

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



**MEJORA Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE  
ELABORACIÓN DE LA CERVEZA DENTRO DE UNA  
INDUSTRIA CERVECERA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

TITULACIÓN: Ciencia y tecnología de los alimentos

ALUMNO: Adrián Gómez García

TUTOR: Pau Talens Oliag

COTUTOR EMPRESA: Rafael Sánchez Ríos

*Curso Académico: 2013-2014*

**VALENCIA, JUNIO 2014**

## **DATOS**

NOMBRE Y APELLIDOS: Adrián Gómez García  
LOCALIDAD Y FECHA: Valencia, junio de 2014  
TUTOR ACADÉMICO: Prof. D. Pau Talens Oliag  
COTUTOR EN LA EMPRESA: D. Rafael Sánchez Ríos  
EMPRESA: Heineken España

## **TÍTULO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

Mejora y optimización del proceso de elaboración de la cerveza dentro de una industria cervecera.

## **RESUMEN**

### **Castellano:**

Este trabajo final de grado se centra en el proceso de elaboración de la cerveza y como, interviniendo en diferentes puntos de este proceso se consigue optimizar los recursos y mejorar la calidad de las materias intermedias y el producto final.

El primer punto del proceso en el que se interviene es en el proceso de cocción, donde se calcula el consumo de agua durante la molturación y la maceración de los cereales. En el mismo proceso de cocción se incide en la filtración del mosto extraído, donde se realiza durante la filtración un análisis de la cantidad de azúcares que contiene este mosto. La buena calibración del equipo encargado de este análisis es importante para cuantificar el rendimiento del proceso de extracción de azúcares de los cereales.

Por otro lado en el departamento de producción se analiza el proceso de fermentación de la cerveza. Se realiza una estandarización de la curva de fermentación de tres tipos diferentes de cerveza. Esta curva se hace mediante la recogida de datos durante cierto tiempo de las fermentaciones de esas cervezas. También, se calibran los cuatro densímetros que informan sobre la densidad de la levadura extraída de los tanques de fermentación por las cuatro bombas de extracción de la empresa. La buena calibración de los densímetros de las bombas es muy importante para que este proceso se realice correctamente. Así no se quedan restos de levadura en el interior del tanque y, tampoco se extraerá cerveza como si fuera levadura produciendo pérdidas de producto.

Por último se investiga uno de los parámetros físicos de la cerveza durante su transporte por el sistema de conducciones, el cual se realiza empujando con agua la cerveza, hasta el tanque de presión. El control de este parámetro permite que en los tanques de presión sea siempre igual para cada tipo de cerveza. Esto garantiza una estandarización del producto final en la industria.

### **Palabras clave:**

CERVEZA, MOSTO, FERMENTACIÓN, EXTRACCIÓN, LEVADURA, FILTRACIÓN

## **Valencià:**

Aquest treball final de grau es centra en el procés d'elaboració de la cervesa i com, intervenint en diferents punts d'aquest procés s'aconsegueix optimitzar els recursos i millorar la qualitat dels materials intermedis i del producte acabat.

El primer punt del procés en que s' intervé és en el procés de cocció, on es calcula el consum d'aigua durant la molturació y maceració dels cereals. En el mateix procés de cocció s'incideix en la filtració del most extret, on es realitza durant la filtració un anàlisi de la quantitat de sucre que conté aquest most. La bona calibració de l'equip responsable d'aquest anàlisi és important per a quantificar el rendiment del procés d'extracció dels sucres que provenen dels cereals.

Per altra banda en el departament de producció s'analitza el procés de fermentació de cervesa. Es realitza una estandardització de la corba de fermentació de tres tipus diferents de cervesa. Aquesta corba es realitza mitjançant la recopilació de dades durant cert temps de les fermentacions d'aquestes cerveses. També, es calibren quatre densímetres que informen sobre la densitat del llevat extret dels tancs de fermentació per quatre bombes d'extracció de l'empresa. La bona calibració dels densímetres de les bombes és molt important per tal que aquest procés es realitze correctament. Açò assegura que no es queden restes de llevats a l'interior del tanc i, tampoc es retira cervesa com si fos llevat produït perdudes de producte.

Finalment s'investiga un dels paràmetres físics de la cervesa durant el seu transport pel sistema de canonades, que es realitza empuixant la cervesa amb aigua, fins al tanc de pressió. El control d'aquest paràmetre permet que aquest sempre siga el mateix en el tanc de pressió per a cada tipus de cervesa. Açò assegura una estandardització del producte final en la indústria.

## **Paraules clau:**

CERVESA, MOST, FERMENTACIÓ, EXTRACCIÓ, LLEVAT, FILTRACIÓ

**Inglés:**

This final degree project focuses on how to brew and the process of it. With the intervention in different points of the process it will get optimize resources and improve the quality of the materials and the final product.

The first stage, involved the process of cooking, where is calculated an estimated water consumption during the pressing and maceration of the cereals. In the same process we insist on the filtration of the wort that it was extracted, during this process we have to do an analysis of the amount of sugars containing this wort. The calibration of the machine responsible for this analysis is important to quantify the performance of the process of extraction of sugars in cereals.

On the other hand, in the production department it's analyzed the process of beer fermentation. A standardization of the curve of three different types of beer fermentation is performed after the data collection during certain time of the fermentations of these beers. Four hydrometers are calibrated too and which inform about the density of yeast extracted from the fermentation tanks for four company extraction pumps.

Finally investigates one of the physical parameters of the beer during their transport by the system of pipes, which is performed by water pushing beer, till the end of the tank and before being bottled. This allows that this parameter in the final tank is always the same for each type of beer and ensures a standardization of the final product in the industry.

**Key words:**

BEER, WORT, FERMENTATION, EXTRACTION, YEAST, FILTRATION

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer en principio a todas las personas, tanto profesores como compañeros, que me han acompañado durante el transcurso de la carrera.

A D. Pau Talens Oliag por la ayuda e involucración en este trabajo durante estos meses.

A la empresa Heineken España S.A. por brindarme la oportunidad de hacer prácticas y utilizar todo lo relacionado con las mismas para la realización de este trabajo.

Al personal de la empresa Rafael Sánchez , Javier Muñoz, Vicente Murillo, Ignacio Eguiluz, Enrique y el resto de personas que me han acompañado durante el periodo de prácticas.

Y por último a mi familia, en especial a mis padres por creer, confiar y apoyarme durante todo este tiempo.

# ÍNDICE GENERAL

## ÍNDICE TEMÁTICO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. LA CERVEZA .....	1
1.1.1. MATERIAS PRIMAS .....	1
1.1.1.1. <u>Agua</u> .....	1
1.1.1.2. <u>Cebada</u> .....	2
1.1.1.3. <u>Lúpulo</u> .....	2
1.1.1.4. <u>Adjuntos</u> .....	2
1.1.1.5. <u>Levadura</u> .....	3
1.1.2. PARÁMETROS DE CALIDAD .....	3
1.1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN .....	4
1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS .....	5
1.2.1. MOLIENDA .....	5
1.2.2. EXTRACCIÓN DE COMPONENTES DE LOS CEREALES MOLIDOS .....	6
1.2.3. FERMENTACIÓN DEL MOSTO Y LEVADURA .....	7
1.2.4. FILTRACIÓN DE LA CERVEZA .....	9
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	10
2.1. OBJETIVO PRINCIPAL .....	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	11
3.1. MATERIALES .....	11
3.2. ANALISIS REALIZADOS .....	11
3.2.1. °PLATO APARENTE Y REAL .....	11
3.2.2. CONSISTENCIA .....	12
3.3. METODOLOGÍA .....	12
3.3.1. CONSUMO DE AGUA FRÍA Y CALIENTE EN COCCIÓN .....	12
3.3.2. CALIBRACIÓN DE LOS ANTON PAAR EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN DE MOSTO EN COCCIÓN .....	13
3.3.3. CURVA DE FERMENTACIÓN .....	14
3.3.5. AJUSTE DEL °PLATO REAL DEL FINAL DE FILTRACIÓN DE LA CERVEZA .....	14
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	16
4.1. CONSUMO DE AGUA FRÍA Y CALIENTE EN COCCIÓN .....	16

4.2. CALIBRACIÓN DE LOS ANTON PAAR EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN DE MOSTO EN COCCIÓN .....	18
4.3. CURVA DE FERMENTACIÓN .....	23
4.4. CALIBRACIÓN DE LOS DENSÍMETROS DE LAS BOMBAS ENCARGADAS DE LA EXTRACCIÓN DE LEVADURA .....	28
4.5. AJUSTE DEL °PLATO REAL DEL FINAL DE FILTRACIÓN DE LA CERVEZA..	34
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>39</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>
ANEXO 1. HOJA DE CONTROL DE LA FERMENTACIÓN .....	42
ANEXO 2: DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE FERMENTACIÓN .....	43
ANEXO 3: REPRESENTACION BOMBAS 500 (BOMBA 1 Y 2).....	44
ANEXO 4: REPRESENTACION BOMBA 100 y 400 .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Tipos de cerveza en función del °Plato real.

Tabla 4.1. Volumen de agua fría y agua caliente utilizado en cocción para los distintos tipos de cerveza.

Tabla 4.2. Tabla datos de consumos de agua actuales vs datos investigados.

Tabla 4.3. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 1.

Tabla 4.4. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 2

Tabla 4.5. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 3

Tabla 4.6. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para los mostos tipo 1, 2 y 3, usando el filtro 2.

Tabla 4.7. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para los mostos tipo 1, 2 y 3, usando el filtro 1.

Tabla 4.8. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para el mosto tipo 1, usando el filtro 1.

Tabla 4.9. Error absoluto y relativo de las bombas 500

Tabla 4.10. Error absoluto y relativo de la bomba 100

Tabla 4.11. Tabla interactiva para el operario del filtro 41

Tabla 4.12. Tabla interactiva para el operario del filtro 11

Tabla 4.13. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 11,4 del filtro 41.

Tabla 4.14. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 10,7 del filtro 41.

Tabla 4.15. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 11,4 del filtro 11.

Tabla 4.16. Comparación de la tablas interactiva antigua y la investigada del tipo de cerveza 11,4 del filtro 41

Tabla 7.1. Medias del °Plato aparente y sus desviaciones agrupadas cada 12 horas para el tipo de cerveza 1.

Tabla 7.2. Medias del °Plato aparente y sus desviaciones agrupadas cada 12 horas para el tipo de cerveza 2.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Proceso de elaboración de la cerveza

Figura 3.1. Anton Paar-Density meter y Alcoalyzer Beer

Figura 3.2. Balanza de precisión

Figura 3.3. Centrifuga

Figura 3.4. Anton Paar en línea

Figura 3.5. Bombas trilobulares

Figura 3.6. Bombas peristálticas

Figura 4.1. Curva de fermentación estandarizada de la cerveza Tipo 1

Figura 4.2. Curva de fermentación estandarizada de la cerveza Tipo 2

Figura 4.3. Tanque de fermentación horizontal

Figura 4.4. Tanque de fermentación vertical

Figura 4.5. Curva de fermentación estandarizada antigua de la cerveza tipo 2

Figura 4.6. Anton Paar DMA in situ

Figura 4.7. Curva de fermentación de la cerveza Tipo 3

Figura 4.8. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bombas 500.

Figura 4.9. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por la bomba 400.

Figura 4.10. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por la bomba 100.

Figura 4.11. Comprobación gráfica de las bombas 500

Figura 4.12. Comprobación gráfica de la bomba 100

Figura 7.1. Hoja de control de los parámetros de las fermentaciones.

Figura 7.2. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por la bomba 500 numero 1.

Figura 7.3. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por la bomba 500 numero 2.

Figura 7.4. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bombas 100 y 400

# **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. LA CERVEZA

Según el código alimentario español (CAE) y la agencia española de consumo y seguridad alimentaria (AECOSAN) define la cerveza como “bebida resultante de fermentar, mediante levadura seleccionada, el mosto procedente de malta de cebada, solo o mezclado con otros productos amiláceos transformables en azúcares por digestión enzimática, cocción y aromatizado con lúpulo” (BOE-A-1995-3394).

La principal diferenciación en cuanto a tipos de cerveza depende principalmente de su fermentación. La fermentación es una etapa clave en el proceso productivo y dependiendo de la clase de levadura utilizada en el proceso de fermentación las cervezas son clasificadas en dos categorías básicas: cervezas de alta fermentación o *Ale* y cervezas de baja fermentación o *Lager* (Kunze, 2006).

- En la cerveza *Ale* generalmente se usan cepas de levadura “de superficie” *Saccharomyces cerevisiae* (Brown y col., 1989). Este tipo de fermentación es más rápida y ocurre a temperaturas de 20°C, actuando la levadura sobre la superficie del mosto. Este tipo de cervezas contienen un elevado porcentaje en alcohol y tienen un aroma a lúpulo fuerte (Aleixandre-Benavent y Aleixandre-Tudó, 2010).

- En la cerveza *Lager* generalmente se usan cepas de levaduras “de fondo” *Saccharomyces carlbergensis*, las cuales al final de la fermentación se van al fondo del tanque. En este caso la fermentación es lenta, a bajas temperaturas (entre 4-12°C) y tiene una posterior maduración en bodega (Kunze, 2006). Contienen un porcentaje de alcohol bajo y un color claro dorado abrigado (Pilla y Vinci, 2011).

La producción de cerveza de esta industria únicamente es de cerveza de baja fermentación o tipo *Lager*. Sin embargo para el proceso de fermentación se usa levadura tipo *Saccharomyces cerevisiae*. Esto se debe a que las especies de levadura han ido mejorándose genéticamente, permitiendo el uso de especies como la *Saccharomyces cerevisiae* en cervezas de tipo *Lager* consiguiendo la misma calidad de cerveza que si se hiciera con las especies específicas de este tipo de cerveza (Kunze, 2006). Es decir, en ambas fermentaciones tanto en *Ale* como en *Lager* se puede usar *Saccharomyces cerevisiae* alcanzando calidades muy altas en ambos estilos de fermentación a causa del polivalente comportamiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

### 1.1.1. MATERIAS PRIMAS

En la elaboración de la cerveza se utilizan las siguientes materias primas: agua, malta de cebada, lúpulo, adjuntos (dependiendo del tipo de cerveza) y levadura.

#### 1.1.1.1. Agua

El agua es uno de los ingredientes fundamentales ya que constituye la mayor porción de materia prima utilizada en la elaboración de cerveza, debido a que supone aproximadamente el 90 % de su peso y su calidad marcará la calidad del producto final (Kunze, 2006).

La obtención y tratamiento del agua es de particular importancia para la industria cervecera. El agua utilizada para la elaboración tiene que ser pura, potable, libre de sabores y olores, sin exceso de sales y exenta de materia orgánica (Zambrano y Borbor, 2014).

Las sales es el componente que más influye en el sabor de la cerveza. Pero además, estas también influyen indirectamente sobre las reacciones enzimáticas y coloidales que se producen durante el proceso de elaboración. Es un ejemplo el calcio, el cual precipita los fosfatos del mosto, reduce su pH e incrementa el nitrógeno asimilable por la levadura (Kunze, 2006).

Actualmente, cada fábrica puede disponer de agua de la calidad que exigen sus cervezas recurriendo a su desmineralización total o parcial, osmosis inversa, electrodiálisis, etc. seguida de ozonización, filtración o carbón activo, métodos que garanticen que se elimina todo olor y sabor indeseable. Todo esto se puede realizar teniendo en cuenta que se tiene una planta de tratamiento de aguas en la industria, cuyas industrias grandes nunca les falta (Castañé, 1997).

#### 1.1.1.2. Cebada

Es la materia principal para la elaboración de la cerveza, esto se debe a que el grano de la cebada es el más rico en almidón y posee las proteínas suficientes para posibilitar que las levaduras crezcan y se desarrollen (Zambrano y Borbor, 2014).

En cuanto a las variedades de cebada, no todas son óptimas para la elaboración de cerveza. Las más adecuadas a los procesos de malteado y fabricación de la cerveza son las cebadas de primavera (sembradas de Marzo a Abril) de dos carreras, dado que hace mas de 100 años se ha trabajado sobre éstas con la finalidad de mejorar su calidad. (Kunze, 2006). A este tipo de cebada se la llama de dos carreras porque de las tres espiguillas (flores) insertadas en la espiga (inflorescencia) solamente es fértil la espiguilla central y las laterales son estériles. La fértil dará lugar a una espiga de dos hileras de granos de cebada (Hornsey, 2002).

Entre las características tan buenas de la cebada de primavera de dos carreras se encuentran características físicas: grano de cebado grueso, uniforme, con forma redondeada, color amarillo claro y cascarilla fina. Y en cuanto a las características bioquímicas es importante que el grano absorba bien el agua y que germine rápida y uniformemente produciendo la mayor cantidad de malta de cebada durante su malteado (Hornsey, 2002).

#### 1.1.1.3. Lúpulo

Confiere el sabor típico a la cerveza debido a su contenido en aceites esenciales y resinas amargas. Además contiene taninos y compuestos fenólicos los cuales ayudan en el proceso de clarificación de la cerveza (Rodríguez, 2003).

Las flores de la planta del lúpulo contienen en su interior unas glándulas de color amarillo. Estas glándulas están llenas de una resina llamada lupulina, que es el principio activo que los cerveceros buscan en el lúpulo (Martínez y col., 2007).

