolla, ja que permet aprofitar el gas carbònic produït durant la fermentació per la carbonatació de la cervesa.

Es pot concloure que gràcies a les seves característiques, l'equip permet realitzar successives elaboracions obtenint el mateix producte amb les mateixes característiques organolèptiques, principalment gràcies a la cambra de fermentació, que permet realitzar les etapes de fermentació, maduració i clarificació controlant la temperatura desitjada; al tanc de maceració amb aïllament, que permet realitzar el procés a temperatura constant sense pèrdues tèrmiques i al sistema de control de temperatura de totes les etapes.

L'únic inconvenient és que, degut a la manca pressupostària, ha estat impossible l'adquisició d'un sistema d'embotellament isobàric que permeti realitzar l'embotellament sense pèrdues del gas carbònic. Per tant, el producte final pot embotellar-se amb una lleugera pèrdua de gas o es pot emmagatzemar en el mateix fermentador cilíndric per al seu consum directe, a l'estil d'alguns *brewpubs*.

SUMMARY

Technical Agricultural Engineering

Title: Construction of craft beer making equipment

Keywords: craft beer, construction, equipment, cylindrical-conical fermentation tank

Author: David Garcia Serrano

Tutor: Anna Dalmau Roda (UVic)

Date: Setembre de 2014

Catalonia has seen a rapid development of the craft beer sector and the set-up of many microbreweries and specialised stores, which offer material and knowledge resources. Therefore, this project belongs in a context which fosters the development of craft beer techniques.

This project is based on the construction of craft beer making equipment using reused material and on a limited budget. The equipment allows carrying out the production process of microbreweries on a small scale. The understanding of the theoretical and practical foundations of the craft beer making process and the experimentation with a homebrewer kit have served as a basis.

In order to minimise the cost of construction, the tanks have been built using reused beer kegs, and the non-used parts have been used for other components. Everyday utensils such as a pressure cooker have been used, and a pressure regulator system (for the built cylindrical-conical fermentation tank) has been built instead of bought.

The reduction of manual manipulation has been stressed. Therefore, the components of the equipment form a closed circuit, and among other elements, the following have been installed: temperature control system, filters with L-tube for the extraction of the wort of the mashing and hot water tank and a sparge arm for lautering and sparging.

A component which distinguishes this equipment from others used in some microbreweries is the cylindrical-conical isobaric fermentation tank with a pressure regulator system, which allows to disregard secondary fermentation after bottling, as it allows the use of the carbon dioxide gas produced during fermentation for beer carbonation.

One of the main elements is the fermentation chamber, which allows fermenting, maturing and clarifying beer controlling the desired temperature. This allows the brewing of any style of beer, regardless of the required temperature of these stages of the process.

It can be concluded that thanks to the equipment characteristics consecutive batches can be produced with almost identical organoleptic characteristics, mainly thanks to the fermentation chamber, which allows the control of fermentation, conditioning and clarification temperatures; to the mash tank with thermal insulation which allows regular temperature during the mashing without heat loss, and to the temperature control system.

The only inconvenience is that due to the lack of budget, it has been impossible to purchase an isobaric bottle filler which could allow bottling the beer without carbon gas loss. Therefore, the beer can be bottled with a slight gas loss or it can be stored in the same cylindrical-conical fermentation tank for direct consumption, as in many brewpubs.

1. INTRODUCCIÓ

Catalunya és un dels territoris de l'Estat espanyol on més microcerveseries artesanes s'han establert. Així mateix, han proliferat negocis relacionats, com ara botigues especialitzades i cerveseries de qualitat, on es pot trobar tot el material adient per a la producció de cervesa a petita escala, a més de ser bressol de la difusió de la cultura de la cervesa artesana. Un exponent únic és 2D2Dspuma (Barcelona), que és un dels vincles a Catalunya amb una de les autoritats mundials de la cervesa artesana, el Beer Judge Certification Program (BJCP), els objectius del qual són la difusió de la cultura de la cervesa i el desenvolupament d'eines estandarditzades, mètodes i processos per a la seva avaluació.

També són importants a aquests efectes les fires de cervesa artesana, que a Catalunya són molt nombroses. La Fira del Poblenou de Cerveses Artesanes, consolidada ja com la més important fira de cervesa artesana de Barcelona, va celebrar la seva tercera edició els dies 11, 12 i 13 de juliol de 2014 i hi van estar presents 40 cerveseries. Els dies 26 i 27 d'abril de 2014, va tenir lloc la segona edició de la Fira de la Cervesa Artesana de l'Hospitalet. La Fira de la cervesa artesana a Granollers es va celebrar dissabte 5 de juliol, i hi van assistir els sis elaboradors del Vallés Oriental: Art Cervesers, As Cervesa Artesana, Hort del Barret, Catalan Brewery, Cervesa Artesana Moon i Cervesa Sant Jordi.

Segons el Gremi d'Elaboradors de Cervesa Artesana i Natural, la cervesa artesana és aquella produïda sense additius ni conservants i sense pasteuritzar. El procés artesà d'elaboració consta de cinc etapes bàsiques: la maceració, la cocció, el refredament, la fermentació i l'envasat i per considerar com artesana una producció no pot excedir els 7500 litres per tanc de cocció.

Les cerveses artesanes, que en conjunt produeixen uns 40000 hectolitres, només representen el 0,1% de la producció total de cervesa al conjunt de l'Estat espanyol. No obstant això cal remarcar que, mentre que la cervesa industrial es troba en un estancament de producció després de patir un descens de producció el 2012 i el 2013, el sector de la cervesa artesana continua expandint-se.

Per tant, aquest projecte s'emmarca en un sector en ple auge i expansió on progressivament les empreses productores estan invertint en les últimes tecnologies d'elaboració que permeten l'obtenció d'un producte artesà de molta qualitat.

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest projecte és la construcció d'un equip d'elaboració de cervesa artesana partint d'un pressupost reduït i utilitzant materials reutilitzats per abaratir costos. Es pretén que l'equip permeti produir elaboracions successives de cervesa amb característiques organolèptiques pràcticament idèntiques, reproduint a petita escala els processos d'elaboració que es duen a terme en les microcerveseries artesanes actuals.

Els objectius específics són:

1. Estudiar i comprendre els fonaments teòrics dels processos d'elaboració de cervesa.
2. Experimentar amb un equip bàsic l'elaboració de cervesa.
3. Establir les necessitats de construcció de l'equip.
4. Construir l'equip amb materials reutilitzats i amb un pressupost reduït.
5. Comprovar que l'equip permet l'obtenció del mateix producte en successives elaboracions.

3. LA CERVESA

3.1 DEFINICIONS

Segons l'article 2.9 del *Real Decreto 53/1995, de 20 de enero*, [...] la cerveza és la bebida resultante de la fermentación alcohólica, mediante levadura seleccionada, de un mosto procedente de malta de cebada, solo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, adicionado con lúpulo y/o sus derivados y sometido a un proceso de cocción. Segons l'article 5 d'aquest mateix Reial Decret, el procés d'elaboració consta de quatre fases fonamentals:

a) *Preparación de la malta: los cereales serán sometidos a limpieza, remojo y germinación y, posteriormente, a desecación y tostado.*

b) *Obtención del mosto: de la malta previamente molida y adicionada en su caso de las materias amiláceas a que se refiere el apartado 9 del artículo 2, se obtendrá el mosto mediante un proceso de extracción por sacarificación enzimática. A continuación se clasificará mediante filtración, se agregará el lúpulo en este punto y/o en etapas posteriores y se seguirá con un proceso de cocción. Una vez extraídos los principios propios y aromáticos del lúpulo, se refrigerará el mosto.*

c) *Fermentación del mosto: al mosto destinado a la elaboración de la cerveza, se le adiciona levadura seleccionada, del género «sacharomyces», y se le somete a fermentación por medio de los sistemas denominados fermentación alta o fermentación baja.*

d) *Maduración y clarificación: la cerveza obtenida después de la fermentación será sometida a un proceso de maduración en bodega y, en su caso, a posterior clarificación.*

3.2 HISTÒRIA DE LA CERVESA

Segons explica Fermun (2013, p. 11-14), la història de la cervesa, una beguda pràcticament universal, es remunta aproximadament a l'any 4000 aC, quan Sumer i Mesopotàmia elaboraven el Sikaru, produït a partir del pa d'ordi fermentat. Posteriorment, durant la primera dinastia egípcia (3315-3100 aC), la cervesa era ja una beguda molt popular. També en Àsia s'elaborava una espècie de cervesa anomenada *tsiou*.



Fig 1: Rellu egípcia que mostra una dona vessant una beguda similar a la cervesa. Imatge extreta de: <http://www.eleconomista.es/blogs/gastrobecario/?p=641>

En els pobles del Mediterrani era habitual el consum de cervesa. Era molt apreciada pels grecs, que l'anomenaven *zythos*. Plini en els seus escrits parla d'Egipte, la Gàl·lia i Hispània com els llocs on s'elaboraven les cerveses més conegudes.

Al llarg de l'Edat Mitjana, en el nord d'Europa va florir el consum i l'elaboració de cervesa. En aquella època l'aigua era transmissora de nombroses malalties, en canvi, la cervesa, gràcies al procés de fermentació oferia seguretat higiènica.

Les primeres addicions de llúpul al most de la cervesa de què es té constància daten del segle XI, quan l'abadessa del monestir de Rupertsberg, Hildegarda de Bingen, va introduir aquest nou ingredient en el procés d'elaboració. A partir d'aquest moment deixen d'utilitzar-se per a l'aromatització de cervesa herbes com la murta, el romaní, el coriandre o la artemísia. L'ús del llúpul com aromatitzant i amargant dona com a resultat, gràcies a les seves propietats conservants, un augment del temps de l'emmagatzematge.

Tot i això, fins el segle XII no es reconeix l'ús del llúpul en la indústria artesana cervesera, i no va ser fins el segle XIII que es va començar a associar al gust de la cervesa produïda en la majoria de ciutats europees.

La primera recepta escrita en Europa de cervesa *ale* (estil d'alta fermentació) apareix en el segle XIV a la ciutat de Gant (actualment la capital de la província de Flandes Oriental, Bèlgica). Durant aquest període, els monestirs eren el centre de cultiu i distribució de cereals i van convertir-se en els primers preservadors de la cervesa *ale*, ja que en els monestirs es posseïen els coneixements per a la seva elaboració. No van trigar a aparèixer conflictes d'interès entre els elaboradors monacals i els elaboradors laics. Els primers disposaven de privilegis fiscals i de grans propietats cultivables, en canvi els elaboradors laics havien d'adquirir cereals a elevat preu i pagar uns impostos excessius. Aquí radica l'origen entre la cervesa d'abadia (amb major densitat i aroma) i la *bier/beer* dels elaboradors laics.



Fig 2: Monjos tastant cervesa. Imatge extreta de: <http://www.cerveceo.com/blog/tag/cerveza-belga/>

El 23 d'abril de 1516, gràcies a la popularitat que havia adquirit la cervesa, la seva elaboració va ser reglamentada per Guillem IV de Baviera, donant lloc al que es coneix com la llei de la puresa. Aquesta llei tenia validesa en el territori del Sacre Imperi Romà Germànic i limitava l'ús de només tres ingredients per a l'elaboració de cervesa: aigua, llúpul i malt d'ordi.

A principi del segle XV va aparèixer en els monestirs alemanys una nova cervesa. Aquesta cervesa tenia la particularitat que la fermentació es produïa en el fons del tanc de fermentació, a diferència de la resta de cerveses tradicionals, en les quals l'acció dels llevats tenia lloc en la superfície. Aquesta nova cervesa necessitava condicions de fred per a la seva fermentació per la qual cosa s'emmagatzemava en coves, i se la va denominar *lagerbier*, de l'alemany *lagern* (emmagatzemar). Això va suposar una separació d'estils de cervesa a Europa. D'una banda les illes britàniques van continuar produint una cervesa de fermentació alta (*ale*), obtinguda gràcies al *S. cerevisiae*, en canvi la major part d'Europa central va adoptar aquesta nova variant de cervesa de baixa fermentació (*lager*) fermentada pel llevat *S. pastorianus*.

Un dels primers investigadors que va observar amb microscopi els llevats de cervesa va ser Jean Baptiste Joseph Desmazières. L'any 1827 va publicar un article on es mostraven il·lustracions de llevats, els quals va denominar *Mycoderma cerevisiae*. Aquest va ser el primer cop que es va reconèixer el llevat com ésser viu, encara que no se li atribuïa la capacitat de fermentació.

A finals de la dècada de 1850, Pasteur va començar a estudiar el procés de fermentació portat a terme pels llevats. Va descobrir així que es nodreixen de sucre produint substàncies residuals, etanol i diòxid de carboni. A més, el descobriment del procés de pasteurització va permetre un temps d'emmagatzematge de la cervesa més llarg.

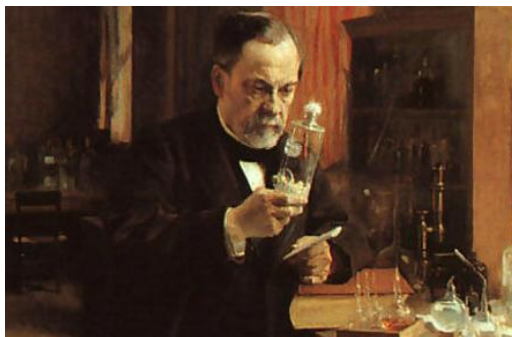


Fig 3: Louis Pasteur. Imatge extreta de: http://www.culturebeer.com/sitio/sec_contenidosview.php?sec_id=129

Molts productors van aprofitar aquest descobriment, junt amb altres avenços tecnològics com el disseny dels taps corona, que van suposar un revolució en l'embotellament del producte, per transformar la cervesa en un dels primers aliments industrialitzats. Aquest procés va provocar una desaparició progressiva dels petits productors de cervesa, especialment a Espanya, on durant les primeres dècades del segle XX es va produir una considerable disminució de les microcerveseries.

3.3 ACTUALITAT DEL SECTOR CERVESER

Actualment a Espanya predominen les grans fàbriques de cervesa, que monopolitzen quasi la totalitat del mercat, tot i que en els darrers anys ha tingut lloc un augment de les microcerveseries, que ofereixen un producte de més qualitat i de distribució local (Fermun, 2013, pp. 11-14).

Segons l'*Informe socioeconòmic del sector de la cervesa en Espanya 2013*, del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient, a Espanya es consumeixen 47,5 litres per capita, mentre que la mitja europea és de 72,8 litres. Tot i això, Espanya és el quart productor de cervesa a Europa, amb una producció anual de 33 milions d'hectolitres, quasi el doble que Bèlgica, i només superada per Alemanya (95), Regne Unit (45) i Polònia (37).

Quant als productors espanyols, segons el mateix informe, el grup líder es Mahou San Miguel (Grimbergen, Carlsberg o Alhambra), amb 12,3 milions d'hectolitres i una quota de mercat del 37%. En segona posició es troba Heineken (Cruzcampo, Sol, Murphy's...) amb 9,8 milions d'hectolitres i una quota de mercat del 30%. En tercera posició, Damm (Estrella, Keler, Skol...) amb 8,2 milions d'hectolitres i un 25% de quota de mercat. A una considerable distància es troba Hijos de Rivera (Estrella Galicia), la Compañía Cervecería de Canarias (Dorada, Tropical), i La Zaragozana (Ambar, Sputnik, Moritz...) amb percentatges que van del 3,6% a l'1,5%.

Un altre cas són les cerveses artesanes, que en conjunt produeixen uns 40000 hectolitres. Això vol dir que al voltant del 0,1% de la producció total de cervesa en Espanya és artesana. No obstant això, el sector de la cervesa artesana continua creixent a bon ritme, al contrari que la cervesa industrial que es troba en un estancament de producció, després de patir un descens de producció el 2012 i 2013. Tanmateix, el sector de la cervesa artesana, que en alguns països com els Estats Units o Itàlia té una quota de mercat del 6 i del 3% respectivament, encara té un marge ampli per a l'expansió.

3.4 CLASSIFICACIÓ DE LA CERVESA

3.4.1 Estils i classificació

Segons el tipus de fermentació

Cerveses de baixa fermentació (lagers)

La fermentació té lloc a baixa temperatura, amb el llevat al fons del tanc de fermentació. Aquestes cerveses es denominen *lagers*, i són suaus, lleugeres i refrescants. Són les més populars mundialment. Aquesta família inclou diversos tipus de cervesa, com la *Pilsner*, *Dortmunder*, *Muncher*, *Bock* and *Double Bock (Doppelbock)*

Cerveses d'alta fermentació (ales)

La fermentació té lloc a alta temperatura i el llevat es desenvolupa en la part superior del tanc. Són cerveses conegudes com a *ales*. Són generalment cerveses amb més cos, més gustoses i amb més grau d'alcohol. Aquesta família inclou *pale ales*, *mild ales*, *strong ales*, *stouts* i *porters*. Les cerveses *Trappis*, *Abbey* i les blanques, que pateixen una fermentació secundària en ampolla també pertanyen a aquesta branca.

Cerveses de fermentació espontània

Aquest tipus de fermentació no implica l'addició de llevat per part de l'elaborador. El most, en tancs poc profunds, s'exposa a llevats presents en l'aire. La cervesa continua la fermentació en barrils de fusta durant mesos. Aquest mètode artesà és una especialitat de la vall del Senne a Bèlgica, on el procés és estrictament regulat. La denominació de *Lambic* es reserva per a la cervesa produïda pels artesans belgues.

Segons els ingredients

El més habitual és que la cervesa es prepari amb malt d'ordi, per la qual cosa no se sol indicar aquest ingredient. En canvi, si l'ordi s'ha combinat en quantitats significatives amb un altre cereal, com blat o civada, la cervesa sol denominar-se cervesa de blat, de civada... No obstant això, si únicament s'ha utilitzat ordi en la seva elaboració, i cap altre cereal auxiliar (de vegades s'usa blat de moro), la cervesa pot denominar-se 100% malt.

El tipus de llúpul utilitzat no sol influir en el nom de la cervesa, excepte en el cas de la cervesa *Pils* o *Pilsener*, que fa referència a les cerveses fetes originalment a la ciutat de Pilsen amb ordis de Moravia i llúpols de Zatec o Saaz de Bohèmia, encara que actualment aquest nom s'ha estès a les imitacions històriques alemanyes elaborades amb ordis i llúpols similars.

Segons l'aspecte

A vegades les cerveses es denominen segons el color (cervesa ambre, vermella o rossa). També poden classificar-se segons la transparència (cerveses tèrboles o transparents). Les cerveses negres reben aquest distintiu pel contingut de malts molt torrats. Algunes cerveses negres especialment robustes es denominen *stout* («robust» en anglès).

Procediments particulars

Algunes cerveses prenen la denominació d'algun procediment específic de la seva elaboració: la *Rauchbier* o cervesa fumada s'elabora amb malts impregnats pel fum de la llenya que s'ha emprat per torrar-lo. La *Steambeer* o *Dampfbier* es denomina així perquè per a l'elaboració s'empra maquinària de vapor. La *Stachelbier* alemanya es denomina així per l'ús d'una barreta de ferro (*Stachel*) utilitzada per escalfar-la i caramel·litzar alguns sucres. Aquest procediment també era habitual a Irlanda. La *Steinbier* pren el nom de les pedres (*Stein*) calentes emprades per escalfar el most.

Procedència o denominació d'origen:

Moltes cerveses prenen el nom del seu lloc d'origen, com és el cas de les cerveses d'abadia (un exemple són les cerveses *Trappistes* elaborades exclusivament en monestirs d'aquest ordre). A banda, existeixen dos tipus de cerveses amb denominació d'origen: la *bière de garde* del Nord de França, i la *Kölsch* que només pot elaborar-se a Colònia.

3.4.2 Classificació segons el Beer Judge Certification Program (BJCP)

El Beer Judge Certification Program (BJCP) és una institució estatunidenca fundada el 1985, els objectius de la qual són la difusió de la cultura de la cervesa i el desenvolupament d'eines estandarditzades, mètodes i processos.

Segons aquesta institució, les guies d'estil del BJCP són descriptives, no preceptives. És més, des d'aquesta autoritat del món cerveser es potencia la idea que els estils no són estàtics, evolucionen, i per tant també ho fan les guies.

Aquestes guien d'estil combinen dos corrents de pensament que semblen antagònics, però que s'han sintetitzat per donar lloc a la catalogació.

La primera escola, hereva del llegat del cerveser i escriptor Michael Jackson, és partidària d'una aproximació històrica de les classificacions de la cervesa, i per tant considera que cal agrupar les cerveses segons la família d'estil de la qual deriven. Per contra, l'altra línia de pensament emfatitza la importància de les subcategories, on es poden agrupar cerveses de diverses famílies, perquè comparteixen característiques que faciliten la reducció de diferències sensorials, permetent un judici més encertat de les cerveses de determinada subcategoria.

El BJCP reuneix quatre factors que defineixen la cervesa: la densitat inicial o DI (original gravity en anglès), densitat final o DF (final gravity), grau d'alcohol (ABV% en anglès), els IBU (unitats d'amargor) i les unitats de color (SRM en anglès). A continuació es defineixen aquests criteris.

STYLE	OG	FG	ABV%	IBU	SRM
1. LIGHT LAGER					
A. Lite American Lager	1.028-40	0.998-1.008	2.8-4.2	8-12	2-3
B. Standard American Lager	1.040-50	1.004-10	4.2-5.3	8-15	2-4
C. Premium American Lager	1.046-56	1.008-12	4.6-6.0	15-25	2-6
D. Munich Helles	1.045-51	1.008-12	4.7-5.4	16-22	3-5
E. Dortmunder Export	1.048-56	1.010-15	4.8-6.0	23-30	4-6
2. PILSNER					
A. German Pilsner (Pils)	1.044-50	1.008-13	4.4-5.2	25-45	2-5
B. Bohemian Pilsener	1.044-56	1.013-17	4.2-5.4	35-45	3.5-6
C. Classic American Pilsner	1.044-60	1.010-15	4.5-6.0	25-40	3-6

Fig 4: Extracte de la taula de classificació de les cerveses segons el BJCP. Imatge extreta de http://www.bjcp.org/docs/2008_Guidelines.pdf

Densitat inicial-DI (Original gravity-OG)

És la mesura de les substàncies fermentables i no fermentables del most abans de la fermentació.

Densitat final-DF (Final Gravity-FG)

És la mesura de les substàncies fermentables i no fermentables de la cervesa després de la fermentació.

Grau d'alcohol

Si es resta la DI a la DF, es divideix el resultat per 7,45, es pot determinar el grau alcohòlic exacte. Per exemple, si tenim una densitat inicial de 1.054 i una densitat final de 1.015, el resultat serà un 5.2% d'alcohol.

IBU

Els IBU (International Bitterness Units) són una mesura internacional d'amargor, i fa referència a la quantitat d'iso- α -àcids dissolts en una cervesa. Un IBU es equivalent a un mil·ligram d'iso- α -àcids per cada litre de cervesa.

SRM

El sistema adoptat en 1958 per l'*American Society of Brewing Chemists* (ASBC) per mesurar el color d'una cervesa és l'SRM. L'SRM es determina mesurant la reducció d'intensitat que pateix un feix de llum monocromàtic de longitud d'ona de 430nm (blava) al travessar ½ polsada de cervesa.

Un altre sistema per a mesurar el color d'una cervesa és l'EBC, sistema adoptat en 1991 per la European Brewing Convention. És l'equivalent de l'SRM en Europa. L'EBC és molt similar a l'SRM, diferenciant-se només en la unitat de color. En el EBC és 25 vegades l'absorbància a 430 nm, en comptes de les 12,7 vegades de l'SRM.

3.5 MATÈRIES PRIMERES

3.5.1 Aigua

L'aigua és l'ingredient present en major proporció en la cervesa, ja que representa un 90%. L'aigua ha de ser neta i cristal·lina, potable, sense gustos ni olors, i amb valors moderats de sals minerals, sense fangs, llots ni matèries orgàniques.

L'aigua, en la seva composició químicament pura (H₂O), està formada per hidrogen i oxigen, però depenent de la zona d'on prové, presenta en diferents proporcions substàncies com sals minerals, metalls o altres elements químics, com ara ferro sulfurs, sofres, sulfats i clorurs. Això dona lloc a aigües amb diferents qualitats organolèptiques i que donen diferents perfils a la cervesa elaborada. Les característiques de l'aigua que tenen un impacte en la cervesa són les següents:

Duresa

L'aigua es classifica com dura o tova depenent de la quantitat de carbonats o sulfats que tingui l'aigua. L'aigua dura presenta àcids carbònics que dissolen pedres calcàries en el seu recorregut fins al consum, augmentant la proporció de carbonat càlcic. En l'aigua tova predomina el sulfat de calci, per tant produirà una cervesa més clara, suau i de menor densitat degut a una mineralització baixa. Per contra, les aigües dures són més adequades per l'elaboració de cerveses fosques i amb densitat mitja-alta (Huxley, 2011, p.188).

La duresa es defineix com la concentració de compostos de calci i magnesi dissolts en aigua, corresponents al contingut de ions alcalinoterris. La duresa es pot classificar en dos grups:

Duresa temporal (carbonàtica): La duresa temporal és ocasionada per una alta concentració de bicarbonats i carbonats de calci i magnesi. L'aigua en el punt d'ebullició contribueix a la formació de carbonat, per la qual cosa el calci precipitarà com a carbonat de calci i el magnesi en hidròxid de magnesi. Amb aquest procés s'aconsegueix eliminar la duresa temporal.

Duresa permanent (no carbonàtica): La duresa permanent és causada per la combinació d'ions de calci (Ca²⁺) i magnesi (Mg²⁺) amb ions de clorur (Cl⁻), sulfat (SO₄²⁻) i nitrat (NO₃²⁻). Aquest tipus de duresa no pot eliminar-se per ebullició.

Segons l'OMS, els tipus d'aigua segons la duresa es classifiquen d'aquesta manera:

Duresa (mg/l CaCO ₃)	Tipus d'aigua
0 – 60	Tova
61 – 120	Moderadament dura
121 – 180	Dura
> 180	Molt dura

Taula 1: Duresa de l'aigua segons l'OMS

pH de l'aigua

El pH és una escala numèrica que mesura l'acidesa o l'alcalinitat d'una dissolució. El pH indica la concentració de ions d'hidroni [H₃O⁺] presents en determinades substàncies.

L'escala de pH típicament va de 0 a 14 en dissolució aquosa, essent àcides les dissolucions amb pH menors a 7 i alcalines les que tenen pH majors a 7. El pH=7 indica la neutralitat de la dissolució (quan el dissolvent és aigua).

El pH de l'aigua sol estar al voltant de 7 i disminueix en el procés de macerat a 5,2-5,6. Això es deu a que els ions de Ca⁺² reaccionen amb els fosfats presents en el malt d'ordi acidificant la mescla. És millor que la mescla tingui un pH lleugerament àcid, al voltant de 5,3, per tal que les amilases produeixen els millors rendiments per extreure la màxima quantitat de sucres (Kunze, 2010, p.182).

Cal tenir en compte que els malts foscos tenen més capacitat d'acidificar el macerat que els pàl·lids, i per aquest motiu les aigües dures (amb nivells alts de bicarbonat que dificulten l'acidificació) s'utilitzen per a les cerveses fosques, per tal de contrarestar aquest efecte i aconseguir un pH òptim, i a l'inrevés.

Si el pH del macerat no es troba a l'interval adequat, hi ha la possibilitat de rectificar-ho químicament, tal com s'explica a continuació:

- Per reduir el pH es pot utilitzar sulfat de calci (CaSO₄) o afegir àcid làctic.
- Per augmentar el pH es pot utilitzar carbonat càlcic (CaCO₃)

També són importants l'impacte de certs ions de l'aigua (Huxley, 2011, p. 196-197):

Bicarbonats (HCO⁻³)

És el primer determinant del nivell de duresa temporal de l'aigua, pot reduir-se per ebullició.

-Evita l'acidificació en el procés del macerat. Si els nivells són baixos, la mescla serà massa àcida, sobretot si s'utilitzen malts torrats.

-Interfereix durant la fermentació amb els agents clarificants captant ions de calci.

-Disminueix l'efecte dels sulfats a l'hora d'extreure les resines del llúpul.

Magnesi (Mg⁺²)

Beneficia el metabolisme del llevat durant la fermentació. Les concentracions altes (> 30 ppm) donaran una amargor aspra.

Ions Na⁺

Accentua la dolçor a concentracions baixes (70-150 ppm), però té l'efecte contrari amb concentracions altes. És més suau i agradable en presència de clorurs, però atorga una certa aspror quan s'associa amb els sulfats.

Ions Ca⁺²

El calci és responsable de la duresa de l'aigua, i per tant té un paper important en l'elaboració de la cervesa.