La forma más habitual y extendida de presentación del lúpulo una vez ya está seco y tratado, es decir preparado para utilizar por el cervecero son los pellets comprimidos de lúpulo que son gránulos comprimidos originados a partir de polvos provenientes de la molienda de lúpulo seco y puro (Hornsey, 2002).

#### 1.1.1.4. Adjuntos

Los adjuntos son todo aquel cereal añadido a la cerveza que no es cebada y cuya función principal es abaratar el coste de elaboración de la cerveza sustituyéndose del 15- 20% de la malta que es mucho más cara. En otros casos su función también es tecnológica buscándose con este la obtención de cervezas con unas características organolépticas determinadas (Kunze, 2006).

Entre los cereales más habituales en cervecería encontramos el trigo, el arroz, la avena el centeno, el sorgo y el maíz.

### 1.1.1.5. Levadura

La levadura es un componente muy importante en el proceso cervecero porque es la responsable de convertir los azúcares en alcohol y además también influye en el perfil sensorial de la cerveza y la estabilidad de la misma (Zambrano y Borbor, 2014).

Las levaduras más utilizadas en la industria cervecera pertenecen al género *Saccharomyces*, del que se conocen más de 30 especies como por ejemplo la *S.carlbergensis* y *S.cerevisiae*. Sus necesidades para el correcto desarrollo es una fuente carbonada de energía (azúcares fermentables), una fuente de nitrógeno asimilable, factores de crecimiento (vitaminas), iones inorgánicos, oxígeno y agua (Hornsey, 2002)

La forma típica de reproducción de las levaduras es la gemación. En este tipo de reproducción la célula madre forma una protuberancia con citoplasma y un núcleo. Esta dará lugar a la célula hija completa. Cuando las levaduras se transfieren a una solución nutritiva como es el mosto de cerveza, estas comienzan a crecer y a multiplicarse diferenciándose seis fases (fase de latencia, de aceleración, exponencial, de deceleración, estacionaria y declinante) (Zambrano y Borbor, 2014).

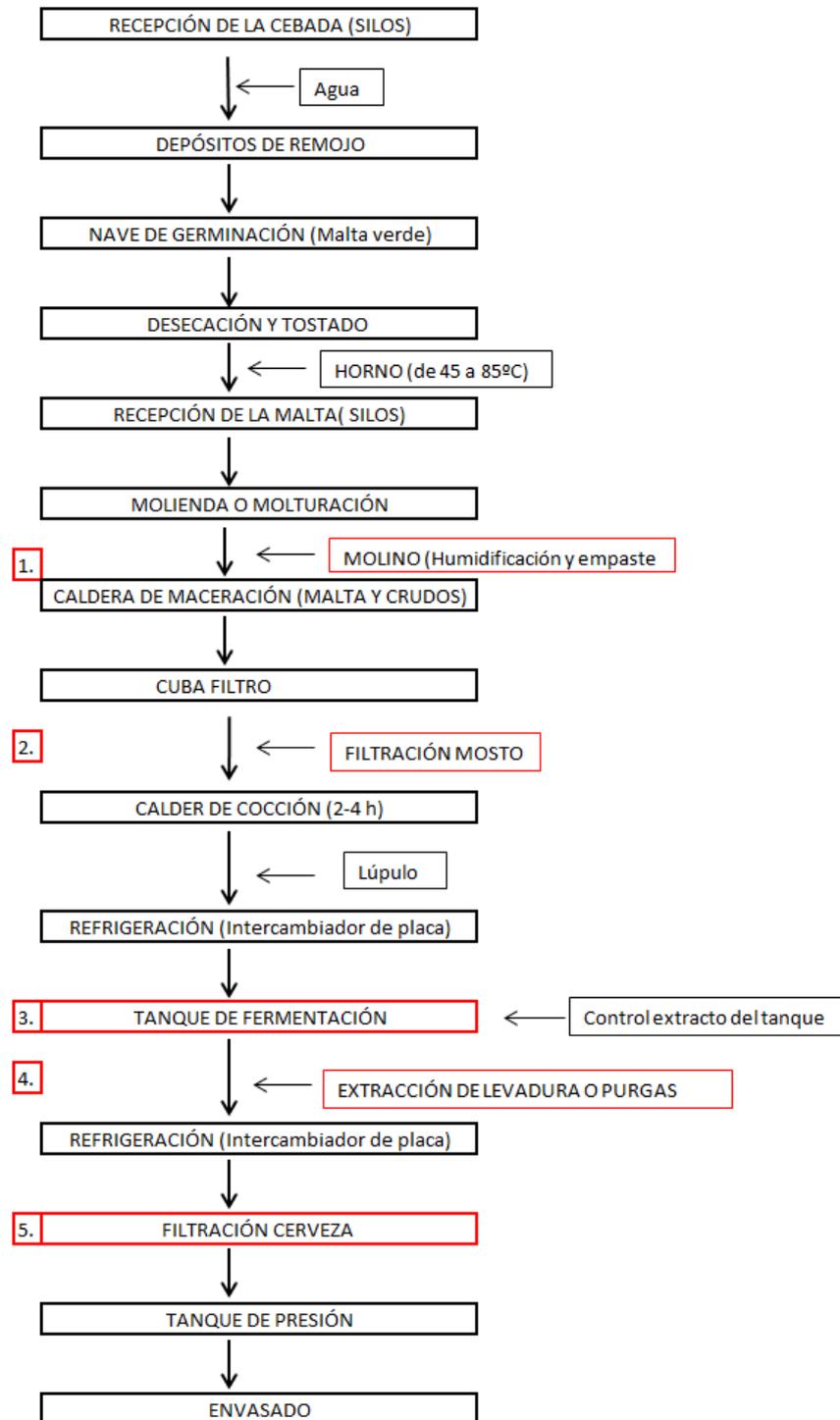
### 1.1.2. PARÁMETROS DE CALIDAD

Las características físico-químicas de la cerveza son las más analizadas para determinar y asegurar la calidad de la cerveza. Dentro de estas características, las técnicas modernas de análisis pueden determinar la gran mayoría de compuestos presentes en la cerveza con el fin de asegurar su calidad. Los parámetros más importantes a controlar son:

- Color: la cerveza tipo Lager definida como blanca, rubia y clara; es aquella cuyo color es inferior a 20 unidades (°EBC), aproximadamente entre 8-10°EBC. (EBC, 1975)
- Grado de alcohol: depende del porcentaje de azúcares fermentables en el mosto que serán utilizados por la levadura para producir alcohol y CO<sub>2</sub>. El contenido de alcohol para la cerveza Lager es de 4,2-4,4 % v/v (Kunze, 2006).
- Ph: es un factor importante porque de este dependen los procesos enzimáticos y los microorganismos. Los valores óptimos son de 5,3 a 5,5 en mosto y de 4,3 a 4,6 en cerveza (Kunze, 2006).
- Espuma: su análisis es realizado para asegurarse de que esta se comportará de la forma correcta frente al consumidor (Hughes y Baxter, 2003).
- Turbidez: mide la estabilidad de la cerveza, es decir, las unidades de tiempo transcurridas hasta alcanzar un determinado nivel de turbidez (pérdida de brillo, menos transparencia, enturbiamiento...) (Rodríguez, 2003).
- Amargor: este parámetro influye en el sabor final de la cerveza y un defecto en el mismo puede ser determinante para el consumidor. El nivel de amargor se mide por las unidades internacionales de amargor (IBU). En las lager el margen se encuentra entre 15 y 20. (Rodríguez, 2003). Su análisis se realiza de forma espectrofotométrica (EBC, 1975).

### 1.1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN

La figura 1 muestra el proceso de elaboración de la cerveza. Los procesos o etapas en rojo son aquellos en los que se centra la investigación de todo el proceso general de elaboración de la cerveza, los cuales se profundizará en el apartado 1.2. del presente documento.



**Figura 1.1. Proceso de elaboración de la cerveza** (Elaboración propia a partir de Alan y Jane, 1997; Hughes y Baxter, 2003; Alexandre-Benavent y Alexandre-Tudó, 2010).

## 1.2. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

### 1.2.1. MOLIENDA

La molienda o molturación es un proceso de trituración mecánica que consiste en la rotura del grano sin llegar a la destrucción de la cáscara del cereal y provocando la conversión del interior del grano (endospermo) en una harina lo más fina posible. La cáscara será utilizada como medio filtrante en la filtración del mosto (Estrany y col., 2006). Su objetivo es posibilitar la actuación de las enzimas de la malta sobre los componentes de la misma para que durante la maceración queden más expuestos y se descompongan y solubilicen mejor (Kunze, 2006).

Existen dos métodos de molienda de la malta: seca y húmeda. En esta industria hay dos molinos húmedos y se utiliza el acondicionamiento por remojo, el cual es una variante de la molienda húmeda.

En los sistemas de molienda húmeda los granos de malta se remojan con agua en una tolva situada encima del molino hasta que el contenido de humedad alcanza el 30%. La malta remojada pasa entonces entre los rodillos trituradores donde las cáscaras son abiertas casi sin resistencia y sin daños sobre las mismas y, el endospermo es prensado y exprimido en forma de pasta o papilla (Hornsey, 2002).

En el acondicionamiento por remojo se humedece la malta durante un corto tiempo (60 segundos) con agua caliente (65-70°C). En este corto tiempo la cascara absorbe agua hasta un 20%, quedando más elástica y evitándose así su destrucción. Esta primera corriente de agua se le llama corriente de remojo o humidificación. Inmediatamente la malta es triturada en el molino húmedo y mezclada con más agua pero a menor temperatura, la cual diluye la pasta y facilita su conducción mediante una bomba hasta la caldera de maceración. Esta segunda corriente de agua se le denomina corriente de empaste y con ella también se aporta el resto de agua necesaria para la maceración (cantidades diferentes dependiendo del tipo de cerveza) (Kunze, 2006).

El grado de molienda debe ser tal que permita una buena extracción de las materias primas vía enzimática durante la maceración y que a su vez evite la formación de grumos en el empaste (Novell y Raventós, 2003).

En caso que el tipo de cerveza lleve adjuntos o crudos, es decir, otro tipo de cereal (maíz) que no sea malta no se realiza el proceso completo. Los crudos consiguen reducir el precio de fabricación, y llegan a la fábrica triturados y desgerminados, por tanto sin sistema enzimático.

Paralelamente que se realiza el proceso para la malta previamente explicado, los crudos son introducidos en otra caldera con la ayuda de una corriente de agua formando el empaste hasta la cantidad de agua establecida en la receta para los crudos. Ambos procesos se realizan por separado porque los crudos son más difíciles de procesar que la malta (Novell y Raventós, 2003).

Como hemos dicho antes, los crudos vienen desgerminados y por tanto no tienen enzimas que puedan degradar sus componentes, es por eso, que se pasa una parte de pasta procedente del proceso de la malta para aportar a la caldera de maceración de los crudos los enzimas necesarios. Este proceso se conoce coloquialmente como el “robo”.

En esta fábrica para alcanzar las temperaturas de ambas corrientes se realiza una mezcla de agua caliente y agua fría para un mayor ahorro energético. Esto se debe a que aumentar la temperatura del agua hasta esas temperaturas resultaría muy costoso a nivel energético. Por tanto, se aprovecha el agua procedente del enfriador de mosto (agua caliente) y se mezcla con agua fría proveniente de un pozo. Se optimizan muchos recursos porque se aprovecha la energía extraída del enfriador y además se utiliza agua que proviene de un pozo natural cuyo coste es muy bajo.

## 1.2.2. EXTRACCIÓN DE COMPONENTES DE LOS CEREALES MOLIDOS

El proceso de extracción consta de dos etapas: la primera, la sacarificación o maceración donde se activan los procesos enzimáticos y la segunda la filtración del mosto extraído (Alan y Jane, 1997).

La primera etapa es la maceración donde la pasta es mezclada y los componentes de la malta entran así en solución y, con ayuda de las enzimas, se los obtiene como extracto (sustancias solubles que entran en solución). Solo una parte de los componentes son solubles y el resto son insolubles como el almidón. Es por esto, que se intenta transformar la mayor cantidad de componentes insolubles en solubles mediante las enzimas, para así aumentar el extracto (Kunze, 2006).

Esta etapa transcurre en la caldera de maceración, donde ingresa todo el contenido de la molienda y se realizan ciclos de calentamiento y reposo térmico para conseguir la sacarificación del mosto cervecero consiguiendo así extraer todos los componentes solubles y transformar y extraer al máximo los insolubles. Los enzimas principales en esta fase son las proteasas y las amilasas que desarrollan su función a una gran velocidad debido a las condiciones favorables de temperatura y humedad proporcionadas en la caldera (Novell y Raventós, 2003).

Primero actúan las proteasas (52°C) degradando las proteínas a péptidos y aminoácidos, fundamentales para la levadura ya que constituirán el nitrógeno asimilable por la misma del mosto. Posteriormente se aumenta la temperatura hasta 70°C para que gelatinice el almidón y las amilasas puedan hidrolizarlo a azúcares fermentables como la maltosa. Tras la maceración se obtiene un jarabe llamado mosto cervecero, el cual contiene principalmente maltosa y glucosa (azúcares fermentables) y cierta cantidad de dextrinas (azúcares no fermentables) (Hughes y Baxter, 2003).

Como se ha dicho en el punto 1.2.1., como la industria utiliza maíz habrá que procesarlos por separado (caldera de maceración de crudos o adjuntos) a causa de que las temperaturas de gelatinización son más altas (Hughes y Baxter, 2003). Por tanto son macerados en esta caldera antes de ser añadidos a la caldera de maceración de la malta.

La segunda etapa es la filtración del mosto que consiste en la separación del mosto líquido de la parte insoluble denominada bagazo o cascarilla. Esta operación consta de dos fases diferenciadas, la primera es la obtención del primer mosto y la segunda son los lavados del bagazo que permiten recuperar y extraer al máximo todo el extracto retenido en el mismo (Novell y Raventós, 2003).

En esta industria para el proceso de filtración se utiliza las cuba-filtro, las cuales están adaptadas y son adecuadas para el tipo de molienda que se realiza en esta fábrica. Su uso se emplea en las extracciones con temperaturas programadas provenientes de una molienda húmeda y están diseñadas para efectuar una filtración rápida (2-3 horas) de la pasta una vez macerada o sacarificada (Alan y Jane, 1997).

Su funcionamiento consiste en el bombeo de la pasta de la caldera de maceración hacia la cuba filtro que es una caldera con doble fondo plano agujereado donde se retiene el bagazo y provoca la filtración del mosto. En su interior contiene unas cuchillas que penetran mediante un sistema de giro en la masa por filtrar de manera que permiten la formación de canales preferenciales para que se produzca el movimiento del mosto líquido filtrándose al máximo. Durante el bombeo de toda la masa a la cuba filtro se establece un periodo de recirculación para reducir el turbio del mosto que irá a la caldera de cocción y para homogeneizar toda la masa. Una vez toda la masa ha pasado de la caldera de maceración a la cuba-filtro, se conecta la bomba a vacío y se pasa al periodo de filtración (Novell y Raventós, 2003).

El primero mosto pasa a través del bagazo y es filtrado. La succión del filtrado provoca la compactación del bagazo y por tanto se aumenta la resistencia a la filtración. Es por ello que son importantísimas las cuchillas antes nombradas para remover el bagazo y disminuir la resistencia a la filtración. Este primer mosto tendrá una concentración de extracto homogénea (componentes solubles) (Kunze, 2006).

Una vez obtenido todo el primer mosto se inician los lavados con agua para arrastrar todo el extracto que aun contiene el bagazo y conseguir lo que se denomina el segundo mosto. Durante este proceso se pone en movimiento las cuchillas facilitando la disolución del extracto del bagazo (Novell y Raventós, 2003). Este periodo llamado segundo mosto empezará con una alta concentración de extracto, pero a medida que vaya pasando el tiempo y la cantidad de extracto del bagazo vaya siendo extraída la misma concentración del agua filtrada será menor. Con este método se obtiene una recuperación del extracto del 98-99% (Alan y Jane, 1997).

Ambos mostos son bombeados y juntados en la caldera de cocción o ebullición. Después de la filtración del segundo mosto, se baja un rastrillo que facilita la retirada del bagazo hacia la boca de descarga. Este bagazo se rentabiliza ya que se vende a otras industrias para la fabricación de pienso animal.

### 1.2.3. FERMENTACIÓN DEL MOSTO Y LEVADURA

Después de la cocción, la clarificación y la refrigeración del mosto, este está listo para el proceso más importante de la elaboración de la cerveza: la fermentación.

La fermentación es la transformación del mosto en cerveza. Los azúcares contenidos en el mosto se fermentan por las enzimas de la levadura dando como productos etanol y dióxido de carbono (Kunze, 2006). En cuanto a la evaluación de los azúcares (extracto) que contiene el mosto vamos a definir los distintos tipos de extracto:

-Extracto original: es el extracto al inicio de la fermentación (día 0). Por lo tanto es un indicativo de la cantidad de azúcares que se encuentran en el mosto.

-Extracto límite: es el extracto que permite saber hasta que extracto residual puede llegar la fermentación. Se realiza una vez lleno el tanque de fermentación y previo a la fermentación.

-Extracto real: fracción de sustancias disueltas en la cerveza, pero sin considerar el alcohol en la mezcla. Se suele utilizar para la mediación en el producto final.

-Extracto aparente: es la fracción de sustancias disueltas en la cerveza, pero considerando el alcohol presente. Se suele utilizar para la medición del mosto durante su fermentación. (Zambrano y Borbor, 2014).

Hay dos tipos de fermentación, como se ha explicado en el punto 1.1. y en esta fábrica concretamente solo se realiza cerveza tipo "lager". En comparación con las cervezas de fermentación alta, durante la fase de fermentación la levadura desciende y se va sedimentando lo que proporciona aparentemente una cerveza mucho más clara y limpia por su capacidad floculante. La fermentación se lleva a cabo en 5-8 días empezando desde temperaturas bajas 4 o 5 °C y alcanzando temperaturas de hasta 12 °C por la propia liberación de energía (Alan y Jane, 1997).

Para ello en esta fábrica se utiliza para la fermentación tanques cilindrocónicos, excepto para un determinado tipo de cerveza que se utiliza una combinación entre tanque tradicional y el tanque cilindrocónico. Este tipo de tanque tradicional es un tanque horizontal. En este tipo de cerveza hay una primera fermentación en tanque tradicional y finaliza con una segunda fase en tanque cilindrocónico.

Los tanques cilindrocónicos han facilitado mucho el proceso de fermentación a nivel industrial. Con este tipo de tanques se ha mejorado en muchos aspectos porque permiten una alta capacidad de fermentación en cuanto a volumen de cerveza, una menor pérdida de cerveza, una mayor facilidad de limpieza, una compactación de la levadura en el fondo cónico facilitando su extracción y un eficaz control de la temperatura y de la evolución de los azúcares durante la fermentación (evolución del extracto aparente) (Castañé, 2000). Realizando controles del extracto aparente se puede determinar la

curva de fermentación de la cerveza en función del tiempo y comprobar que la fermentación transcurre según lo previsto.

En la misma fábrica el tiempo de fermentación de cada cerveza una vez es introducida la levadura es totalmente distinto, ya que cada una tiene su receta, las cuales se diferencian en la calidad de las materias primas, la cantidad de las mismas, si lleva o no adjuntos, la temperatura de cocción, la cantidad de agua utilizada y por todo lo anterior mencionado, afecta en la cantidad de azúcares, es decir el extracto aparente que llegará a poseer el mosto final y que es muy condicionante en la duración de la fermentación.

La cantidad de levadura necesaria para la fermentación se calcula previamente teniendo en cuenta el volumen de mosto que va a contener el tanque de fermentación. Esta se agrega inyectándola en la línea de mosto frío a la salida del enfriador de mosto (intercambiador de placas). Después del enfriamiento, la línea de mosto con la levadura ya inyectada pasará al tanque de fermentación. Una vez iniciada la fermentación se aprecian cambios como el descenso del extracto (azúcares), la producción de gas carbónico y el desprendimiento de calor (Estrany y col., 2006). Durante la fermentación se controlan dos parámetros importantes para verificar que la fermentación progresa correctamente: el descenso del extracto aparente y el aumento de la temperatura a causa de la liberación de energía. Una vez llegado al extracto límite se produce la extracción de la levadura.

La maduración de la cerveza se produce en los propios tanques cilindrocónicos una vez se ha producido la retirada de la levadura. En la maduración se incluyen todas las transformaciones ocurridas desde el final de la fermentación principal (retirada de levadura) hasta el filtrado de la cerveza. Dentro de estas transformaciones encontramos la carbonatación por la fermentación de azúcares residuales, la sedimentación y eliminación de restos de levaduras (purgas), la adsorción de compuestos no volátiles en la superficie de las levaduras (por tanto su eliminación), eliminación de complejos causantes de turbidez y cambios en aroma/sabor (Alan y Jane, 1997).

La extracción de la levadura y de las purgas en los tanques cilindrocónicos se realiza mediante bombas que proporcionan un caudal constante y lento. Esto es importante porque si no se puede llegar a la extracción de cerveza, lo cual nos producirá pérdidas de producto (Kunze, 2006). Durante la extracción se lleva un control de la densidad de levadura o purga porque estas son muy superiores a la de la cerveza, por tanto, en todo momento se puede saber si el proceso está transcurriendo de forma correcta, es decir, no se produce extracción de cerveza.

En esta fábrica se usan cuatro bombas para la extracción de levaduras y purgas. Hay dos bombas peristálticas (más antiguas) y dos bombas trilobulares (más modernas). Cada bomba posee su propio densímetro que permite el control de la extracción.

En el caso de la levadura recuperada de los tanques de fermentación se le denomina cosecha de levadura. Esta cosecha suele ser cuatro veces superior a la cantidad de levadura inyectada para la fermentación a causa de la multiplicación de la misma (Estrany y col., 2006). Las cosechas deben de ser tratadas y almacenadas de forma apropiada, es decir, con aireación en caso de necesitarla, a una temperatura correcta y en tanques individualizados para cada tipo de cosecha. Estas servirán para utilizarlas en futuras fermentaciones (Kunze, 2006).

En el caso de las purgas conforme son extraídas de los tanques de maduración son eliminadas y tratadas como residuo orgánico.

Acabada la fermentación la cerveza se pasteuriza a 60 °C porque este producto puede ser sujeto a alteraciones y enfermedades de tipo microbiano como la sarcina o el picado por bacterias acéticas (Benavent y Tudó, 2010).

Después de la pasteurización se realiza la filtración de la cerveza que garantiza la estabilidad coloidal a la cerveza y confiere una apariencia limpia, clara y sin turbiedades. Esto se consigue separando por este método físico levaduras y otros restos sólidos (Zambrano y Borbor, 2014).

#### 1.2.4. FILTRACIÓN DE LA CERVEZA

La filtración de la cerveza tiene tres objetivos esterilizar la cerveza eliminando todas las levaduras y bacterias, eliminar todo tipo de material no biológico en suspensión y estabilizar la cerveza evitando enturbiamiento o nieblas no biológicas. Antes de la filtración, es muy importante enfriar la cerveza a la temperatura más baja posible, de modo que se extraiga el máximo material de turbios provocados por el frío (Hornsey, 2002).

En esta fábrica se utilizan filtros de bujías con coadyuvante Kieselguhr (tierra de diatomeas) cuya preparación para filtrar se rige de un protocolo. Primero se bombea a grosso modo tierra de diatomeas la cual se va depositando sobre el soporte del filtro. Esto puentea los poros más grandes del soporte y se le denomina capa de recubrimiento. Esta capa es recubierta por una segunda capa que consiste en partículas más finas. Una vez esto, la cerveza mezclada con tierra de diatomeas del tamaño de partícula de la segunda capa se bombea al filtro produciéndose la filtración de la cerveza. La capa de tierra de diatomeas o torta va reteniendo los restos de levadura y de partículas solidas hasta que esta se ciega por completo. Una vez cegada se para la filtración y hay que volver a empezar el proceso (Hornsey, 2002).

Una vez filtrada la cerveza se almacena en los llamados tanques de presión, donde la cerveza se puede conservar hasta 3 días en función de la capacidad envasadora. La cerveza final en estos tanques se mantiene tal y como entro después de la filtración.

En esta fábrica los tanques de presión se encuentran a una larga distancia de los tanques cilindroconicos y el transporte de la cerveza por las conducciones se realiza mediante empuje con agua. Esta agua se tiene en cuenta a la hora de dejar cada tanque de presión en su extracto real adecuado.

## **2. OBJETIVOS**

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo principal del trabajo fin de grado es el estudio para una posible optimización de determinados procesos del departamento de cocción y producción durante el proceso de elaboración de la cerveza.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

2.2.1. Calcular el consumo de agua fría y caliente en el proceso de molturación y maceración de los cereales en el departamento de cocción, para verificar y en cualquier caso actualizar y modificar las cifras actuales.

2.2.2. Calibración de los Antoon Paar en el proceso de filtración del mosto en el departamento de cocción.

2.2.3. Mejorar la curva estandarizada de las distintas fermentaciones realizadas en el departamento de producción. Mejora de la curva de la cerveza Tipo 3 utilizada actualmente en la empresa y obtener nuevas curvas de fermentación para las cervezas Tipo 2 y Tipo 1.

2.2.4. Calibrar los densímetros de las bombas encargadas de la extracción de la levadura de los tanques de fermentación en el departamento de producción.

2.2.5. Averiguar la cantidad de extracto real de la dilución de la cerveza a causa del transporte con agua de esta hasta el tanque de presión después del proceso de filtración realizado en el departamento de producción.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

Se ha trabajado con mosto de cerveza y cerveza tipo Lager. Los análisis se han centrado en los tres tipos de mosto y cerveza de mayor producción de la empresa.

Se han analizado las levaduras utilizadas en la fermentación de los diferentes tipos de cerveza y las purgas de los tanques de fermentación.

#### **3.2. ANALISIS REALIZADOS**

##### **3.2.1. °PLATO APARENTE Y REAL**

La cantidad de azúcares o extracto presente en la cerveza se expresa mediante el °Plato (°P), una escala que relaciona directamente la cantidad de sacarosa en solución con el °P del mosto (Hornsey, 2002). El °Plato está definido como el peso del extracto (sólido) en 100 gramos de cerveza a una temperatura de 20°C. La unidad de medida por tanto será °Plato en peso (°P p/p).

El °Plato aparente (°P ap), procedente del extracto aparente informa sobre la cantidad de azúcares que contiene el mosto durante el proceso de fermentación de la cerveza. Se obtiene el porcentaje de sacarosa que hay en nuestro mosto en un determinado momento.

El °Plato real (°P re), procedente del extracto real informa sobre la cantidad de azúcares no fermentables de la cerveza y es útil una vez esta acabada la fermentación para saber la cantidad de extracto que posee nuestra cerveza.

El °Plato real se mide en la cerveza, es decir el producto final, el cual ya esta filtrado pero contiene CO<sub>2</sub>. Por tanto, su procedimiento de análisis varía en algunos puntos respecto el °Plato aparente porque para poder analizarlo correctamente debe estar totalmente libre de CO<sub>2</sub>. En caso contrario, el resultado del análisis se verá distorsionado.

Este parámetro se analiza con un equipo automático de análisis. Es un sistema compuesto por un “Anton Paar-Alcolyzer Beer” y “Anton Paar- Density meter (DMA 5000)” (Figura 3.1.). El Alcolyzer Beer se encarga de medir la cantidad de alcohol mientras que el DMA 5000 es un densímetro digital. Se absorbe la muestra termostataada a 20°C mediante una jeringa hasta el tubo oscilador en forma de U. En este tubo mediante vibraciones electromagnéticas se originan oscilaciones en la muestra. El periodo de oscilación dependerá de la temperatura, del volumen de muestra y de la densidad. Las dos primeras son constantes por tanto, únicamente dependerá de la densidad de la muestra. Una vez obtenida la densidad, el mismo equipo la relaciona con el porcentaje de azúcares que contiene la muestra obteniendo directamente el ° Plato aparente. La obtención del °Plato real de forma tradicional se realiza separando el alcohol de la muestra; el densímetro analiza la densidad de la muestra sin alcohol obteniendo la cantidad de azúcares no fermentables. El valor de la densidad aumentará ligeramente al separar el alcohol. (Martínez y Rojas, 1999)

El equipo en cambio utiliza la medición del alcohol y la de extracto real (azúcares no fermentables) medida por el DMA para correlacionarlas y obtener así el °Plato real.



**Figura 3.1. Anton Paar-Density meter y Alcozyzer Beer**

### 3.2.2. CONSISTENCIA

Esta medición nos indica la cantidad de sólidos analizados en una muestra de levadura o purga. La consistencia está directamente relacionada con la densidad de la levadura o purga. Los equipos utilizados para la obtención de este análisis son: balanza de precisión de marca *Mettler Toledo* (Figura 3.2) que se utiliza para medir el peso de la muestra a analizar y una centrifuga Mixtasel BL de marca *P SELECTA* (Figura 3.3) utilizada para la separación de fases de la muestra.



**Figura 3.2. Balanza de precisión**



**Figura 3.3. Centrifuga**

El porcentaje de consistencia de la muestra de levadura se determina con la ecuación 3.1.

$$\% \text{Consistencia} = \frac{(P_f - P_o) \cdot 100}{(P_{11} - P_o)} \quad (\text{Ec. 3.1.})$$

Variables:

- Peso tubos centrifuga vacios ( $P_o$ ) (gramos)
- Peso tubos centrifuga con muestra ( $P_{11}$ ) (gramos)
- Peso tubos centrifuga después del centrifugado ( $P_f$ ) (gramos)

## 3.3. METODOLOGÍA

### 3.3.1. CONSUMO DE AGUA FRÍA Y CALIENTE EN COCCIÓN

El cálculo de consumo de agua se ha realizado para todos los tipos de cerveza (seis cervezas diferentes) y los mostos destinados a cultivo. Tanto los tipos de cervezas como los cultivos se diferencian en la materia prima utilizada y en el distinto consumo de agua, es por eso, que su análisis

es individualizado. La determinación del consumo de agua se realiza mediante la resolución de un balance de masa (ecuación 3.2.) y un balance de energía (ecuación 3.3.).

$$V_T = V_{AF} + V_{AC} \quad (\text{Ec. 3.2.})$$

$$T_F \cdot V_T = (V_{AF} \cdot T_{AF}) + (V_{AC} \cdot T_{AC}) \quad (\text{Ec. 3.3.})$$

Donde:

- $V_T$  es el volumen de agua total (Hectolitros)
- $V_{AC}$  es el volumen de agua caliente (Hectolitros)
- $V_{AF}$  es el volumen de agua fría (Hectolitros)
- $T_F$  es la temperatura final (°C)
- $T_{AC}$  es la temperatura del agua caliente (°C)
- $T_{AF}$  la temperatura del agua fría (°C)

### 3.3.2. CALIBRACIÓN DE LOS ANTON PAAR EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN DE MOSTO EN COCCIÓN

La toma de datos se realiza para cada cuba filtro, ya que cada una tendrá un Anton Paar diferente que mide el °Plato aparente en línea (Figura 3.4.) y, por tanto el error de ambos no tiene por qué ser el mismo. También se diferencia en la toma de muestras entre los tres tipos de mostos por si hubiera diferencias muy grandes entre ellos.



**Figura 3.4. Anton Paar en línea**

La variable única es el °Plato aparente y para poder realizar la calibración de los equipos en línea se tomara una muestra y al mismo tiempo anotaremos el °Plato en línea. Posteriormente se analizará en laboratorio la muestra y se comparará con el dato del equipo en línea. El mosto al final de la filtración posee temperatura altas, ya que viene de la caldera de maceración ( 76°C) (Ramírez y col., 2006). Por eso antes de su análisis con el equipo de laboratorio se ha de refrigerar hasta alrededor de los 20-25°C. Una vez la muestra ha sido refrigerada se analiza con el *Anton Paar* y se espera a los resultados.

### 3.3.3. CURVA DE FERMENTACIÓN

Primero hay que averiguar cuáles de todos los tanques de fermentación en la fábrica están llenos y qué tipo de cerveza se encuentra en fermentación. Aquellos que estén en proceso son los que hay que sacar muestras de cerveza y realizar un seguimiento de los mismos. Para ello se hace uso de una carpeta donde los operarios anotan en hojas preparadas todas las operaciones a lo que fermentaciones se refiere. En esta carpeta, solo se encuentran aquellos tanques de fermentación que están en ese momento llenos. En el anexo 1 se muestra un ejemplo del documento utilizado en la fábrica. De toda la información del documento se utilizará el número de tanque, para saber de dónde tendremos que obtener la muestra y el tipo de cerveza para identificar una vez analizada la muestra el dato medido y poder realizar las curvas separadas.

El tiempo de fermentación se obtiene de los monitores desde donde se controla toda la producción. Una vez ha comenzado el proceso de fermentación de un tanque hay un cronometro donde se registra el tiempo que lleva fermentando hasta que se extrae la levadura del tanque. Al mismo tiempo que se va a por la muestra, primero se va al monitor y se mira el tiempo de fermentación del tanque. Este tiempo queda correlacionado con el análisis de °Plato aparente que se realiza de la muestra a cada tiempo con el *Anton Paar* como se ha descrito previamente (apartado 3.2.1).

### 3.3.4. CALIBRACIÓN DE LOS DENSÍMETROS DE LAS BOMBAS ENCARGADAS DE LA EXTRACCIÓN DE LEVADURA

En producción hay cuatro bombas con un densímetro cada una que mide la densidad de la levadura durante su extracción del tanque de fermentación. Esta densidad es transformada directamente a la medida de consistencia por el aparato en línea. El operario lee esta medida en su pantalla para controlar el proceso de extracción. De las cuatro bombas, hay dos bombas trilobulares (Figura 3.5.) que extraen levadura de los tanques nuevos donde se encuentran las cervezas tipo 1 y 3 y dos bombas peristálticas (Figura 3.6.) que extraen levadura de los tanques de fermentación más viejos donde se fermenta cerveza tipo 2.