Entre les funcions importants està la d'acidificar la mescla durant el macerat al reaccionar els ions amb els fosfats procedents del malt, reduint el pH. Facilita la precipitació de proteïnes durant l'ebullició al crear-se ponts entre elles. És un bon nutrient per als llevats, ajudant el seu metabolisme.

Ions SO₄⁻²

Els sulfats tenen un paper important en l'extracció de les resines del llúpul, ja que faciliten l'amargor i el gust sec de la cervesa, però si és elevat produeix gustos i aromes desagradables.

Ions Cl

En petites quantitats els clorurs aporten dolçor, però en quantitats més altes aporten gustos desagradables. El clor present en l'aigua que s'utilitza per a elaborar cervesa provocar gust medicinal.

El carbó actiu en facilita l'eliminació i a més a més s'utilitza per a absorbir les impureses dissoltes, gustos i olors desagradables de l'aigua. Una altra forma d'eliminar el clor és per bullit o deixant l'aigua a la intempèrie durant la nit.

Potasi (K⁺¹)

És necessari per al creixement del llevat. A >10 ppm inhibeix alguns enzims durant la maceració i pot aportar gustos salats. Contribueix indirectament en tot el procés.

3.5.2 Malt d'ordi

L'ordi

L'ordi (*Hordeum vulgare*), per poder ser utilitzat en la planta cervesera, ha de patir un procés de maltatge. Aquest és un procés que actualment es realitza en grans malteries comercials i no es realitza dintre de la planta d'elaboració de cervesa, sinó que les empreses cerveseres adquireixen el malt d'ordi llest per al seu ús. Un avantatge de l'ordi és que té un alt contingut de midó, i a més la clofolla segueix adherida al gra després de ser processat per a la transformació en malt.

Tipus d'ordi i varietats

Es distingeixen dos tipus d'ordi (Huxley, 2011, p.99): el tipus hivernal, que es sembra a mitjans de setembre i el tipus estival, que es sembra del març a l'abril. Al seu torn, es poden classificar en varietats de dos rengles o de sis rengles, segons l'ordenació dels grans sobre el raquis (eix de l'espiga). Les varietats de dos rengles són més propícies per a l'elaboració de malt i cervesa. Aquesta varietat d'ordi conté més substàncies útils i té menys clofolla, contenint així menys tanins i compostos amargs. El contingut d'extractes és comparativament alt.



Fig 5: Ordi de dos i sis rengles. Imatge extreta de: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15013029/29611-3797.pdf>



Fig 6: Gra d'ordi de la varietat de dos rengles (esquerra) i de sis rengles (dreta). Imatge extreta de: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15013029/29611-3797.pdf>

Estructura del gra d'ordi

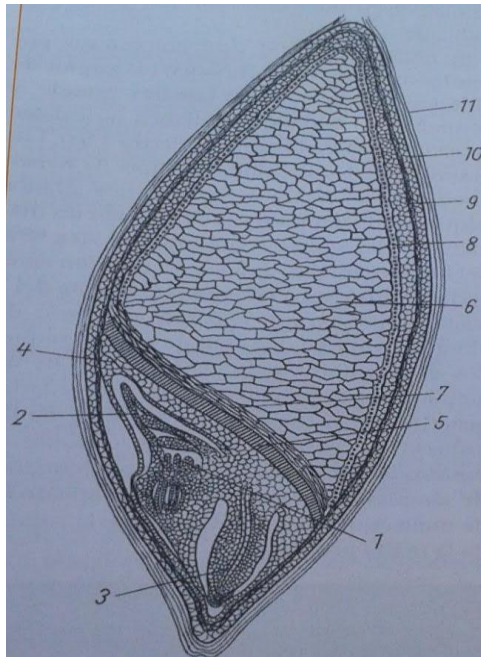


Fig 7: Secció longitudinal del gra d'ordi. Imatge extreta de Kunze, 2010, p.39)

1. Plúmula, 2. Acrospira, 3. Arrels, 4. Escutelo, 5. Capa epitelial, 6. Endosperma, 7. Cèl·lules buides. 8. Capa d'aleurona, 9. Testa, 10. Pericarpi, 11. Clofolles

Composició i propietats

El contingut d'aigua en l'ordi és d'aproximadament el 15%. L'ordi apte per a l'emmagatzematge ha de tenir un contingut d'aigua menor a 15%. El contingut restant es denomina matèria seca i té la següent composició (Kunze, 2010, p. 41-49) :

hidrats de carboni	70-85%
proteïnes	10,5-11-5%
substàncies minerals	2-4%
lípid	1,5-2%
altres substàncies	1-2%

Hidrats de carboni

Els hidrats de carboni són el major complex de substàncies des del punt de vista quantitatiu. Són importants el midó, els sucres, la cel·lulosa i la hemicel·lulosa.

El midó ($C_6H_{10}O_5$)

És el component més important i abundant de l'ordi (63%). El midó es metabolitza com a reservori d'energia en la primera etapa de creixement i s'emmagatzema com a grans de midó en les cèl·lules de l'endosperma. Els grans de midó estan composts per dues estructures diferents: amilosa i amilopectina.

El sucre

El contingut de sucre en l'ordi es molt baix (1,8 a 2 %). Com que el gra es troba en repòs durant la collita, hi ha pocs productes catabòlic, principalment la sacarosa, i en menor grau glucosa i fructosa.

La cel·lulosa

La cel·lulosa està formada per llargues cadenes sense ramificacions de residus de β -glucosa en enllaços 1,4. No obstant això, la cel·lulosa és insoluble i no és degradable pels enzims del malt. Per això la cel·lulosa no influeix a la qualitat de la cervesa.

L'hemicel·lulosa

Les hemicel·luloses són els components principals de les parets cel·lulars en l'endosperma. Estan compostes per β -glucans (80-90%) i pentosans (10-20%). Quan els β -glucans entren en solució, es condensen les molècules formant ponts d'hidrogen i formen associacions, que són filaments fins formats per micel·les disposades de forma antiparal·lela. La degradació dels β -glucans en el maltatge és d'extrema importància. Una degradació insuficient pot ser negativa a la cervesa finalitzada.

Les proteïnes

Les proteïnes són les substàncies albuminoides de major pes molecular; són insolubles en aigua i precipiten en la cocción. L'ordi té els següents grups de proteïnes:

Glutelines (30%). Aquesta proteïna està localitzada quasi exclusivament a la capa de l'aleurona, no es degrada posteriorment i passa sense modificacions als residus de l'ordi.

Prolamines (37%). Es dissolen en alcohol al 80% i una part arriba als residus de l'ordi.

Globulines (15%). Es dissolen en la maceració. Es componen de quatre components (alfa, beta, gamma i delta), dels quals la β -globulina sulfurosa no precipita mai completament i pot provocar terbolesa en la cervesa.

Albúmines (11%). L'albúmina de l'ordi s'anomena leucosina i precipita completament en la cocció.

Greixos (lípid)

L'ordi conté aproximadament un 2% de greixos. Aquests greixos estan dipositats en la capa de l'aleurona i en l'embrió. Els components principals dels greixos són els àcids grassos.

Els àcids grassos no saturats tenen una importància especial en la producció de cervesa. Són necessaris per a la constitució de la paret cel·lular del llevat, i els seus derivats són també responsables dels processos de maduració del gust de la cervesa. Els àcids grassos de cadena mitjana es formen especialment durant la fermentació principal i s'excreten durant la maduració de la cervesa per l'acció del llevat. Tenen un efecte particularment negatiu sobre l'escuma.

Substàncies minerals

El contingut de substàncies minerals en l'ordi és del 2 al 3%. Les més importants són:

Fosfats (35%): òxid de fòsfor (P_2O_5)

Silicats (25%): diòxid de silici (SiO_2)

Sals de potassi (20%): òxid de potassi (K_2O)

Els fosfats són importants per la seva presència en els principals compostos orgànics del gra d'ordi (com en el cas de la fitina, en els àcids nucleics, en els coenzims i en les substàncies albuminoides).

Els silicats es troben en la clofolla i en el midó. Són solubles en forma col·loidal i detectables en qualsevol terbolesa de la cervesa.

Tanins o polifenols

Els tanins es troben dipositats en la clofolla de l'ordi i en la capa de l'aleurona. En grans quantitats es caracteritzen per un gust desagradablement aspre i amarg. Generalment, la quantitat d'aquesta substància augmenta amb el gruix de la clofolla. Per això, per a l'elaboració de cervesa són preferibles ordis amb menys clofolla, com els de la varietat de dues fileres, tal com s'ha explicat anteriorment.

Vitamines

Vitamina B1 (tiamina). Dipositada principalment a les parts externes del gra.

Vitamina B2 (riboflavina).

Vitamina C (àcid ascòrbic). En petita quantitat.

Vitamina E (tocoferol). Es troba en els greixos de l'embrió.

Malt d'ordi

L'ordi, per poder ser utilitzat en la planta cervesera, ha de patir un procés de maltatge. Aquest és un procés que actualment es realitza en grans malteries i no es realitza dintre de la planta d'elaboració de cervesa, ja que les empreses cerveseres adquireixen l'ordi ja maltejat.

Per a l'obtenció del malt, l'ordi es sotmet a un procés de germinació per absorció d'aigua, i s'interrumpeix en el moment adequat mitjançant un procés d'assecat i torrat. El principal objectiu del maltatge és incrementar l'activitat enzimàtica del gra d'ordi.

Com s'ha explicat anteriorment, el gra d'ordi té un contingut relativament baix de sucres fermentables (1,8-2 %) i un contingut elevat de (midó 63%). Durant la germinació la quantitat de midó es veu reduïda al 58% i la quantitat de sucres fermentables augmenta al 8%.

L'objectiu principal d'aquest procés és incrementar el contingut d'enzims amilolítics, que seran els encarregats de degradar el midó durant la maceració, generant grans quantitats de sucres fermentables necessaris per a realitzar la fermentació.

Una gran quantitat d'enzims són sintetitzats durant la germinació del gra, sent les més importants les amilases les glucanases i les proteases. La β -amilasa es troba en el gra d'ordi principalment en l'endosperma tant en forma activa com en forma de precursor insoluble. Durant la germinació el precursor es transforma en enzim soluble actiu. La α -amilasa no es troba present en l'ordi, però es sintetitza de forma abundant durant la germinació, principalment en la aleurona (Garibay, 2004, p. 274).

3.5.3 Llúpul

El llúpul (*Humulus lupulus*), és una planta enfiladissa perenne i dioica que pertany al grup de les urticàcies i a la família *Cannabaceae*. En les fàbriques de cervesa s'utilitzen únicament les inflorescències de les plantes femenines, que contenen les resines amargues i els olis que atorguen a la cervesa els components aromàtics i amargants.



Fig 8: Plantació de llúpul. Imatge extreta de: http://www.culturebeer.com/sitio/sec_contenidosview.php?sec_id=25

Formats de comercialització

Per al seu ús en l'elaboració de cervesa, el llúpul es comercialitza en tres formats diferents: flors (cons), pellets i extracte (Tintó *et al.*, 2004, p.64)

Flors (cons)

Les flors del llúpul es recolecten i s'assequen mitjançant aire calent a 60-65°C durant 10 hores. El producte final es compacta i s'envasa per a preservar-lo de l'aire i la llum. Els cons sencers són els més adequats per evitar problemes durant el filtrat, ja que no es descomponen i ajuden a la formació del llit filtrant.

Pellets

És una presentació en forma de pastilla. En aquest cas el llúpol es tritura en partícules molt fines i es premia, adquirint un aspecte de pinso verd. El premsat evita l'oxidació del llúpol i millora la conservació i el rendiment. En general, el rendiment del *pellet* és un 15% superior al dels cons, però, per contra, es desfan durant la cocció dificultant el filtrat del most. Tant aquest format com les flors (cons) són els més emprats en les certeres artesanes, que reivindiquen un producte més natural i que aportí millors qualitats organolèptiques.

Extracte

Els extractes d'oli de llúpol s'utilitzen per ajustar l'amargor sense necessitat de bullit, ja que els α -àcids ja es troben isomeritzats en aquest producte. No aporten propietats aromàtiques, només amargor. S'utilitzen en les grans certeres, ja que els altres formats de llúpol presenten inconvenients com que presenten un menor rendiment, dificulten el filtrat i a més ocupen massa espai d'emmagatzematge.



Fig 9: A l'esquerra, flors o cons (dalt) i pellets (a sota), i a la dreta extracte de llúpol. Imatges extretes de:
<http://www.latiendadelcervecero.com/es/extractos-y-aceites-de-lupulo/285-extracto-de-lupulo-isomerizado.html> i
<http://www.elrincondelcervecero.c>

Composició

Les substàncies importants del llúpol i que influeixen a la qualitat de la cervesa són (Kunze, 2010, p.60-64):

compostos amargs	18,5%
oli de llúpol	0,5%
tanins	3,5%
proteïnes	20%
substàncies minerals	8%

La resta del llúpol està composta per cel·lulosa i altres substàncies que no són importants per a la fabricació de cervesa.

Compostos amargs o resines de llúpol

En un estat primari de desenvolupament, la planta del llúpol forma uns β -àcids lleugerament amargs, que secreten les glàndules de lupulina en formació. Al llarg del procés de maduració, una part d'aquests β -àcids es converteix en α -àcids, notablement més amargs. Aquesta conversió depèn en gran mesura de les condicions climàtiques. Les temperatures càlides i seques tenen un impacte negatiu en aquesta conversió.

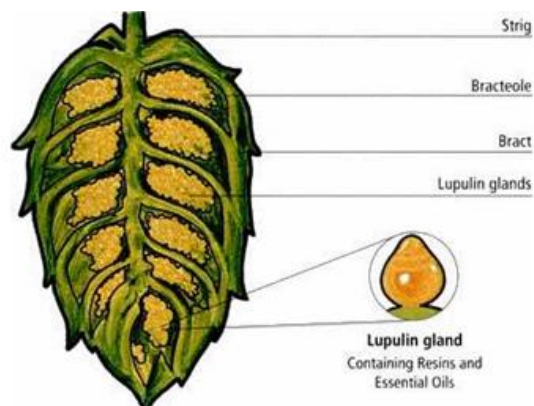


Fig 10: Esquema de les parts del con de llúpul. Imatge extreta de:
<http://www.visitcarlsberg.dk/dansk/omol/olskolen/ingredienser/Pages/Humle.aspx>

- α -àcids

Els α -àcids o humulones són els composts més importants per a l'amargor de la cervesa, però no presenten una composició uniforme. Un dels compostos, la cohumulona, té un impacte negatiu en l'amargor de la cervesa, per aquest motiu, s'intenten obtenir varietats amb una proporció menor de cohumulona en els cultius de llúpul, amb concentracions menors de 20-25%.

Els α -àcids, primerament insolubles, s'isomeritzen en la cocció del most i es converteixen en α -àcids solubles (iso- α -àcids o isohumulones), que, excepte les precipitacions durant la fermentació, acaben en la cervesa final i són els causants de l'amargor. Els compostos amargs són molt tensioactius i milloren l'estabilitat de l'escuma, per tant una cervesa amarga tindrà una millor estabilitat de l'escuma.

Com que la membrana que cobreix les glàndules de llupulina és permeable i protegeix molt poc el contingut, els α -àcids no es conserven il·limitadament, ja que es degraden a causa de la influència de l'oxigen. Per tant, després de la formació dels α -àcids comença la seva degradació fins a la maduresa. Per això és necessari emmagatzemar el llúpul en un lloc fred, sec i hermètic a l'aire, fins que sigui processat.

- β -àcids

Els tres compostos principals són la lupulona, la colupulona i l'adlupulona. Aquests àcids atorguen molta menys amargor, i per tant no tenen tanta importància en el procés de fabricació. Aquests components comencen a tenir importància quan els llúpols envelleixen i els α -àcids es perden. Mentre que els α -àcids es degraden amb el temps i amb l'oxidació, els β -àcids milloren.

Oli de llúpul

El llúpul conté de 0,5 a 1,2% d'oli de llúpul. S'hi troben aproximadament de 200 a 250 substàncies com èsters, fusels, aldehids, cetones i àcids, els quals són particularment volàtils en la cocció. Es secreten en la llupulina de la planta en maduració i donen al llúpul una aroma característica. Els més importants són uns compostos molts aromàtics anomenats terpens.

Tanins o polifenols

El llúpul conté de 2 a 5% de tanins en la matèria seca, els quals es troben quasi exclusivament en les bràctees i els raquis. Les propietats més importants són:

1. Proporciona gust astringent i sensació de sequedat intensa i amargor.
2. La capacitat de combinar-se amb substàncies albuminoides complexes i de precipitar-les.
3. S'oxiden cap a compostos rogencs i marronosos (els flobafens).
4. Es combinen amb sals de ferro formant compostos negrosos.

Contribució i ús

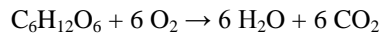
El llúpul s'addiciona en el most durant el procés de cocció de la cervesa. Depenent del moment en que s'addiciona al tanc de cocció el llúpul s'anomenarà llúpul d'amargor, de gust o d'aroma (consultar 4.6.2 *Addició del llúpul*). També es pot afegir el llúpul en el procés de maduració de la cervesa per tal d'augmentar l'aroma del producte final, mètode que es coneix com a *dry hopping*.

L'amargor proporcionada pel llúpul equilibra la dolçor dels sucres del malt i dona un toc final refrescant. Com s'ha explicat anteriorment, l'agent principal que proporciona l'amargor són els α -àcids. Com més llarga sigui la cocció, més percentatge d'isomerització i més amargor tindrà la cervesa. No obstant això, els olis que contribueixen al gust i a l'aroma característics són volàtils i es perden si la cocció es massa llarga (Palmer, 2006, p. 76-77).

3.5.4 Llevat

Els llevats són fongs unicel·lulars no filamentosos amb una morfologia esfèrica o ovalada. Els llevats es troben àmpliament distribuïts per la natura en la superfície de fulles i fruits. La majoria de llevats formen colònies d'organismes unicel·lulars que es reproduïxen per gemmació (Martinko *et al*, 2009, p.485).

Per a la realització del seus processos metabòlics vitals i la formació de noves substàncies cel·lulars, el llevat necessita energia i nutrients. L'energia per a la realització d'aquests processos l'obté preferentment per mitjà de la respiració. Amb la respiració, els nutrients ingerits, com en el cas de la glucosa, es degraden a CO_2 i H_2O sense que quedin residus (Kunze, 2010, p.98).



Davant l'absència d'aire, el llevat realitza la fermentació alcohòlica, i es forma alcohol (etanol) i CO_2 a partir de la glucosa.



Llevats emprats per a la fermentació de la cervesa

Per a l'elaboració de cervesa s'utilitzen llevats de l'espècie *S. cerevisiae* i *S. pastorianus* (un híbrid entre *S. bayanus* i *S. cerevisiae*, també conegut com *S. carlsbergensis*). En la indústria cervesera aquestes dues espècies s'acostumen a classificar segons els tipus de fermentació que realitzen. Es classifiquen en llevats d'alta fermentació (*S. cerevisiae*) i llevats de baixa fermentació (*S. pastorianus*). Kunze (2010, p.100-102) estableix les diferències entre aquestes dues espècies:

Els llevats d'alta i baixa fermentació es diferencien pel seu comportament de gemmació. En les soques de *S. cerevisiae* les cèl·lules mare i filla es mantenen unides durant un temps llarg, formant cadenes cel·lulars ramificades. En les soques de *S. pastorianus* es separen després de finalitzar la propagació, per tant es troben com a cèl·lules individuals o parelles.

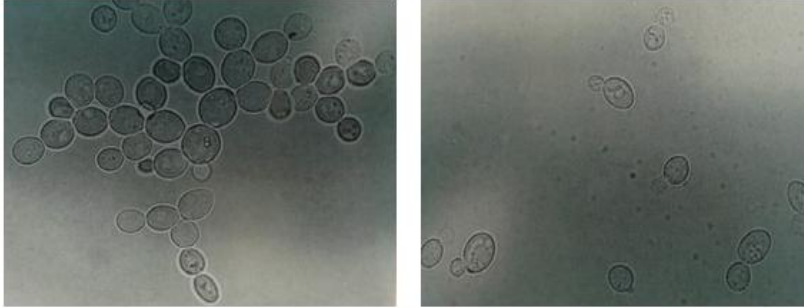


Fig 11: Llevat de fermentació alta (*S. cerevisiae*) (esquerra) i llevat de fermentació baixa (*S. pastorianus*) (dreta). Imatge extreta de: Kunze, 2010, p.101

La fermentació realitzada amb les soques de *S.cerevisiae* té lloc en la superfície del tanc de fermentació mentre que les realitzades per soques de *S. pastorianus* es realitzen en la part inferior del tanc.

Al final de la fermentació els llevats d'alta fermentació ascendeixen a la superfície del tanc i es separen per succió. En canvi els llevats de baixa fermentació flocculen cap al fons del tanc i són separats per decantació.

Actualment, la diferència entre aquestes espècies pel que fa a la flocculació s'han eliminat, ja que s'utilitzen amb èxit llevats d'alta fermentació modificats que tenen una bona capacitat flocculant i poden ser purgats per la part inferior del tanc de fermentació cilíndric.

Per tant, la diferència fonamental entre aquestes espècies no és la flocculació, sinó la temperatura idònia de fermentació. Els llevats d'alta fermentació tenen una temperatura òptima de fermentació entre 18-22°C i els de baixa fermentació entre 6-15 °C.

Soques de llevat

Existeixen moltes soques de llevats per a l'elaboració de cervesa, i cada soca produeix perfils de gustos diferents degut a la producció de subproductes durant la fermentació. Els subproductes més rellevants per al perfil organolèptic de la cervesa són els èsters, que són responsables de les notes afruitades en la cervesa; els fenols, que causen les notes especiades i el diacetil, que atorga notes de mantega al perfil de la cervesa (Palmer, 2006, p. 59). Aquests perfils són desitjables en determinats estils de cervesa i indesitjables en altres estils. Per tant, l'elecció de la soca de llevat és determinant en el gust de la cervesa i és una de les principals diferències entre els estils de cervesa que s'elaboren.

Les característiques que permeten diferenciar unes soques d'unes altres, segons Huxley (2011, p.164-167), són les següents:

- Temperatures ideals de fermentació
- Capacitat d'atenuació
- Capacitat de flocculació
- Tolerància a l'alcohol
- Capacitat de formar subproductes

Temperatures ideals

Per sota de la temperatura recomanada pel fabricant, l'activitat metabòlica es veu reduïda i pot detenir-se. Per sobre de la temperatura màxima el llevat produirà compostos secundaris no desitjables. Cada soca de llevat té una temperatura ideal de fermentació.

Tolerància a l'alcohol

Fa referència a la concentració d'alcohol a partir de la qual s'inhibeix el creixement. Cada soca té una tolerància determinada a l'alcohol.

Capacitat d'atenuació

És el percentatge de sucres que la soca metabolitza durant la fermentació convertint-los a alcohol, CO₂ i subproductes. Cada soca té una capacitat d'atenuació diferent, generalment el rang es troba entre 65 i 80% d'atenuació. Generalment es parla de soques de baixa atenuació (65-70%), d'atenuació mitjana (71-75%) i d'alta atenuació (76-80%).

atenuació (%) = (DI-DF)/DI

Capacitat de floculació

És la capacitat de les soques de sedimentar formant aglomerats. Es poden classificar en baixa, mitja i alta floculació.

Capacitat de formar subproductes

És la capacitat que tenen algunes soques de produir subproductes que afecten a les característiques organolèptiques de la cervesa. En cas que una soca no produeixi cap variació organolèptica es pot parlar de soques neutres.

Formes de comercialització

Els llevats es comercialitzen de dues formes diferents, en sec (liofilitzat) i en líquid. També s'utilitzen cultius purs en plaques de Petri, però només es dona en el cas de les grans indústries cerveseres. Segons Palmer (2006, p.59-62), les característiques principals són les següents:

Llevat liofilitzat

Els llevats sec són soques seleccionades i resistents que han patit un procés de liofilització per a garantir un bon emmagatzematge. Els cultius en sec tenen l'avantatge de tenir una vida útil molt llarga. Per contra, pel seu bon funcionament requereixen d'una hidratació prèvia, i a més, degut al procés d'assecat que pateixen, no es garanteix la viabilitat de totes les cèl·lules del producte. Els llevats liofilitzats s'utilitzen quasi exclusivament per a la producció de cerveses *ale* ja que són molt poques les soques de baixa fermentació que s'han aconseguit liofilitzar amb èxit. Les soques de llevat sec d'*ale* tendeixen a ser prou similars, atenuatives i de gust net.

Exemple comercial:

Saffale 04: llevat liofilitzat anglès d'alta fermentació, no forma escuma durant la fermentació, adaptat per a la fermentació en tancs cilíndrics.

Temperatura òptima: 18 -22°C

Tolerància a l'alcohol: mitjana 6.5%

Floculació: alta

Atenuació : 68 -72%

Subproductes: èsters en el rang superior

Llevat líquid

El llevat líquid es comercialitza en tubs de 50 ml, però no contenen tantes cèl·lules com els paquets secs. En els darrers anys, s'han popularitzat tubs de 175 ml (Wyeast Labs) i tubs llestos per a utilitzar-se (White Labs), que contenen suficients cèl·lules viables per a garantir una bona fermentació. Tenen l'inconvenient que la vida útil és molt més curta que la dels llevats liofilitzats. En canvi, en format líquid, existeix una gran gamma de soques tant per a cerveses *ale* com *lager*.

Exemple comercial:

German Lager (WLP833)

Llevat líquid de baixa fermentació

Atenuació: 74-79%

Floculació: Mitjana

Temperatura òptima : (10-13°C)



Fig 12: Llevat liofilitzat (esquerra) i llevat líquid (dreta). Imatges extretes de:
http://www.themaltmiller.co.uk/index.php?_a=viewProd&productId=138

4. PROCÉS D'ELABORACIÓ DE LA CERVESA

La fabricació de cervesa és un procés que engloba les següents etapes:

En primer lloc, en l'etapa de la mòlta es tritura el malt per tal d'alliberar els enzims que actuaran en la maceració. La segona etapa és la maceració, en la qual l'aigua i la mòlta es mesclen a temperatures ideals perquè els enzims de la malta transformin el midó en sucres fermentables. En aquesta etapa es forma el most. A continuació, es realitza un filtrat en el qual el most es separa de les partícules residuals de malt.

Posteriorment, després d'haver extret el most, s'extreuen amb aigua calenta els sucres que encara resten en el gra amb en una etapa denominada rentat. Després el most extret de la maceració i l'extret del rentat es mesclen i es realitza el procés de cocció en el qual s'addicionen llúpols, per tal que els components responsables de l'amargor s'isomeritzin.

Un cop acabada la cocció, el most es refreda a temperatures idònies per a la inoculació del llevat. El següent procés és la fermentació, en la qual el llevat transforma els sucres en CO_2 , alcohol i subproductes; en aquesta etapa el most es transforma en una cervesa immadura.

Durant la maduració, que es realitza a una temperatura lleugerament inferior, els subproductes de la fermentació són eliminats o equilibrats gràcies al metabolisme del llevat. Un cop acabada la maduració, es realitza un procés de clarificació a temperatures baixes, per tal d'afavorir la sedimentació de cèl·lules de llevat i de partícules residuals, i poder extreure-les per la part inferior del tanc.

En cas que no s'hagi aprofitat el gas de la fermentació per a la carbonatació de la cervesa, s'ha de carbonatar artificialment o amb una doble fermentació en ampolla. Per últim, el producte finalitzat s'envasa.

4.1 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ

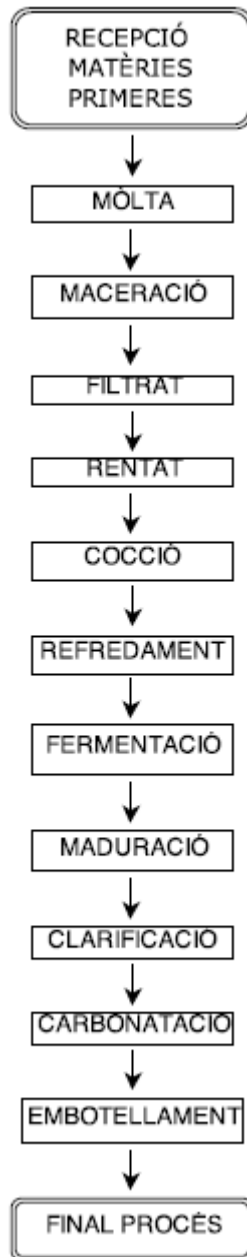


Diagrama 1: Diagrama del procés d'elaboració de cervesa

4.2 MÒLTA

Per tal que els enzims del malt s'alliberin i puguin actuar durant la maceració, el malt s'ha de triturar. La mòlta es un procés de trituració mecànica que possibilita l'acció dels enzims del malt en el procés de la maceració, per tal d'obtenir l'extracte que posteriorment serà fermentat.

Cal destacar que el procés de mòlta no es tracta de triturar per complet el malt (en aquest cas parlaríem de farina) sinó de simplement trencar les clofolles del gra, per tal de poder alliberar tots els elements continguts en el seu interior.

L'objectiu de la mòlta és que l'endosperm es trenqui suficientment per assegurar un bon nivell d'extracte, que les clofolles quedin tan intactes com sigui possible i que la farina produïda no sigui excessiva (Hernández, 2003, p.80).

Les proporcions adequades d'una bona molta són les següents:

- 30% clofolla
- 30% farina
- 30% gra fi
- 10% gra gruixut

Les clofolles són imprescindibles ja que actuen com a llit filtrant en el procés de filtrat, possibilitant així processos posteriors com el recirculat, la filtració i la separació del most al final de la maceració. Una proporció excessiva de farina dificultaria la separació del most i crearia problemes en la claredat de la cervesa final, per això cal prestar especial atenció a l'etapa de la mòlta.

4.2.1 Tipus de molins

Els molins més comunament utilitzats són els molins trituradors de malt en sec, amb els quals el malt es tritura entre rodets disposats en parells. Els molins més emprats són els de dos i sis rodets (Kunze, 2010, p.231).

Molí de sis rodets

El molí de sis rodets és el millor tipus de molí i el més utilitzat en les grans cerveseries.

Els seus tres parells de rodets s'anomenen rodets de trituració prèvia, rodets trituradors de clofolles i rodets de molta.

Entre els parells de rodets es troba sempre suspès un conjunt de tamisos vibratoris amb dos passos de malla, que classifica el material mòlt en tres fraccions:

1. Components grollers: clofolles amb sèmola adherida
2. Components mitjans: sèmols
3. Components fins: farines

Molí de dos rodets

Aquests molins es troben habitualment en plantes de producció de cervesa molt petites o microcerveseries. Amb un molí de dos rodets no es poden obtenir rendiments equiparables als grans molins industrials, però aquesta pèrdua de rendiment és sobradament compensada per la simplicitat i el baix cost. A més, en les petites cerveseries s'acostuma a modificar aquests molins per fer-los més eficients.

4.3 MACERACIÓ

En aquesta etapa es posa en contacte el malt mòlt amb aigua calenta, permetent que els enzims sintetitzats durant la germinació degradin els carbohidrats i proteïnes de la malta a formes solubles. En aquesta etapa s'origina el líquid que posteriorment es fermentarà per a la producció de cervesa, el most. Cal aclarir que en aquesta etapa s'obté una mescla de most amb partícules de malt en suspensió que s'eliminaran durant el procés de filtrat.

La temperatura de la mescla depèn del tipus de cervesa i de les característiques del producte que es vulguin obtenir. Es pot realitzar la maceració a una temperatura de mescla constant entre un rang de temperatures de 62-68°C (infusió simple) o es pot modificar la temperatura de la mescla al llarg del procés amb l'objectiu de treballar a les temperatures òptimes de cada enzim (infusió esglaonada) (Huxley, 2011, p. 249-253).

Si les temperatures de maceració es realitzen prioritzant les temperatures de mescla baixes (62 a 65 °C) s'obté la màxima concentració de maltosa. Els mostos rics en maltosa fermenten més ràpidament i s'aconsegueix una alta atenuació. Si es realitza la maceració en aquest rang de temperatures s'obtindrà una cervesa amb poc cos (cervesa lleugera i amb poc perfil maltós) i un alt grau alcohòlic.

Si es realitza la maceració a temperatures un poc més altes, entre 65 i 68 °C, s'aconseguirà una cervesa amb molt cos (ja que s'extreuen sucres i compostos no fermentables) i amb un grau d'alcohol menor ja que degut a la menor presència de sucres fermentables l'atenuació serà menor.



Fig 13: Pala mecànica mescla el gra i l'aigua per al procés de maceració en la cerveseria artesana Sagra

Només una part dels components de la mòlta és soluble (sucres, dextrines, substàncies minerals i determinades substàncies albuminoides). Són insolubles el midó, la cel·lulosa i una part de les substàncies albuminoides d'alt pes molecular. Per motius econòmics i de rendibilitat, és important convertir en soluble la major quantitat de compostos insolubles, és a dir, obtenir com a resultat el màxim contingut d'extracte. Per això, el propòsit de la maceració és la degradació completa del midó, per a l'obtenció de sucres i dextrines solubles. La quantitat principal d'extracte obtingut és resultat de l'activitat dels enzims.

4.3.1 Processos de degradació en la maceració

Els processos de degradació en la maceració segons Kunze (2010, p.248) i Hernández (2003, p.120) són els següents:

Degradació del midó

El midó és el principal polisacàrid de reserva de la majoria de vegetals i està constituït per dos components de diferent estructura, l'amilosa i l'amilopectina.

L'amilosa està composta per 200 a 400 residus d' α -glucosa, els quals estan units en una cadena helicoïdal sense ramificacions, per ponts d'oxigen, en les posicions 1,4. Constitueix aproximadament el 20-25 % en la estructura del midó.

L'amilopectina a diferència de l'amilosa, és una cadena altament ramificada. Els residus d' α -glucosa estan units per enllaços 1-4 i en intervals de 15 a 30 unitats d' α -glucosa per un enllaç 1,6. Les molècules d'amilopectina són comparables en el seu aspecte a un arbre ramificat, el qual pot contenir fins a 6000 residus d' α -glucosa.

Els llevats només poden processar sucres simples, com monosacàrids (glucosa) i disacàrids (maltosa). Per aquest motiu el midó ha de ser transformat en sucres simples, principalment maltosa, encara que es formen productes intermedis com les dextrines límits, que no són fermentables. La conversió en sucres simples es realitza gràcies a l'acció d'enzims fonamentals com la α -amilasa i la β -amilasa en tres fases: engrut, liqüefacció i sacarificació.

Engrut

Durant la maceració el gra i l'aigua calenta es mesclen. Durant aquest procés una gran quantitat d'aigua s'incorpora a les molècules de midó, tenint lloc un augment de volum, que fa que els grans de midó units fortament entre si s'inflin i finalment explotin. Les molècules alliberades en la solució són millor atacades per les amiloses que en l'estadi posterior. El midó del malt d'ordi engruta en presència d'amilases a 60°C.

Liquefacció

L' α -amilasa redueix la cadena lineal (amilosa) i la ramificada (amilopectina) del midó, trencant a l'atzar enllaços 1,4 per formar una barreja de dextrines amb poca producció de maltosa. Les condicions òptimes per l' α -amilasa són un pH entre 5,2 i 5,5 i unes temperatures entre 67 i 75°C. En aquesta fase es redueix la viscositat de la mescla.

Sacarificació

L' α -amilasa trenca les cadenes d'amilosa i amilopectina fins obtenir dextrines amb 7 a 12 residus de glucosa. La β -amilasa dissocia dos residus dels grups terminals de les noves cadenes formades. Amb això, l' α -amilasa forma amb cada dissociació dues cadenes terminals que poden ser atacades per la β -amilasa, ja que pot dissociar maltosa. Degut a la diferent longitud de les cadenes, es formen a part de maltosa, glucosa i maltotriosa.

L' α -amilasa actua de forma òptima a temperatures de 70 a 75°C. El valor de pH òptim es de 5,6 a 5,8. La β -amilasa actua de forma òptima a temperatures de 60 a 65 °C; a 70°C és inactivada. El valor de pH òptim es de 5,4 a 5,5.

Degradació de β -glucans

Els β -glucans són polisacàrids formats per llargues cadenes de glucosa unides entre si per enllaços glucosídics de tipus β . Es troben en les parets de l'endosperma d'alguns cereals sense maltar com el blat, la civada i l'ordi. En el cas de l'ordi representen entre un 4 i 7% del pes del gra.

Els glucans són els responsables de l'augment de la viscositat de la mescla i dificulten el procés de filtrat i a més produeixen terbolesa en la cervesa. Per degradar aquests components és necessari fomentar l'acció dels enzims β -glucanases que necessiten un rang de temperatures entre 35 i 54 °C.

Aquesta etapa només s'ha de tenir en compte si durant l'elaboració s'utilitzen malts molt poc modificats o si s'incorporen cereals sense maltar o flocs.

Degradació de les proteïnes

En la maceració, les proteïnes són transformades a compostos menors, com aminoàcids i oligopèptids gràcies a l'acció d'enzims proteolítics coneguts com a proteases. Les més importants són la peptidasa i la proteinasa ja que són les responsables de la formació de proteïnes i compostos de baix pes molecular que contribueixen al bon desenvolupament dels llevats durant la fermentació, milloren la retenció d'escuma i la sensació de cos en el producte final.

Les condicions òptimes per a l'actuació de la peptidasa i la proteinasa, estan en un rang de temperatures entre 45 i 55°C, amb uns valors de pH entre 4,2 i 5,3.

S'ha de tenir en compte que una degradació excessiva serà perjudicial. Si la maceració es manté més de 20 minuts en aquest interval de temperatura es començaran a destruir els enzims encarregats de la sacarificació i les proteïnes necessàries per a la capacitat de retenció d'escuma.

4.3.2 Tipus de maceracions

Es distingeixen dos processos de maceració, els processos d'infusió i els de decocció (Huxley, 2011, p.249-255). Per al cas que ens pertoca és més adient d'explicar-hi amb certa profunditat el processos d'infusió, que és el que s'ha emprat en la part pràctica d'aquest treball (concretament la infusió simple). A més, la infusió per decocció és un mètode que es va desenvolupar per a elaborar cervesa amb malts de poca qualitat, i no s'empra habitualment en les microcerveceries per a l'elaboració de cervesa artesana.

Processos d'infusió

Existeixen dos processos d'infusió, la infusió simple i la infusió esglaonada. En la infusió simple la mescla es realitza a una temperatura constant en un rang de temperatures entre 62 i 68°C. En la infusió esglaonada la temperatura de la mescla es va augmentant progressivament per situar la mescla en la temperatura òptima de treball dels enzims abans explicats.

Infusió simple

La infusió simple és el règim tradicional per elaborar *Ales*, però actualment també s'utilitza amb èxit per elaborar *lagers*.

La barreja s'ha d'estabilitzar i mantenir entre 62° i 68°C. La temperatura clàssica és de 65°C. Realitzant la maceració a temperatures de 62 a 65 °C s'obté la màxima concentració de maltosa. Els mostos rics en maltosa fermenten més ràpidament i s'aconsegueix una alta atenuació. Si es realitza la maceració en aquest rang de temperatures s'obtindrà una cervesa amb poc cos (cervesa lleugera i amb poc perfil maltós) i un alt grau alcohòlic.

Si la maceració es realitza per infusió simple a altes temperatures s'obtenen dos beneficis. En primer lloc, els processos de mescla a altes temperatures duren menys de 120 min i es poden obtenir rendiments elevats en tan sols 60 min. Per tant suposen un estalvi important de temps i energia. En segon lloc, la degradació de proteïnes és reduïda, i per tant s'elimina el risc de destrucció dels enzims responsables de la sacarificació.

Si es realitza la maceració a temperatures entre 65 i 68 °C, s'aconseguirà una cervesa amb molt cos (ja que s'extreuen sucres i compostos no fermentables) i amb un grau d'alcohol menor ja que degut a la menor presència de sucres fermentables l'atenuació serà menor.

Els avantatges que presenta aquest tipus de maceració són els següents:

- Totes les operacions (conversió, recirculació, filtració, rentat i separació) es realitzen en el mateix tanc.
- La possibilitat d'oxidació és mínima, ja que la manipulació és mínima.

- La conversió es fa sola i es pot aprofitar el temps en la preparació d'altres etapes de l'elaboració.
- No hi ha possibilitat de caramelització, ja que no s'utilitza una font de calor.

Inconvenients:

- A causa de la falta de manipulació, l'extracte és menor que altres règims de maceració.
- Fa falta més precisió, ja que el descans té lloc a una sola temperatura.

Infusió esglaonada

En aquest cas, la infusió no es realitza a temperatura constant sinó que la temperatura de la mescla es va modificant amb l'objectiu de treballar a les temperatures òptimes de cada enzim. Per a realitzar aquest mètode és necessari un aport de calor al macerador, que pot ser a través d'una addició d'aigua calenta o amb una font de calor com vapor d'aigua.

El temps que la mescla es troba en una determinada temperatura constant s'anomena repòs. En funció del rang de temperatures al qual es trobi s'anomenarà repòs de β -glucans, repòs proteic o repòs de sacarificació.

A continuació es mostra un exemple de maceració per infusió esglaonada:

30' a 40 °C	Per reduir la viscositat
10' a 50°C	Per degradar les proteïnes
30' a 60°C	Per utilitzar la β -amilasa al màxim
30' a 70°C	Per utilitzar l' α -amilasa
5' a 78°C	Per desnaturalitzar els enzims i fer més fàcil el filtrat posterior

Taula 2: Exemple d'infusió esglaonada, segons Huxley (2010, p.253)

Avantatges:

- Si es realitza correctament, es pot tenir més control sobre el procés.
- Sempre es treballa en temperatures òptimes.

Inconvenients:

- És necessària l'aportació d'una font de calor.
- És un procés més complicat i requereix molta experiència de l'elaborador.
- Requereix una supervisió constant.

Es podria pensar que la infusió esglaonada aporta millors resultats ja que la mescla se situa en el rang òptim de treballs dels enzims però moltes cerveseries artesanes estan demostrant que es pot obtenir un most de qualitat començant la maceració a partir de 60°C, sense tenir en compte les temperatures òptimes degradació de proteïnes ni de β -glucans. Per obtenir bons resultats és necessari disposar de malts de qualitat i ben modificats.

4.4 FILTRAT

Al final del procés de maceració, el most està format per una mescla aquosa de substàncies dissoltes i no dissoltes. La solució aquosa dels extractes s'anomena most, i les parts no dissoltes s'anomenen fems. Els fems estan compostos bàsicament per les clofolles, els embrions i altres substàncies que no van entrar en solució durant la maceració. Per a la fabricació de cervesa només és important el most, el qual ha de separar-se dels fems, fins a la pràctica totalitat.

El filtrat es pot realitzar de dues maneres diferents. Una és mitjançant l'ús d'un filtre de plaques. Aquest mètode s'empra més a nivell industrial.



Fig 14: Filtre de plaques de la microcerveseria Sagra

L'altre mètode, força emprat en les microcerveseries artesanes, és realitzar el filtrat mitjançant el recirculat del most dins del propi tanc de maceració o d'un recipient secundari conegut com a *lauter tun*. Un cop completada la maceració, la mescla es transfereix al *lauter tun*, que està provist d'un fals fons amb perforacions i un sistema de dutxa en la part superior. En aquest tanc es separa el most dels residus del malt, que poden ser emprats com aliment per al ramat. El líquid es recupera a través de les perforacions del fals fons i es recircula cap el sistema de dutxa. Els grans actuen com un excel·lent filtre que ajuda a obtenir un most clarificat i lliure de partícules en suspensió.

En les petites microcerveseries és habitual que el procés de macerat i filtrat és realitzi en el mateix tanc. Molts d'aquests tancs de maceració tenen un doble fons i un sistema de dutxa que permet realitzar el recirculat i el filtrat un cop finalitzada la maceració. Aquest mètode simplifica el procés i redueix costos ja que només és necessari un únic tanc per realitzar els dos processos.



Fig 15: Tanc de maceració amb sistema de recirculat (esquerra) i detall de sistema de filtrat d'un tanc de maceració (dreta). Imatges extretes de www.ballards-brewery.co.uk

4.5 RENTAT

El rentat consisteix en recircular aigua a través del gra d'ordi un amb l'objectiu d'extreure la major quantitat de sucres que no s'hagin extret durant el procés de maceració abans descrit. El filtrat es realitza en el mateix recipient en què s'ha realitzat el filtrat. La quantitat d'aigua de rentat depèn del volum i la concentració del primer most obtingut durant la maceració i de la densitat i el volum desitjat de most que es necessita per al procés de cocció. Durant el rentat s'obté un most de baixa densitat que es mescla posteriorment amb l'obtingut durant la maceració.

L'aigua de rentat ha d'estar a una temperatura de 75-77°C però no superior, ja que a partir de 77°C els tanins presents en l'ordi esdevenen solubles i poden aportar astringència al gust de la cervesa.

A continuació es descriuen els dos mètodes de rentat més utilitzats en la fabricació de cervesa. Cal aclarir que l'equip dissenyat en la part pràctica està adaptat per poder utilitzar els dos tipus de rentat segons les necessitats d'elaboració, encara que al final s'ha optat per utilitzar el rentat per etapes degut a la seva simplicitat i al gran avantatge que suposa poder realitzar simultàniament preparatius per a altres operacions posteriors.

4.5.1 Rentat Continu

És el mètode més utilitzat en les grans cerveseries modernes, ja que és molt eficient i produeix un most amb molta menys terbolesa.

Un cop que el filtrat ha acabat, es procedeix a buidar el most per la part inferior cap a un tanc secundari, fins que el most queda a 2,5 cm per sobre del gra per tal d'evitar l'exposició dels grans a l'oxigen, evitant problemes d'oxidació.

Seguidament, amb un sistema de dutxa s'introdueix l'aigua de rentat a 77 °C. És important que la dutxa reparteixi bé el cabal d'aigua per tal d'evitar canals de circulació d'aigua, que farien que l'aigua sempre circulés pels mateixos canals i que no es repartís equitativament. Al mateix temps, i per la part inferior del tanc es continua bombejant el most cap al tanc secundari. Aquest sistema té la particularitat que el cabal d'entrada d'aigua de rentat i el cabal de sortida del most han de ser idèntics, per tal de poder mantenir els 2,5 cm d'aigua sobre el llit filtrant de gra.

Amb aquest procés, la densitat del most es va reduint constantment, alhora que el pH augmenta. Per tant, és necessari que el cerveser controli aquests paràmetres intentant que la densitat del most de sortida no arribi a 1008 per tal d'evitar l'extracció indesitjada de tanins, ja que es caracteritzen per un gust desagradablement aspre i amarg, com s'ha explicat anteriorment en l'apartat 3.5.2 *Malt d'ordi*, .

Avantatges:

- Reducció de la terbolesa del most.
- Evita l'oxidació del gra.
- És un procés ràpid, no es necessari cap postfiltrat.
- Rendiments molt elevats amb l'equip adequat.

Inconvenients:

- És necessària una supervisió constant del cerveser.
- L'equip ha de ser més sofisticat.
- Perill d'extracció de tanins.
- Possible formació de canals.

4.5.2 Rentat per etapes

Aquest procés consisteix en l'addició d'aigua de rentat per etapes realitzant una maceració parcial en cada etapa. En finalitzar la maceració s'afegeix un volum petit d'aigua per diluir el most i es recircula per clarificar-lo. Un cop clarificat es bombeja cap al tanc de cocció. Després s'afegeix un segon volum d'aigua, es mescla amb el gra i es deixa reposar durant 10 minuts, es recircula i s'envia cap al tanc de cocció.

En aquest mètode el primer i segon most recol·lectat han de tenir el mateix volum. A diferència del rentat continu (el most inferior és més dens que el superior) la densitat del most és uniforme. Amb aquest mètode no es formen canals en la capa de gra, ja que en cada etapa el gra es torna a mesclar i a remoure.

El rentat per etapes redueix l'extracció de tanins, ja que la densitat de l'últim most recol·lectat sempre es manté per sobre de 1008.

Avantatges:

- Es redueix l'extracció de compostos fenòlics.
- Permet l'obtenció de mostos amb diferents densitats.
- Simplicitat de l'equip.
- No es formen canals.

Inconvenients:

- Risc d'oxidació dels tanins.
- Són necessàries varies etapes de recirculació.
- Si l'equip és de dimensions reduïdes el procés pot allargar-se.

4.6 COCCIÓ

El most obtingut es cou durant 60-90 min, i durant aquest temps s'addiciona el llúpul. Durant la cocció passen al most components amargs i aromàtics del llúpul i al mateix temps es precipiten substàncies albuminoides.



Fig 16: Tanc de cocció (a l'esquerra) de la Companyia Cervesera del Montseny

4.6.1 Processos en la cocció del most

- Esterilització del most per evitar la presència de microorganismes indesitjables.
- Eliminació d'aigua per augmentar la concentració del most.
- Ajust del pH a un nivell favorable per a la fermentació.
- Dissolució i transformació de components del llúpul.

-Eliminació de compostos volàtils indesitjats com compostos de sofre, cetones i èsters.

-Inactivació enzimàtica.

-Coagulació de proteïnes i afavoriment de les reaccions entre tanins i proteïnes per a la formació de compostos insolubles que precipiten clarificant el producte.

-Desencadenament reaccions de caramelització, de Maillard i d'oxidació de compostos fenòlics per a la formació de melanoidines que contribueixen al color i al gust de la cervesa.

4.6.2 Addicions de llúpul durant la cocció

Durant la cocció del most s'agrega el llúpul i es cou juntament amb el most. Els α -àcids són completament insolubles en el most fred, i gràcies a la cocció, s'aconsegueix la seva isomerització (passen a denominar-se iso- α -àcids) i donen amargor al producte.

La isomerització dels α -àcids durant la cocció no és completa. Només un terç dels α -àcids es troben en el most cuit en forma de compostos iso. El rendiment dels iso- α -àcids en l' amargor de la cervesa depèn de:

- La duració de la cocció: Si la cocció és més llarga augmenta el rendiment dels iso- α -àcids. La major part dels α -àcids s'isomeritza a l'inici de la cocció i el rendiment va disminuint progressivament.

- El valor del pH: amb un pH més alt els rendiments d'isomerització també són més elevats, però l'amargor obtinguda a pH baix sempre serà més equilibrada.

- La intensificació de la isomerització: s'aconsegueix amb una temperatura més alta durant la cocció.

Segons en que moment de la cocció s'addiciona el llúpul s'anomena llúpul d'amargor, de gust o d'aroma. Els productors de cervesa artesana posen especial interès en aquesta etapa ja que segons el tipus d'addicions que s'utilitzin poden crear-se perfils de gustos molt complexos que aporten distinció i qualitat al producte.

Addició del llúpul de l'amargor

La primera addició serveix per donar amargor. Amb la primera addició s'ha d'arribar al 75-80% dels α -àcids que es necessita. Si s'utilitzen diferents varietats de llúpul, sempre s'addiciona primer el més amarg, per així transformar al màxim el seu potencial d' α -àcids.

Les addicions del llúpul d'amargor es couen durant 45 a 90 minuts per tal d'isomeritzar els α -àcids; l'interval més comú és d'una hora. Hi ha una millora important del grau d'isomerització entre 45 i 90 minuts (al voltant del 5%), però només es dona una millora petita en temps més llargs (<1%).

Els olis aromàtics tendeixen a desaparèixer durant la cocció, deixant poc gust de llúpul i gens d'aroma. Per aquest motiu, les varietats amb més α -àcids (que normalment tenen poques característiques aromàtiques) es poden emprar per atorgar la major part de l'amargor sense perjudicar el gust de la cervesa.

Addició del llúpul del gust

Afegint el llúpul a meitat de la cocció s'aconsegueix una mescla entre la isomerització dels α -àcids i l'evaporació dels compostos aromàtics, proporcionant gustos característics. Aquest llúpul d'aroma s'afegeix 15-20 minuts abans de la finalització de la cocció. Es pot emprar qualsevol varietat de llúpul. Normalment s'utilitzen varietats amb pocs α -àcids, encara que algunes varietats amb molts α -àcids com la *Columbus* o la *Challenger* deixen gustos agradables i

s'empren habitualment. En aquesta etapa és normal combinar petites quantitats de diferents varietats per tal de crear en la cervesa final un caràcter més complex.

Addició del llúpul de l'aroma

Quan el llúpul s'afegeix als minuts finals de la cocció, es perden menys olis aromàtics amb l'evaporació i es reté més aroma. Es poden fer servir una o més varietats de llúpul, amb quantitats que varien depenent del caràcter que es desitja atorgar a la cervesa. El llúpul de l'aroma s'afegeix normalment 5 minuts abans de finalitzar la cocció, o s'afegeix quan s'ha finalitzat la cocció i es deixa infundir 15 minuts abans de refredar el most (tècnica coneguda com *at knockout*). A vegades s'empra la tècnica *hopback*, que vol dir que el most calent, abans de refredar-se, es circula a través d'una petita caixa plena de llúpul fresc.

4.7 REFREDAMENT DEL MOST

Un cop finalitzada la cocció, el most s'ha de refredar fins a arribar a la temperatura òptima dels llevats. A més, és fonamental fer-ho com més ràpidament possible, perquè si el most roman de temps entre 30 i 50 °C i ha moltes possibilitats de contaminació per bacteris o llevats salvatges. També pot produir-se oxidació, cosa que no interessa fins que el most estigui a menys de 24°C i s'hagi inoculat el llevat.

Si el refredament és lent es produiran composts de sofre indesitjats. Refredar el most ràpidament fomenta la precipitació en fred de partícules com proteïnes, polifenols i β -glucanosa, que si es queden en solució produirà problemes de claredat i estabilitat en la cervesa.

Industrialment, per refredar grans volums de cervesa, s'utilitzen refredadors de plaques, que és una màquina amb una gran quantitat de plaques metàl·liques primes disposades de forma paral·lela, per les quals circulen de manera alterna el most i l'aigua de refrigeració. El most calent a temperatures de 98-100°C es refreda gràcies a l'aigua freda fins que arriba a una temperatura de 24°C,

Per aconseguir un bon intercanvi de calor és necessari que s'emprin plaques metàl·liques molt primes amb distàncies reduïdes entre sí. Cal passar el most i l'aigua de refrigeració en contracorrent i variar freqüentment el sentit del flux.



Fig 17: Refredador de plaques de la microcerveseria Naparbier

4.8 FERMENTACIÓ

Per a la transformació del most en cervesa, els sucres continguts en el most han de ser transformats pels llevats a alcohol i diòxid de carboni.

En aquest procés es formen subproductes de la fermentació que tenen una repercussió directa en el gust, l'aroma i la terbolesa de la cervesa. Aquests subproductes es transformen o es degraden durant el procés posterior de maduració.

Actualment, la fermentació es realitza en tancs cilíndrics, uns dipòsits cilíndrics verticals que presenten un con invertit de 60° en la part inferior, que a més permeten realitzar els processos posteriors de maduració i clarificació en el mateix recipient, sense necessitat de transvasos.

Els fermentadors cilíndrics tenen les següents característiques:

- Han de ser isobàrics.
- Han de permetre regular el nivell de pressió de l'interior.
- Presenten un con invertit de 60° per facilitar la sedimentació i l'extracció del llevat.
- Han de ser termoregulables a temperatures idònies de fermentació, maduració i clarificació.



Fig 18: Fermentadors cilíndrics d'una microcerveseria

4.8.1 Tipus de fermentació

La classificació clàssica dels tipus de cervesa es realitza segons el tipus de fermentació (Garibay, 2004, p.282). Hi ha dos grans grups, les cerveses de tipus *ale*, i les cerveses de tipus *lager*.

Ale és la paraula d'origen anglès que denomina el grup de cerveses que utilitzen llevats de fermentació alta, que floquen al final de la fermentació en aglomerats dèbils associats a les bombolles de CO₂ i floten en el líquid.

No obstant això, actualment s'han desenvolupat soques d'aquests llevats que floquen formant conglomerats compactes en el fons del tanc, fet que permet l'extracció per la vàlvula inferior del fermentador cilíndric.

Tradicionalment, les cerveses de fermentació alta han estat elaborades amb soques de *S. cerevisiae*. Fermenten durant aproximadament 4 dies a temperatures en un rang de 18-24°C. Després de la fermentació, aquestes cerveses tenen un temps de maduració posterior que pot realitzar-se en calent 13°C-16°C o en fred 0-4°C.

L'altre tipus de cervesa, les *lager* s'elaboren per fermentació baixa emprant soques de *S. Pastorianus*. Aquestes soques tenen la capacitat de floccular formant aglomerats molt compactes al final de la fermentació, però no associen a les bombolles de gas. Els llevats treballen a baixa temperatura (6-15°C) en la part inferior del tanc i que posteriorment pateix una maduració en fred a 0°C. Avui en dia, és la forma més comú de fer cervesa en tot el món, sent l'estil *pilsner* el més conegut.