**Figura 3.5. Bombas trilobulares.**



**Figura 3.6. Bombas peristálticas.**

La retirada de levadura se realiza una vez la cerveza del tanque de fermentación ha alcanzado una determinada atenuación ( extracto limite medido en °P app), la cual nos indicará el momento de su extracción. También, cada cierto tiempo durante la fermentación se extraen purgas de los diferentes tanques. Esto se realiza para eliminar de los tanques la sedimentación de levadura no viable y diferente tipo de restos o materias amorfas que enturbian nuestro producto. Las purgas también servirán para la calibración del aparato ya que también poseen una densidad y por tanto una consistencia, aunque indiscutiblemente ésta siempre será mucho menor que los parámetros de una levadura.

### 3.3.5. AJUSTE DEL °PLATO REAL DEL FINAL DE FILTRACIÓN DE LA CERVEZA

Al final del proceso de filtración de la cerveza esta es empujada con agua necesariamente para que toda la cantidad de cerveza avance por el sistema de conducciones hasta los tanques de presión. Pero al utilizar agua para empujar por las conducciones en los últimos hectolitros del tanque, el °Plato real de la mezcla agua-cerveza es inferior que la cerveza filtrada durante el proceso. Esto ocasiona que el tanque de presión no tenga los parámetros de °Plato real correctos. Es por eso que se necesita saber en qué momento (°Plato de cerveza) habrá que empezar a empujar con agua, para que la cerveza del tanque de presión tenga las medidas de °Plato real correctas.

La variable más importante es que hay dos filtros, y cada uno posee un rendimiento de filtración y por tanto la toma de datos se realizará por filtro, y en segundo plano por tipo de cerveza. Hay tres tipos de cerveza distintos y su clasificación corresponde a la cantidad de extracto real expresado en °Plato real que tienen que tener los tanques de presión de ese tipo de cerveza. El °Plato real en p/p para un mismo

tipo de cerveza siempre tiene que ser el mismo para garantizar la homogeneidad del producto final. En la tabla 3.1. se muestra los tipos de cerveza en función del °Plato real que se elaboran.

**Tabla 3.1. Tipos de cerveza en función del °Plato real**

°P re p/p
13
11,4
10,7

Para el cálculo del °Plato real de la mezcla se plantea un balance de masa total del tanque de presión que se llena (ecuación 3.4.) en el cual el total del tanque será igual a la cerveza más la parte de la dilución. Este balance se cuantifica con los kilogramos de extracto seco que equivalen al °Plato real en unidad de volumen (°P p/v) por el volumen de cada término del balance (ecuación 3.5.). Las unidades del °Plato en la ecuación son en volumen (°P re p/v), pero una vez realizados los cálculos y obtenida la incógnita se vuelve a transformar el °Plato en volumen (p/v) a °P peso (p/p).

$$Ex_T = Ex_D + Ex_C \quad \text{Ec. 3.4.}$$

$$°P_T \cdot V_T = °P_D \cdot V_D + °P_C \cdot V_C \quad \text{(Ec. 3.5.)}$$

Donde:

- Extracto total del tanque (kg) ( $Ex_T$ )
- Extracto de la dilución (kg) ( $Ex_D$ )
- Extracto de la cerveza (kg) ( $Ex_C$ )
- °Plato real del tanque (en p/v) ( $°P_T$ )
- °Plato real de la dilución (en p/v) ( $°P_D$ )
- °Plato real de la cerveza (en p/v) ( $°P_C$ )
- Volumen del tanque (Hectolitros) ( $V_T$ )
- Volumen de la dilución (Hectolitros) ( $V_C$ )
- Volumen de la dilución (Hectolitros) ( $V_D$ )

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CONSUMO DE AGUA FRÍA Y CALIENTE EN COCCIÓN

El objetivo de esta investigación es, por un lado, obtener los volúmenes finales de agua caliente y fría utilizados en los molinos para cada tipo de cerveza, y por otro lado, realizar el cálculo de consumo de agua caliente y fría de la caldera de crudos en aquellas cervezas que en su receta incluyan maíz.

Mediante las ecuaciones 3.2 y 3.3, ecuaciones previamente descritas en el apartado 3.3.1 del presente trabajo, se calcularon los volúmenes de agua fría y, por diferencia los de agua caliente, utilizados tanto en los molinos de molturación de la cebada como en la caldera de crudos en función del tipo de cerveza estudiada. En el caso de los molinos habrá que realizar dos balances uno para el agua de remojo y otro para la de empaste. Y en el caso de las cervezas con maíz un balance adicional para el consumo del empaste del maíz en la caldera de crudos.

Para la resolución de ambos balances es necesario tener controladas varias variables como son:

-Temperaturas y hectolitros finales individuales de cada cerveza e independientes en las distintas corrientes (corriente de remojo, de empaste y de la caldera de crudos para cervezas con maíz). Estos datos se encuentran en el Documento ISO 9000 de Heineken Valencia, llamado Especificaciones Técnicas y Parámetros en Procesos de Fabricación (Heineken, 2013). Aquí encontraremos, las temperaturas a las que tienen que ir las dos corrientes de los molinos y la corriente de la caldera de crudos. También encontraremos los hectolitros de agua total a utilizar.

Se ha observado que en el documento ISO 9000 antes citado, concretamente en el apartado de la caldera de crudos, solo están las temperaturas finales y no los hectolitros finales. Por tanto se recomienda, modificar este documento añadiendo el dato de los hectolitros finales en el empaste de los crudos. Esta modificación evitará que si en alguna urgencia es necesario consultarlo y los supervisores no se encuentran disponibles, se pueda obtener esta información.

-Temperatura de agua caliente, dato que se encuentra registrado en la base de datos que sondea la temperatura del agua caliente que entra a los molinos antes de que se mezcle con el agua fría. Para obtener este dato se ha recurrido al registro de las temperaturas de todo el año 2013/2014 y se ha obtenido una media de todo el año. Para ello primero se busca aquellos días que ha habido actividad en los molinos, y por tanto entraba agua caliente en los mismos registrándose su temperatura en la base de datos. Una vez localizados los días, se anotaba de cada día tres temperaturas del proceso (una al principio, otra en la mitad y la última en el final). Este procedimiento se ha realizado para 10-12 días de cada mes hasta tener datos de seis meses diferentes. Al realizarlo en meses que comprenden desde invierno hasta verano, habrán datos que comprendan desde las temperaturas máximas hasta las mínimas, por tanto datos representativos del año. Una vez finalizada la recogida de datos, se realiza una media de todos los datos para obtener la media del año y su correspondiente desviación. El resultado es de  $81 \pm 2$  °C.

-Temperatura de agua fría que corresponde al agua fría que se almacena en un pozo. Para la medida de esta temperatura se plantean dos formas de hacerlo: en el enfriador de mosto y en una caldera de cocción.

En la primera se toman muestras en el termómetro en línea que se encuentra a la llegada del enfriador de mosto, ya que el agua utilizada proviene del pozo. Se registran varias medidas cuando el equipo se encuentra en funcionamiento a lo largo de los meses y se realiza una media con su correspondiente desviación. El resultado obtenido es  $19,18 \pm 0,48$  °C.

En la segunda se toman muestras en una caldera de cocción donde hay un termómetro en línea. La función de este termómetro es el control de los caudales de agua fría y caliente para la obtención de una temperatura fijada. Para realizar la toma de datos por tanto, se abrirá solamente el caudal de agua fría se dejará que el sistema de conducciones y la caldera se atempere hasta que la temperatura sea

constante (10-15 min) proporcionándonos el dispositivo la temperatura del agua fría entrante a la caldera. Después de varias medidas a lo largo de los meses se realiza una media con su correspondiente desviación. El resultado obtenido es  $22,92 \pm 0,19$  °C.

Analizando el segundo procedimiento queda rechazado porque en la sala de cocción se alcanzan altas temperaturas, y por tanto todos los sistemas de conducción y calderas poseen una temperatura muy superior a la ambiente. Esto puede condicionar nuestra medida de la temperatura aumentándola. Una posible solución a este problema podría ser hacer pasar grandes cantidades de agua para atemperar las conducciones y la misma caldera. Esta opción queda rechazada por dos razones: que estaríamos desaprovechando mucha agua y es contraproducente porque medioambientalmente no es correcto y porque hay una pérdida de recursos económicos. La otra razón es que se mantendría ocupada una caldera de cocción durante horas perjudicando el procedimiento de producción normal en fábrica.

Por último es posible que esta medida haya dado muy alta porque el indicador de la temperatura este estropeado o desequilibrado, y por tanto esta medida es errónea. Esto conllevaría empezar una nueva investigación paralela para comprobar y analizar el dispositivo de la temperatura de la caldera. En caso de mal funcionamiento se sugiere que se cambien porque influye directamente sobre el proceso y afecta a la efectividad del mismo ya que en función de este dispositivo de temperatura se controla los caudales de agua entrantes tanto de fría y caliente, para que se alcance la temperatura que se desee en la caldera. Si este dispositivo no da la temperatura real la regulación de la cantidad de agua variará, y es posible que se utilice más cantidad de agua caliente, la cual proporcionaría perdidas porque el agua caliente tiene mucho más valor económico que la fría a causa de que esta se calienta realizando una inversión de energía.

Se concluye por tanto, que la temperatura del segundo procedimiento es incorrecta y que el proceso de registro de la temperatura por el primero es la más fiable debido a que el enfriador y su sistema de conducciones se encuentran a temperatura ambiente, y no es posible que la temperatura del agua del pozo se vea alterada. Además, el proceso de enfriamiento de mosto dura alrededor de 2 horas a diferencia que en el segundo procedimiento que solo se espera unos 10-15 minutos. Por tanto se hace pasar una gran cantidad de agua acondicionando las conducciones por las que pasa y evitando así errores. Al mismo tiempo, este es un proceso obligatorio en la producción de cerveza evitando malgastar agua. Además la temperatura obtenida teniendo en cuenta que el agua proviene de un pozo donde se conserva a temperatura ambiente o un poco más fría encaja con los resultados del primer procedimiento.

La tabla 4.1. presenta los resultados de los volúmenes de agua fría y caliente utilizados en cocción para los distintos tipos de cerveza. Los volúmenes de agua de los molinos ya están multiplicados por dos, porque en fábrica utilizan dos molinos en el proceso de la molienda y por tanto el consumo de agua es del doble. En el caso de los dos últimos tipos de cerveza hay que añadirle el consumo en la caldera de crudos utilizados para el empaste de maíz cuyo valor se encuentra entre paréntesis.

**Tabla 4.1. Volumen de agua fría y agua caliente utilizado en cocción para los distintos tipos de cerveza.**

Tipo de cerveza	MOLINOS		SUMA DE CRUDOS	
	CALIENTE (Hls)	FRÍA (Hls)	CALIENTE (Hls)	FRÍA (Hls)
Tipo 1	384,88	161,12	-	-
Tipo 2	351,99	146,01	-	-
Tipo 3	340,75	141,25	-	-
Tipo 4	239,55	240,45	-	-
Tipo 5	370,90	155,10	-	-
Tipo 6	234,24	163,76	(100,16) 334,40	(34,84) 198,60
Tipo 7	173,90	218,10	(74,19) 248,10	(25,81) 243,90

La tabla 4.2. muestra los datos actuales que tienen en fábrica respecto los consumos de agua y se comparan con los obtenidos en la presente investigación. A causa de que de los datos antiguos solo se tiene el consumo de agua fría de los molinos, la comparación solo se podrá realizar de estos y no del consumo de agua en la caldera de crudos.

**Tabla 4.2. Tabla datos de consumos de agua actuales vs datos investigados**

MOLINOS AGUA FRÍA	ACTUALES (Hls)	INVESTIGADOS (Hls)	DIFERENCIA(Hls)
Tipo 1	221	161,12	59,88
Tipo 3	233	141,25	91,75
Tipo 7	226	218,10	7,90
Tipo 6	218	163,76	54,24
Tipo 4	247	240,45	6,55
Tipo 2	*	146,01	*
Tipo 5	*	155,10	*

Desde que se tomaron estos datos hasta ahora la aparición de un nuevo tipo de cerveza y que no se tuvo en cuenta el agua utilizada en el cultivo, provoca que el consumo de agua en cocción se vea aumentado.

Por otro lado, la comparación de los datos antiguos con los datos nuevos muestra que el consumo es mucho menor en 3 tipos de cerveza (Tipo 1, Tipo 3 y Tipo 6) y algo menor en los otros dos restantes (Tipo 7 y Tipo 4). Esto se puede deber a diversos factores:

-Una sobreestimación de los anteriores datos, ya que se obtuvieron hace mucho tiempo y es posible que tanto el control de las temperaturas como el de los hectolitros no fuera tan exacto como ahora, ya que los dispositivos y máquinas han evolucionado mucho realizando medidas más fiables. Por tanto estos valores modifican las ecuaciones del balance y el volumen final de agua.

-El consumo de agua se haya disminuido con el tiempo a causa de la misma evolución de las máquinas y sistemas proporcionando una mayor efectividad.

Se concluye por tanto, que el consumo de agua se ha disminuido y actualmente se utiliza una menor cantidad de agua que en el pasado. Por otro lado, es posible que se compense con la introducción de nuevos tipos de cerveza que obligan al uso de más agua. Al igual que al haber tenido en cuenta el agua utilizada en el cultivo y de la caldera de crudos que anteriormente no se consideró.

Los datos que se ha obtenido modifican los anteriores ajustando mucho más el consumo de agua que actualmente la fábrica utiliza en la molienda y en la caldera de crudos.

## **4.2. CALIBRACIÓN DE LOS ANTON PAAR EN EL PROCESO DE FILTRACIÓN DE MOSTO EN COCCIÓN**

En cocción hay dos “cuba filtro” encargadas de la filtración del mosto sacarificado que utiliza como medio filtrante la propia cascarilla de la malta, y para obtener un mayor rendimiento del bagazo se realizan varios lavados con agua. A la salida de la cuba filtro el mosto filtrado es analizado por dos Anton Paar en línea, los cuales analizan y hacen un seguimiento del °Plato aparente durante el proceso de filtración para comprobar que se realiza correctamente. Este seguimiento informa sobre la correcta sacarificación cuando solo se filtra mosto y sobre el correcto rendimiento obtenido del bagazo cuando se filtra agua a través de la cascarilla.

Cuando se tienen los datos de °Plato aparente suficientes, tanto los analizados en laboratorio como los de los equipos en línea en el momento que se coge la muestra, se calcula el error de los Antoon Paar en línea y se calibran.

Como se ha comentado previamente en el apartado 3.3.2., el error es independiente de cada equipo y la calibración por tanto es propia también de cada uno (se identificarán mediante Filtro 1 y Filtro 2). También, la toma de datos se realiza por tipo de mosto (Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3).

Para la calibración de un equipo la cantidad de datos es imprescindible, ya que, cuantos más datos haya mayor será el ajuste del error del equipo. Al comprobar que la tendencia de error de ambos filtros se repetía en todos los datos de los tres tipos de mosto se paró de coger datos, considerándose suficientes para la corrección del error.

Las tablas 4.3., 4.4., y 4.5. nos muestran un análisis del °Plato aparente medido en laboratorio y el mismo dato tomado del equipo en línea (marcado en el monitor del operario). Se muestra también el error actual realizando una diferencia de ambas medidas.

**Tabla 4.3. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 1.**

TIPO 1							
FILTRO 1				FILTRO 2			
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	
A	18,58	18,95	0,37	18,16	18,66	0,5	A
	18,51	18,95	0,44	18,26	18,68	0,42	
	18,32	18,75	0,43	18,11	18,62	0,51	
B	13,84	14,22	0,38				
	5,62	5,89	0,27				
	2,5	2,74	0,24				

**Tabla 4.4. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 2**

TIPO 2							
FILTRO1				FILTRO 2			
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	
A	18,44	18,87	0,43	18,72	19,17	0,45	A
	18,67	19,09	0,42	18,6	19,09	0,49	
	17,93	18,37	0,44	18,34	18,85	0,51	
	17,9	18,37	0,47	17,91	18,36	0,45	
B	15,9	16,26	0,36	17,72	18,15	0,43	
	11,9	12,19	0,29	17,02	17,4	0,38	
	6,94	7,09	0,15	14,84	15,21	0,37	B
	4,77	4,92	0,15	11,83	12,14	0,31	
	1,67	1,74	0,07	5,32	5,51	0,19	
				3,41	3,55	0,14	
				1,84	1,97	0,13	

**Tabla 4.5. Valores de °Plato aparente medido en línea y en el laboratorio, así como la diferencia entre ambas medidas, para el mosto tipo 3**

TIPO 3							
FILTRO1			FILTRO2				
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	
A	17,37	17,74	0,37	16,9	17,43	0,53	A
	17,26	17,65	0,39	16,85	17,37	0,52	
	17,1	17,48	0,38	16,65	17,14	0,49	
	16,94	17,33	0,39	14,75	15,12	0,37	B
B	16,53	16,93	0,4	11	11,41	0,41	
	13,72	14,04	0,32	7,03	7,35	0,32	
	7,42	7,67	0,25	5,13	5,42	0,29	
	5,05	5,3	0,25	3,25	3,44	0,19	
	3,46	3,57	0,11	1,9	2,07	0,17	
	2,16	2,23	0,07				
	1,08	1,1	0,02				

En las tablas 4.3., 4.4., y 4.5. se observa que al empezar la filtración, que es mosto puro con gran cantidad de azúcares (parte A de las tres tablas), la medida de °Plato aparente es muy alta (17-19 °P). El error en este primer proceso de filtración se pudo comprobar que es mucho más grande, alrededor de 0.4-0.5.

Por el contrario, una vez se va introduciendo agua para aumentar el rendimiento del bagazo, se observó que el error disminuía progresivamente hasta en el final del proceso alcanzar un error de alrededor de 0,1- 0,2 (parte B de las tres tablas).

Al observar que la tendencia de datos era prácticamente la misma en los tres tipos de cerveza se decidió realizar una única calibración del aparato por filtro, es decir unificar los datos de los tres tipos de cerveza para la calibración de cada filtro. Esta decisión también permitió tener mucha más cantidad de datos para el ajuste. Por tanto, se juntaron todos los datos de cada tipo de cerveza y se separaron únicamente por equipo en línea (Filtro 1 y Filtro 2). Este documento con todos los datos se envió a la empresa Anton Paar, la cual calcula el error de tu equipo en línea en base a los datos que se han recogido. Una vez nos remitieron el documento con las correcciones correctas, el instrumentista de la empresa cambió los parámetros de los dos equipos en línea.

Realizada la calibración de los dos Anton Paar en línea (cambio de los parámetros) se pasa a la fase de comprobación de los parámetros introducidos para verificar que la calibración ha sido totalmente correcta y el error se ha eliminado o disminuido. La metodología de comprobación va a ser la misma que para la recogida de datos en la etapa de calibración, y se analizará la variación del error actual.

La tabla 4.6. muestra un extracto de los datos de la comprobación del filtro 2. Como se puede observar en los datos de la tabla 4.6., el error del filtro 2 es prácticamente insignificante si se compara con el error antes de la calibración. En el mosto Tipo 2 después de recoger varias filtraciones esta tendencia se mantuvo mayoritariamente en todos los datos. En el mosto Tipo 1 y Tipo 3 no es un error tan bajo. Seguramente esto se deba a que para la calibración se unificaron todos los datos y había muy pocos datos de estos dos tipos de mosto. Pero como el error se ha reducido igualmente en la fase de mosto (parte A de la tabla 4.6.) hasta 0,1-0,2 y en la fase de dilución (parte B de la tabla 4.6.) hasta 0,09 en el caso del mosto Tipo 3 y de 0,08-0,2 en el caso del mosto Tipo 1, y se observa que la tendencia de los

datos es constante. Al comparar con los errores antes de la calibración se ha reducido considerablemente este, por tanto en la fábrica se da como válida la comprobación de este filtro.

**Tabla 4.6. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para los mostos tipo 1, 2 y 3, usando el filtro 2.**

	TIPO 3			TIPO 2			TIPO 1		
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$
A	19,02	18,93	0,09	17,87	17,74	0,13	18,72	18,51	0,21
	18,93	18,87	0,06	17,93	17,85	0,08	18,69	18,44	0,25
	18,86	18,78	0,08	17,86	17,74	0,12	18,74	18,52	0,22
	18,75	18,68	0,07	17,53	17,37	0,16	18,67	18,47	0,2
	18,55	18,47	0,08	17,16	17,04	0,12	18,59	18,37	0,22
B	4,1	4,11	-0,01	1,92	1,88	0,04	14,54	14,36	0,18
	2,54	2,53	0,01	1,77	1,7	0,07	3,05	2,94	0,11
	1,85	1,83	0,02	1,57	1,49	0,08	1,8	1,72	0,08
	1,46	1,44	0,02	1,38	1,3	0,08	1,16	0,99	0,17

La tabla 4.7. muestra un extracto de los datos de la comprobación del filtro 1,

**Tabla 4.7. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para los mostos tipo 1, 2 y 3, usando el filtro 1.**

	TIPO 3			TIPO 2			TIPO 1		
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$
A	18,66	18,29	0,37	17,6	17,17	0,43	19,06	18,55	0,51
	18,53	18,27	0,26	17,58	17,12	0,46	18,97	18,38	0,59
	18,42	18,07	0,35	17,94	17,48	0,46	18,94	18,42	0,52
	18,53	18,23	0,3	18,11	17,7	0,41	18,86	18,39	0,47
	18,55	18,23	0,32	17,87	17,49	0,38	18,31	17,84	0,47
B	14,94	14,52	0,42	8,43	8,02	0,41	7,03	6,56	0,47
	8,67	8,22	0,45	5,24	4,84	0,4	4,19	3,74	0,45
	5,71	5,26	0,45	3,13	2,71	0,42	2,25	1,8	0,45
	3,92	3,48	0,44	1,58	1,1	0,48	1,59	1,15	0,44

En el filtro 1, después de una gran toma de datos se comprobó que el ajuste no fue del todo correcto. Así se puede ver que en los tres tipos de mosto los datos tienen un error constante tanto al principio del proceso de filtración que es solo mosto (parte A de la tabla 4.7.), como en la segunda fase de filtración que corresponde a la adición de agua para aumentar el rendimiento del bagazo (parte B de la tabla 4.7.).

Los resultados de los datos de los tres mostos hacen que se retome de nuevo la recogida y análisis de nuevos datos para recalibrar de nuevo el equipo. La lista de datos hasta ahora recogida del filtro 1 ya no sirve para la nueva calibración, ya que los parámetros del equipo ya están cambiados. Por tanto, habrá que empezar de nuevo la recogida de datos del filtro 1 de igual forma que anteriormente se ha hecho. Los datos usados para la recalibración del filtro son los mismos que los datos de la comprobación.

Se volvió a repetir el proceso, se unificaron los datos de los tres mostos en un documento y se remitieron de nuevo a la empresa Anton Paar. Calcularon los parámetros de calibración en función del error obtenido entre los datos de laboratorio y los datos del equipo en línea. Los parámetros de calibración se cambiaron en el equipo del filtro 1 y se paso de nuevo a la comprobación de la calibración.

La tabla 4.8. muestra los datos de la segunda comprobación del filtro 1.

**Tabla 4.8. Comprobación de la medida de °Plato en línea y en el laboratorio para el mosto tipo 1, usando el filtro 1.**

TIPO 1			
	°P LÍNEA	°P LAB	$\Delta$
A	18,19	18,28	-0,09
	18,25	18,35	-0,1
	18,1	18,27	-0,17
	18,11	18,25	-0,14
	18,21	18,36	-0,15
	18,28	18,46	-0,18
	18,31	18,42	-0,11
	17,27	17,4	-0,13
B	7,4	7,46	-0,06
	4,78	4,82	-0,04
	2,94	2,99	-0,05
	2,13	2,17	-0,04
	1,44	1,46	-0,02
	1,08	1,05	0,03

En este caso se ha reunido una gran cantidad de datos del error del filtro 1 para su recalibración, por tanto su ajuste fue mucho más exacto. Esto se puede comprobar en los datos de la segunda comprobación ( tabla 4.8.), cuyo error entre la medida en línea y la de laboratorio se ha reducido mucho. En la anterior calibración el error era del orden de 0,3-0,4 (Tabla 4.7.) y hemos conseguido reducirlo hasta 0,17 (parte A de la tabla 4.8.) y hasta 0,06 (en parte B de la tabla 4.8.). Se da por buenos los resultados de la comprobación en fábrica y, por tanto la calibración del equipo del filtro 1.

Como conclusión final para ambos filtros, hay que decir que el interés del ajuste del Anton Paar es por la parte final de la filtración. Cuando los valores son sumamente bajos, una buena y ajustada medida del °Plato en esta parte del proceso hace que tengamos la medida real de ésta última fase. De este modo, informará de si el rendimiento de la cuba filtro ha sido el correcto. Si al tomar las últimas medidas tenemos un °Plato muy bajo, significará que se ha extraído por completo todo el extracto del mosto y que en la cebadilla simplemente ha quedado la cáscara. En caso contrario, significaría que habría que realizar más lavados con agua para no llegar a tener pérdidas económicas.

### 4.3. CURVA DE FERMENTACIÓN

El objetivo de esta investigación es realizar una curva estándar del proceso de fermentación para aquellas cervezas de fábrica con mayor producción, con datos analizados en el laboratorio. Esta curva estándar se consideraría por tanto la correcta y en base a ella los operarios pueden comprobar que la fermentación de estos tipos de cerveza que están realizando corresponde con esta curva estándar. Es decir, si una fermentación a tiempo “x” su medida de °Plato aparente no corresponde a la media “x” o al margen de error de esta media “x” el operario podría detectar con antelación que algo fuera de lo normal está ocurriendo en ese tanque de fermentación. El operario podría avisar al supervisor anticipándose al error y corregirlo. Al instaurar estas nuevas graficas al sistema de control se garantiza un mayor control de la fermentación, el cual es el más importante de todo el proceso de elaboración de la cerveza.

Para la obtención de las distintas curvas de fermentación, se ha partido de la base de que los tres tipos de cerveza que se van a tener en cuenta son diferentes en su receta, en el tipo de levadura y en los tanques de fermentación utilizados. Por consiguiente, tendrán curvas estándares totalmente distintas.

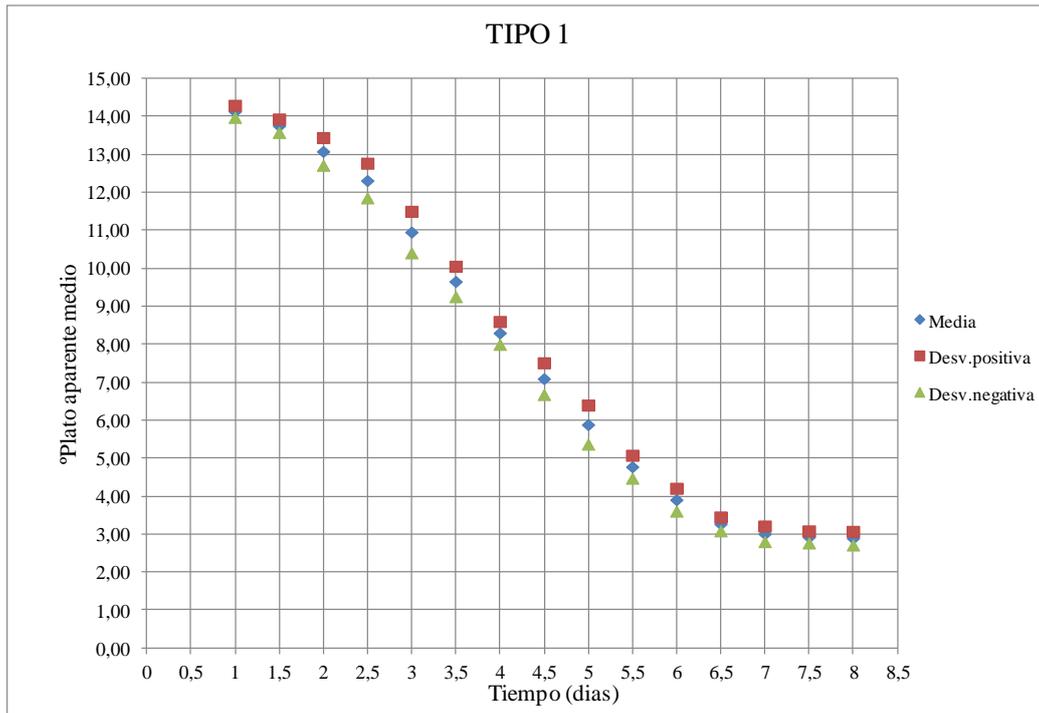
Para el análisis de los tres tipos de fermentación se lleva a cabo un seguimiento del °Plato aparente y del tiempo de fermentación. Para la elaboración de las curvas de fermentación estandarizada se realiza una agrupación de las medidas de °Plato aparente en función del tiempo (cada 12 horas), y se obtiene una media con su correspondiente desviación típica. Las tablas con las medias y sus desviaciones para la cerveza Tipo 1 y 2, a partir de las cuales se han elaborado las curvas se pueden encontrar en el anexo 2. En el caso de la cerveza Tipo 3, no se pudo recoger suficientes datos como para agruparlos y obtener medias.

Tener estandarizado el °Plato aparente es de gran utilidad porque, por un lado, nos está informando en qué punto se encuentra el proceso de fermentación por la cantidad de azúcares que contiene el mosto en ese momento. Por otro lado, al final del proceso de fermentación (°P app muy bajo) y al obtener un valor constante de este parámetro, informa al cervecero de que la levadura se puede extraer del tanque de fermentación. Este dato llega a ser constante porque todos los azúcares fermentables por la levadura se habrán agotado y por tanto el parámetro nos dará un °Plato aparente constante porque los azúcares no varían (extracto límite alcanzado).

En relación al tiempo de fermentación, este es inversamente proporcional al °Plato aparente porque a medida que pasa el tiempo el °Plato aparente disminuye. El tiempo es imprescindible para después poder realizar la curva de fermentación y poder situar la medida de °P aparente durante el proceso.

La figura 4.1 muestra la curva estandarizada de fermentación de la cerveza Tipo 1. La cerveza Tipo 1 es la más producida en fábrica, y por tanto constantemente hay tanques de fermentación en proceso. Es por esto que es de la cerveza que más datos se han podido obtener. Al poder recoger datos diariamente de tanques de fermentación diferentes nos permite tener en cada agrupación de cada 12h muchos datos para generar la media, lo que se traduce en medias consistentes y desviaciones mínimas.

La resolución de esta gráfica en comparación a las otras ha sido mucho más sencilla ya que el proceso de elaboración de esta cerveza dentro de lo que cabe está muy estandarizado. Esto ha generado que la mayoría de datos recogidos eran válidos y no se ha tenido que eliminar prácticamente ninguno anómalo.



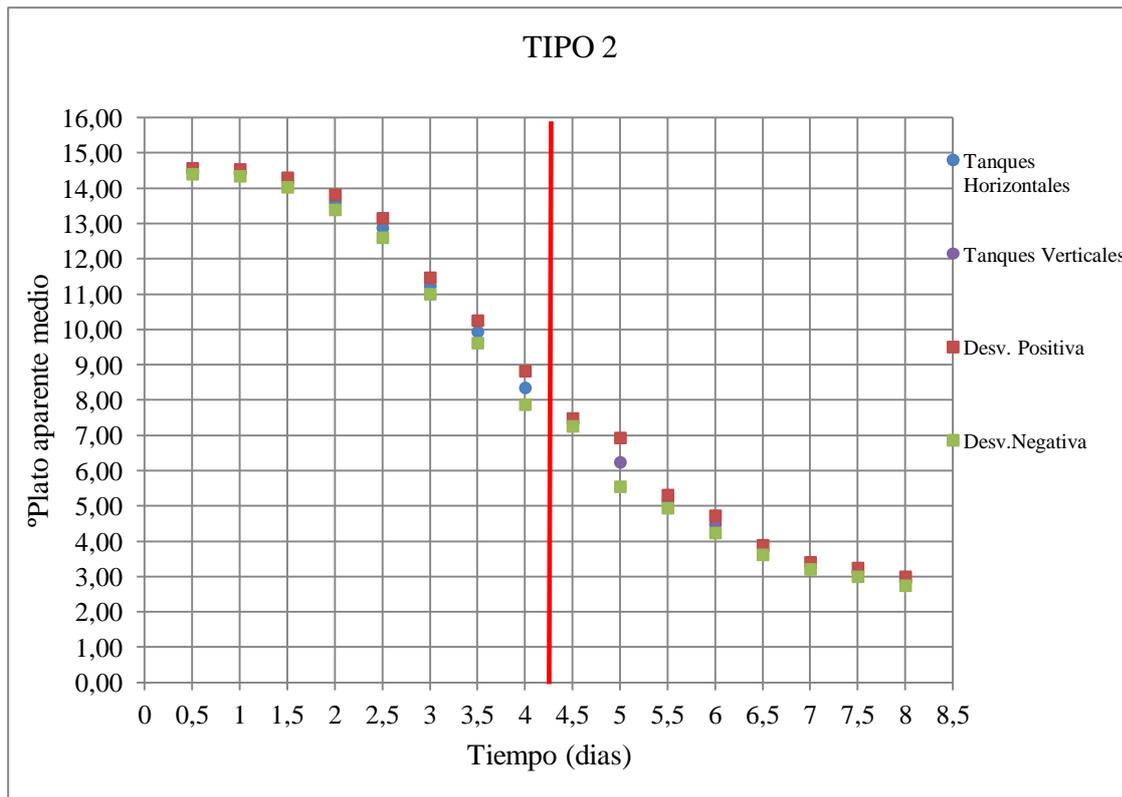
**Figura 4.1. Curva de fermentación estandarizada de la cerveza Tipo 1**

Como se puede observar en la figura 4.1. la curva aumenta sus desviaciones en la mayoría de puntos entre 2,5-5 días. Esto se debe a que este tramo coincide con la fase exponencial de la levadura, es decir, la fase donde hay una multiplicación de la misma y se produce una mayor transformación de azúcares en alcohol. Esta fase transcurre muy rápidamente y es muy difícil que en todos los tanques de fermentación de los cuales se ha obtenido datos se produzca exactamente igual.

En la empresa se dio esta curva estandarizada como válida. Esta será la primera curva estandarizada que se tiene de este tipo de cerveza, la cual será usada por los operarios para predecir y minimizar errores en el proceso de fermentación de la cerveza Tipo 1. Esto se traduce en una mayor homogeneidad del producto final y una optimización de los propios recursos al poder adelantarse los operarios a cualquier error y poder corregirlo a tiempo sin tener que tachar cómo malo un tanque entero de fermentación.