4.8.2 Fases de la fermentació

Segons Kunze (2010, p.416-418) les fases de la fermentació són les següents:

Fase de latència

Un cop inoculat el llevat al most, s'inicia un procés d'adaptació a les noves condicions d'un medi ric en nutrients. En aquesta etapa té una importància vital la assimilació d'oxigen, ja que és emprat pel llevat per produir àcids grassos insaturats i esterols essencials per tal que les parets de les cèl·lules esdevinguin permeables als nutrients del most, com els amino-nitrogens i els sucres.

Tota aquesta activitat cel·lular inicial necessita una font d'energia. El llevat obté aquesta energia en les seves pròpies reserves de glucogen, ja que en aquesta fase els sucres del most no són assimilats. El glucogen és un polímer que es descompon en glucosa i produeix l'energia necessària per a les funcions metabòliques de la cèl·lula abans que comenci la assimilació de glucosa del most.

Finalitzada l'adaptació al medi, i degut a la gran quantitat de sucres fermentables, la cèl·lula de llevat comença amb la degradació de sucre. Donat que també s'absorbeix oxigen dissolt en el most, s'inicia simultàniament la respiració, generant una gran quantitat d'energia en els mitocondris. Degut a aquesta energia, les cèl·lules de llevat poden iniciar la fermentació i propagar-se per gemmació.



Fig 19: Inoculació del llevat durant l'elaboració, inici de fase de latència. Imatge pròpia

Fase exponencial

En aquesta fase la població cel·lular augmenta a ritme logarítmic degut a l'abundància de nutrients. El llevat comença a assimilar i metabolitzar aquests nutrients per convertir-los en l'energia que necessita per al seu creixement i reproducció i com a resultat d'aquests processos metabòlics produeix subproductes que retornen al most. En aquesta etapa desapareix el sabor a most.

En aquesta fase s'observa una activitat intensa, que es manifesta a través d'una capa d'escuma que es forma en la part superior del fermentador, formada per llevat en suspensió, proteïnes del most i resines de llúpul.

Quan el llevat comença a assimilar els carbohidrats fermentables, ho fa en un ordre específic. En primer lloc s'assimilen els sucres simples, en aquest ordre, glucosa, fructosa i sacarosa. Posteriorment s'assimila la maltosa, que és el sucre més abundant en el most i té una gran influència en la formació de compostos que donen gust a la cervesa.

Per últim, s'assimila la maltotriosa que és més difícil d'assimilar i la seva utilització dependrà de la soca de llevat. Quanta més capacitat d'atenuació tingui, més fàcil metabolitzarà aquest sucre.

En aquesta fase la totalitat de l'oxigen present en el most és exhaurit, i la cèl·lula de llevat limitarà el seu metabolisme a la glicòlisi anaeròbia, i per tant haurà de créixer amb una ganància mínima d'energia, realitzant la fermentació de sucre a alcohol i CO₂.

En aquesta etapa es produeix la major part de l'atenuació del most. La densitat de la cervesa disminueix fins a $\frac{1}{3}$ o $\frac{1}{4}$ de la densitat inicial. El temps necessari dependrà de la soca de llevat emprada i de les condicions del most. En les *ales* el temps necessari es de 2 a 6 dies i en les *lagers* de 4 a 10 dies.



Fig 20: Fase exponencial en una fermentació oberta. Imatge extreta de www.revistamash.com

Fase estacionària

En aquesta etapa l'activitat intensa desapareix i la majoria de cèl·lules de llevat s'inactiven i sedimenten. La funció principal de la fase estacionària es la de reduir tots els sucres fermentables remanents i eliminar els subproductes originats en la fase anterior, com acetaldehids, èsters, aminoàcids, diacetil i sulfur.

La majoria dels sucres fàcilment fermentables s'han convertit a alcohol, i el llevat comença a transformar els sucres més pesats com la maltotriosa, i també comença a absorbir diacetil i acetaldehid mentre que el sulfur d'hidrogen s'allibera juntament amb el CO₂ propi de la fermentació.

Fase de mort

És una fase logarítmica, igual que la fase exponencial. Aquesta fase és conseqüència de la privació de nutrients i dona com a resultat la disminució de cèl·lules viables. Es produeix una gran sedimentació de les cèl·lules de llevat.

4.8.3 Transformacions i canvis durant la fermentació

Segons Kunze (2010) els canvis durant la fermentació són els següents:

Disminució del valor del pH

El valor del pH disminueix a causa de:

- El consum de fosfats primaris per part del llevat.
- L'adsorció de ions d'amoni (NH₄).
- L'adsorció de ions de potassi i l'entrega de ions d'hidrogen a la cervesa.

Durant la fase de fermentació, el valor del pH disminueix lentament i finalment roman constant. Un increment del valor del pH indica una autòlisi del llevat.

El valor del pH té una influència essencial sobre la qualitat de la cervesa. L'objectiu és aconseguir un valor de pH entre 4,2 i 4,4 en el producte final. Valors de pH per sota de 4,1 donen un gust àcid a la cervesa i per tant s'han d'evitar.

Canvis en el color de la cervesa

Durant els primers dies de la fermentació, el color de la cervesa s'aclareix aproximadament tres unitats EBC. Això es deu a la decoloració de substàncies causada per la disminució del pH i l'absorció de substàncies de colors intensos en cèl·lules de llevat.

Canvis en la composició de les substàncies albuminoidees

Quan l'oferta de nutrients s'esgota, el llevat pot continuar vivint, però els processos vitals es debiliten. Aleshores, el llevat excreta substàncies que contribueixen a arrodonir el gust i augmentar el cos de la cervesa. Aquestes substàncies són aminoàcids i pèptids, vitamines, fosfats, glicoproteïnes i enzims.

Precipitació de compostos amargs i tanins

Degut a la disminució del valor del pH durant la fermentació, una sèrie de compostos amargs i tanins dissolts de forma col·loïdal, precipiten com a compostos tensioactius en les bombolles de CO₂.

Els α -àcids no isomeritzats durant el procés de cocció precipiten, ja que no són solubles en valors de pH inferiors a 5. També una part dels iso- α -àcids precipita ja que són fortament tensioactius i són captats i transportats per les bombolles ascendents de CO₂.

4.8.4 Microorganismes indesitjats

Degut al contingut d'alcohol, el pH i l'efecte antimicrobià dels agents del llúpul, els microorganismes que poden contaminar el most lupulat de la cervesa són pocs. No obstant això, constitueixen una amenaça latent. Les contaminacions són indesitjables en diferents fases del procés per diverses raons (Garibay, 2004, p.286-288).

1. Abans o després de la fermentació són responsables de la formació d'aromes i gustos desagradables i indesitjats.
2. Competeixen pel substrat amb el llevat disminuint els rendiments, en alguns casos arribant a aniquilar el cultiu de llevat inoculat.
3. Les contaminacions posteriors a la fermentació són responsables de gustos i aromes desagradables, produeixen viscositat, pel·lícules en la superfície i confereixen un excés de terbolesa.

Els microorganismes potencials de contaminació són: els llevats salvatges, bacteris de l'àcid làctic com *Lactobacillus* (*L. brevis*, *L. fermentum*, *L. casei* i *L. plantarum*) i *Pediococcus* (principalment *P. cerevisiae*), bacteris de la família d'*Enterobacteriaceae*, bacteris de l'àcid acètic i en menor freqüència els gèneres *Pseudomonas*, *Bacillus* i *Clostridium*.

Els llevats salvatges són tots aquells que no han estat inoculats intencionadament. Aquests llevats poden pertànyer a la mateixa espècie i tipus que el propi inòcul, però amb propietats diferents a aquest, fins a llevats d'altres espècies i gèneres diferents.

Llevats d'altres espècies i gèneres produeixen gustos indesitjables, acidesa excessiva, formen pel·lícules en la superfície i donen terbolesa al producte. Un problema greu és la presència de soques amb poder bactericida.

Aquestes soques produeixen una proteïna letal per a les soques sensibles (les soques utilitzades en les cerveseries ho són).

Els bacteris làctics són responsables de la terbolesa, gustos indesitjables i viscositat. La producció de diacetil per bacteris contaminants es deu principalment a bacteris del gènere *Pediococcus* i *Lactobacillus*.

Els bacteris acètics es propaguen si existeix oxigen en el medi. Per tant, en condicions d'anaerobiosi no causen problemes. Aquests bacteris produeixen àcid acètic que dona a la cervesa un gust indesitjat. La *Zymomonas anaerobia* és un bacteri que creix en absència d'oxigen, tolera altes concentracions d'etanol, creix a baixa temperatura i a un pH tan baix com 2,5 i fermenta glucosa, fructosa i sacarosa. Aquest bacteri produeix gustos indesitjables ja que sintetitza grans quantitats d'acetaldehid i H₂S.

Els bacteris de la família *Enterobacteriaceae*, en les cerveseries, s'anomenen bacteris del most, ja que es troben amb més freqüència en el most que en la cervesa. Són les principals contaminacions del most lupulat. Això es deu a que no poden créixer a un pH inferior a 4,4, i durant la fermentació el pH canvia de 5,3 a 4,1.

4.8.5 Maduració

Durant la fermentació, els productes del metabolisme del llevat passen a la cervesa. Alguns d'aquests productes reaccionen entre si o es modifiquen en quantitat i en composició. Aquests productes secundaris de fermentació tenen una influència decisiva sobre la qualitat final de la cervesa. L'objectiu principal de la maduració és la d'eliminar o equilibrar aquests subproductes mitjançant el propi metabolisme del llevat.

Actualment, la maduració és un procés que es realitza en el mateix tanc cilíndric on s'ha realitzat la fermentació. En el cas de les *ales* la maduració es realitza a temperatures pròximes als 16° o en fred (0-4°C). En les *lager* la maduració es realitza sempre en fred a 0°C.

Tal com explica Kunze (2010, p.426-432). El subproductes principals formats durant la fermentació i que s'eliminen o s'equilibren durant la maduració són:

- Diacetil
- Alcohols superiors
- Èsters
- Aldehids
- Compostos del sofre

Diacetil

És la substància de *bouquet* de la cervesa immadura més important. Aporta a la cervesa, a l'excedir el índex de perceptibilitat, un gust excessivament dolç, el qual a elevades concentracions proporciona un gust a mantega.

La degradació del diacetil és afavorida pels següents factors:

- A major temperatura més alta és la degradació de diacetil, sempre en un rang de valors òptims per a la fermentació.
- Una elevada concentració de llevat en la cervesa en maduració augmenta la velocitat de degradació del diacetil.

El valor aproximat de contingut total de diacetil per una cervesa totalment madura és de 0,1 mg/L.

Aldehids

L'aldehid més important es l'acetaldehid, que es forma com a producte intermedi durant la fermentació alcohòlica. L'acetaldehid és excretat pel llevat durant els tres primers dies de fermentació. És el responsable del gust "verd" (gust a cava) de la cervesa.

Durant el desenvolupament de la fermentació, l'acetaldehid es va degradant, disminuint progressivament la seva concentració. Com més avançada estigui una fermentació, menys acetaldehid i per tant, menys gust a cervesa verda.

En la fase de cervesa immadura, el contingut d'acetaldehid és d'aproximadament 20 a 40 mg/L, i en una cervesa madura, aquests valors es troben per sota de 8 mg/L

La concentració d'acetaldehid és veu estimulada per:

- Una fermentació molt intensa i virulenta.
- Increment de la temperatura durant la fermentació.
- Una fase càlida de maduració.
- Aireig insuficient del most.

Alcohols superiors

Al contrari que els anteriors productes secundaris, que pertanyen a les substàncies de *bouquet* de la cervesa verda, els alcohols superiors pertanyen a les substàncies de *bouquet* de la cervesa madura.

Un 80% dels alcohols superiors es formen aproximadament durant la fermentació principal. Durant la fase de maduració només és produeix un augment poc significatiu.

Èsters

Són les substàncies de *bouquet* responsables de l'aroma de la cervesa. En concentracions elevades aporten a la cervesa aromes afruitats.

Els èsters es formen durant la fermentació per l'esterificació dels àcids grassos i en menor grau, per la esterificació dels alcohols superiors.

La seva concentració augmenta durant la fase exponencial de la fermentació.

Les cerveses de fermentació alta tenen fins a 80 mg/L i les de fermentació baixa poden tenir fins a 60 mg/L.

La formació d'èsters és estimulada per:

- L'augment de l'atenuació límit.
- La intensificació de l'aireig del most.
- Les temperatures altes de fermentació.

La formació d'èsters és atenuada per:

- Densitats baixes del most.
- Baixa atenuació límit.
- Temperatures de fermentació baixes.

Compostos del sofre

Degut al metabolisme del llevat, durant la fermentació, es formen compostos volàtils del sofre, com el sulfur d'hidrogen (H_2S), que en petites concentracions donen aromes desagradables molt intensos. El sulfur d'hidrogen es forma durant la fermentació alcohòlica a partir d'aminoàcids que contenen sofre. La deficiència o pèrdua de substàncies de creixement per al llevat pot produir un major contingut d' H_2S en el most. El sulfur d'hidrogen és volàtil i s'elimina amb l'ajuda del diòxid de carboni ascendent durant la maduració i la fermentació.

4.9 Clarificació

Un cop madurada, la cervesa encara conté cèl·lules de llevat i partícules en suspensió, que poden enterbolir el producte final. Per tant, l'últim procés és la seva sedimentació i posterior purga per la part inferior del tanc cilíndric.

La sedimentació del llevat i de les partícules en suspensió depèn del temps i la temperatura del repòs. Com més baixa sigui aquesta temperatura de clarificació, més ràpidament sedimentaran aquestes partícules, però cal evitar temperatures de congelació. Les cerveses *ale* s'acostumen a clarificar a temperatures d'entre 0 i 4°C i les *lager*, entre 0 i -1°C.

Actualment la clarificació de la cervesa es realitza en els mateixos tancs cilíndrics on s'ha realitzat la fermentació i la maduració. Aquests fermentadors disposen d'una base amb una inclinació de 60°C que afavoreix la sedimentació del llevat i disposen d'una vàlvula d'extracció a la part inferior del tanc que permet extreure totes les substàncies sedimentades.

4.10 Carbonatació

Les cerveseries artesanes empen principalment dos mètodes de carbonatació:

Doble fermentació en ampolla

Es realitza en aquelles microcerveseries que no disposen de tancs isobàrics i per tant no poden aprofitar el gas produït per la fermentació. El procés consisteix a afegir una petita quantitat de dextrosa o de most per tal que els llevats encara presents en la cervesa realitzin una segona fermentació en l'ampolla i aprofitar el gas produït per a la pressió. Aquest mètode té l'inconvenient que allarga el temps d'elaboració i produeix sediments de llevat en el fons de l'ampolla.

Carbonatació amb el gas produït durant la fermentació

Per a la realització d'aquest procés és necessari un fermentador isobàric que disposi d'un sistema de regulació de pressió. En aquest mètode s'aprofita el gas produït durant les etapes finals de la fermentació per a la carbonatació de la cervesa. Té l'avantatge que es redueix de forma significativa els temps d'elaboració ja que no és necessària una segona fermentació, però, per contra és necessari un equip més sofisticat i costós.

5. METODOLOGIA

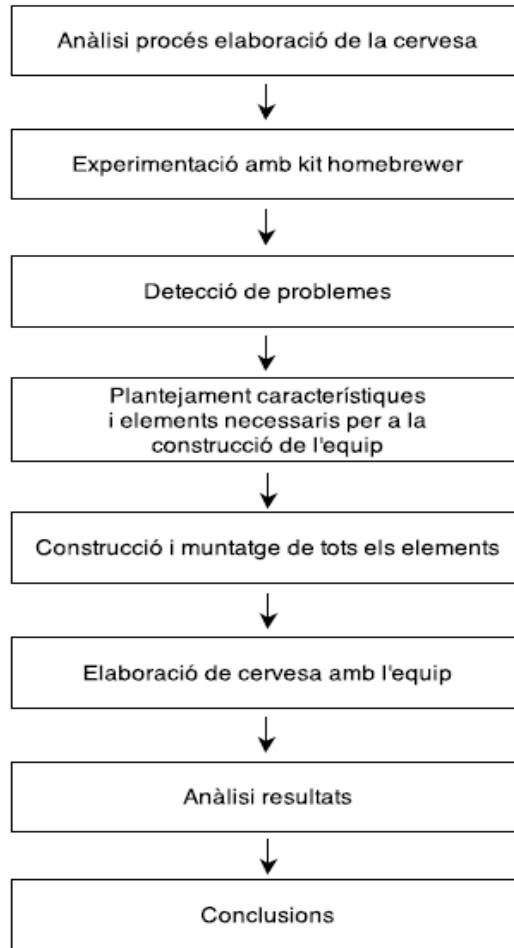


Diagrama 2: Metodologia

De manera complementària, per a l'elaboració d'aquest projecte, ha estat de vital importància assistir a visites guiades d'empreses de cervesa artesana, on s'ha pogut comprovar de primera mà els mètodes d'elaboració i els equips emprats actualment en el sector de la cervesa artesana.

Les empreses visitades han estat la Companyia Cervesera del Montseny, una microcerveseria amb una capacitat productiva de 3.000 litres en cada elaboració, amb seu a Seva (Sant Miquel de Balenyà); la microcerveseria de Moritz, la més gran del sud d'Europa, i la microcerveseria Capfoguer de Santa Coloma de Gramenet, la més petita de les que s'han visitat, amb capacitat per a elaborar 3000 litres de cervesa al mes.

6. EXPERIMENTACIÓ AMB KIT *HOMEBREWER*

6.1 INTRODUCCIÓ

Existeixen al mercat nombrosos equips de tipus *homebrewer*, és a dir, per elaborar cervesa de forma casolana, que permeten experimentar el procés d'una manera pràctica i senzilla. Com s'ha explicat anteriorment, Catalunya és líder en el sector de la cervesa artesana i és seu de moltes empreses relacionades, com per exemple botigues de material d'elaboració *homebrewer*. L'equip adquirit per aquest projecte és de la casa *cervezaartesana.com*, amb seu a Barcelona.

L'elaboració de cervesa amb un equip *homebrewer* és un estadi primerenc necessari per a adquirir els coneixements necessaris sobre els processos d'elaboració, així com experimentar el comportament dels ingredients i el seu impacte en el producte final. L'objectiu final d'aquesta etapa, és analitzar els processos i l'equip, per tal de detectar els punts crítics que requereixen més atenció a l'hora de establir les necessitats de construcció de l'equip nou. Per tant, aquesta és una fase intermèdia que serveix de pont entre l'anàlisi teòrica i la creació d'un equip que permeti reduir la manipulació manual i realitzar successives elaboracions obtenint el mateix producte.

L'elaboració amb aquest equip pot fer-se partint d'extractes de most lupulitzats que comercialitza la pròpia empresa. Aquesta modalitat simplifica el procés, ja que no són necessàries etapes com la mòlta, la maceració, el filtrat, el rentat ni l'addició de llúpul durant la cocció.

No obstant això, per a aquest projecte s'ha considerat que aquesta modalitat d'elaboració és massa simple i s'allunya dels objectius d'aquesta primera etapa de la part pràctica del projecte, que són principalment l'adquisició de coneixements sobre els ingredients i els processos d'elaboració, per a poder aplicar-los més tard amb més profunditat amb l'equip de construcció pròpia.

Per tant, amb aquest equip la modalitat que s'ha emprat ha estat l'*all-grain*, és a dir partint dels quatre ingredients principals (aigua, malt d'ordi, llúpul i llevat) i realitzant totes les etapes de l'elaboració, tret del maltatge, ja que l'ordi ja es comercialitza maltat.

6.2 DESCRIPCIÓ DE L'EQUIP

6.2.1 Molí



Fig 21: Molí de dos rodets. Imatge pròpia

Es tracta d'un molí de dos rodets ajustables de la marca *Marga*. És d'ús domèstic i no està específicament dissenyat per a l'elaboració de cervesa, però és adequat per a petites moltes de cereal i ens permet ajustar amb molta precisió el grau de mòlt que volem obtenir. Les parts que el componen són: un sistema d'ajust de la distància entre els dos rodets, una manovella per accionar els rodets, una tremuja i una safata contenidora per acumular la molla que cau d'entre els rodets

6.2.2 Cub de maceració lauter



Fig 22: Cub de maceració. Imatge pròpia

En aquest recipient es duu a terme la maceració. El cub està fabricat en polipropilè, un material àmpliament emprat en la indústria alimentària i que aporta dues propietats fonamentals per a la fabricació de la cervesa amb seguretat: una bona resistència a la tensió i un alt punt de fusió (160°C), fet que permet treballar amb seguretat en les temperatures de maceració. Presenta una escala volumètrica des de 0 a 26 litres que permet calcular els volums d'aigua i de most amb precisió. Té una tapa que tanca hermèticament per tal de minimitzar les pèrdues de temperatura i evitar l'entrada al dipòsit de substàncies presents en l'aire que poden donar gustos no desitjats al producte final. El cub té un filtre fabricat en polipropilè amb forats d'1 mm de diàmetre i un suport del filtre d'acer inoxidable. Aquests elements funcionen com a doble fons i permeten separar el most del malt i de les partícules en suspensió.

6.2.3 Olla de cocció/escalfament



Fig 23: Olla de cocció. Imatge pròpia

Es tracta d'una olla clàssica de cuina amb capacitat de 18 litres. En aquest recipient es duen a terme dos processos. S'utilitza per l'escalfament d'aigua per a les etapes de maceració i rentat i també per a la cocció del most. Aquest component de l'equip no forma part del kit *homebrewer* adquirit, sinó que s'ha d'adquirir a part.

Està fabricada en acer inoxidable apte per a ús alimentari i per tant és vàlida per a l'elaboració de cervesa. Té una tapa, també d'acer inoxidable, que ens permet tancar el recipient per reduir les pèrdues de temperatura durant l'escalfament. La cocció s'ha de realitzar sense la tapa ja que es volatilitzen compostos no desitjats en el producte final.

6.2.4 Cub de fermentació



Fig 24: Cub de fermentació i detall de l'airlock

En aquest recipient té lloc la fermentació del most. Està fabricat en polipropilè, material àmpliament emprat en la indústria alimentària. Té una escala volumètrica des de 0 a 26 litres que permet calcular els volums d'aigua i de most amb precisió. Té una tapa per poder a dur a terme una fermentació amb seguretat, ja que impedeix la entrada de microorganismes suspesos en l'aire, com llevats salvatges, que poden alterar el procés i donar lloc a gustos i olors estranys. Un altre component és l'*airlock*, que s'ajusta a la tapa del cub i que serveix per a l'extracció del CO₂ produït durant la fermentació que alhora evita l'entrada de microorganismes nocius en el procés fermentatiu. Degut a l'acció conjunta de la geometria corbada del tub i l'acció d'un agent desinfectant, els microorganismes tenen molta dificultat per progressar cap a l'interior però, en canvi, degut a la pressió que es genera a l'interior del recipient, el CO₂ pot travessar el circuit i sortir cap a l'exterior. Per últim, té un termòmetre en forma de tira adhesiva que s'adhereix al tanc per tal de controlar la temperatura durant la fermentació sense haver d'alçar la tapa.

6.2.5 Bag in box

Es tracta d'una bossa semirígida fabricada en plàstic d'ús alimentari de 25 litres de capacitat, que funciona com a recipient per a realitzar la maduració. Conté una vàlvula per al transvasament de líquids i una petita obertura que permet l'extracció de gas.

6.2.6 Eines i utensilis



Fig 25: Eines i utensilis emprats junt amb el kit homebrewer

Les eines i els utensilis emprats són els següents: balança electrònica, proveta, densímetre, termòmetre, pala d'agitació, recipient volumètric, sifó manual, tub de silicona, colador, tub d'embotellament, rentador d'ampolles, xapadora corona i xapes.

6.3 ELABORACIÓ SEGONS UNA RECEPТА

En aquesta etapa experimental, l'objectiu no és crear una recepta original, sinó aplicar els coneixements teòrics sobre l'elaboració i experimentar el procés amb l'equip. Per tant, en aquesta fase s'ha treballat basant-se en una recepta existent.

En les receptes ja vénen determinats els tipus de malt i llúpul a emprar i les quantitats, així com les densitats, el grau d'alcohol i els IBU que s'obtindran amb aquestes quantitats. També consta la quantitat d'aigua que cal emprar en els processos de maceració i rentat.

S'ha escollit una cervesa d'alta fermentació, és a dir, de tipus *ale*, ja que les temperatures de fermentació s'ajusten a les temperatures ambientals de l'època en que es va elaborar.

Volum final (L)	20	Aigua necessària	
DI	1040	Procés	Volum (L)
DF	1012	Maceració	15
Alcohol (%)	4,7	Rentat	18

Ingredients		
Tipus de malt	Kg	
<i>Pale Ale Malt</i>	5	
Tipus de llúpul	gr	temps
<i>Cascade</i>	20	60
<i>Cascade</i>	15	10
<i>Cascade</i>	10	0

Taula 3: Dades per a l'elaboració

Cal aclarir que els temps del llúpul indiquen el temps que una determinada quantitat de llúpul estarà en el most durant la cocció. En aquesta recepta els 20 grams de *Cascade* estaran 60 minuts en cocció, és a dir, s'afegiran quan restin 60 minuts per al final de la cocció i seran els responsables de l'amargor. Els 15 grams de llúpul s'addicionaran quan restin 10 minuts pel final de la cocció i aportaran gust a la cervesa. Els 10 grams de *Cascade* restants s'addicionaran al finalitzar la cocció i es deixaran reposar 15 minuts. L'última addició de llúpul no aporta α -àcids ja que s'addicionen un cop finalitzada la cocció i no poden solubilitzar-se; d'aquesta manera els aromes no es volatilitzen.

6.4 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ AMB EL KIT *HOMEBREWER*

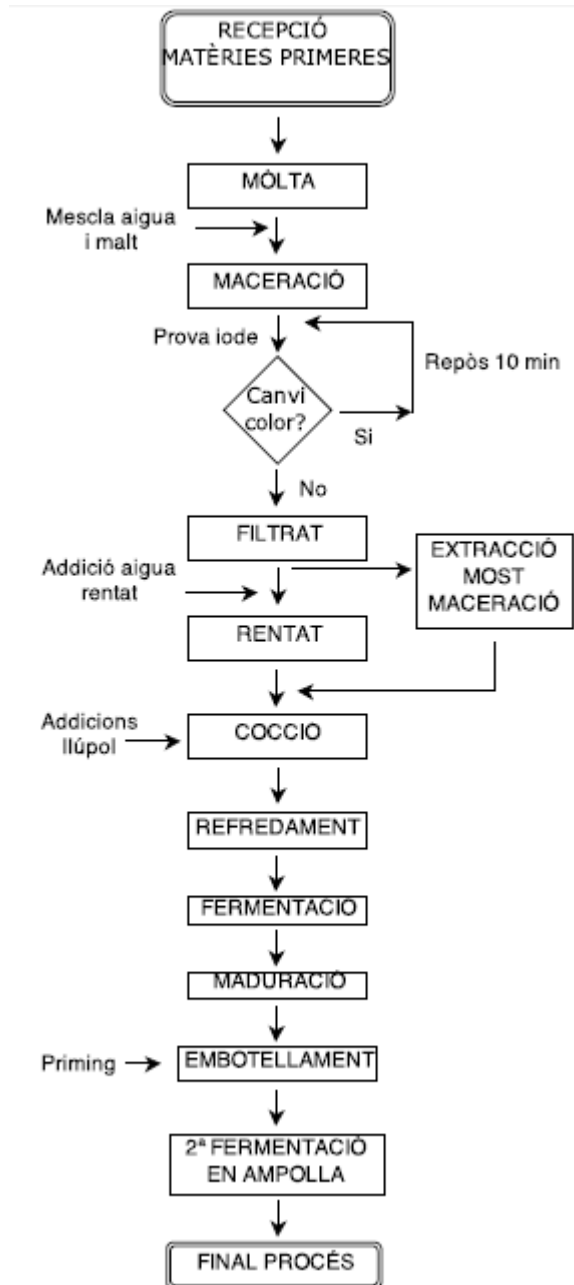


Diagrama 3: Procés d'elaboració amb el kit homebrewer

Si es compara aquest diagrama de flux amb el que es mostra a l'apartat 4.1 *Diagrama del procés d'elaboració*, s'observen dues diferències significatives. En primer lloc s'observa que en aquest cas s'ha realitzat una prova de tintura de iode. Aquesta prova ens permet comprovar si la conversió de midó a sucres s'ha realitzat de forma completa. Si no hi ha canvi de color, es dona per finalitzada la maceració.

En segon lloc, s'observa que en l'embotellament es realitza el *priming* (addició de sucre) i una segona fermentació en ampolla. Això es deu a que aquest equip no disposa d'un sistema de captació i aprofitament del CO_2 produït durant la fermentació. Per tant, és necessari durant l'embotellament addicionar sucres fermentables per tal que els llevats que encara estan en suspensió en la cervesa realitzin una segona fermentació i aprofitar el gas que queda

retingut a l'ampolla. Aquesta segona fermentació allarga el procés, ja que són necessaris aproximadament entre 10 i 15 dies perquè la cervesa quedi carbonatada i llesta per al consum.