La figura 4.2 muestra la curva de fermentación de la cerveza Tipo 2. La elaboración de la curva de fermentación estandarizada de la cerveza Tipo 2 ha sido muy compleja respecto a la anterior. Esto se debe principalmente a que es la cerveza con mayor calidad de la fábrica y se realizan pasos en el proceso de fermentación que no corresponde con el proceso de elaboración general de la cerveza, sino que corresponde a un proceso tradicional característico de este tipo de cerveza. Esta forma de elaboración se ha mantenido durante años y confiere unas características especiales al producto final.

Este proceso tradicional se caracteriza por poseer dos tipos de fermentaciones para alcanzar el producto final. Una primera fermentación en tanques fermentativos horizontales (proceso tradicional) que corresponden a la figura 4.3. y una segunda fermentación en tanques fermentativos verticales (proceso general) que corresponden a la figura 4.4. Es por esto que se separa la recogida de datos, aunque a la hora de realizar la curva estandarizada se realizará juntando las medias obtenidas y sus desviaciones. En la Figura 4.2 se observa un salto en el día 4 correspondiente al trasiego del tanque horizontal al tanque vertical (línea roja).



**Figura 4.2. Curva de fermentación estandarizada de la cerveza Tipo 2**



**Figura 4.3. Tanque de fermentación horizontal**



**Figura 4.4. Tanque de fermentación vertical**

Durante la fermentación en los tanques horizontales se consigue aumentar el área de fermentación y también se consigue disminuir el volumen de mosto por tanque, ya que tres tanques horizontales corresponden a uno vertical. Por tanto, disminuyendo el volumen de cerveza, también se consigue disminuir la presión sobre ésta produciéndose aromas y sabores diferentes en el producto. Esto dota a este tipo de cerveza de unas características únicas e individuales de este proceso, aumentando la calidad de la misma.

Este proceso tradicional dura exactamente cuatro días y una vez pasados estos cuatro días la cerveza es trasegada a un tanque vertical, donde se produce la parte final de la fermentación.

En la primera parte de la figura 4.2., hasta los 4 días, corresponde al proceso de fermentación en los tanques horizontales. De 0,5 a 3 días se puede observar una muy baja desviación, esta se ha conseguido gracias a la gran cantidad de datos recogidos ya que como se ha mencionado antes la producción de este tipo de cerveza en la primera parte se separa en tres tanques horizontales y por tanto da lugar a una mayor recogida de datos por producción. Del 3 al 4 día, la desviación aumenta a causa de la entrada en la parte exponencial del proceso, aumentando la variabilidad de los tanques y por tanto de las medias con sus desviaciones.

En la segunda parte de la figura 4.2., de 4,5 a 8 días, corresponde al proceso de fermentación en los tanques verticales. En esta fase es donde mayor cantidad de problemas se ha tenido para poder obtener medias y desviaciones ajustadas. Estos problemas se deben principalmente a que la cantidad de datos era muy escasa porque se pasa de tres tanques horizontales a uno vertical. Por tanto, la cuantía de datos se ve totalmente disminuida.

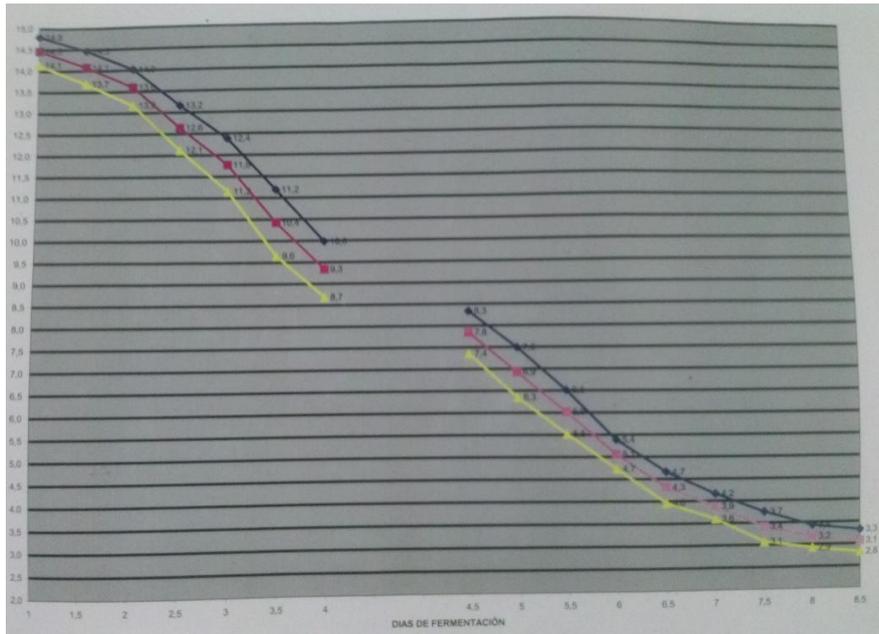
En el caso del tiempo 4'5 días hay muy pocos datos para la obtención de la media. Esto se debe a que el muestreo se realizó de forma incorrecta porque se muestreaban datos de los tanques verticales cuando aún estaba en marcha el proceso de trasiego de los tres tanques horizontales. Como consecuencia estos datos se han tenido que eliminar porque al adelantar la recogida de muestras y no esperar al trasiego completo de los tres tanques horizontales los datos daban valores más heterogéneos distorsionando la media y aumentando la desviación.

En el caso del tiempo 5 días la recogida de datos no coincidía con la franja horaria en la que se podía tomar datos por incompatibilidad horaria. Esta ha disminuido considerablemente la recogida de datos de este punto, aumentando así la desviación del mismo.

Realizar una curva estandarizada de este proceso es mucho más complejo ya que el proceso de elaboración tan característico el cual no está tan estandarizado provoca que haya una mayor variabilidad entre tanques, y por tanto los datos no llegan a ser tan homogéneos en cada agrupación (cada 12h). Es decir, para realizar las medias y desviaciones de cada agrupación habrán datos de °Plato aparente más diferentes.

Un factor también condicionante de esta curva ha sido la toma del dato tiempo. Este había que calcularlo de forma manual, por lo que se ha podido incurrir en más errores que han generado mayor cantidad de datos aberrantes y heterogéneos por grupo, los cuales había que eliminar.

La figura 4.5. muestra la curva de fermentación estandarizada antigua de la cerveza Tipo 2.



**Figura 4.5. Curva de fermentación estandarizada antigua de la cerveza tipo 2**

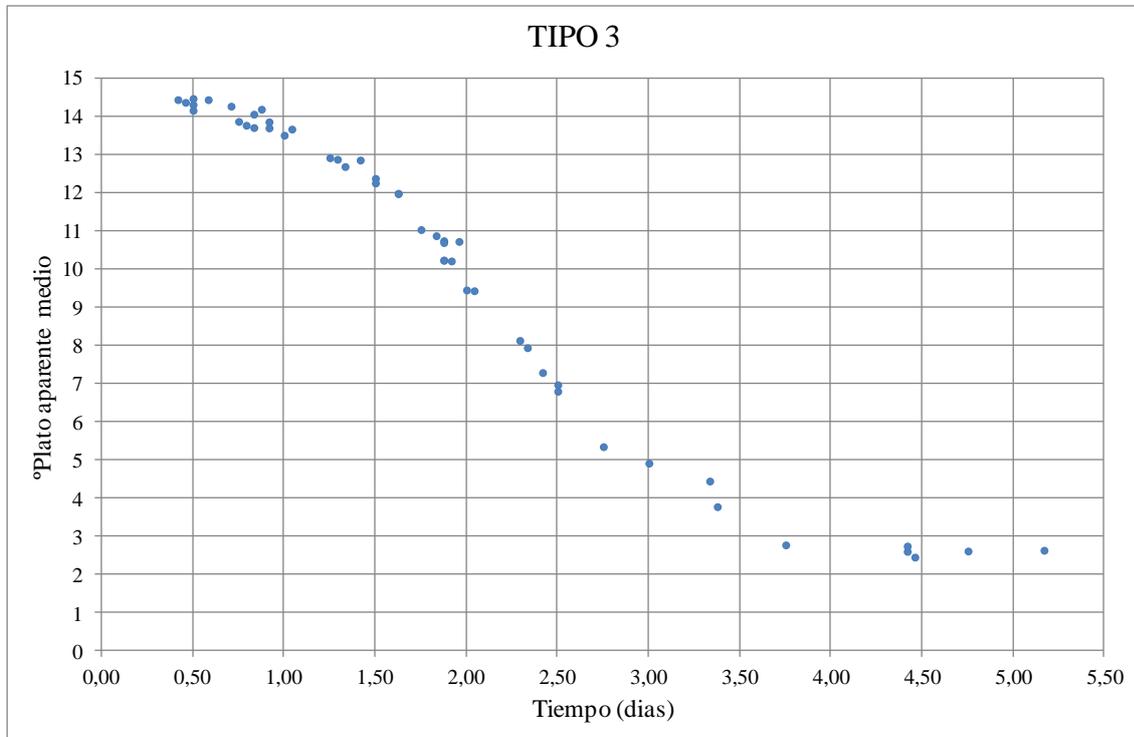
Esta curva se puede comparar con la nueva realizada (figura 4.2), donde se observa que las desviaciones son menores a las presentadas en a figura 4.5.. Esto se debe a que esta gráfica se realizó con datos rutinarios analizados por los operarios mediante un Anton Paar Density Meter 35 in situ (Figura 4.6.) el cual tiene un margen de error superior al equipo utilizado en laboratorio. Por tanto se puede decir, que en cuanto a precisión, la figura 4.2. es más precisa al haber analizado los datos con un Anton Paar Density Meter 5000. Además, habría que añadir que las mediciones de la figura 4.5. son realizadas por trabajadores distintos dependiendo de los turnos de trabajo, aumentando la variabilidad del error a causa del error individual de cada operario. Por el contrario, en las mediciones de la figura 4.2. el error debido al operario siempre es el mismo ya que estas mediciones han sido analizadas únicamente por una persona.



**Figura 4.6. Anton Paar DMA in situ**

Como conclusión la empresa dio la primera parte de la curva de estandarización de la fermentación de la cerveza Tipo 2 (Figura 4.2), la correspondiente a los tanques horizontales como válida, ya que se realizaron las medias con gran cantidad de datos y con unas desviaciones muy ajustadas que corroboran que corresponde a una estandarización del primer proceso de fermentación. En cuanto a la segunda parte de la curva, la correspondiente a los tanques verticales no se da como válida ya que hay muy pocos datos en los tiempos 4,5-5-5,5 días como para que las medias y las desviaciones sean consistentes. Por tanto, en futuras investigaciones habrá que retomar la toma de datos a lo que fermentación en tanques verticales se refiere.

La figura 4.7. muestra la curva de fermentación de la cerveza Tipo 3. La cerveza Tipo 3 es la de menor producción de los tres tipos de cervezas analizados, y por tanto la recogida de datos ha sido muy escasa. Esto no ha permitido que se recabaran suficientes datos por agrupación en función del tiempo. Como consecuencia no se ha obtenido medias de los datos de °Plato aparente por tiempo y por tanto no se ha podido realizar una estandarización de la curva de fermentación de la cerveza Tipo 3. Lo único que se ha podido realizar es una representación puntual de los datos recogidos en función del tiempo, como se puede observar en la figura 4.7.



**Figura 4.7. Curva de fermentación de la cerveza Tipo 3**

En base a los resultados obtenidos, se concluye que la curva de fermentación de la cerveza Tipo 1 se puede dar totalmente como un estándar y es muy válida para instaurarla en el sistema de control, porque para realizarla se ha partido de gran cantidad de datos dándonos medias con desviaciones muy pequeñas que nos corroboran que los resultados son significativamente buenos.

Respecto a la curva de la cerveza Tipo 2, la primera parte del proceso de fermentación se da como buena y estándar. Pero, en el caso de la segunda parte del proceso no hay cantidad de datos suficientes como para considerar como buena esta parte de la curva y habría que tomar más datos para conseguir medias con desviaciones más bajas y así, poder dar como válida la curva de fermentación.

Por lo que respecta a la curva estandarizada de la cerveza Tipo 3 no se ha podido realizar por escasez de datos.

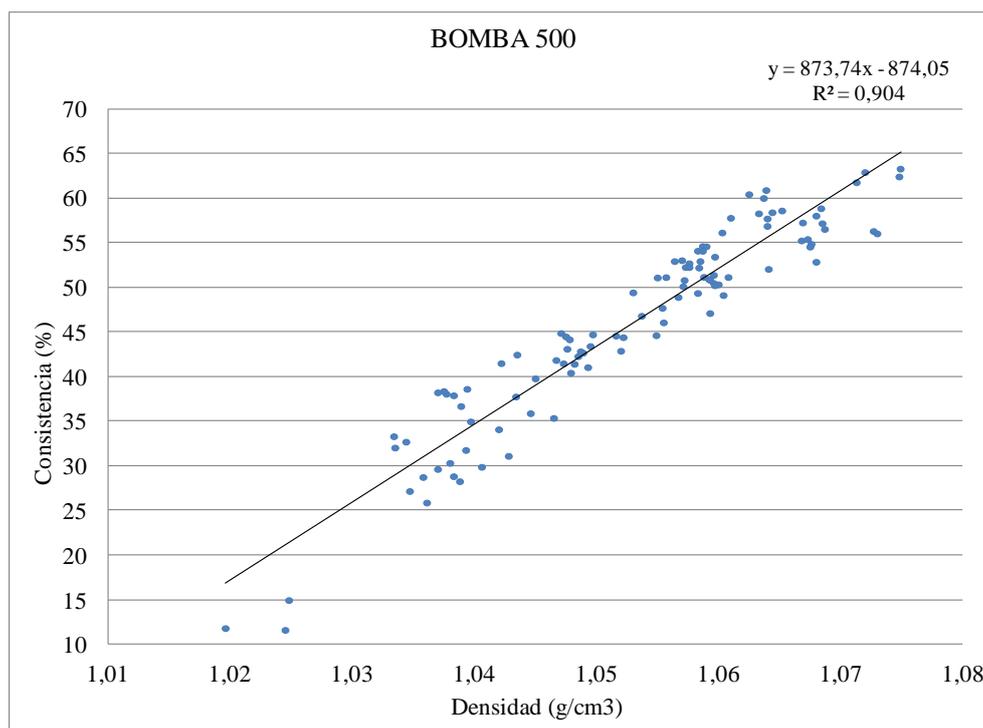
#### **4.4. CALIBRACIÓN DE LOS DENSÍMETROS DE LAS BOMBAS ENCARGADAS DE LA EXTRACCIÓN DE LEVADURA**

Para la calibración de los densímetros de las cuatro bombas extractoras de levadura de los tanques de fermentación se recabaron datos del densímetro de las bombas y se correlacionaron con la consistencia obtenida en laboratorio de las muestras. Con la representación de la consistencia en función de la densidad se obtiene la recta de calibración y su ecuación correspondiente del densímetro de cada bomba. Las dos bombas trilobulares son las bombas 500 (bomba 1 y 2) y las dos bombas peristálticas son las bombas 100 y 400.

Tener ajustado el densímetro de las bombas extractoras de levadura es muy importante ya que la densidad marcada en el mismo, durante el proceso de extracción, se transforma directamente en

consistencia. Este parámetro es el que el operario vigila en los monitores de control para saber cómo va el proceso de extracción de levadura de los tanques de fermentación. En función de la consistencia marcada el sistema automatizado dejará de extraer levadura llegando a un punto de consistencia (25%), ya que a partir de esta se considera una densidad muy baja y la bomba se encontrará en el límite de extraer cerveza. Por tanto, tener calibrado y ajustado el densímetro es de gran importancia porque si la consistencia marcada es superior a la real, se extraerá cierta cantidad de cerveza como si esta fuera levadura y se perderá producto. Y en el caso contrario, si la consistencia marcada es inferior a la real, se parará de extraer levadura antes de su extracción total. Esto provocaría que se quedara levadura en el tanque de fermentación, enturbiando el producto y disminuyendo la calidad del mismo.

La figura 4.8. muestra la recta de calibración de los densímetros de las dos bombas 500.



**Figura 4.8. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bombas 500.**

Para llegar a la figura 4.8., correspondiente a la calibración de las bombas trilobulares (bombas 500) primero se separó la recogida de datos tanto por cada bomba 500 (bomba 1 y 2) como por tipo de levadura extraída de tanque de cerveza tipo 1 y tipo 3.