6.5 PROCÉS D'ELABORACIÓ

6.5.1 Mòlta

1. Separar elements grollers o residus que puguin malmetre els elements estructurals del molí o dificultar el procés.
2. Realitzar una mòlta de prova per tal d'ajustar la distància entre els dos rodets. Una mòlta òptim és aquella en el qual el gra d'ordi es trenca per la meitat, alliberant el seu contingut, però quedant tan intacte com sigui possible.
3. Realitzar la mòlta a velocitat uniforme, sense moviments bruscos.

6.5.2 Maceració

1. Omplir l'olla de cocció amb 15 litres d'aigua i escalfar amb el foc a màxima potència.
2. Comprovar periòdicament la temperatura manualment amb el termòmetre d'alcohol.
3. Quan $T = 60^{\circ}\text{C}$, transvasar manualment la meitat del contingut d'aigua de la olla de cocció al cub de maceració lauter. És un pas necessari per temperar el recipient i minimitzar les pèrdues tèrmiques posteriors.
4. Al cap de dos minuts retornar el contingut d'aigua del tanc lauter a l'olla de cocció.
5. Continuar escalfant fins que $T = 73^{\circ}\text{C}$
6. Transvasar manualment tot el contingut d'aigua al cub de maceració lauter.
7. Agregar el malt de forma contínua i a poca velocitat sobre l'aigua. És necessari remoure amb una pala la mescla per tal d'homogeneïtzar la temperatura de mescla i evitar la formació de grumolls.
8. Comprovar si la temperatura de mescla és 65° . En cas que sigui inferior poden afegir-se petites quantitats d'aigua calenta.
9. Tapar el cub amb la tapa aplicant pressió.
10. Aïllar el cub lauter per tal d'evitar pèrdues tèrmiques, embolcallant-lo amb mantes tèrmiques i mantes convencionals d'hivern.
11. Al cap d'una hora es realitzarà la prova de tintura de iode. Si no hi ha canvi de color es donarà per finalitzada la maceració. En cas contrari, es deixarà reposar 10 min i es tornarà a comprovar.

6.5.3 Filtrat

1. Paral·lelament a aquest procés de filtrat, l'aigua del procés de rentat ha de començar a escalfar-se en la olla de cocció fins $T = 77^{\circ}\text{C}$.

2. Obrir la sortida del cub lauter, amb un cabal mínim, i recollir el most en un recipient volumètric. 300 ml seran suficients.

3. Recircular el most obtingut per la part superior del tanc.

a. És important no remoure el llit filtrant que s'ha format durant la maceració. El most s'ha de vessar lentament i a molt poca distància de la mescla.

b. El most s'ha de repartir per tota la mescla.

c. Pot emprar-se una pala de cuina foradada per tal de repartir el most equitativament.

d. Repetir el procés fins que el most que obtenim de la sortida del cub no contingui cap partícula en suspensió i s'hagi clarificat.

4. Buidar tot el most en un altre cub.

a. En el cas que el volum de most obtingut no sigui el calculat prèviament, és possible esperar uns minuts per tal que el most retingut al gra es desplaci cap a la part inferior del tanc

b. En cas que no es pugui extreure més most, cal considerar que el gra emprat té una capacitat de retenció d'aigua superior a la calculada prèviament. Aquest fet es tindrà en compte per elaboracions posteriors. Aquest imprevist pot minimitzar-se sumant a l'aigua de rentat la quantitat de most no extret.

6.5.4 Rentat

1. Quan $T = 77^{\circ}\text{C}$, transvasar l'aigua de rentat al cub de maceració lauter.

2. Amb l'ajuda de la pala remoure la mescla per tal d'homogeneïtzar la temperatura i evitar la formació de grumolls.

3. Tapar amb la tapa a pressió.

4. Al cap de 10 minuts repetir el procés de filtració.

5. Buidar el most de rentat obtingut i dipositar-ho en el tanc auxiliar volumètric juntament amb el primer most obtingut.

6.5.5 Cocció del most

1. Escalfar el most a l'olla de cocció fins que comenci a bullir, aproximadament $T = 98\text{-}102^{\circ}\text{C}$

2. Afegir la quantitat prèviament calculada de llúpul d'amargor.

3. Quan restin 10 minuts per al final del procés, afegir la segona quantitat, que correspon al llúpul del gust.

4. Al cap d'una hora, apagar el foc i afegir la quantitat corresponent del llúpul de l'aroma. Deixar infusonar 15 min.

5. Després de 15 min, realitzar el *whirlpool*, que consisteix a moure vigorosament el most calent en sentit circular per tal que les partícules en suspensió pròpies de la cocció sedimentin a la part central.

6.5.6 Refredament del most

1. Preparar un recipient de plàstic amb un volum dues vegades superior al de l'olla de cocció
2. Omplir el recipient amb una gran quantitat de gel i aigua freda.
3. Submergir l'olla de cocció sense que hi entri aigua al seu interior.
4. Mantenir en el recipient fins que la temperatura del most sigui de 24-25°C.
5. Transvasar manualment el most al cub de fermentació.

6.5.7 Fermentació

1. Inocular el llevat.
2. Remoure el most vigorosament amb la pala per tal de garantir unes bones condicions d'oxigen per al llevat.
3. Tapar hermèticament amb la tapa.
4. Instal·lar l'*airlock* en el forat de la tapa del cub de fermentació, omplir-lo fins a la ranura amb una dissolució d'aigua i Oxipro i tapar-lo però no hermèticament per a garantir la sortida del gas.
5. Enganxar el termòmetre adhesiu en la meitat del cub de fermentació en la part externa.
6. Dipositar el cub de fermentació en un lloc sense finestres amb poca variabilitat tèrmica i que es mantingui en un rang de temperatures de 17-22°C.

Control de la fermentació

1. Si el procés s'ha realitzat correctament en un període de 12 a 24 hores s'ha de fer visible el borboteig a l'*airlock* produït per les bombolles de CO₂. En alguns casos l'inici de la fermentació pot superar les 24 hores.
2. Revisar periòdicament el termòmetre del cub de maceració i comprovar que es manté en el rang de temperatures desitjat.
 - a. En el cas que la temperatura sigui superior, es pot embolcallar el cub de maceració amb tovalloles humides per a reduir la temperatura.
 - b. En cas contrari, pot emprar-se alguna font de calor com un radiador o una manta tèrmica elèctrica per augmentar la temperatura.
3. Mesurar i anotar la densitat del most cada dos dies.
4. Quan aquesta densitat no disminueixi en dos dies es donarà per finalitzada la fermentació. Aproximadament al cap de 4-7 dies.
5. Comprovar que la densitat final és propera a la prèviament calculada.

6.5.8 Maduració

1. Un cop finalitzada la fermentació, transvasar mitjançant el sífo manual el most fermentat al *bag in box*. És imprescindible sifonar des de la part superior del líquid per tal de deixar el sediment en la part inferior.
2. Un cop sifonat extreure l'aire sobrant pressionant el *bag in box*.
3. Tapar i deixar reposar en el mateix rang de temperatures que la fermentació durant 4-7 dies.

Control de la maduració

1. Durant la maduració encara es produeix CO₂, extreure'n el sobrant pressionant el recipient.

6.5.9 Priming

1. Escalfar 500 ml d'aigua al foc, afegir 6 grams de sucre per cada litre de cervesa a embotellar i portar a ebullició durant uns instants.
2. Guardar l'almívar per utilitzar-lo a continuació en el procés d'embotellament.

6.5.10 Embotellament

1. Rentar les ampolles amb un escovilló utilitzant aigua i sabó per eliminar la brutícia de l'interior. En el nostre cas la neteja s'ha realitzat en un rentaplats amb un cicle d'alta temperatura i sense utilitzar sabó.
2. Omplir el rentador d'ampolles a pressió amb una dissolució d'aigua a 75°C i Oxipro i netejar les ampolles. No cal esbandir però si deixar-les assecar.
3. Omplir el cub de fermentació amb 20 litres d'aigua a 75°C i Oxipro (dosi indicada pel fabricant). Introduir els estris que s'empraran a l'embotellament: tub de silicona, tub d'embotellament i xapes. Deixar actuar durant 20 minuts i buidar el recipient. No és necessari esbandir.
4. Transvasar l'almívar al cub de fermentació.
5. Sifonar el most del *bag in box* al cub de fermentació evitant l'aireig del most. En aquest punt el most es mesclarà amb l'almívar; no es necessari homogeneïtzar.
6. Instal·lar el tub de silicona juntament amb el tub d'embotellament a la vàlvula de sortida del cub de fermentació.
7. Aplicar pressió amb el tub d'embotellament en el fons de l'ampolla per transvasar la cervesa.
8. Xapar les ampolles amb la xapadora corona.
9. Mantenir les ampolles en el mateix rang de temperatures de la fermentació.

6.5.11 Segona fermentació en ampolla

1. Emmagatzemar les ampolles en un lloc on es pugui assegurar el mateix rang de temperatures que durant la fermentació.
2. Al cap de dues setmanes es donarà per finalitzat el procés.

6.6 ANÀLISI DEL PROCÉS

Mòlta

Tot i que s'aconsegueix una mòlta de molt bona qualitat amb el molí emprat, el procés és molt lent degut a la poca capacitat de càrrega del molí. Per a la mòlta de de 5 kg(20l) de malt són necessàries dues hores de procés. Cal reduir el temps del procés.

Maceració

Les pèrdues de temperatura durant la maceració han estat de 2,5°C/h. La variació de temperatures és un problema, perquè per a obtenir el perfil organolèptic desitjat cal realitzar la maceració a una temperatura determinada.

Aquest sistema no ens permet conèixer la temperatura de maceració en un moment determinat. Per tal de saber si el procés s'està realitzant a la temperatura adequada, és necessari obrir la tapa hermètica i mesurar-la amb el termòmetre d'alcohol. Això presenta un problema ja que si es vol conèixer la temperatura ens exposem a augmentar les pèrdues tèrmiques.

Filtrat

Per tal d'obtenir un extracte lliure de substàncies sòlides s'ha hagut de realitzar un recirculat de forma continua durant 30 min, ja que el primer most obtingut tenia molts sòlids i parts de clofolles en suspensió. Aquesta etapa és massa manual, fet que allarga el procés.

Rentat

Durant el rentat, el most tenia partícules en suspensió. S'han observat els mateixos problemes que durant la filtració, descrits en l'apartat anterior.

Cocció

Degut a la poca potència de la font de calor, s'ha arribat al començament del bullit del most al cap de 45 minuts. Això és un problema ja que suposa un important gast energètic i un augment del temps del procés.

Refredament

El most, que es trobava inicialment a 98°C, ha arribat a la temperatura de 25°C al cap d'una hora i tres quarts. És imprescindible una refredament ràpid del most per tal que les partícules en suspensió en el most precipitin amb facilitat. Amb aquest equip, per tal d'accelerar el refredat, amb aquest equip cal obrir la tapa de l'olla de cocció, fet

que augmenta considerablement els riscos de patir contaminacions en el most. A més, és necessari alçar manualment l'olla, i això incrementa el risc d'accidents.

Fermentació

El borboteig de l'*airlock* s'ha iniciat al cap de 12 hores de l'inoculació del llevat. Degut a que el procés es va dur a terme en unes dates primaverals, la variació de temperatura era notable. No és adequat que la fermentació es realitzi per sota de les temperatures òptimes de fermentació, ja que es pot produir un alentiment del procés, o fins i tot una interrupció del procés.

Maduració

Els problemes de variació de temperatura han persistit al llarg d'aquest procés.

Priming

S'ha realitzat correctament.

Embotellament

Les ampolles s'han rentat correctament, ja que després del rentat no es distingeixen partícules a l'interior. La desinfecció amb el rentador d'ampolles ha tingut bons resultats, ja que no hi ha hagut cap contaminació en el producte final.

Segona fermentació en ampolla

La segona fermentació en ampolla ofereix bons resultats per a la carbonatació de la cervesa, però, en canvi, allarga el procés, ja que és necessari un nou procés fermentatiu. S'ha comprovat que en la primera setmana el gas ja era present, però fins a la segona setmana la carbonatació no ha arribat a nivells òptims.

6.7 CONCLUSIONS DE L'ANÀLISI

Després d'analitzar el procés d'elaboració amb el kit homebrewer i de detectar els problemes o punts crítics del procés, es pot concloure que cal:

- Reduir la manipulació manual durant l'elaboració.
- Millorar el control de temperatures.
- Aconseguir realitzar la maceració a temperatura constant, ja que d'això depèn l'assoliment de les característiques organolèptiques de la cervesa desitjades.
- Un sistema de filtrat eficaç.
- Un sistema d'escalfament eficient.
- Un sistema de refredament eficient.
- Eliminar la influència de la temperatura ambiental en processos com la fermentació i la maduració.
- Una alternativa a la segona fermentació en ampolla.

7. CONSTRUCCIÓ D'UN EQUIP PER A LA PRODUCCIÓ DE CERVESA ARTESANA

7.1 INTRODUCCIÓ

Per a la construcció de l'equip ens hem basat en els coneixements teòrics adquirits durant la recerca i l'estudi, i en els coneixements pràctics adquirits gràcies a l'experimentació amb el kit *homebrewer*, que ens ha permès determinar els punts crítics dels processos d'elaboració, que generalment es corresponen amb els que més millores necessiten a nivell de l'equip.

Cal aclarir que la construcció de l'equip no es basa en millores tècniques de l'equip *homebrewer*, sinó que es part de zero, és a dir, es construeixen tots els elements de l'equip i s'interconnecten d'una manera original e independent respecte a l'equip emprat anteriorment.

7.2 ELEMENTS NECESSARIS

7.2.1 Tancs de l'equip

Els tancs de l'equip són una part fonamental i han de reunir tres característiques:

- Han de ser d'un material resistent.
- Han de ser aptes per a ús alimentari.
- Han de ser resistents a altes temperatures.
- S'han de poder adquirir a un baix cost.

7.2.2 Molí

El procés de mòlta no és una de les etapes fonamentals, ja que el malt d'ordi es pot adquirir ja mòlt. No obstant això, hem decidit realitzar aquest procés per obtenir una matèria prima més fresca. El molí ha de poder tenir més capacitat que l'emprat en el kit *homebrewer* i realitzar la mòlta a més velocitat, per tal d'agilitzar el procés.

7.2.3 Estructura de l'equip

- És necessari construir una estructura que garanteixi l'estabilitat dels elements de l'equip i que tingui suficient resistència per a suportar el pes dels tancs.

7.2.4 Tanc de maceració

Les temperatures de maceració afecten al cos i al grau d'alcohol de la cervesa final. Per tant, és imprescindible assegurar el rang de temperatura determinat per l'elaborador i s'ha de poder consultar en qualsevol moment del procés sense interrompre'l ni causar variacions, com ha succeït en el cas del kit *homebrewer*, ja que era necessari obrir el recipient per introduir un termòmetre d'alcohol.

- És necessari instal·lar sondes de temperatura o un termòmetre fixe al tanc .

Durant la maceració amb el kit *homebrewer* hi ha hagut unes pèrdues de 2,5°C/hora, aquest fet no ens permet realitzar la maceració a una temperatura constant.

-
- És necessari aïllar el recipient de maceració adequadament per tal de minimitzar les pèrdues tèrmiques i poder realitzar el procés a temperatura constant. Això inclou construir una tapa que ens permeti tancar el recipient.

Hi ha hagut problemes amb la filtració en les etapes de filtrat i rentat, ja que els elements de filtrat (filtre i suport) que venen amb el kit *homebrewer*, no són elements fixos al cub i per tant durant la manipulació poden moure's i fer que el most s'ompli de partícules en suspensió.

- Cal fixar un filtre a la part inferior del cub de maceració que garanteixi una bona separació de les partícules en suspensió del most.

Un altre problema en l'etapa de filtrat és que fer-ho manualment repartint el most per sobre del llit filtrant de gra amb un recipient volumètric dificulta la repartició equitativa del most.

- És necessari crear un sistema de recirculat mecanitzat, que elimini el factor manual i que ens permeti la correcta distribució del most per tot el cub de maceració. Això inclou instal·lar vàlvules d'entrada i sortida de líquids en el tanc de maceració.

7.2.5 Sistema d'escalfament

Durant el procés de cocció amb el kit *homebrewer* la potència del foc ha estat insuficient. El temps per a arribar a l'inici de la cocció és massa llarg, la qual cosa suposa una despesa energètica elevada.

- Cal instal·lar un sistema d'escalfament adient als volums a elaborar.

7.2.6 Tanc de cocció/escalfament

Per a l'escalfament de l'aigua de rentat i de macerat és necessari un sistema que ens permeti consultar la temperatura de manera precisa i sense cap manipulació.

- És necessari instal·lar sondes de temperatura o un termòmetre fixe al tanc resistent a altes temperatures.

En el procés de cocció té lloc l'addició de llúpul, que deixa residus en el most que cal eliminar abans de fer el transvasament al tanc de fermentació.

- Cal fixar un filtre a la part inferior del tanc de cocció/escalfament que garanteixi una bona separació de les partícules en suspensió del most.
- Cal instal·lar una vàlvula de sortida que permeti la sortida del most ja filtrat sense haver de transvasar-lo manualment.

7.2.7 Sistema de refredament

El sistema de refredament de l'equip *homebrewer* és massa lent i manual, a més de presentar riscos de contaminació del most.

- Cal un sistema de refredament que no exposi el most a riscos de contaminació. S'ha d'integrar en un circuit tancat i emprar un serpenti submergit en un tanc amb líquid refrigerant.

7.2.8 Fermentador cilíndric

Durant l'elaboració amb el kit *homebrewer* hem arribat a la conclusió que la fermentació és el procés més important en la fabricació de cervesa ja que transforma el most en cervesa. Per aquest motiu el fermentador és el component de l'equip que més millores necessita de cara a l'estandardització del producte final. Ens hem marcat l'objectiu de construir un fermentador cilíndric de característiques similars als que s'empren en algunes microcerveseries, adaptant-lo a les nostres necessitats i volums.

- Construir un tanc de fermentació cilíndric amb les característiques exposades a l'apartat 4.8 *Fermentació*.
 - Tanc isobàric
 - Cos cilíndric
 - Con de 60° a la part inferior

Gràcies a l'experimentació amb el kit *homebrewer* s'ha arribat a la conclusió que el procés de doble fermentació en ampolla, tot i oferir bons resultats, allarga el procés i suposa l'addició d'un ingredient.

- Dotar l'equip d'un sistema per a regular el nivell de pressió dintre del recipient per tal de carbonatar la cervesa a partir del gas produït durant la fermentació.

7.2.9 Cambra de fermentació

Un dels aspectes que presenta més dificultat és el control de temperatura durant la fermentació. Per exemple, durant l'experimentació amb l'equip *homebrewer* la temperatura de fermentació està lligada a la temperatura ambiental.

Les temperatures de fermentació afecten el perfil organolèptic de la cervesa, per tant, si es vol realitzar elaboracions successives amb els mateixos perfils, és necessari realitzar la fermentació a les mateixes temperatures.

- Construir una cambra per allotjar-hi el fermentador durant els processos de fermentació, maduració i clarificació, que permeti l'estabilitat tèrmica interior i que incorpori un sistema de regulació de la temperatura.

7.2.10 Sistema de bombeig

Durant l'elaboració de cervesa s'han de realitzar molts transvasaments de líquid entre recipients. Amb l'equip *homebrewer* els transvasaments s'han realitzat de forma manual (bolcant el contingut d'un recipient a un altre o mitjançant un sifó/bomba manual).

Un problema que es deriva d'això és que el procés s'alenteix molt i requereix una atenció constant de l'elaborador. A més, presenta riscos d'accidents, com cremades per líquids a alta temperatura.

- Cal muntar un sistema adequat de transvasament que permeti connectar tots els recipients de manera que els líquids es puguin desplaçar a través d'un circuit tancat, amb l'ajuda d'un sistema de bombeig.
- Cal incorporar un el sistema de bombeig d'un temporitzador per a regular els temps de funcionament.

7.2.11 Quadre de control de l'equip

- Cal dotar l'equip d'un quadre on s'integren tots els elements de control i regulació plantejats, com ara els termòmetres sonda, el regulador de temperatura de la cambra de fermentació i el temporitzador de la bomba.

7.3 CONSTRUCCIÓ I FUNCIONAMENT DE L'EQUIP

7.3.1 Tancs de l'equip

Els tancs s'han construït a partir de barrils de cervesa d'acer inoxidable en desús, que s'han adaptat a les necessitats de l'equip. Acompleixen els requisits de material, ja que són resistents i aptes per a ús alimentari. S'han plantejat altres opcions com les olles de cuina de gran volum, però són de cost més elevat.

7.3.2 Molí

S'ha adquirit un molí corona, per al qual s'ha fabricat una tremuja amb una planxa d'acer en forma cònica, per augmentar la capacitat de càrrega de cereal.



Fig 26: Molí corona amb una tremuja de fabricació pròpia. Imatge pròpia

7.3.3 Estructura de suport de l'equip

L'estructura de l'equip és un sistema modular de prestatgeries metàl·liques. Les baldes tenen una resistència de 150 kg. L'estructura presenta una part més elevada en la qual s'instal·la el sistema d'escalfament i el tanc de cocció. S'ha construït d'aquesta manera perquè en cas d'avaría de la bomba, els transvasaments d'aigua es puguin realitzar per gravetat.

7.3.4 Tanc de maceració

Per a la construcció del tanc de maceració s'ha partit d'un barril de cervesa d'acer inoxidable de 30 litres de capacitat.

S'ha descapotat amb una radial la part superior del barril per tal de crear l'entrada al recipient i alhora aprofitar la tapa resultant per a la posterior construcció del filtre. S'han polit les vores amb una esmoladora. Posteriorment s'ha rentat exhaustivament el recipient, especialment l'interior.

La tapa del recipient s'ha creat aprofitant la part superior d'un altre barril (l'emprat per al tanc de cocció). Per poder ajustar la tapa correctament, s'han soldat quatre topalls d'acer inoxidable a la part superior del tanc.



Fig 27: Part superior del tanc de cocció (esquerra) aprofitat per a la tapa del tanc de maceració (dreta). Imatge pròpia



Fig 28: Topalls soldats a la part superior del tanc per fixar-hi la tapa i tapa fixada a pressió. Imatge pròpia

S'ha perforat la part lateral del barril per crear dues entrades on es s'han soldat mascles de ½ polzada per instal·lar la vàlvula i el termòmetre bimetàl·lic.



Fig 29: Perforacions de les entrades amb el mascle soldat i termòmetre bimetàl·lic i vàlvula instal·lats. Imatge pròpia

El següent pas ha estat la construcció i la col·locació dels elements interiors del tanc de maceració, és a dir el filtre i el sistema d'aspersió per als processos de rentat i recirculat.

El filtre s'ha construït a partir de la part superior del tanc de maceració. S'ha polit la vora de la circumferència de metall i s'han realitzat obertures d'1 mil·límetre d'amplada i de 6 centímetres de longitud des del centre fins a 4 cm de la vora. A la vora s'han practicat unes incisions de 4 mil·límetres de longitud i 1 mil·límetre d'amplada. Aquestes obertures i incisions serveixen per a separar el gra del most i ens permeten obtenir un extracte amb pocs residus gra i apte per al procés de recirculat.

Al mig d'aquesta circumferència hi ha el que era la sortida de la cervesa del barril isobàric inicial. S'ha aprofitat per inserir-hi un tub de coure en forma d'ela que travessa el filtre arribant a la part inferior del tanc i que surt per la sortida lateral connectant-se a la vàlvula de sortida.



Fig 30: Tub de coure en forma d'ela (esquerra) i filtre (dreta). Imatge pròpia



Fig 31: Vista interior del tanc de maceració amb el filtre i el tub en forma d'ela col·locats a la base del recipient. Imatge pròpia

El sistema d'aspersió per als processos de rentat i recirculat s'ha creat a partir de 4 peces cilíndriques roscades a una creu. Les peces són de llautó ja que ha estat impossible trobar-ne d'acer inoxidable. S'han realitzat forats d'1,5 mil·límetres de diàmetre per a la sortida dels líquids. El resultat és una creu de llautó perforada que es connecta a una entrada del tanc per a l'entrada d'aigua i most.



Fig 32: Sistema de recirculat: creu de llautó connectada a dues vàlvules. Imatge pròpia



Fig 33: Sistema de recirculat en funcionament. Imatge pròpia

El tanc ha estat aïllat per tal de minimitzar les pèrdues tèrmiques durant la maceració. El cos del tanc ha estat recobert de dues capes d'aïllant tèrmic. Per a la part superior i la inferior s'han creat dues superfícies circulars de llana de fibra de roca recoberts d'una capa del mateix aïllant emprat en el cos del tanc.



Fig 34: Llana de fibra de roca (esquerra) i parts amb què s'ha construït l'aïllant de les bases del tanc (dreta). Imatge pròpia



Fig 35: Tanc de maceració finalitzat. Imatge pròpia

7.3.5 Sistema d'escalfament

Per subministrar al tanc de cocció/escalfament la potència de foc necessària per a obtenir un escalfament ràpid s'ha instal·lat a l'estructura de l'equip un cremador de gas 40 cm de diàmetre i dos anells de foc. El cremador funciona amb una bombona de butà. Per tal de donar estabilitat al sistema d'escalfament, s'ha fixat el cremador a l'estructura metàl·lica.



Fig 36: Sistema d'escalfament integrat en l'estructura. Imatge pròpia

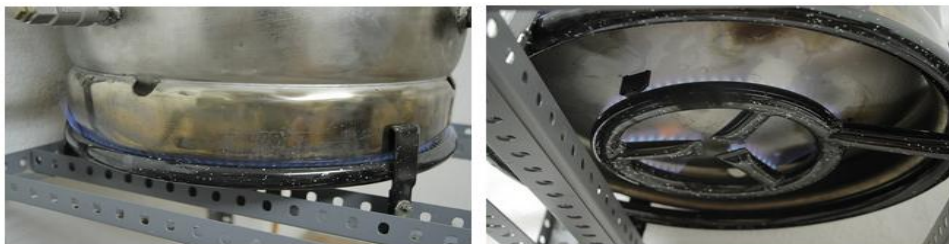


Fig 37: Sistema d'escalfament funcionant. Imatge pròpia

7.3.6 Tanc de cocció/escalfament

El tanc de cocció/escalfament està construït a partir d'un barril de cervesa d'acer inoxidable de 50 litres de capacitat. S'ha escollit aquest volum ja que és el recipient que més capacitat necessita.

S'ha descapotat amb una radial la part superior del barril per tal de crear l'entrada al recipient i la peça resultant s'ha aprofitat per a construcció de la tapa del tanc de maceració, com s'ha explicat abans. S'han polit les vores amb una esmoladora. Posteriorment s'ha rentat exhaustivament el recipient, especialment l'interior.



Fig 38: Part superior del tanc de cocció/escalfament (esquerra) i obertura amb les vores polides (dreta). Imatge pròpia

A continuació, s'han fet tres perforacions amb un ràcord per col·locar-hi dos termòmetres bimetàl·lics i una vàlvula. La vàlvula està situada a 7 cm del fons del barril. Els termòmetres estan a diferent alçada (a 7 i 20 centímetres, per a 25 i 12,5 litres respectivament) ja que l'olla de cocció conté diferents volums de líquids al llarg del procés d'elaboració de cervesa.



Fig 39: Tanc de cocció/escalfament amb les perforacions i mascles (esquerra) i amb els elements instal·lats (dreta)

A continuació s'ha construït el filtre, que està fet a partir de la part inferior del barril que s'ha emprat per al tanc de fermentació cilíndric (ja que la base s'ha retallat per a instal·lar el con).

A l'igual que s'ha fet amb per al filtre del tanc de maceració, la vora de la circumferència de metall s'ha polit i s'han realitzat obertures d'1 mil·límetre d'amplada i de 6 centímetres de longitud des del centre fins a 4 cm de la vora. A la vora s'han practicat unes incisions de 4 mil·límetres de longitud i 1 mil·límetre d'amplada.

A diferència del filtre del tanc de maceració, la part que s'ha emprat per al tanc de cocció/escalfament, no tenia una obertura al centre, ja que era la base del barril. S'ha realitzat una obertura de 15 mm de diàmetre per a insertar-hi el tub de coure en forma d'ela del mateix diàmetre. Aquest tub travessa el filtre arribant a la part inferior del tanc i surt per la sortida lateral connectant-se a la vàlvula de sortida.



Fig 40: Filtre i tub en forma d'ela (esquerra) instal·lats al tanc de cocció/escalfament (dreta). Imatge pròpia

Degut a que el barril estava molt desgastat i acumulava molta brutícia a la part externa, s'ha desbastat per donar-li un acabat més estètic i higiènic. El desbast s'ha dut a terme utilitzant rodets de desbast d'acer inoxidable connectats a l'esmoladora.



Fig 41: Procés de desbast del tanc de cocció/escalfament (esquerra) i acabat final (dreta). Imatge pròpia

7.3.7 Sistema de refredament

El sistema de refredament està compost per un serpenti d'acer inoxidable de 6 metres de longitud connectat a tubs de silicona i per un tanc destinat a contenir el líquid de refredament. El tanc de refredament s'ha fet a partir d'un barril de cervesa de 30 litres de capacitat que ha estat obert per la part superior i netejat adequadament. Com que només està destinat a contenir líquid refrigerant i no està en contacte amb el most, aquest recipient no té els acabats dels altres components de l'equip: no s'ha desbastat i a més tenia una petita esquerda a la part inferior que s'ha reparat soldant una petita placa d'acer inoxidable.



Fig 42: Serpenti d'acer inoxidable connectat als tubs de silicona (esquerra) i tanc de refredament (dreta). Imatge pròpia

7.3.8 Fermentador cilíndric

L'objectiu del fermentador cilíndric és controlar el nivell de pressió que es necessita dins del recipient, per tant cal que sigui isobàric. La construcció d'aquest component de l'equip ha estat la que més dificultats ens ha causat.

En primer lloc, el cos del recipient és, com en els altres casos, un barril de cervesa d'acer inoxidable de 30 litres de capacitat.

La primera complicació és idear un sistema que permeti tenir una tapa que permeti accedir a l'interior del tanc (per a l'entrada del most, la neteja manual del tanc, la inoculació del llevat...), però que alhora pugui tancar hermèticament durant la fermentació i la maduració. Aquest problema s'ha resolt soldant a la part superior del tanc una olla a pressió d'acer inoxidable. Aquest ha sigut el procés d'addició de l'olla a pressió al tanc cilíndric:

-Totes les sortides d'aire de l'olla han estat soldades per evitar fuites d'aire.

-S'ha tallat el recipient per la part inferior per tal de fer un recipient obert.

-Aquesta part s'ha soldat a la part superior del tanc cilíndric.



Fig 43: Olla a pressió soldada a la part superior del tanc de fermentació (esquerra) i vista de l'interior del tanc (dreta). Imatge pròpia

A continuació s'ha preparat la base del barril per poder col·locar-hi el con de 60°. A la part inferior del barril, per sota de la base i ha un anell d'uns 7 cm d'alçada que actua com a suport del barri. S'ha tallat amb una radial per tal d'aprofitar-lo per a la estructura de suport del tanc. El següent pas ha estat tallar la base del barril per tal de soldar-hi el con de 60°. S'ha tallat una circumferència de 34 cm de diàmetre amb una radial i posteriorment s'han esmolat les vores amb una esmoladora.



Fig 44: Base del barril (esquerra) emprat per a l'estructura del tanc de fermentació (dreta). Imatge pròpia

Per finalitzar l'estructura de suport s'han soldat 3 barres cilíndriques d'acer inoxidable unint la base de l'estructura amb el tanc de fermentació.

A la base del tanc, on s'ha tallat l'obertura de 34 cm de diàmetre, s'ha soldat un con d'acer inoxidable de 34 cm de diàmetre, 60° d'inclinació i una capacitat de 6 litres, que s'ha encarregat a una empresa especialitzada.

El con és un element imprescindible ja que durant la fermentació i la maduració es produeix la floculació i la sedimentació del llevat que es va dipositant en el fons del tanc. El con, gràcies a la seva inclinació, permet que tot el fang produït es situï en la part inferior del con.



Fig 45: Con de 60°. Imatge pròpia

A continuació s'ha procedit a instal·lar els elements del con. A l'extrem inferior del con (la sortida del tanc) s'ha soldat una peça d'acer inoxidable que acaba en una rosca en la qual s'insereix la vàlvula inferior del tanc. Al mig del con s'ha realitzat una segona obertura on s'ha soldat un mascle per col·locar-hi la segona vàlvula.

La funció de la vàlvula inferior és la de poder realitzar les purgues dels restes de llevat que es dipositen en el fons del con.

La vàlvula superior està dissenyada per realitzar l'embotellat del producte, i així evitar les restes de llevat que es dipositen en el fons i per a prendre mesures de densitat durant el procés de fermentació.



Fig 46: Con invertit amb les dues vàlvules instal·lades. Imatge pròpia



Fig 47: Tanc de fermentació amb l'estructura de suport. Imatge pròpia

En el cos del tanc s'ha instal·lat un termòmetre bimetàl·lic per conèixer la temperatura del most durant la fermentació i la maduració. No s'ha instal·lat una sonda interna ja que això ens impediria tancar el tanc hermèticament.



Fig 48: Termòmetre bimetàl·lic al cos del tanc i les dues vàlvules al con. Imatge pròpia

Abans d'instal·lar l'últim element del fermentador, s'ha desbastat el metall del tanc per donar-li un acabat més estètic i higiènic.

L'últim element que s'ha instal·lat és un sistema que ens permet regular la pressió interna del tanc i purgar l'excés de gas per tal d'aprofitar el gas produït durant la fermentació i regular-lo als volums de carbonatació que requereix el nostre producte.

Existeixen al mercat sistemes de regulació de pressió aplicables als fermentadors cilíndrics. Es va demanar un pressupost en una empresa especialitzada, però s'en va desestimar el seu ús degut a que el preu era massa elevat i també a que els models comercialitzats estan dissenyats per a volums superiors i no es podia garantir el seu bon funcionament en el tanc de fermentació que hem construït. Per aquest motiu hem decidit construir el nostre propi regulador de pressió, que consta d'una vàlvula reguladora de pressió, adquirida en un magatzem de subministres industrials, un manòmetre vertical i una vàlvula de pas. Els tres elements estan connectats mitjançant una T d'acer.



Fig 49: Controlador de pressió INOX DN 25 emprat en algunes microcerveceries. Imatge extreta de: www.probodegas.com



Fig 50: Elements del controlador de pressió. Vàlvula reguladora de pressió (esquerra), manòmetre vertical connectat a la T d'acer (dreta) i vàlvula de pas (a sota). Imatge pròpia

Per instal·lar aquest dispositiu s'ha soldat un colze roscat a la part superior de la paret del tanc de fermentació per tal de rosca-hi l'element i que quedi en posició vertical.



Fig 51: Sistema de regulador de pressió instal·lat al tanc de fermentació. Imatge pròpia

Aquesta vàlvula ens permet regular en qualsevol moment la pressió que hi ha dintre del fermentador cilíndric. Ens permet treballar en un rang de pressions de 0 PSI-100 PSI. Durant l'inici de la fermentació aquesta vàlvula roman oberta i deixa sortir tot el gas produït durant la fermentació.

Quan el most pràcticament fermentat es troba a quatre punts per sobre de la densitat final, la vàlvula s'ha de regular a la pressió necessària. Aquest serà el gas que posteriorment passarà a carbonatar la cervesa. Aquesta carbonatació ve determinada per l'estil de cervesa que s'està elaborant. Durant el procés de maduració aquest gas serà assimilat per la cervesa ja que el gas és més soluble a baixes temperatures.

Durant la fermentació pot produir-se, degut a una pujada sobtada de pressió, alguna avaria o trencament del manòmetre o de la vàlvula de control de pressió. En aquest cas, si s'ha de realitzar alguna reparació o un canvi d'alguna peça, la vàlvula de seguretat ens permetria tancar hermèticament el recipient i no perdre el gas necessari per a la carbonatació.

Respecte al manòmetre, és un aparell de medició i control que ens permet saber en qualsevol moment la pressió que hi ha a l'interior del tanc de fermentació. És una eina imprescindible per controlar el bon funcionament de la vàlvula de control de pressió i per evitar que per un error en la extracció del gas, la pressió interior sigui superior a 3 bar (màxima pressió del recipient).



Fig 52: Tanc de fermentació/maduració finalitzat. Imatge pròpia

7.3.9 Cambra de fermentació

Per tal de controlar la temperatura durant el procés de fermentació i maduració s'ha decidit construir una cambra de fermentació a partir d'un frigorífic convencional en desús.

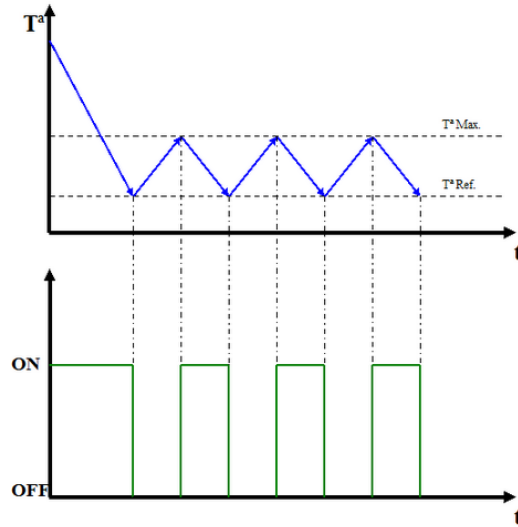
S'ha integrat en el circuit del frigorífic un termòstat equipat amb sonda de temperatura que ens permet treballar al rang de temperatures escollit. Això permet escollir la temperatura de fermentació, que ve marcada per l'estil de cervesa i el tipus de llevat. D'aquesta manera es poden elaborar tan *ales* com *lagers*.

La temperatura de fermentació sempre ve marcada per l'estil de cervesa i el tipus de llevat emprat. En el nostre cas el rang de temperatures s'adapta a un estil *ale* (alta fermentació) i per tant, la cambra de fermentació s'ha programat per a treballar a 18-20°C.

La cambra de fermentació té dos estats de funcionament:

On: quan $T^a \text{ Max} > 20^\circ\text{C}$. En aquest punt, i segons l'esquema de funcionament, el relé del termòstat activa el motor del frigorífic i aquest refredarà fins que $T^a \text{ Ref} = 18^\circ\text{C}$

Off: quan $T^a \text{ Ref} = 18^\circ\text{C}$, el relé desactivarà el motor del frigorífic i aquest romandrà apagat fins que $T^a \text{ Max} = 20^\circ\text{C}$. En aquest punt es tornarà a reiniciar el cicle.



Gràfic 1: funcionament del relé del termòstat

És important que la temperatura de refrigeració pròpia del frigorífic estigui al màxim. Quan s'arriba a T^a cambra = 18°C , el relé desactivarà el refredament, però s'ha de tenir en compte que degut a la inèrcia tèrmica pot donar-se que T^a cambra = 17°C . Com que es tracta d'un procés cíclic, si aquesta inèrcia es va acumulant, la temperatura de fermentació pot arribar a temperatures mínimes no desitjables i fins i tot aturar-se el procés fermentatiu.

Això es minimitza fent treballar el frigorífic a la seva temperatura màxima, en el nostre cas 9°C , d'aquesta manera el procés de refredament és més lent però la inèrcia tèrmica és pràcticament inapreciable.

La fermentació és un procés exotèrmic, és a dir que genera calor durant el procés. Aquesta calor ens pot alterar el rang de temperatures al qual volem treballar. En el nostre cas particular aquesta calor es neutralitza per la bona capacitat de retenció de fred del tanc metàl·lic. En el cas d'elaborar produccions majors aquest fet sí hauria de tenir-se en compte.



Fig 53: Cambra de fermentació. Imatge pròpia

7.3.10 Sistema de bombeig

El sistema de bombeig és el sistema d'interconnexió de tots els components de l'equip mitjançant tubs de silicona, vàlvules de pas i una bomba regulada per un variador de freqüència.

El component principal de l'equip és la bomba. Es tracta d'una bomba autoaspirant de doble sentit amb un motor de geometria radial. Està constituïda per una part mecànica, una part hidràulica i una part elèctrica. Un gran avantatge d'aquesta bomba és que funciona en els dos sentits i això ens permet circular el most en el sentit que ens convingui. Com que la bomba Novax té un cabal de 420 L/h cal regular el cabal de sortida de la bomba amb un variador de freqüència, que és un sistema utilitzat per al control de la velocitat rotacional d'un motor.

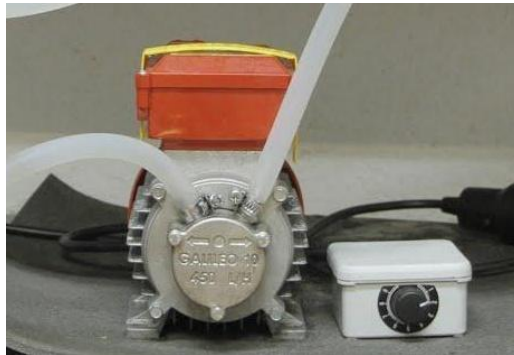


Fig 54: Bomba Novax amb el variador de freqüència. Imatge pròpia

La part hidràulica de les electrobombes *Novax* està construïda completament amb un aliatge d'acer inoxidable, fet que permet que compti amb el certificat d'idoneïtat per al transvasament de líquids alimentaris. El funcionament de la bomba és el següent:

Posició "O". Posició de descans. La bomba no funciona i no està connectada al corrent elèctric.

Posició ">" Fase activada de rotació en el sentit positiu: s'aspira el líquid amb l'entrada esquerra, i es bombeja el líquid amb l'entrada de la dreta.

Posició "<" Fase activada de rotació en sentit negatiu: s'aspira el líquid amb l'entrada de la dreta i es bombeja amb l'entrada de l'esquerra.

Funcionament:

1. Col·locar la bomba en una superfície estable.
2. Col·locar els tubs de silicona a l'entrada i sortida.
3. Omplir l'entrada escollida de la bomba per facilitar l'encebament.
4. Connectar l'interruptor a la xarxa elèctrica.
5. Accionar l'interruptor en el sentit desitjat.

Pel que fa al variador de freqüència s'han realitzat proves per a determinar les configuracions que s'adaptin als cabals de sortida desitjats.

-Posició 4: Fa funcionar el motor a un cabal de 1 L/min, apte per al recirculat.

-Posició 10: Fa funcionar el motor a un cabal de 6 L/min, apte per al rentat.

Els tubs de silicona del circuit tancat estan connectats a les vàlvules instal·lades als tancs de l'equip. Aquestes vàlvules són d'1/2 de pas, i tenen una bola trepada que gira entre seients elàstics, la qual cosa permet la circulació directa del most en la posició oberta i talla el pas quan es gira la bola 90° tancant el conducte. A més disposen d'un sistema de seguretat per evitar la seva obertura accidental. Les vàlvules tenen una resistència tèrmica de 200°C.

A continuació s'explica com estan connectats els components de l'equip formant un circuit tancat.

En primer lloc, cal dir com que la bomba només té una entrada i una sortida, ha estat necessari connectar l'entrada de la bomba a dues vàlvules ampliant així les entrades, i també s'han connectat tres vàlvules a la sortida.

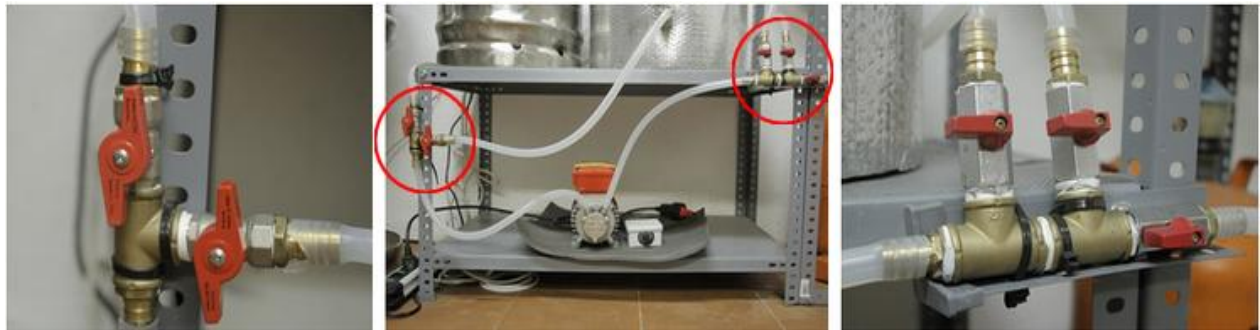


Fig 55: Dues vàlvules instal·lades a l'entrada de la bomba (esquerra), tres vàlvules instal·lades a la sortida de la bomba (dreta) i visió general de la bomba, el variador de freqüència i les vàlvules instal·lades (centre). Imatge pròpia

A continuació es mostra una imatge amb tots els elements que configuren el sistema de bombeig. Totes les vàlvules han estat etiquetades amb la nomenclatura que s'emprarà per explicar el procés d'elaboració amb aquest equip.

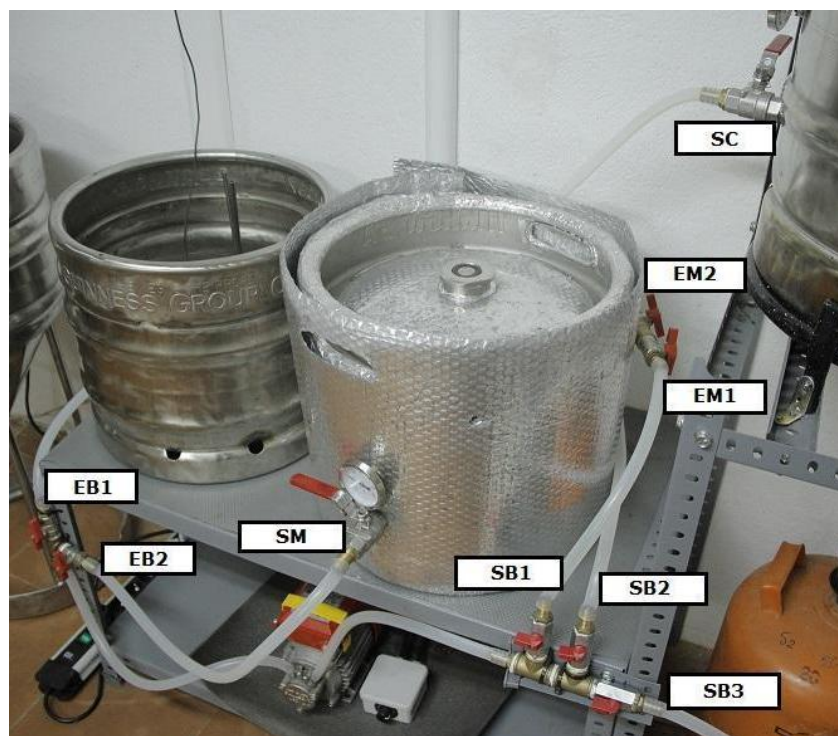


Fig 56: Sistema de bombeig amb la nomenclatura de les vàlvules. Imatge pròpia

La nomenclatura utilitzada és la següent:

EB1: entrada a la bomba 1
EB2: entrada a la bomba 2

SB1: sortida de la bomba 1
SB2: sortida de la bomba 2
SB3: sortida de la bomba 3

EM1: entrada al macerador 1
EM2: entrada al macerador 2:

SM: sortida del macerador

SC=sortida del tanc de coccio

La nomenclatura per a l'ús de la bomba es basa en les posicions de l'interruptor de la bomba explicades anteriorment, i és la següent:

B(0): bomba apagada
B(>): sentit positiu de circulació
B(<): sentit negatiu de circulació

7.3.11 Quadre de control de l'equip

El quadre de control de l'equip és un sistema on s'engloben tots els elements de lectura i control de dades. Consta de dos termòmetres sonda, un connectat al tanc de maceració i que suporta una temperatura de 100°C, i un altre connectat al tanc de coccio/escalfament que suporta una temperatura de 250°C. Inclou també un regulador de temperatura de la cambra de fermentació/maduració, que permet establir la temperatura a la qual es desitja realitzar aquests processos. A més, s'ha instal·lat un interruptor amb temporitzador que ens permet programar els temps de funcionament de la bomba Novax.



Fig 57: Quadre de control de l'equip. D'esquerra a dreta i de dalt a baix: T^a maceració, T^a coccio/escalfament, interruptor amb temporitzador i T^a fermentació/maduració. Imatge pròpia

7.4 Equip finalitzat



Fig 58: Dalt: quadre de control de temperatures. D'esquerra a dreta: cambra de fermentació, fermentador cilíndric, tanc de refredament, tanc de maceració i tanc de cocció/escalfament. A sota: bomba amb variador de freqüència i sistema d'escalfament

8. ELABORACIÓ AMB L'EQUIP CONSTRUÏT

8.1 DISSENY D'UNA RECEPTE

8.1.1 Elecció d'un estil

L'elaboració dels estils de cervesa *ale* i *lager*, d'alta i baixa fermentació respectivament, depenen en gran mesura de les temperatures de fermentació. Per tant, si no es disposa d'un sistema que permeti regular les temperatures a les quals fermenta la cervesa, només es podrà elaborar un estil o un altre si les temperatures ambientals ho permeten.

Amb el nou equip que hem construït, la cambra de fermentació ha permès eliminar el factor de la temperatura ambiental i per tant, la selecció de l'estil a elaborar no depèn d'aquest factor sinó de les preferències de l'elaborador.

L'estil que hem decidit elaborar amb el nou equip és un estil d'alta fermentació, concretament una *English Pale Ale* (EPA). Hem escollit aquest estil perquè és una classe de cervesa que no és de consum habitual en aquest territori, on la cervesa consumida massivament pertany a l'estil *Lager Pilsner*. A més, l'estil *Pale Ale* s'està introduint a Catalunya de la mà de moltes microceriveseries artesanes. Les característiques generals de la *English Pale* es mostren a la taula següent. Cal aclarir que segons el BJCP existeixen tres subestils de la *English Pale Ale*, la *Standard*, la *Special* i la *Extra*.

STYLE	OG	FG	ABV%	IBU	SRM
8. ENGLISH PALE ALE					
A. Standard/Ordinary Bitter	1.032-40	1.007-11	3.2-3.8	25-35	4-14
B. Special/Best/Premium Bitter	1.040-48	1.008-12	3.8-4.6	25-40	5-16
C. Extra Special/Strong Bitter (English Pale Ale)	1.048-60	1.010-16	4.6-6.2	30-50	6-18

Fig 59: Extracte de la taula de classificació de les cerveses segons el BJCP. Imatge extreta de http://www.bjcp.org/docs/2008_Guidelines.pdf

La nostra cervesa s'engloba en el subestil *Extra Special/Strong Bitter (English Pale Ale)*. Aquest subestil és el que comunament es coneix com a *English Pale Ale*. Les característiques organolèptiques, segons el BJCP, són les següents:

Aroma: aroma de llúpul moderat. Es pot emprar qualsevol varietat de llúpul, però els anglesos són els més tradicionals. Aroma de malt moderat a moderadament alt, sovint amb un baix a moderadament fort component de caramel (més subtil en versions més pàl·lides). Èsters afruitats moderadament baixos a moderadament alts. Generalment sense diacetil, encara que admet nivells molt baixos. Pot tenir lleugeres notes secundàries de sulfur i/o alcohol.

Aparença: color daurat a coure oscur. Claretat bona a excel·lent. Escuma blanca o d'altre color baixa o moderada. Si la carbonatació és baixa és acceptable l'escuma escassa.

Gust: amargor moderada a moderadament alta, amb tocs evidents de malt. Normalment presenta una dolçor moderadament baixa de malt caramelitzat. Gust a llúpul moderat a moderadament alt (qualsevol varietat, però les més tradicionals són els anglesos amb notes terroses, resinoses i florals). Cal que destaquin l'amargor i el gust del llúpul, però no deuen emmascarar totalment el gust de malt. Pot presentar nivells baixos de gustos secundaris de malt (galleta, nous) afegint complexitat. Èsters afruitats moderadament baixos a alts. També pot presentar un lleuger gust d'alcohol i un gust mineral/sulfurós moderat. Gust final sec a moderadament sec (especialment si s'empra aigua sulfurosa). Generalment sense diacetil, encara que es permeten nivells molt baixos.

Sensació en boca: cos moderadament lleuger a moderadament plé. Carbonatació baixa a moderada, però en les versions embotellades comercials és més alta. Les versions més fortes poden presentar una lleugera tebiesa alcohòlica, però aquest caràcter no ha de ser molt marcat.

Impressió general: El balanç és bastant equilibrat entre el malt i el llúpol, encara que pot tendir lleugerament a l'amargor.

Ingredients: generalment s'empra com a malt base el malt *pale ale*. En menors quantitats s'utilitzen malts com el *Crystal* o el *Carahell* per donar perfils torrats o caramelitzats. També és habitual l'utilització de malts molt torrats com el *Black Balt* o el *Chocolate*. D'aquestes últimes només interessen l'impacte que tenen sobre el color. Admet l'utilització d'adjunts com sucre o flocs de blat. Les varietats de llúpol més utilitzades són les angleses (*Fuggles*, *East Kent Golding*...), però s'està extenent l'ús de varietats americanes (*Cascade*) i europees. Els llevats solen ser anglesos i d'alta fermentació.

8.1.2 Selecció de matèries primeres

Segons les característiques abans descrites, per a la nostra elaboració hem seleccionat les següents matèries primeres.

Malt

Per al malt s'ha escollit la varietat *Pale Ale Malt* que té 9 EBC i un extracte potencial del 77%.

Llúpol

S'han emprat llúpols anglesos de dos varietats diferents: *East Kent Golding* (EKG) i *Fuggles*. La varietat EKG s'ha emprat com a llúpol d'amargor i de gust. L'addició d'amargor ens aportarà el 80% dels IBUs totals i la del gust el 20% restant. La varietat *Fuggles* s'ha emprat com a llúpol de l'aroma i no aportarà cap IBU.

Llevat

S'ha emprat un llevat d'alta fermentació anomenat *English Ale Yeast*, fabricat pels laboratoris *White Labs Inc*. La seva temperatura òptima és de 18-20°C i té una capacitat d'atenuació del 73%, i una capacitat de floculació elevada.

Aigua

L'aigua dura presenta àcids carbònics que dissolen pedres calcàries en el seu recorregut fins al consum, augmentant la proporció de carbonat càlcic. En l'aigua tova predomina el sulfat de calci, per tant produirà una cervesa més clara, suau i de menor densitat degut a una mineralització baixa. Per contra, les aigües dures són més adequades per l'elaboració de cerveses fosques i amb densitat mitja-alta.

Per tant, com es vol elaborar una cervesa amb una densitat mitja, hem escollit una aigua dura per a l'elaboració. Segons la taula de l'OMS de classificació de l'aigua segons la duresa, una aigua dura és la que presenta 121-180 (mg/l CaCO₃). S'ha decidit utilitzar aigua de la marca comercial Viladrau que presenta una duresa de 128 (mg/l CaCO₃).

8.1.3 Determinació de les característiques de la cervesa

Per a la producció d'una cervesa, l'elaborador ha d'establir quina densitat inicial (DI), densitat final (DF), grau d'alcohol, i IBU (unitats d'amargor) vol obtenir, així com el volum final de la producció, per tal de partir d'aquests paràmetres per dissenyar la recepta.

Tal com s'ha explicat en l'apartat 8.1.1 *Elecció d'un estil*, l'estil de cervesa *English Pale Ale*, té les següents característiques: DI de 1048-60, DF de 1010-16, grau d'alcohol de 4,6-6,2% i IBU de 30-50. Per tant, el nostre objectiu és que les característiques de la nostra cervesa s'emmarquin en aquests rangs.

S'ha decidit elaborar una cervesa amb una DI de 1052, 35 IBU i un volum final de producció de 20 litres. La DF i el % alcohol, vindran determinats per la capacitat d'atenuació del llevat emprat. Com que la soca emprada té una atenuació del 73% la densitat final es calcularà de la següent forma

$$\begin{aligned}\% \text{ atenuació} &= (DI-DF) / (DI) \\ 0,73 &= (52-DF) / 52 \\ DF &= 14\end{aligned}$$

Per tant la densitat final serà de 1014

Un cop determinades les densitats inicials i finals es podrà calcular l'alcohol a partir de la següent expressió

$$\begin{aligned}\% \text{ alcohol} &= (DI-DF) / 7,45 \\ \% \text{ alcohol} &= (52-14) / 7,45 \\ \% \text{ alcohol} &= 5,1\end{aligned}$$

Per tant la nostra cervesa tindrà una DI de 1052, una DF de 1014, un % d'alcohol de 5,1 i 35 IBUS. Per tant es troba dins de l'interval desitjat .

Pel que fa a la carbonatació, les cerveses *ale* tenen una carbonatació entre 1,5 i 2,5 volums de CO₂. Com que es vol obtenir un producte amb una mitja-alta carbonatació s'ha decidit obtenir una carbonatació de 2,5 volums de CO₂.