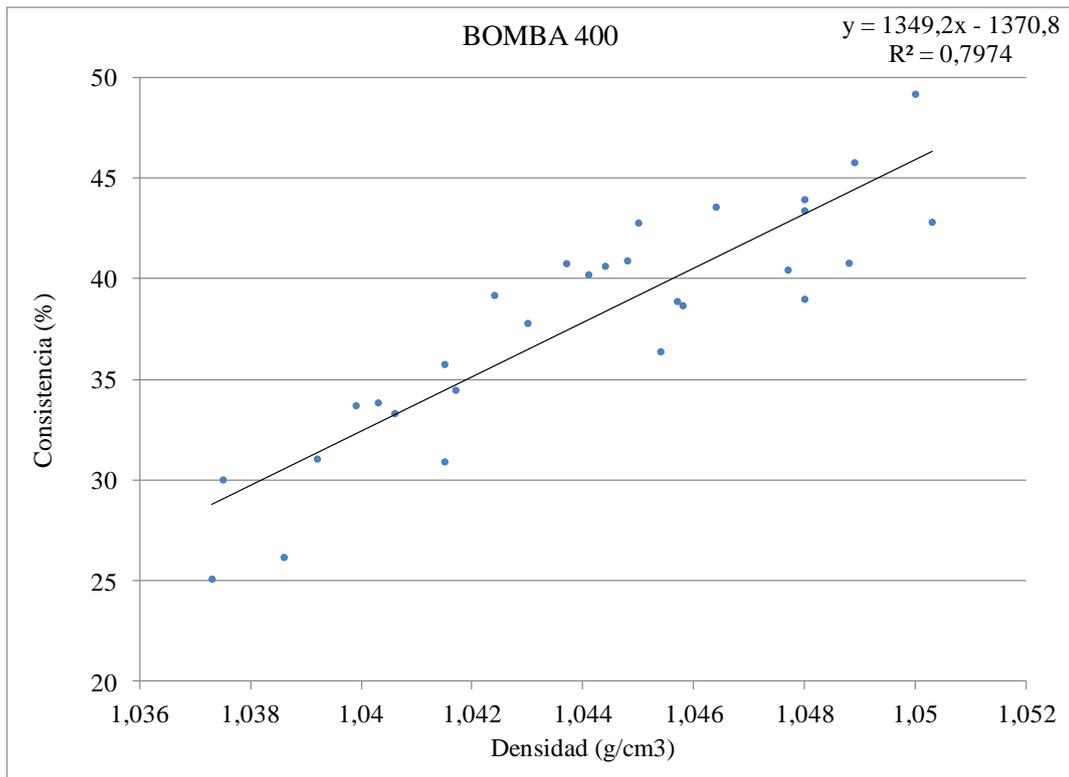
En un principio se quería realizar gráficas independientes para cada tipo de bomba y para cada tipo de levadura. Pero la poca cantidad de datos por tipo de levadura impidió la realización de la misma. De la misma forma, al separar los datos por bomba (bomba 1 y bomba 2) daban  $R^2$  mucho inferiores ( $R^2 = 0,87$  para la bomba 1 y  $0,88$  para la bomba 2) que al unir todos los datos. Las figuras correspondientes a las representaciones de los datos por bomba se pueden encontrar en el anexo 3.

Como se puede observar en la figura 4.8. se unieron todos los datos de las dos bombas y se realizó una única recta de calibración para ambos equipos la cual dio una  $R^2$  de  $0,9$ . Esta recta es más fiable que las realizadas individualmente para cada bomba, porque esta cuenta con una mayor cantidad de datos que garantizan un mayor ajuste.

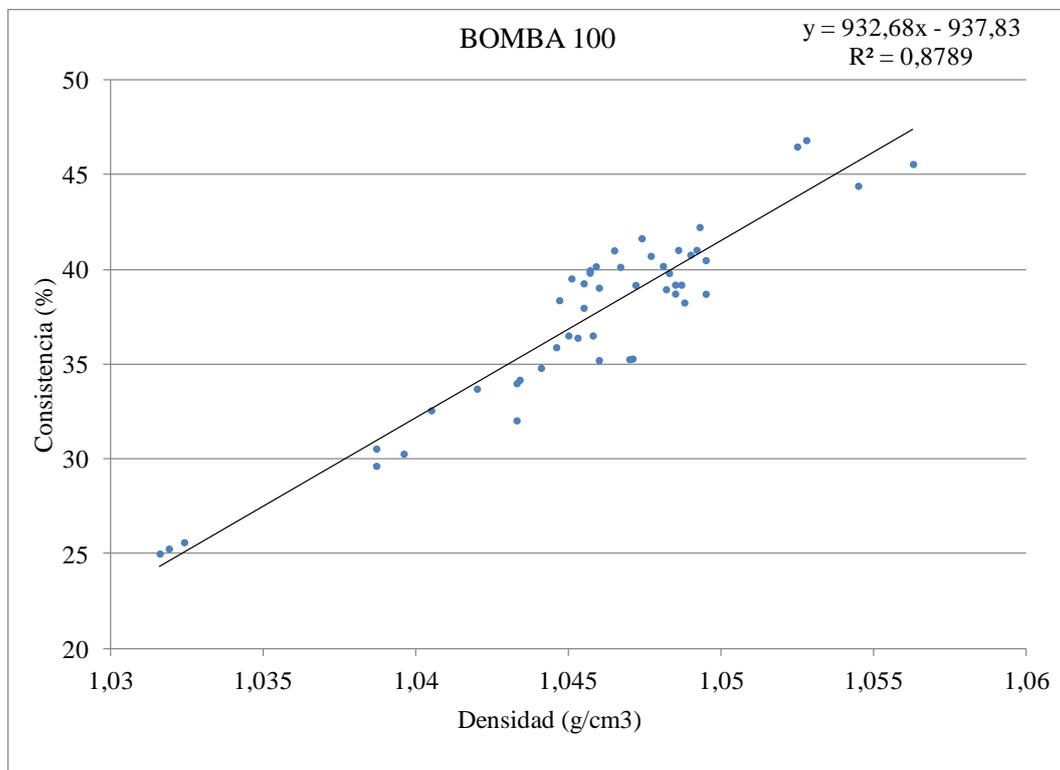
En el caso de estas dos bombas, las cuales son mucho más nuevas que las peristálticas (100 y 400), hasta el momento sus densímetros no tenían ninguna ecuación ajustada a este proceso. Es decir, se realizó la primera calibración de los dos equipos y se instauró en los dos densímetros la ecuación correspondiente mostrada en la figura 4.8. (ec. 4.1.):

$$y = 873,74 * x - 874,05 \quad (\text{ec. 4.1.})$$

La figura 4.9. y 4.10. muestran las recta de calibración del densímetro de las bomba 400 y 100 respectivamente.



**Figura 4.9. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bomba 400.**



**Figura 4.10. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bomba 100.**

En el caso de las bombas peristálticas no hay una distinción por tipo de levadura ya que ambas extraen levadura tipo 3. Pero, al igual que en el caso de las bombas 500 se representaron tanto individualmente figura 4.9. y figura 4.10., como unificando todos los datos en una sola gráfica para comprobar de qué forma se conseguía un mayor ajuste de la calibración.

En este caso la representación individual daba mejores resultados que la conjunta. La representación individual, como se puede observar en la figura 4.9. y 4.10. dan una  $R^2$  de 0,8 y 0,88 respectivamente. En cambio al unificar los datos, la  $R^2$  daba 0,78. La figura correspondiente a los datos unidos de las bombas 400 y 100 se pueden encontrar en el anexo 4.

Aunque la variación en las  $R^2$  no es muy grande, es preferible que cada equipo tenga su calibración y por tanto su propia ecuación, ya que cada equipo tiene su error y el ajuste en el proceso siempre será superior (mas aun teniendo en cuenta que estas bombas son mucho más antiguas que las 500, y el error con el desgaste del equipo suele aumentar). Antes de esta investigación en ambos densímetros se mantenía la misma ecuación (ec. 4.2.) para ambos equipos:

$$y = \left( (x * 1,0001) - 1,0032 \right) * 10 \quad (\text{ec.4.2.})$$

Las nuevas ecuaciones que sustituirán la ec.4.2. són la ecuación 4.3. para el densímetro de la bomba 400 y la ecuación 4.4. para el densímetro de la bomba 100:

$$y = 1349,2 * x - 1370,8 \quad (\text{ec.4.3})$$

$$y = 932,68x - 937,83 \quad (\text{ec.4.4.})$$

Donde en las ecuaciones 4.2., 4.3, y 4.4. la  $y$  es la consistencia(%) y  $x$  es la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ).

Como conclusión en las bombas trilobulares (500) al introducir la ecuación 4.1. en los dos densímetros el proceso de extracción de levadura de los tanques de fermentación que son extraídos por estas dos bombas se verá seguramente mejorado. Esto se debe a que se ha pasado de no tener ninguna ecuación en el densímetro a poseer la ecuación. 4.1., la cual se ajusta al proceso.

Por otro lado, en las bombas peristálticas (400 y 100) al instaurar las nuevas ecuaciones 4.3. y 4.4. respectivamente en los densímetros, se conseguirá mejorar el proceso de extracción de levadura de ambas bombas ya que se ha conseguido calibrar los densímetros y además realizar una curva y una calibración individual ajustando mucho más de lo que estaba antes el proceso.

Una vez hemos calibrado los densímetros de todas las bombas se pasa a la fase de comprobación de las mismas para verificar que la ecuación introducida es correcta y la calibración se ha realizado bien. La comprobación se ha hecho de la misma forma que la recogida de datos para la calibración, pero además al mismo tiempo que se recogía la muestra y se apuntaba la densidad, también se apuntaba la consistencia que marcaba el monitor del operario. Por lo tanto, se podrá observar el error entre la medida de la consistencia real de las muestras analizadas en el laboratorio y la que marca el monitor, la cual está relacionada con la ecuación instaurada en el densímetro.

Para analizar la comprobación calculamos el error absoluto y el error relativo. Además también se grafica los datos recogidos durante la comprobación y se compara con la gráfica correspondiente.

Una vez modificada la ecuación en el densímetro de las bombas trilobulares (500) se pasó a realizar la comprobación y verificación de que realmente la ecuación 4.1. se ajusta bien al proceso.

De ambas bombas, se calculó el error absoluto y relativo de la medida de la consistencia entre la muestra y la marcada en el monitor.

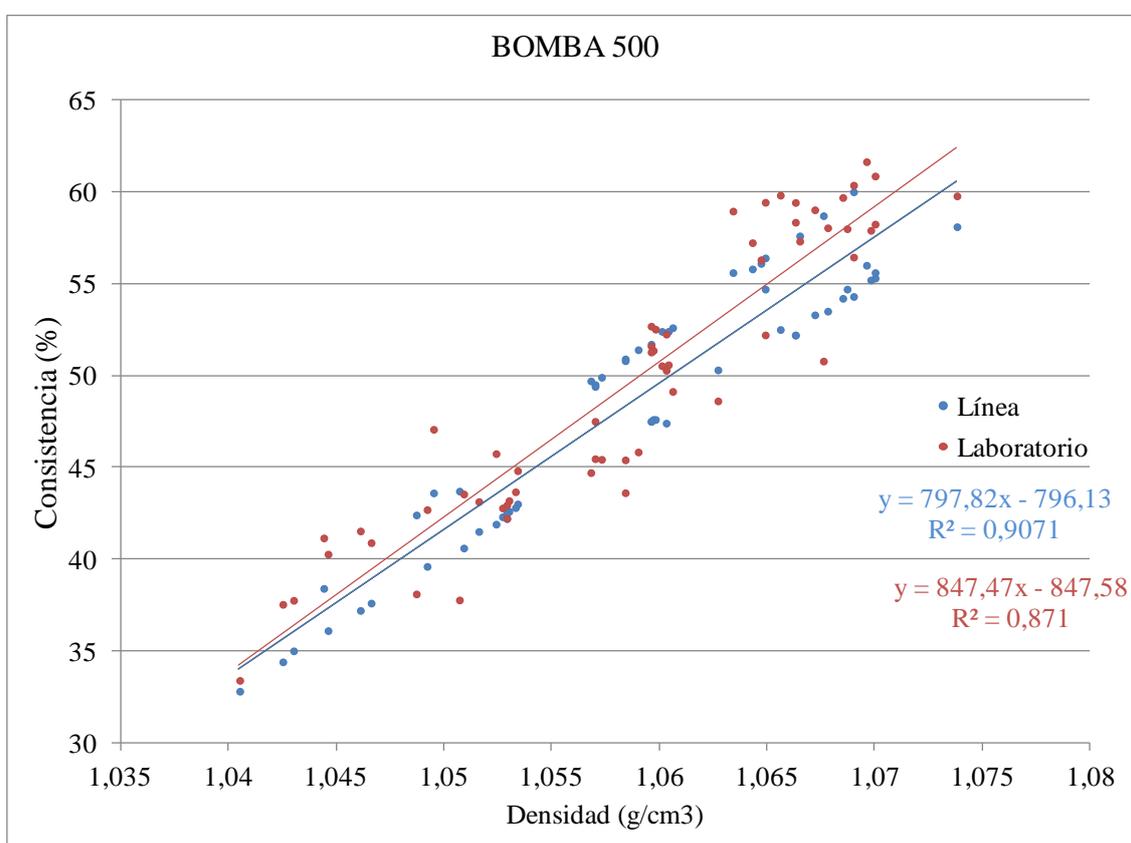
Una vez realizado esto, se calcula la media del error absoluto y relativo de cada bomba con su correspondiente desviación (Tabla 4.9.).

**Tabla 4.9. Error absoluto y relativo de las bombas 500**

		ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
BOMBA 1	Media	2,7	5,5
	Desviación del error	1,5	3,2
BOMBA 2	Media	2,5	5,7
	Desviación del error	1,4	3,3

Como se puede observar en la tabla 4.9. tanto la media de los errores como las desviaciones de las dos bombas son muy similares. Esto significa que aunque hayamos usado una sola ecuación, obtenida del conjunto de datos de los dos equipos, mantiene el mismo error en las dos. Por lo tanto se puede dar como válido el uso de una sola ecuación en ambos equipos. Por otro lado, en la empresa una media de error de 5,5-5,7 se da como válido, partiendo de la base que de estas dos bombas ni siquiera se tenía una ecuación ajustada al proceso.

Por otro lado, también se realizó la comprobación gráfica (Figura 4.11.) representando los datos de consistencia analizados en laboratorio y los marcados en el monitor, frente a la densidad. De esta forma se puede ver el error visual entre ambos grupos de datos.



**Figura 4.11. Comprobación gráfica de las bombas 500**

En la figura 4.11. se observa que ambas rectas son muy parecidas lo que quiere decir que el error es muy bajo y que probablemente este atribuido al % de error a tener en cuenta al analista, y el cual no se puede evitar. Además la gráfica muestra que a baja consistencia el error es mínimo (las dos rectas se juntan) y a medida que va aumentando la consistencia, el error aumenta (la recta se separa).

Esto tiene lógica ya que a una baja consistencia la levadura es más manejable, menos espesa y por tanto se facilita su análisis en laboratorio, y viceversa.

Finalmente, ambos análisis tanto el analítico como el gráfico verifican la buena calibración de las bombas trilobulares, y en la empresa se da como buena la comprobación.

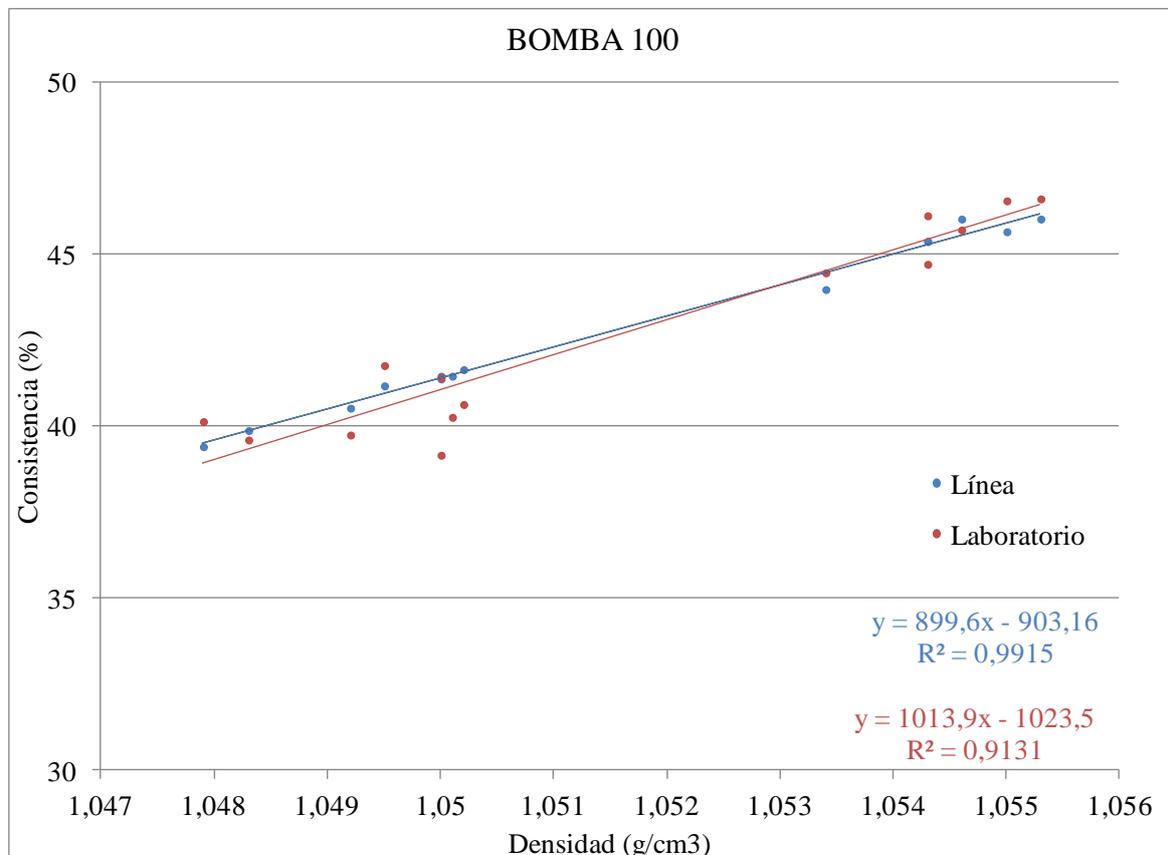
La bomba peristáltica 100 es utilizada prácticamente para sacar todas las levaduras de la cerveza tipo 3 y únicamente se utiliza la bomba 400 en caso de tener que extraer dos levaduras de dos tanques de fermentación al mismo tiempo de este tipo de cerveza. La menor producción de la cerveza tipo 3 en comparación a la cerveza tipo 1 y que el periodo de prácticas estaba prácticamente finalizando ha permitido coger pocos datos para la comprobación de la calibración. Aun así, la calibración de la bomba 100 fue muy exacta y tampoco hicieron falta más datos para verificar su correcto funcionamiento. En el caso de la bomba 400 no se llegó a realizar ninguna extracción de levadura y no se pudo comprobar la calibración.