Les cerveses de l'estil *English Pale Ale* tenen un perfil maltós i un contingut d'alcohol baix/moderat. Com s'ha explicat en l'apartat 4.8.1 *Tipus de maceracions*, si es realitza la maceració a temperatures entre 65 i 68 °C, s'aconseguirà una cervesa amb molt cos (ja que s'extreuen sucres i compostos no fermentables) i amb un grau d'alcohol menor ja que degut a la menor presència de sucres fermentables l'atenuació serà menor. Per tant s'ha decidit realitzar la maceració a una temperatura de 68°C.

Per a la maceració s'ha decidit realitzar un procés d'infusió simple ja que la majoria de cerveses d'aquest estil s'elaboren amb aquest mètode i a més, té el gran avantatge que es realitza sense cap manipulació durant el procés i això ens permet aprofitar el temps en la preparació de les següents etapes d'elaboració.

Com que es tracta d'una cervesa d'alta fermentació, les temperatures de fermentació, maduració i clarificació han de ser les adients a aquest estil. Tal com s'explica a l'apartat 4.8.1 *Tipus de fermentacions*, tradicionalment, les cerveses de fermentació alta fermenten durant aproximadament 4 dies a temperatures en un rang de 18-24°C. Després de la fermentació, aquestes cerveses tenen un temps de maduració posterior que pot realitzar-se en calent a 13°C-16°C i una clarificació en fred a 0-4°C. Per tant, tenint en compte aquestes temperatures i les temperatures òptimes del llevat emprat, s'ha decidit realitzar la fermentació a 18-20°C, la maduració a 18-20°C en comptes de 13-

16°C, ja que es vol que el llevat continuï treballant a temperatures òptimes per aprofitar el gas en la carbonatació i una clarificació a 0-2°C.

Pel que fa al temps de cocció, s'ha decidit realitzar una cocció d'una hora, en la qual els llúpols de l'amargor representaran un 80% dels IBU totals. Tal i com s'explica en l'apartat 4.6.2 *Addicions de llúpol durant la cocció*, la primera addició serveix per donar amargor. Amb la primera addició s'ha d'arribar al 75-80% dels α -àcids que es necessita. Amb una hora de cocció s'aconseguirà una isomerització d'aquests α -àcids que donaran a la cervesa un perfil amarg moderat /alt, característic de l'estil.

L'addició del llúpol del gust representarà un 20% dels IBU totals i es courà durant 10 min. Tal i com s'explica al mateix apartat l'addició dels llúpols de l'aroma s'afegiran al finalitzar la cocció i es deixaran infusonar durant 15 min. Cal aclarir que aquesta addició no augmentarà els IBU totals ja que els α -àcids no s'isomeritzen al detenir la cocció. En aquesta etapa s'afegirà més quantitat de llúpol que durant la segona addició, ja que els aromes de llúpol són molt volàtils i es vol obtenir una cervesa amb un aroma a llúpol moderat/alt.

Tot i que l'equip està preparat per a realitzar els dos tipus de rentat explicat a la teoria (continu i per etapes), s'ha decidit realitzar un rentat per etapes ja que el procediment és més simple, no requereix un control de cabals i s'evita la formació de canals.

8.1.4 Càlculs: teoria

Un cop establerts els factors anteriors, es pot calcular la quantitat de malt, la quantitat d'aigua per als processos de maceració i rentat i les respectives temperatures, els grams de llúpol que s'han d'emprar i la regulació de la vàlvula de pressió per a obtenir la carbonatació desitjada.

Abans de realitzar aquests càlculs, és necessari determinar diversos factors. En primer lloc, cal calcular empíricament les pèrdues per la capacitat d'absorció del malt, les degudes al doble fons i les degudes a l'evaporació durant la cocció.

Determinació de les pèrdues

Les pèrdues són pròpies de cada equip i dels ingredients emprats. Per tal de realitzar els càlculs de manera exacta tenint en compte les pèrdues, és necessari l'experimentació amb les mateixes condicions i ingredients en què es realitzarà el procés.

Capacitat absorció del malt

Durant el procés de maceració, l'aigua i el gra es mesclen. Quan entren en contacte, el gra absorbeix una determinada quantitat d'aigua i queda emmagatzemada en el seu interior. Durant l'extracció del most en la maceració només una part d'aquesta aigua es recupera.

Generalment, tot i que pot variar en determinats tipus de malts, el gra de malt d'ordi té una capacitat d'absorció d'aigua entre 0,8-1,5 L/Kg malt. De totes maneres, és interessant realitzar una maceració pilot per comprovar si amb el nostre equip s'obtenen pèrdues dintre d'aquest rang. Aquest càlcul ens permetrà conèixer millor el nostre equip i determinar de forma exacta la capacitat d'absorció dels grans emprats en les nostres elaboracions.

En el nostre cas, emprant la classe *Pale Ale Malt*, les pèrdues han estat d'**1,4 L/Kg malt**.

Pèrdues doble fons

El tanc de maceració té un sistema de doble fons, format per un filtre d'acer inoxidable i un tub de coure que actua com a succionador del most. Degut a la forma còncava de la part inferior del tanc hi ha una part de líquid que no pot succionar el tub, i per tant no és aprofitable pel procés. Per tant parlem de pèrdues per doble fons.

Les pèrdues en el tanc de maceració han estat de **0,8 litres**. Aquestes pèrdues es deuen a que en el doble fons es forma un líquid remanent format per most i una gran quantitat de partícules sòlides en suspensió formades per petites parts de clofolles de gra i materials diversos com partícules de farina no dissoltes. Degut a la viscositat del líquid romanent, la seva extracció és complicada.



Fig 60: Líquid acumulat al fons del tanc de maceració (esquerra) i mesurat en un recipient volumètric (dreta). Imatge pròpia

Evaporació

Durant la cocció una part de l'aigua present en el most s'evapora. Aquesta evaporació varia segons l'equip d'elaboració i ve determinada pel tipus de material del tanc de cocció, per la seva geometria i pel tipus de font de calor emprada.

La pèrdua per evaporació s'ha de determinar empíricament mitjançant una cocció pilot en la qual es bull aigua durant una hora. És important bullir el mateix volum d'aigua que de most emprat en la cocció.

Després de realitzar les proves pertinents, es pot determinar que el nostre equip té la següent tasa d'evaporació: **Evh = 3,5 L/h**.

Càlculs previs necessaris

Per determinar amb exactitud els kg de malt que s'han d'emprar en el procés d'elaboració és necessari conèixer el rendiment del tanc de maceració (expressat com a **R maceració**). Aquest és un càlcul que només es pot obtenir realitzant una maceració real. Per tant és necessari realitzar una maceració pilot abans de l'elaboració real de cervesa.

$$R \text{ maceració} = \frac{E \text{ obtingut} * 100}{E \text{ màxim}}$$

E obtingut: és l'extracte obtingut durant la maceració, és a dir la quantitat de sucres extrets durant la maceració.

E màxim: és l'extracte màxim que es pot obtenir de la malta emprada.

Es calculen de la següent manera:

$$E \text{ obtingut} = (\text{Volum extret maceració} * \text{Densitat} * \text{°P} * 10)$$

Densitat: es calcula a partir de la mesura del densímetre amb una mostra del most extret.

$$\text{°P: Graus plat, es calculen a partir de la següent fórmula: } \text{°P} = 259 - \frac{259000}{D}$$

$$E \text{ màxim} = Ma (EPa) + Mb (EPb) + Mc (EPc)$$

Ma= gr malt a

EPa= extracte potencial malt a

Mb= gr malt b

EPb= extracte potencial malt b

L'extracte potencial d'un malt ve indicat pel fabricant. En cas contrari pot determinar-se a partir d'aquesta taula:

Malt Type	Max. Yield
2 Row Lager Malt	80
6 Row Base Malt	76
2 Row Pale Ale Malt	81
Biscuit/Victory Malt	75
Vienna Malt	75
Munich Malt	75
Brown Malt	70
Dextrin Malt	70
Light Crystal (10 - 15L)	75
Pale Crystal (25 - 40L)	74
Medium Crystal (60 - 75L)	74
Dark Crystal (120L)	72
Special B	68
Chocolate Malt	60
Roast Barley	55
Black Patent Malt	55
Wheat Malt	79
Rye Malt	63
Oatmeal (Flaked)	70
Corn (Flaked)	84
Barley (Flaked)	70
Wheat (Flaked)	77

Taula 4: Extracte potencial dels malts

Un cop calculat el rendiment obtingut durant la maceració pilot es pot calcular la quantitat necessària de malt de forma precisa.

Càlcul de matèries primeres

Càlcul de la quantitat de malt

En primer lloc cal determinar el volum d'abans de la cocció (**Vh**). En aquest volum es tenen en compte les pèrdues per evaporació.

$$Vh = \frac{Vf + Evh * t}{60}$$

Vf= volum final

Ev h= evaporació per hora de l'equip

t = temps de cocció en minuts

Seguidament cal determinar la densitat que hem d'obtenir abans de la cocció. Aquesta densitat serà inferior a la DI desitjada. Cal aclarir que sempre que es realitza una cocció, la densitat prèvia a la cocció ha de ser inferior a la desitjada ja que durant el procés s'evapora aigua (els càlculs realitzats anteriorment) i aquesta densitat augmenta.

$$Dh = \frac{(Vf * DI + 1000) * (Vh - Vf)}{Vh}$$

Un cop determinada la densitat d'abans del bullit, es pot determinar la quantitat d'extracte necessari (la quantitat de sucres presents en el most) per obtenir la DI i el Vf establits anteriorment.

$$Ex \text{ necessari (g/L)} = \frac{Dh * (259 - 259000 - Dh)}{100}$$

Seguidament es calculen els Kg d'extracte.

$$Kg \text{ extracte} = \frac{(Vh * Ex \text{ necessari} / R \text{ maceració})}{1000}$$

I per últim, amb la següent fórmula, es calculen els kg de malt necessaris per a l'obtenció de la DI desitjada.

$$Kg \text{ de malt} = \frac{Kg \text{ extracte necessari} * \% \text{ malt}}{EP}$$

% malt = percentatge del malt emprat (100% si només s'empra un tipus de malt)

Càlcul de la quantitat d'aigua

Aigua de la maceració

Per a determinar la quantitat d'aigua necessària per a la maceració cal establir la densitat de la maceració, expressada com a **Dm**. Fa referència a la quantitat d'aigua a addicionar per cada Kg de malta emprat.

La Dm la determina l'elaborador de cervesa en relació a la densitat del most que desitja obtenir. Si es vol obtenir un most molt concentrat s'utilitzarà una relació d'aigua i gra de 2 LH₂O/Kg malt. De forma general s'acostuma a utilitzar una Dm de 3 LH₂O/Kg malt.

Un cop determinada la Dm, l'aigua utilitzada durant la maceració es calcula segons aquesta fórmula:

$$V \text{ aigua maceració} = Kg \text{ gra totals} * Dm$$

És imprescindible determinar el volum que ocupa la mescla per tal d'assegurar que el volum del tanc de maceració és suficient per realitzar el procés. El volum que ocupa la maceració es determina de la següent manera:

$$V_{\text{ocupat mescla}} = V_{\text{aigua}} + (\text{kg gra total} * V_{\text{desplaçament gra}})$$

El volum de desplaçament del gra d'ordi és de 0,64.

És imprescindible que $V_{\text{macerador}} > V_{\text{ocupat mescla}}$. En cas contrari, es pot realitzar la maceració amb una D_m inferior i posteriorment afegir aquest volum d'aigua eliminat en les addicions del rentat del most.

El darrer càlcul de la maceració és la determinació del volum de most extret en la maceració (**$V_{\text{extret maceració}}$**). Aquest volum de most extret és molt inferior al volum d'aigua emprat en la maceració ja que com s'ha detallat en l'apartat anterior durant la maceració existeixen pèrdues degudes al doble fons, i a la capacitat de retenció d'aigua del gra.

$$V_{\text{extret maceració}} = V_{\text{aigua maceració}} + V_{\text{addicions extra}} - V_{\text{absorbit gra}} - V_{\text{pèrdues doble fons}}$$

$V_{\text{addicions extra}}$ és la quantitat d'aigua que s'ha afegit en cas que es necessités ajustar la temperatura de maceració amb aigua calenta.

Aigua de rentat

$$V_{\text{aigua rentat}} = (V_h - V_{\text{extret maceració}}) + P_{\text{èrdues doble fons macerador}}$$

Cal destacar que en aquesta etapa el gra té una capacitat de retenció d'aigua pràcticament inapreciable ja que es troba saturat de líquid. Sí que s'han de tenir en compte les pèrdues degudes al doble fons.

Aquest Volum d'aigua de rentat pot addicionar-se en una etapa o en varies etapes depenent del volum del macerador. Es pot calcular de la següent manera:

$$N^{\circ} \text{ addicions} = \frac{V_{\text{aigua rentat}} - V_{\text{pèrdues doble fons}}}{\text{Capacitat útil macerador} - V_{\text{volum gra}} - V_{\text{aigua absorbida gra}}}$$

Si $N^{\circ} \text{ addicions} < 1$ es realitzarà en una etapa

Si $N^{\circ} \text{ addicions} > 1$ x < 2 es realitzarà en dues etapes

Si $N^{\circ} \text{ addicions} > 2$ es realitzarà en tres etapes

Un cop determinat el nombre d'addicions necessàries només cal determinar el volum de cada addició

$$V_{\text{adició}} = V_{\text{aigua rentat}} / N^{\circ} \text{ addicions}$$

Per últim resta calcular tota l'aigua necessària per a l'elaboració.

$$V_{\text{total aigua procés}} = V_{\text{aigua maceració}} + V_{\text{aigua rentat}}$$

Càlcul de la quantitat de llúpul

Cal realitzar el següent càlcul per a cada addició de llúpul (d'amargor, de gust i d'aroma).

$$Gr \text{ llúpul} = \frac{(\% IBU) * IBU * V_f}{(\% Aa) * U * 1000 (mg/g)}$$

$\% IBU$ = percentatge d'IBU a obtenir en una addició

IBU = IBU totals a obtenir

V_f = volum final

%Aa = α-àcids de la varietat de llúpul emprada

U = coeficient d'aprofitament del llúpul

Càlcul de temperatures

Amb la següent fórmula es calcula la temperatura de l'aigua de maceració per realitzar la mescla a la temperatura desitjada.

$$T^a \text{ aigua maceració} = \frac{kg \text{ malt} * Ce \text{ malt} * (T^a \text{ objectiu} - T^a \text{ malt})}{Volum \text{ aigua maceració} * Ce \text{ aigua}} + T^a \text{ objectiu} + 3$$

Ce malt = calor específic del malt

T^a objectiu = T^a desitjada mescla maceració

T^a malt = T^o del gra de malt

Ce aigua = calor específic de l'aigua

Càlcul de la carbonatació

La carbonatació de la cervesa s'expressa en volums de CO₂ (grams de CO₂ dissolts per cada litre de cervesa). Cada estil de cervesa necessita un determinat volum de CO₂. Les cerveses *ale* tenen un volum de CO₂ dissolt entre 1,5 i 2,5. Per a l'obtenció d'un determinat volum de CO₂ determinat en la cervesa es necessita una determinada pressió que depèn de la temperatura. Aquesta pressió és pot determinar amb la següent taula:

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatació Volumenes CO ₂	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
	2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Presiones en bares

Taula 5: Taula per al càlcul de la carbonatació. Extreta de www.cerveceroscaseros.com

8.1.5 Càlculs: aplicació per a la recepta

Prenent com a base l'explicació de l'apartat anterior on es detallen els càlculs necessaris, a continuació es realitzen els càlculs per a realitzar una elaboració amb l'equip construït.

Establim els valors que volem obtenir:

DI	1052
DF	1014
Vf (l)	20
IBU	30
% alcohol	5,1
Volum CO₂	2,5

Taula 6: Característiques de la cervesa

Dades de matèries primeres emprades per als càlculs posteriors:

Malt		Extracte Potencial (Ep)		
<i>Pale Ale Malt</i>		0,76		

Llúpol	Temps (min)	% α (α-àcids)	% IBU	U (coeficient d'aprofitament)
<i>East Kent Golding</i>	60	6,92	80	0,8
<i>East Kent Golding</i>	10	6,92	20	0,093

Procés	Temperatura (°C)
Maceració	68
Rentat	77

Pèrdues	
Evaporació (l/h)	3,5
Doble fons (l)	0,8
Absorció gra (l/kg malt)	1,4

Taula 7: Dades per als càlculs

Càlcul rendiment del la maceració

Per obtenir aquest càlcul s'ha realitzat una maceració pilot amb 5 kg de malt (80% d'extracte potencial) de la qual s'han obtingut 23.5 litres de most amb una densitat de 1042 .

$$\text{Rendiment maceració} = \frac{E \text{ obtingut} * 100}{E \text{ màxim}}$$

$$E \text{ obtingut} = (\text{Volum extret maceració} * \text{Densitat} * \text{°P} * 10)$$

$$\text{°P} = 259 - \frac{259000}{D}$$

$$\text{°P} = 259 - \frac{259000}{1042}$$

$$\text{°P} = 10,43$$

$$E \text{ obtingut} = (23,5 * 1,042 * 10,43 * 10)$$

$$E \text{ obtingut} = 2553,9 \text{ gr}$$

$$E \text{ màxim} = Ma (EPa) + Mb (EPb) + Mc (EPc)$$

$$E \text{ màxim} = 5000 * 0,80$$

$$E \text{ màxim} = 4000 \text{ gr}$$

$$\text{R maceració} = \frac{2553,9 * 100}{4000}$$

$$\text{R maceració} = 64 \%$$

Càlcul de la quantitat de malt

$$Vh = \frac{Vf + Evh * t}{60}$$

$$Vh = \frac{20 + 3,5 * 60}{60}$$

$$Vh = 23,5$$

$$Dh = \frac{(Vf * DI + 1000) * (Vh - Vf)}{Vh}$$

$$Dh = \frac{(20 * 1052 + 1000) * (23,5 - 20)}{23,5}$$

$$Dh = 1044$$

$$\text{Ex necessari (g/L)} = \frac{Dh*(259-259000 - Dh)}{100}$$

$$\text{Ex necessari (g/L)} = \frac{23,5*(259-259000 - 23,5)}{100}$$

$$\text{Ex necessari} = \mathbf{114 \text{ (g/L)}}$$

$$\text{Kg extracte} = \frac{(Vh*Ex necessari/R maceració)}{1000}$$

$$\text{Kg extracte} = \frac{(23,5 * 114 / 0,64)}{1000}$$

$$\text{Kg extracte} = \mathbf{4,2 \text{ Kg}}$$

$$\text{Kg de malt} = \frac{\text{Kg extracte necessari} * \% \text{ càrrega}}{EP}$$

$$\text{Kg de malt}_{\text{Pale ale}} = \frac{4,2 * 1}{0,76}$$

$$\text{Kg de malt}_{\text{Pale ale}} = \mathbf{5,5 \text{ kg}}$$

Càlcul de la quantitat d'aigua

$$V \text{ aigua maceració} = \text{Kg gra totals} * Dm$$

$$V \text{ aigua maceració} = 5,5 * 3$$

$$V \text{ aigua maceració} = \mathbf{16,5 \text{ L}}$$

$$V \text{ ocupat mescla} = \text{Volum aigua} + (\text{kg gra total} * \text{Volum desplaçament gra})$$

$$V \text{ ocupat mescla} = 16,5 + (5,5 * 0,67)$$

$$V \text{ ocupat mescla} = 20,2 \text{ L}$$

Per tant, $V \text{ macerador} > V \text{ ocupat mescla}$

$$V \text{ extret maceració} = V \text{ aigua maceració} + \text{Volum addicions extra} - V \text{ absorbit gra} - V \text{ pèrdues doble fons} - V \text{ pèrdues transport}$$

$$V \text{ extret maceració} = 16,5 + 0 - (5,5 * 1,4) - 0,8 - 0$$

$$V \text{ extret maceració} = \mathbf{8 \text{ L}}$$

$V \text{ aigua rentat} = (V_h - V \text{ extret maceració}) + Pèrdues \text{ doble fons macerador} + Abs \text{ gra}$

$$V \text{ aigua rentat} = (23,5 - 8) + 0,8 + (0,3 * 5,5)$$

$$V \text{ aigua rentat} = \mathbf{18 \text{ L}}$$

$$N^{\circ} \text{ addicions} = \frac{V \text{ aigua rentat} - V \text{ pèrdues doble fons}}{\text{Capacitat útil macerador} - \text{Volum gra} - V \text{ aigua absorbida gra}}$$

$$N^{\circ} \text{ addicions} = \frac{18 - 0,8}{30 - 5,5 - (0,3 * 5,5)}$$

$$N^{\circ} \text{ addicions} = 0,75$$

Per tant, com que $N^{\circ} \text{ addicions} < 1$. És realitzarà en una etapa

Càlcul de temperatures

$$T^a \text{ aigua maceració} = \frac{Kg \text{ malt} * Ce \text{ malt} * (T \text{ objectiu} - T \text{ malt})}{\text{Volum aigua maceració} * Ce \text{ aigua}} + T^a \text{ objectiu} + 3$$

$$T^a \text{ aigua maceració} = \frac{5,5 * 1,6 * (68 - 20)}{16,5 * 4,18} + 68 + 3$$

$$T^a \text{ aigua maceració} = \mathbf{77^{\circ}C}$$

Càlcul dels grams de llúpul

$$\text{Gr llúpul} = \frac{(\% \text{ IBUS}) * \text{IBU} * V_f}{(\% \text{ Aa}) * U * 1000 (\text{mg/g})}$$

$$\text{Gr llúpul}_{\text{amargor}} = \frac{0,8 * 35 * 20}{0,0692 * 0,28 * 1000} = \mathbf{29 \text{ gr}}$$

$$\text{Gr llúpul}_{\text{gust}} = \frac{0,2 * 35 * 20}{0,0692 * 0,093 * 1000} = \mathbf{22 \text{ gr}}$$

Càlcul de la carbonatació

La carbonatació de la cervesa s'expressa en volums de CO₂ (grams de CO₂ dissolts per cada litre de cervesa). Cada estil de cervesa necessita un determinat volum de CO₂. Les cerveses *ale* tenen un volum de CO₂ dissolt entre 1,5 i 2,5. Per a l'obtenció d'un determinat volum de CO₂ determinat en la cervesa es necessita una determinada pressió que depèn de la temperatura. Aquesta pressió és pot determinar amb la següent taula:

Càlcul de la carbonatació

Hem decidit que la nostra cervesa tingui 2,5 volums de CO₂ ja que es vol elaborar una cervesa amb una carbonatació mitjana-alta

Per obtenir aquest determinat volum a temperatura de fermentació (18°C és necessària una pressió de 1,7 bar, tal i com s'observa en la següent taula:

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatació Volumenes CO ₂	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17	
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Taula 8: Pressió seleccionada (1,76 bar)

Donat que la vàlvula reguladora de pressió està configurada en PSI i sabent que 1 bar equival a 14.5 PSI caldrà regular la vàlvula a 25 PSI.

Cal aclarir que durant la clarificació degut a la baixada de temperatura, aquesta pressió serà de 0,7, però els volums de CO₂ seran els mateixos.

		Temperatura °C															
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Carbonatació Volumenes CO ₂	1.5			0.08	0.16	0.25	0.34	0.43	0.53	0.62	0.72	0.82	0.92	1.03	1.13	1.24	1.35
	1.6		0.06	0.15	0.24	0.34	0.43	0.52	0.62	0.72	0.82	0.93	1.04	1.14	1.26	1.37	1.48
	1.7	0.04	0.13	0.22	0.32	0.42	0.51	0.61	0.72	0.82	0.92	1.04	1.15	1.26	1.38	1.49	1.61
	1.8	0.11	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.71	0.81	0.92	1.03	1.15	1.26	1.38	1.50	1.62	1.74
	1.9	0.17	0.27	0.37	0.48	0.58	0.69	0.80	0.91	1.02	1.14	1.26	1.38	1.50	1.62	1.75	1.87
	2.0	0.24	0.34	0.45	0.56	0.66	0.78	0.89	1.01	1.12	1.24	1.36	1.49	1.61	1.74	1.87	2.00
	2.1	0.31	0.41	0.52	0.63	0.75	0.86	0.98	1.10	1.22	1.35	1.47	1.60	1.73	1.86	2.00	2.13
	2.2	0.37	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.20	1.32	1.45	1.58	1.71	1.85	1.99	2.12	2.26
	2.3	0.44	0.55	0.67	0.79	0.91	1.04	1.16	1.29	1.42	1.56	1.69	1.83	1.97	2.11	2.25	2.39
	2.4	0.50	0.62	0.74	0.87	1.00	1.12	1.25	1.39	1.52	1.66	1.80	1.94	2.08	2.23	2.38	2.52
	2.5	0.57	0.69	0.82	0.95	1.08	1.21	1.35	1.48	1.62	1.76	1.91	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65
	2.6	0.63	0.76	0.89	1.02	1.16	1.30	1.44	1.58	1.72	1.87	2.01	2.16	2.32	2.47	2.63	2.78
	2.7	0.70	0.83	0.97	1.10	1.24	1.38	1.53	1.67	1.82	1.97	2.12	2.28	2.43	2.59	2.75	2.91
	2.8	0.76	0.90	1.04	1.18	1.32	1.47	1.62	1.77	1.92	2.07	2.23	2.39	2.55	2.71	2.88	3.04
2.9	0.83	0.97	1.11	1.26	1.41	1.56	1.71	1.86	2.02	2.18	2.34	2.50	2.67	2.83	3.00	3.17	
3.0	0.89	1.04	1.19	1.34	1.49	1.64	1.80	1.96	2.12	2.28	2.45	2.61	2.78	2.95	3.13	3.30	

Taula 9: Pressió durant la clarificació (0,69 bar)

8.2 RECEPТА

Un cop realitzats tots els càlculs és necessari plasmar en una taula totes les variables que intervenen en el procés: quantitat d'ingredients, temperatures, volums d'aigua, temps de cocció, de maceració, etc.

Aquesta taula és una eina imprescindible en l'elaboració ja que és la guia que permet seguir la recepta i no cometre errors durant el procés.

Maceració (infusió simple)			
Malta total (kg)	5,5	Tª malta (°C)	20
Volum aigua maceració (L)	16,5	Densitat mescla (L/kg)	3
Volum ocupat macerador (L)	20,2	Volum macerador (L)	30
Tª desitjada mescla	68	Tª aigua maceració	77
Volum aigua maceració: 16,5 L			
Volum extret maceració: 8 L			

Rentat (rentat per etapes)			
Volum aigua rentat (L)	18	Tª aigua rentat (°C)	77
Volum extret rentat: 15,5 L			
Volum abans de cocció (maceració + rentat): 23,5 L			

Cocció			
Volum most abans cocció (L)	23,5	Densitat abans cocció	1044
Volum després cocció (L)	20	Densitat després cocció	1052
Addicions llúpol			
Típus	gr	Temps	IBU
EK. Golding	29	60	28
EK.Golding	20	10	7
Fuggles	30	0	0

Taula 10: Recepta per a l'elaboració

7.3 DIAGRAMA DEL PROCÉS D'ELABORACIÓ AMB L'EQUIP

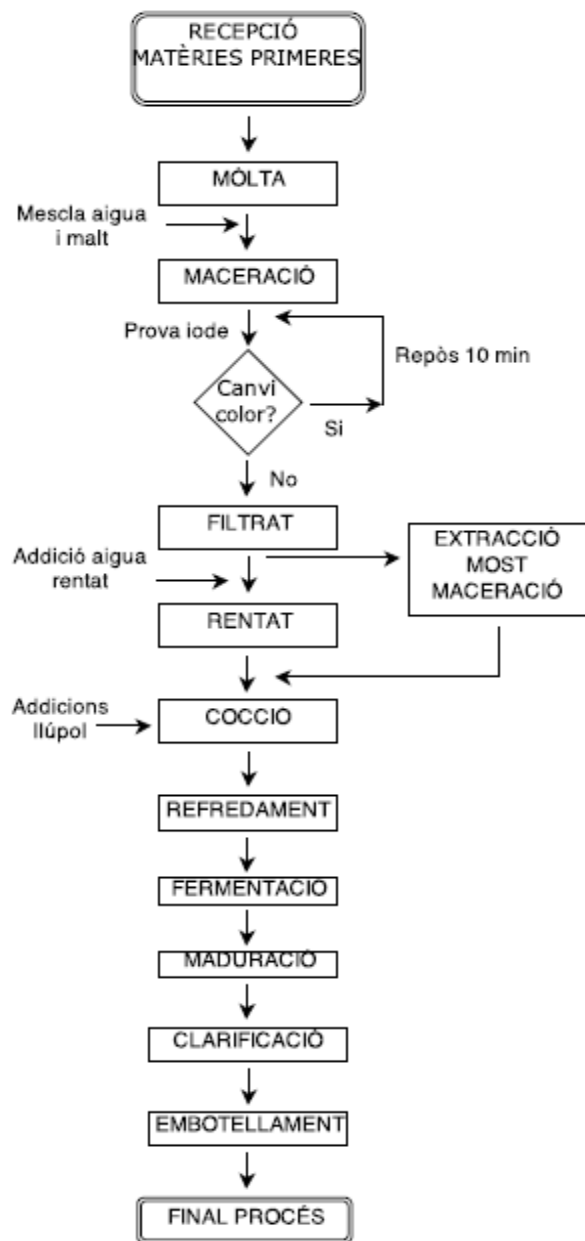


Diagrama 4: Procés d'elaboració amb l'equip construït

Si s'analitza el diagrama d'elaboració amb l'equip construït i es compara amb el diagrama d'elaboració amb el kit homebrewer s'observen dues diferències significatives. La primera és l'addició d'una nova etapa del procés, anomenada clarificació, i que s'ha eliminat el priming durant l'embotellament i en conseqüència, la doble fermentació en ampolla. La clarificació és un procés que es realitza a baixa temperatura i facilita la precipitació de cèl·lules de llevat i partícules en suspensió, originant un producte final amb menys terbolesa. Aquest procés és possible gràcies a la construcció de la cambra de fermentació amb control de temperatura, així com el fermentador cilíndric que permet separar i extreure aquests residus. Gràcies a la vàlvula reguladora de pressió que ens permet carbonatar la cervesa amb el gas produït durant la fermentació, s'aconsegueix eliminar el procés de priming i la doble fermentació en ampolla, reduint el temps d'elaboració del producte i evitant l'addició d'un adjunt.

8.4 PROCÉS D'ELABORACIÓ

8.4.1 Mòlta

1. Separar elements grollers o residus que puguin malmetre els elements estructurals del molí o dificultar el procés.
2. Realitzar un mòlta de prova per tal d'ajustar els cargols laterals.
3. Realitzar la mòlta a velocitat uniforme, sense moviments bruscos.



Fig 61: Molí corona

8.4.2 Maceració

1. Omplir el tanc de cocció/escalfament amb 16,5 litres d'aigua. Aquest procés es pot realitzar manualment o amb l'ajuda de la bomba *Novax*.
2. Introduir la sonda TC en el tanc de cocció/escalfament en una posició intermèdia tant en amplada com en profunditat. És necessari per obtenir uns resultats representatius de temperatura.
3. Escalfar el líquid fins que arribi a 70°C.
 - a. En aquest punt s'omplirà el tanc de maceració amb la meitat de l'aigua del tanc de cocció/escalfament per tal de temperar el tanc de maceració i minimitzar les pèrdues tèrmiques.
 - i. Amb la bomba en posició **B(>)** obrir les vàlvules **SC, EB1, SB1, EM1**.
 - b. Deixar reposar fins que $T_M = 68-70^\circ\text{C}$.
 - c. Recircular el contingut d'aigua del tanc de maceració cap el tanc de cocció/escalfament.
 - i. Amb la bomba en posició **B(>)** obrir les vàlvules **SM, EB2, SB3**.
4. Quan $T_C = 75^\circ\text{C}$ omplir el tanc de maceració amb la totalitat d'aigua de tanc de cocció/escalfament.
 - ii. Amb la bomba en posició **B(>)** obrir les vàlvules **SC, EB1, SB1, EM1**.
5. Agregar el malt lentament però de forma contínua sobre l'aigua. És necessari remoure amb una pala la mescla per tal d'homogeneïtzar la temperatura de mescla i evitar la formació de grumolls.
6. Col·locar la tapa a pressió i deixar reposar 1 hora.

7. Quan restin 15 minuts per al final de la maceració, escalfar l'aigua de rentat necessària al tanc de cocció/escalfament fins TC = 78°C.

8. Al cap d'una hora de maceració, extreure una petita mostra del macerador, deixar refredar i afegir-hi unes gotes de iode.

a. Si no s'observa canvi de color, es dona per finalitzada la maceració.

b. Si s'observa un canvi de color a tons blaus/negres, continuar el procés de maceració i repetir periòdicament aquesta prova fins que no s'observi canvi de color.



Fig 62: Addició del malt (esquerra) i temperatura de la mescla (dreta). Imatge pròpia

8.4.3 Filtrat

1. Programar el temporitzador de la bomba Novax a 10 min.

2. Ajustar el variador de freqüència de la bomba al N° 4 (1L/min)

3. Iniciar el recirculat del most amb la posició de la bomba **B(>)** i obrint les vàlvules **SM, EB2, SB1, EM1**.

4. El temporitzador de la bomba finalitzarà el procés als 10 min.

a. En el cas que el most encara contingui partícules en suspensió pot allargar-se el procés fins que es dipositin en el tanc de maceració.

5. Buidar el most cap al tanc volumètric auxiliar amb la configuració de la bomba **B(>)** i obrint les vàlvules **SM, EB2, SB3**.

a. En cas que el volum de most obtingut no sigui el calculat prèviament, és possible esperar uns minuts per tal que el most residual es desplaci cap a la part inferior del tanc i repetir el punt 5.

b. En cas que no es pugui extreure més most, cal considerar que el gra emprat té una capacitat de retenció d'aigua superior a la calculada prèviament. Aquest fet es tindrà en compte per elaboracions posteriors.

c. Aquest imprevist pot minimitzar-se sumant a l'aigua de rentat la quantitat de most no extret.



Fig 63: Sistema de dutxa durant el filtrat. Imatge pròpia

8.4.4 Rentat

1. Quan $TC = 77^{\circ}C$, bombejar l'aigua de rentat del tanc de cocció/escalfament cap al tanc de maceració amb la bomba en posició **B(>)** i obrint les vàlvules **SC, EB1, SB2, EM2**.
2. Remoure la mescla i tancar el tanc amb la tapa a pressió.
3. Programar el variador de freqüència de la bomba Novax al Núm 4 (1L/min)
4. Deixar reposar 15 minuts.
5. Iniciar el recirculat amb la bomba en posició **B(>)** i obrint les vàlvules **SM, EB2, SB1, EM1** i programar el temporitzador de la bomba a 10 minuts.
6. Buidar el most cap al tanc volumètric auxiliar amb la configuració de la bomba **B(>)** i obrint les vàlvules **SM, EB2, SB3**.
7. Omplir la proveta amb el el most i amb l'ajuda del densímetre comprovar si la densitat obtinguda s'ajusta amb la prèviament calculada. Aquesta densitat s'anomena Densitat Inicial abans del bullit. Per realitzar la prova cal refredar el most a $20^{\circ}C$ o utilitzar un factor de correcció. Això s'explica a l'apartat 6.3 Eines i utensilis.
 - a. Si la DI obtinguda és superior a la desitjada, caldrà afegir aigua al most per tal de diluir la concentració. Aquest procés es realitza mitjançant petites addicions d'aigua i comprovant amb el densímetre si hem assolit la densitat objectiu.
 - b. Si la DI és inferior a la desitjada, s'augmentarà el temps de bullit per tal d'evaporar més aigua i així augmentar la densitat. La variació de densitat s'ha de comprovar amb l'ajuda del densímetre.
8. Traslladar el most del tanc auxiliar cap al tanc de maceració amb la bomba en posició **B(<)** i obrint les vàlvules **SB3, EB1, SC**.

8.4.5 Cocció del most

1. Escalfar el most al tanc de cocció/escalfament fins que comenci a bullir, aproximadament $TC = 98-102^{\circ}C$.
2. Afegir la quantitat prèviament calculada de llúpol d'amargor.
3. Quan restin 15 minuts per al final de la cocció afegir la quantitat de llúpol del gust.

4. Al minut 60 de cocció (final de cocció) apagar el foc i afegir la quantitat del llúpul de l'aroma.
5. Deixar reposar 15 minuts.



Fig 64: Cocció del most. Imatge pròpia

8.4.6 Refredament del most

1. Desinfectar tres tubs de silicona amb una dissolució d'aigua i Oxipro a 75°C i de la mateixa manera la bomba i els tubs de la bomba.
2. Connectar amb els tres tubs de silicona desinfectats: el tanc de cocció a una entrada de la bomba, i l'altra entrada de la bomba a una entrada del serpentí.
3. Amb un altre tub desinfectat, connectar l'altra entrada del serpentí al tanc de fermentació cilíndric.
 - a. És important que el tub estigui en la part superior del tanc de fermentació, per tal que el most s'oxigeni quan es vessi.
4. Omplir el tanc de refredament amb aigua i gel i introduir el serpentí.
5. Iniciar el bombeig amb la bomba fins que tot el most hagi passat refredat al tanc de fermentació.



Fig 65: Tanc de refredament. Imatge pròpia

8.4.7 Fermentació

1. Introduir la sonda del termòstat de fermentació a l'interior de la cambra de fermentació.
2. Programar el termòstat de la cambra de fermentació en el rang de temperatures 18-20°C.

3. Obrir la tapa a pressió del fermentador i inocular el llevat.
4. Seguidament, amb la pala prèviament esterilitzada, remoure vigorosament el most per tal de garantir unes bones condicions d'oxigen per al llevat.
5. Tancar la tapa a pressió assegurant la estanquitat amb el mecanisme de rosca.
6. Configurar la vàlvula controladora de pressió al número 0, és a dir, oberta.
7. Introduir el fermentador a l'interior de la cambra de fermentació.



Fig 66: Inoculació del llevat (dalt), aireig del most (a sota) i fermentador cilíndric en la cambra de fermentació (dreta). Imatge pròpia

Control de la fermentació

1. Controlar periòdicament la temperatura interior del tanc de fermentació amb el termòmetre bimetàl·lic.
 - a. En cas que sigui superior al rang programat (això és degut a la calor produïda durant el procés de fermentació), reduir el rang de temperatures de la cambra de fermentació fins a assolir l'adequat
2. Buidar cada dos dies el fang del llevat que ha precipitat a la part inferior del con mitjançant la sortida inferior.
3. Mesurar i anotar la densitat del most cada dos dies.
4. Quan la densitat sigui de 10020 superior a la DF calculada, configurar la vàlvula controladora de pressió a 25 PSI.
5. En aquest punt s'inicia la maduració de la cervesa i s'aprofitarà el gas que es produeixi en aquesta fase terminal de la fermentació.



Fig 67: Configuració de la vàlvula reguladora de pressió. Imatge pròpia

8.4.8 Maduració

1. Buidar el fang del llevat per la vàlvula inferior.
2. En aquesta fase s'eliminaran els gustos propis de cervesa verda i es produirà el gas necessari per a la carbonatació.

Control de la maduració

1. Buidar periòdicament les partícules que precipiten a la part inferior del con.
2. Controlar el grau de pressió del tanc amb el manòmetre.
3. Al cap de 7 dies, i si el manòmetre marca la pressió desitjada, es donarà per acabada la maduració i es passarà al procés de clarificació per tal que la cervesa assimili el gas (a menor temperatura la cervesa assimila el gas més ràpidament).
 - a. En cas que la pressió no sigui la desitjada es'allargarà el procés de maduració fins obtenir-la.



Fig 68: Purga del fang de llevat (esquerra) i manòmetre indicant 1,7 bar. Imatge pròpia

8.4.9 Clarificació

1. Programar el termòstat de la cambra de fermentació en un rang de temperatures de 0-2°C.

2. Buidar periòdicament les restes de llevat i les partícules sòlides que precipitin per la part inferior del tanc cilíndric.

a. Al cap de set dies es donarà per acabada la maduració.

i. En el cas de cerveses amb molta densitat i molt contingut d'alcohol, aquest procés pot allargar-se fins 2-3 setmanes.

8.4.10 Embotellament

1. Rentar les ampolles amb un escovilló utilitzant aigua i sabó per eliminar la brutícia de l'interior. En el nostre cas la neteja s'ha realitzat en un rentaplats amb un cicle d'alta temperatura i sense utilitzar sabó.

2. Esbandir les ampolles.

3. Omplir el tanc de cocció/escalfament amb 30 litres d'una dissolució d'aigua a 75°C i Oxipro.

4. Omplir les ampolles directament del tanc de cocció/escalfament.

6. Deixar-les 20 minuts amb aquesta dissolució i buidar-les

7. Omplir el cub de fermentació amb 10 litres de la dissolució del tanc de cocció/escalfament i introduir els estris que s'empraran a l'embotellament: tub de silicona, tub d'embotellament i xapes. Deixar actuar durant 20 minuts i buidar el recipient. No és necessari esbandir.

8. Instal·lar el tub de silicona juntament amb el tub d'embotellament a la vàlvula superior del fermentador cilíndric.

9. Aplicar pressió amb el tub d'embotellament en el fons de l'ampolla per transvasar la cervesa.

10. Xapar les ampolles amb el tap mecànic.



Fig 69: Embotellament. Imatge pròpia

8.5 ANÀLISI DEL PROCÉS

Mòlta

La mòlta s'han realitzat amb el molí Corona, després de realitzar unes proves per a l'ajust dels caragols laterals, ja que la configuració d'aquest molí és més complexa que la del molí Marga. El molí Corona ens permet aconseguir un mòlta de bona qualitat. Gràcies a la construcció de la nova tremuja s'ha augmentat considerablement la capacitat de càrrega, la qual cosa, junt amb una velocitat de mòlta molt superior al molí Marga, facilita i redueix el temps el procés. En definitiva, amb aquest molí aconseguim reduir considerablement el temps de mòlta, però, per contra, l'ajust del molí és més laboriós.

Maceració

La maceració s'ha realitzat amb èxit a temperatura gairebé constant, amb unes pèrdues mínimes de 0,2°C/h, gràcies a l'aïllament tèrmic que s'ha ideat. Això permet controlar la temperatura que influeix en el perfil organolèptic del producte final.

Amb la instal·lació del control de temperatura amb sondes, el control de temperatura no presenta cap problema, ja que no cal cap manipulació perquè es pot visualitzar de manera instantània en el panel de control de dades i sense la necessitat d'obrir la tapa del tanc de maceració.

Filtrat

La instal·lació del sistema de tub en forma d'ela juntament amb el filtre, ha eliminat la presència de restes grans de clofolles, facilitant el procés i reduint el temps de filtrat.

El sistema de recirculat, amb el treball conjunt de la bomba Novax i el sistema de dutxa, permet realitzar el procés de forma pràcticament automàtica. Només cal obrir les vàlvules necessàries i configurar la velocitat de funcionament de la bomba Novax gràcies al variador de freqüència.

Aquest nou equip ens permet obtenir un nivell de filtrat òptim al cap de 5 minuts de recirculat, però per assegurar el resultat hem decidit realitzar aquest procés durant 10 minuts.

Cocció/escalfament

Gràcies al sistema d'escalfament instal·lat, durant els processos d'escalfament d'aigua de maceració rentat i el de cocció del most s'han aconseguit assolir les temperatures desitjades en poc temps.

S'arriba al començament de bullit al cap de 25 min, reduint el gast energètic i el temps del procés.

Amb la instal·lació del sistema de filtrat (tub en L i filtre), s'aconsegueix separar les partícules en suspensió pròpies de la flor de llúpol, presents en el most a refredar.

L'únic inconvenient que es troba durant la cocció/escalfament és que els termòmetres bimetal·lics es tornen poc fiables quan s'escalfa massa el tanc de cocció, ja que el metall s'escalfa alterant la lectura del termòmetre.

No obstant això, això no representa cap problema gràcies a la instal·lació del sistema de control de temperatures mitjançant sondes que ens donen una lectura correcta.

Refredament del most

S'ha comprovat que si el most es fa circular bombejat per la bomba, l'intercanvi de calor entre el most i el líquid refrigerant és menor ja que degut a la velocitat el temps de contacte és menor. Per solucionar aquest problema la bomba només s'ha utilitzat per iniciar el desplaçament del líquid i després s'ha desconnectat. D'aquesta manera el

most es desplaça per gravetat més lentament i el refredament és major ja que el most està més temps en contacte amb el líquid refrigerant.

Fermentació

La fermentació s'han realitzat correctament, en un rang de temperatures de 18 a 20°C, gràcies al termòstat instal·lat en la cambra de fermentació.

Maduració

La maduració s'ha realitzat en el rang de temperatures de 18 a 20 °C. s'ha assolit la densitat final al cap de 3 dies. Pel que fa a la carbonatació, han arribat a 1,7 bar al cap de 3 dies.

Clarificació

Durant la clarificació s'han eliminat per la vàlvula inferior sediments de llevat (en menor quantitat i densitat que en etapes anteriors) i petites substàncies provinents del llúpul que no havien sedimentat en etapes anteriors. El procés ha finalitzat al cap de 7 dies. Al baixar la temperatura s'observa que el manòmetre indicava 0,7 bar, tal i com s'havia calculat

Embotellament

L'embotellament ha estat l'etapa del procés que ens ha presentat més dificultat. Durant l'embotellament s'ha generat escuma degut a la pressió de la cervesa. Aquest problema s'ha solucionat amb el refredament de les ampolles a la mateixa temperatura que el de la cervesa i s'ha realitzat l'embotellament realitzant petites pautes per tal que s'eliminés l'escuma.

També s'ha detectat que durant l'embotellament es produeix una pèrdua de pressió en la cervesa. Al realitzar un tast del producte es pot comprovar que la carbonatació no és la desitjada, sinó lleugerament inferior. Aquesta pèrdua no estava planificada i és deguda a que el gas produït durant la fermentació es perd perquè no es disposa dels sistemes d'embotellament necessaris per fer-ho isobàricament.

S'han buscat maneres de solucionar aquest problema, però l'única opció és adquirir un sistema d'embotellament isobàric. Al mercat existeixen embotelladores que garanteixen l'embotellament sense pèrdua de gas, però se n'ha desestimat la compra perquè es surten d'un pressupost raonable per a aquest projecte. Un exemple n'és el següent:



EMBOTELLADORA ISOBÁRICA MANUAL 2 CANOS

Product code: MOEM003
Disponibilidad: Consultar stock

€ 3.690,00

La embotelladora isobárica es utilizada para el llenado de todo tipo de bebidas con CO₂, sin necesidad de adición de éste, como el vino espumoso, cerveza, agua con gas, etc.

Ideal para pequeñas producciones.

Todos los componentes en contacto con el producto están realizados en acero inoxidable AISI 304.

Producción: 100 botellas/hora.

Fig 70: Embotelladora isobàrica. Imatge extreta de www.cervesaartesana.es

9. CALENDARI I RESULTATS DE SUCCESSIVES ELABORACIONS

Per a l'obtenció del mateix producte en successius lots (cervesa sense diferències organolèptiques en cada producció), cal tenir en compte diferents factors. En primer lloc cal emprar sempre les mateixes matèries primeres: malt amb el mateix EBC, llúpols amb el mateix contingut d' α -àcids, la mateixa aigua i el mateix llevat. Això és un factor que depèn del control de l'elaborador, que no deuria suposar un problema. Òbviament, cal que la recepta sigui sempre la mateixa.

Respecte als processos d'elaboració, cal tenir en compte que per obtenir sempre la mateixa cervesa cal treballar sempre amb les mateixes temperatures de maceració, els mateixos temps de cocció, cal fermentar, madurar i clarificar la cervesa a les mateixes temperatura, i també cal que el grau de carbonatació sigui el mateix.

Per tant, per a la producció de cervesa el factor més crític és l'equip amb què s'elabora, ja que les distintes etapes de producció depenen del grau de fiabilitat de les eines de què es disposa, com per exemple els recipients o tancs (principalment el fermentador) així com les eines de control i lectura de dades com la temperatura.

Un cop demostrat el correcte funcionament de l'equip, hem realitzat successives elaboracions per determinar si aquest equip permet obtenir lots de cervesa amb les mateixes característiques organolèptiques.

Dates d'elaboració:

	Data inici	Data fi
1ª Elaboració	10/05/2014	30/05/2014
2ª Elaboració	14/06/2014	06/07/2014
3ª Elaboració	12/07/2014	03/08/2014

Taula 11: Calendari d'elaboracions

A continuació, es mostra un quadre de resultats on es recullen totes les dades que s'han obtingut durant les elaboracions.

	Elaboració 1						Elaboració 2						Elaboració 3									
	Data	t (min)	V inicial	V extret	Ta (°C)	Densitat	Bar	Data	t (min)	V inicial	V extret	Ta (°C)	Densitat	Bar	Data	t (min)	V inicial	V extret	Ta (°C)	Densitat	Bar	
Molta																						
		60	16,5	8	68	-			60	16,5	8	68	-			60	16,5	8	68	-		
Maceració		10	-	-	-	-			10	-	-	-	-			10	-	-	-	-	-	
Filtrat																						
Rentat	10/05	15	8	23,5	77	1044		14/06	15	8	23,5	77	1044		15	8	23,5	77	1044			
Cocción		60	23,5	20	102	1052			60	23,5	20	102	1052		60	23,5	20	102	1052			
Refredament		15	-	-	24	-			15	-	-	25	-		15	-	-	25	-			
Inici Fermentació					24	1052						24	1052						24	1052		
Control de la fermentació	11/05				18-20	1052		15/06				18-20	1052						18-20	1052		
	12/05				18-20	1035		16/06				18-20	1052						18-20	1052		
	13/05				18-20	1025		17/06				18-20	1038						18-20	1045		
	14/05				18-20	1022		18/06				18-20	1030						18-20	1038		
Maduració	15/05				18-20	1020		20/06				18-20	1020						18-20	1024		
	16/05				18-20	1018	0,5	22/06				18-20	1018	0,4					18-20	1018	0,4	
	17/05				18-20	1017	1	23/06				18-20	1016	0,9					18-20	1016	1	
Control de la maduració	18/05				18-20	1014	1,7	24/06				18-20	1014	1,7					18-20	1014	1,7	
	19/05				18-20	1014	1,7	25/06				18-20	1014	1,7					18-20	1014	1,7	
	20/05				18-20	1014	1,7	26/06				18-20	1014	1,7					18-20	1014	1,7	
	21/05				18-20	1014	1,7	27/06				18-20	1014	1,7					18-20	1014	1,7	
Clarificació	22/05				18-20	1014	1,7	28/06				18-20	1014	1,7					18-20	1014	1,7	
	23/05				0-2			29/06				0-2							0-2			
	24/05				0-2			30/06				0-2							0-2			
	25/06				0-2			1/07				0-2							0-2			
	26/06				0-2	1014	0,7	2/07				0-2	1014	0,7					0-2	1014	0,7	
	27/06				0-2			3/07				0-2							0-2			
	28/06				0-2			4/07				0-2							0-2			
29/06				0-2			5/07				0-2							0-2				
Embotellament	30/05						6/07															

La taula mostra que durant les tres elaboracions les temperatures de maceració han estat les mateixes, els volums extrets durant les diferents etapes del procés han estat els mateixos i les densitats d'inici de fermentació han estat les mateixes.

Pel que fa a les fermentacions, totes s'han iniciat amb una densitat de 1052 i han finalitzat amb una densitat de 1020. Tot i això, la densitat de 1020 no s'ha assolit en el mateix temps. Les fermentacions de les dues primeres elaboracions han finalitzat al cap de 5 dies, en canvi la de la tercera elaboració ha finalitzat al cap de 7 dies. Degut a que les temperatures han estat les mateixes i s'ha emprat la mateixa soga de llevat, és lògic arribar a la conclusió que es deu a un aireig insuficient del most que ha retardat l'inici de la fermentació.

Pel que fa a les maduracions, en les tres elaboracions s'ha assolit la densitat final (DF) de 1014 al tercer dia de maduració. Quan s'ha assolit aquesta densitat, el manòmetre indicava 1,7 bar, que és la pressió necessària per a l'obtenció de 2,5 volums de CO₂ en la cervesa.

Per últim, la clarificació s'ha realitzat sense cap problema. En les tres elaboracions, degut a la baixada de temperatura, el manòmetre indicava una pressió de 0,7 bar, que era la prèviament calculada.

Els tres lots de cervesa elaborats comparteixen característiques organolèptiques pràcticament idèntiques. Les tres tenen un gust maltós, gràcies a la maceració realitzada a la temperatura sense variacions de 68°C. Tenen una amargor moderada i una escuma blanca amb bona capacitat de retenció. Pel que fa al color, no s'observa diferència de color entre les cerveses dels tres lots. Per tant, tot i que la fermentació de la tercera elaboració va trigar més a finalitzar, això no ha tingut cap impacte en la cervesa.

L'únic inconvenient és la lleugera pèrdua de gas durant l'embotellament, degut a la manca pressupostària per a adquirir una embotelladora isobàrica. Un cop embotellades, la pèrdua del gas no és mesurable, però és evident, ja que al realitzar un tast de la cervesa embotellada, es nota menys gas que quan es tasta directament des del fermentador.



Fig 71: Comparació del producte final de les tres elaboracions. Imatge pròpia

9. CONCLUSIONS

1. S'ha assolit l'objectiu de construir un equip per a la producció de cervesa artesana amb materials reutilitzats i econòmics, que permet realitzar les mateixes etapes del procés d'elaboració que en les microcerveseries actuals a escala més reduïda. L'abaratiment de costos s'ha assolit gràcies a:

- La construcció de tots els tancs de l'equip a partir de barrils de cervesa.
- L'aprofitament de parts del barril per a la construcció d'altres elements de l'equip.
- L'aprofitament d'elements quotidians com l'olla a pressió, el cremador de gas i el refrigerador.
- Renunciar a la compra d'un sistema regulador de pressió, i construir-ne un de propi.
- Renunciar a la compra d'un sistema d'embotellament isobàric.

2. S'han aconseguit cobrir les necessitats de construcció de l'equip:

- S'ha reduït la manipulació manual gràcies a elements com el sistema de bombeig i el sistema de dutxa.
- S'ha aconseguit el control de temperatura de totes les etapes del procés gràcies al quadre de control de temperatures.
- S'ha aconseguit realitzar la maceració a temperatura constant, sense pèrdues tèrmiques, gràcies a l'aïllament instal·lat en el tanc.
- S'ha aconseguit aprofitar el gas de la fermentació per a la carbonatació natural de la cervesa gràcies al fermentador cilíndric. Això ha reduït el temps d'elaboració.
- S'ha aconseguit eliminar la dependència de la temperatura ambiental gràcies a la cambra de fermentació que permet realitzar la fermentació, la maduració i la clarificació a les temperatures desitjades i per consegüent aquest equip permet elaborar qualsevol estil de cervesa independentment de la temperatura de fermentació requerida.

3. S'ha aconseguit realitzar successives elaboracions obtenint el mateix producte amb les mateixes característiques organolèptiques, gràcies a:

- La cambra de fermentació amb control de temperatura que ens permet realitzar les etapes de fermentació, maduració i clarificació a la mateixa temperatura.
- El control de temperatura de totes les etapes del procés.
- El tanc de maceració amb aïllament que permet realitzar el procés a temperatura constant.

4. Degut a la manca pressupostària, ha estat impossible l'adquisició d'un sistema d'embotellament isobàric que permeti realitzar l'embotellament sense pèrdues del gas carbònic. Per tant, el producte final pot embotellar-se amb una lleugera pèrdua de gas o es pot emmagatzemar en el mateix fermentador cilíndric per al seu consum directe, a l'estil d'alguns *brewpubs*.

10. BIBLIOGRAFIA

- CERVECEROS DE ESPAÑA (2001). *Libro blanco de la cerveza*. Madrid: Cerveceros de España.
- FERMUN, D et al. (2013). *Guía para descubrir las mejores cervezas artesanas*. 1ª ed., Barcelona: GeoPlaneta
- GARIBAY, Mariano G. (2004). *Bioteología alimentaria*. 5ª ed., México D.F: Noriega Editores.
- HERNÁNDEZ, Alicia (2003). *Microbiología industrial*. 2ª ed., EUNED
- HUXLEY, Steve (2011). *La cerveza: Poesía líquida*. 2ª ed., Gijón: Ediciones Trea.
- KUNZE, Wolfgang (2010). *Technology brewing and malting*. 4ª ed., Berlin: VLB.
- MARTINKO, John et al. (2009). *Brock: Biología de los microorganismos*. 12ª ed., Addison-Wesley.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2013). *Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España 2013*. Madrid: Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones.
- PALMER, John J. (2006). *How to brew*. 3ª ed., Brewers Publication.
- TINTÓ, A et al. (2004). *La cerveza artesanal: cómo hacer cerveza en casa*. 1ª ed. Sabadell: Cerveart

11. ANNEX

Junt a aquesta memòria, s'adjunta material audiovisual: un CD/DVD amb l'enregistrament del procés d'elaboració amb l'equip de producció de cervesa artesana construït.