El proceso para comprobar y analizar el error es el mismo que el explicado para las bombas trilobulares. La tabla 4.10. nos muestra la media del error absoluto y el relativo de la bomba 100.

**Tabla 4.10. Error absoluto y relativo de la bomba 100**

		ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
BOMBA 100	Media	0,75	1,77
	Desviación del error	0,5	1,3

Se observa que el error absoluto medio de todas las muestras es bastante bajo, indicando que las diferencias entre los valores en línea marcados por el monitor y los analizados en laboratorio son mínimas. En la empresa se da como válida la comprobación ya que el error relativo no llega al 2%. De la misma forma que en las bombas trilobulares, se realizó una comprobación gráfica, representando la densidad frente a los datos de consistencia del monitor y los analizados en el laboratorio. La figura 4.12. muestra esta comprobación gráfica.



**Figura 4.12. Comprobación gráfica de la bomba 100**

En la figura 4.12. se observa unos valores de  $R^2$  muy altos tanto para los datos en línea, es decir los que marcaba el monitor, como para los datos analizados en el laboratorio.

Aunque los datos recogidos de la comprobación no son muchos, el densímetro de la bomba 100 está perfectamente calibrado ya que los datos de su comprobación han dado prácticamente exactos y sin error.

Respecto a la comprobación de la calibración de la bomba 400, no dio tiempo a realizarla, ya que durante el tiempo que quedaba desde que se instauró la ecuación en el densímetro no se extrajo ninguna levadura de ningún tanque de fermentación por esta bomba.

En el proceso de calibración de los densímetros de las bombas encargadas de la extracción de la levadura de los tanques de fermentación se han encontrado varias limitaciones, la primera limitación del proceso, tenemos que la extracción de levadura de las bombas no se realiza de forma continua, solamente cuando un tanque de fermentación, como antes hemos dicho se encuentra en la atenuación correcta. Además, la levadura se puede sacar tanto en el turno de mañana, noche y día, lo que provoca que depende del horario de trabajo se pueda o no recoger datos. Por tanto, la recogida de los datos es muy lenta y en el caso de la bomba 400 solamente ha dado tiempo al cálculo de la ecuación y no a la comprobación.

Además, en el caso de las bombas peristálticas 100 y 400 el toma muestras se encontraba alejado del densímetro y esto hace aumentar el error en el experimento, ya que una vez recogida la muestra, había que desplazarse para mirar la densidad y es posible que la densidad cambiara. Como mejora ante este problema técnico, se propone una mejor disposición del toma muestras en futuras investigaciones, ya que esta ha podido ser una fuente de error bastante grande.

Por último, una corrección en el diseño del experimento. Se tendría que haber obtenido durante la recogida de datos para la calibración la consistencia en línea para después en la comprobación haber podido comparar el error inicial con el error después de calibrar el densímetro.

Como conclusión final, la empresa dio por buena la calibración y comprobación de las bombas 500. En el caso de la bomba peristáltica 100, se da por buena, pero habría que seguir tomando más datos para comprobar que la tendencia del error se mantiene y así verificar que realmente la ecuación introducida en el densímetro es buena.

Por último en la bomba peristáltica 400 habría que realizar la comprobación por completo.

#### **4.5. AJUSTE DEL °PLATO REAL DEL FINAL DE FILTRACIÓN DE LA CERVEZA**

Las tablas 4.11. y 4.12. son la tablas interactivas finales del filtro 41 y 11 respectivamente, iguales que las utilizadas por los operarios. El operario lo único que tiene que introducir es el volumen que tendrá el último tanque de presión ya que una vez esta finalizando la filtración, el volumen dependerá de la cerveza que queda por filtrar. Introducido el volumen teórico que tendrá el tanque de presión, la tabla por medio del Excel, la cual ya lleva preparado el sistema de ecuaciones explicado en el apartado 3.3.5., calcula inmediatamente el °Plato real en peso al que se debería de empezar a introducir agua para empujar los últimos hectolitros de la filtración. El tanque de presión quedará al °Plato real exacto aunque este lleve agua a causa de la compensación debida a un °Plato real de la cerveza circulante superior.

**Tabla 4.11. Tabla interactiva para el operario del filtro 41**

FILTRO 41		
Dato constante	Dato a introducir por operario	Dato función del volumen del tanque
°P real del tanque (p/p)	Volumen tanque	°P real de la cerveza (p/p)
11,4	500	11,74
10,7	1700	10,78

En el caso del filtro 41, solo se ha podido realizar la investigación para dos tipos de cerveza, porque el tercero no se ha llegado a conseguir suficientes datos.

**Tabla 4.12. Tabla interactiva para el operario del filtro 11**

FILTRO 11		
Dato constante	Dato a introducir por operario	Dato función del volumen del tanque
°P real del tanque (p/p)	Volumen tanque	°P real de la cerveza(p/p)
11,4	1700	11,49

En el filtro 11 solamente se ha podido realizar la investigación para un tipo de cerveza como se puede observar en la tabla 4.12.. La razón es la misma que en el caso del filtro 41, falta de datos.

Para la obtención de estas tablas finales, primero se ha tenido que tener controladas todas las variables de las ecuaciones expuestas en el punto 3.3.5.:

-El volumen del tanque de presión, el cual es el mismo en todos los tanques excepto el último tanque por llenar, que su volumen dependerá de la cantidad de cerveza que quede por filtrar.

-°Plato real del tanque de presión que es un parámetro fijo que siempre tiene que ser el mismo para que toda la cerveza producida sea estándar y no hayan variaciones entre el mismo producto (tabla 3.1).

-El °Plato real de la dilución, parámetro que vamos a estudiar de las muestras con el fin de poder obtener los kilogramos de extracto de dilución exactos en cada tipo de cerveza.

-El volumen de la dilución se corresponderá a la cantidad que pasa desde que se empieza a empujar con agua (diluir) hasta que llega a un °Plato real de 6,5. Una vez llegado a este punto el flujo deja de ir al tanque de presión, ya que se considera muy diluido.

Se trata de un volumen fijo de 60 hectolitros y las muestras, que se cogen cada 10 hectolitros serán analizadas con el *Antoon Paar*, como ya he descrito previamente.

El parámetro que interesa de estas muestras es el °P real en p/p, para más tarde transformarlo en °P real en p/v y poder obtener así, junto con el volumen de la dilución los kilogramos de extracto correspondientes a la dilución.

Una vez obtenida gran cantidad de muestras de cada tipo de cerveza, se realiza una media de todos los datos °Plato real p/p por hectolitros (media de 10 Hl, de 20 Hl, de 30 Hl...). Estas medias se transforman en °P real p/v y se multiplican por el volumen, es decir 10 Hl. Con esto se obtiene los kilogramos de extracto parciales de cada 10 Hl. Al realizar un sumatorio, finalmente se obtiene los kg de extracto de la dilución, los 60 Hl. En las tablas 4.13. y 4.14., se muestran los resultados obtenidos de los kilogramos de extracto obtenidos a partir de las medias del parámetro °Plato real de las cervezas del filtro 41 de tipo 11,4 y 10 ,7 respectivamente. En la tabla 4.15. se muestra la cerveza del filtro 11 de tipo 11,4.

**Tabla 4.13. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 11,4 del filtro 41.**

VOLUMEN	MEDIA °P re (p/p)	°P re (p/v)	KG EXTRACTO
10	11,09	11,57	115,66
20	10,34	10,75	107,51
30	9,31	9,64	96,44
40	8,38	8,65	86,52
50	7,47	7,68	76,85
60	6,66	6,83	68,31
Σ KG EXTRACTO			551,29

**Tabla 4.14. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 10,7 del filtro 41.**

VOLUMEN	MEDIA °P re (p/p)	°P re (p/v)	KG EXTRACTO
10	10,68	11,12	111,16
20	9,92	10,30	102,99
30	8,86	9,16	91,58
40	7,71	7,94	79,38
50	6,78	6,95	69,50
60	6,07	6,21	62,08
Σ KG EXTRACTO			516,68

**Tabla 4.15. Cálculo del extracto de la dilución de la cerveza tipo 11,4 del filtro 11.**

VOLUMEN	MEDIA ° Pre (p/p)	°Pre (p/v)	KG EXTRACTO
10	11,00	11,47	114,69
20	10,18	10,58	105,79
30	9,21	9,53	95,31
40	8,22	8,47	84,71
50	7,41	7,62	76,17
60	6,24	6,39	63,88
Σ KG EXTRACTO			540,57

-El volumen de la cerveza, el cual siempre se calculará por diferencia de los otros dos volúmenes. Éste es el volumen correspondiente que dentro del tanque no es dilución.

-El °Plato real de la cerveza que será el dato que realmente nos interesa. Este corresponde al °P real al que se tendrá que empezar a diluir para que el tanque, una vez sumada la dilución, se quede en el °P real del tipo de cerveza que corresponda.

Una vez se ha calculado los kilogramos de extracto de la dilución ya se tiene todos los términos de la ecuación claros excepto la incógnita que es el °Plato real de la cerveza en el cual se tiene que empezar la dilución para que no haya problemas con el tanque. Las unidades de este °P será p/v, y habrá que transformarlas en °P p/p para que a los operarios les sirva para mirar el indicador del monitor. Esta incógnita es variable en cada proceso de filtración, ya que ésta dependerá de la cantidad de volumen a la que se llenará el último tanque.

Aunque se han realizado tablas interactivas para tres tipos de cerveza, dos del filtro 41 y una del filtro 11 (Tablas 4.11. y 4.12.). La única que la empresa ha dado por buena ha sido la del tipo 11.4 del filtro 41. En este caso hay suficientes datos para el calculo del extracto de la dilución para que los resultados sean fiables. En el resto hay datos, pero son más bien escasos y no se puede dar como válido. Habría que recabar más datos pero por falta de tiempo no fue posible. Por tanto, la empresa utilizará únicamente la tabla interactiva 4.11. del tipo de cerveza 11.4.

En la empresa, actualmente tienen una hipótesis para el cálculo de los kilogramos de extracto de todos los tipos de cerveza para ambos filtros. Esta hipótesis está basada en que durante la dilución cada hectólitro correspondía a un descenso del °P real de 0,1. Esta hipótesis a priori no es muy aproximada ya que según esto la bajada del °P sería de tendencia lineal. Esto no es cierto porque la dilución no posee una tendencia lineal sino que al principio la bajada es lenta ya que habrá más cerveza que agua y en el momento en el que comienza a aumentar la cantidad de agua la bajada se hace mucho más rápida. Para ver las diferencias entre ambos métodos se ha realizado una tabla comparativa de los resultados de las dos tablas interactivas (la actual y la investigada) del tipo de cerveza 11.4. del filtro 41. En esta tabla, la tabla 4.16. se compara el °Plato real (p/p) obtenido de los dos sistemas en función del mismo volumen.

**Tabla 4.16. Comparación de la tablas interactiva antigua y la investigada del tipo de cerveza 11,4 del filtro 41**

°P re (p/p) tanque	Volumen tanque	INVESTIGADA	ACTUAL
		°P re cerveza(p/p)	
11,4	1700	11,49	11,52
	1300	11,52	11,55
	1000	11,56	11,61
	800	11,6	11,66
	600	11,68	11,76

Como se puede observar en la tabla 4.16. la tabla interactiva actual da un °P real de la cerveza más alto a la hora de empezar a diluir, lo que significa que se está desaprovechando cerveza porque comienzan a diluir mucho antes de lo que realmente se necesita. Por el contrario en el caso del sistema nuevo desarrollado se ha conseguido descender el °P real de la cerveza en el que se tiene que comenzar a diluir consiguiendo mantener el tanque dentro de especificaciones.

También se puede observar que al disminuir el volumen del tanque se aumenta el °P real de la cerveza en el que habrá que comenzar la dilución. Esto se debe a que para el mismo tanque el extracto de la dilución va ser el mismo, por tanto para la misma agua pero con menos cerveza habrá que obtener el tanque en las mismas condiciones de °P. Es por eso, que un mayor grado plato, compensará el menor volumen de cerveza frente la misma cantidad de agua.

Para finalizar, remarcar que la diferencia entre el parámetro °P real de la cerveza del sistema antiguo y el desarrollado, aumenta a medida que también desciende el volumen del tanque. La consecuencia es que a tanques con gran volumen el error del sistema antiguo queda más amortiguado, mientras que a tanques de menor volumen su error aumenta considerablemente.

Para el resto de tipos de cerveza se dejó hecho todo el sistema de resolución, de tal forma que en el momento que se retome la investigación y se sigan tomando datos, únicamente tengan que introducirlos y automáticamente se modifiquen las medias y por tanto los kilogramos de extracto de la dilución.

Concluyendo, la empresa da como válida la investigación y pondrá en marcha la tabla interactiva del tipo 11,4 del filtro 41. Los resultados de si se ha mejorado en este punto del proceso, se comprobaran a largo plazo mediante la observación de la disminución de las mermas de cerveza. En el caso de que se

haya optimizado el proceso, las mermas de cerveza disminuirán en el caso de este tipo de cerveza. Si se da el caso, se rechazará la hipótesis planteada que se tiene actualmente en la empresa y se investigarán el resto de tipos de cerveza de ambos filtros.

## **5. CONCLUSIONES**

## 5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los diferentes puntos del proceso de elaboración de la cerveza de esta industria concretamente, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

1) En relación al consumo de agua en la etapa de cocción durante la molienda y la maceración se concluye que ha habido una disminución en el consumo de agua con respecto al pasado. Sin embargo, es posible que esta disminución de consumo se compense con la introducción de nuevos tipos de cerveza que obligan al uso de más agua y también, al agua utilizada en el cultivo y en la caldera de maceración de los crudos que anteriormente no se había considerado.

Los datos en cuanto a las cantidades que se han obtenido modifican los anteriores informando a la industria sobre su consumo actual de agua en el proceso de cocción.

2) En la calibración de los Anton paar en línea en el proceso de filtración de mosto, el jefe de producción da por buena la calibración y comprobación del filtro 2. En cuanto al filtro 1 la calibración se da por buena porque los datos observados en la comprobación son muy buenos. Pero habrá que tomar más datos en la comprobación para verificar estos resultados, ya que la falta de tiempo ha imposibilitado acabar del todo la comprobación del filtro 1.

3) De las curvas estandarizadas de fermentación, la única instaurada en el sistema de control de procesos es la del tipo de cerveza 1. En cuanto a la curva de la cerveza tipo 2 la primera parte del proceso de fermentación se da como buena y estándar. Pero, en el caso de la segunda parte del proceso no hay cantidad de datos suficientes como para considerar como buena esta parte de la curva y habría que seguir tomando datos. Por lo que respecta a la curva estandarizada de la cerveza Tipo 3 no se ha podido realizar por escasez de datos.

4) En la calibración de las bombas extractoras de levadura de los tanques de fermentación, la empresa dio por buena la calibración y comprobación de las dos bombas trilobulares 500. En el caso de la bomba peristáltica 100, se da por buena, pero habría que seguir tomando más datos para comprobar que la tendencia del error se mantiene y así verificar que realmente la ecuación introducida en el densímetro es buena. Por último en la bomba peristáltica 400 habría que realizar la comprobación por completo.

5) En la investigación del ajuste del °Plato real del final de filtración de la cerveza, el jefe de producción solo dio por buena e instauró la tabla interactiva para el tipo de cerveza 11,4 del filtro 41. En cuanto al resto de tipos de cerveza del filtro 41 y todos los tipos de cerveza del filtro 11 no se consiguió recabar suficientes datos para la elaboración de las tablas, pero se dejó el sistema para realizarlas una vez se decida retomar la investigación.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

## 6. BIBLIOGRAFIA

ALEIXANDRE BENAVENT, J.; ALEIXANDRE TUDÓ, J. (2010). **Manual de vinos y bebidas**. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 394 pp.

BAXTER, E. D.; HUGHES, P. S. (2004). **Cerveza: calidad, higiene y características nutricionales**. Ed. Acribia. Zaragoza. 154 pp.

BOE (1995). Reglamentación técnico sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de la cerveza y de la malta líquida. **Boletín oficial del estado**, 34: 4271-4274.

BROWN, C. M.; CAMPBELL, I.; PRIEST, G. (1989). **Introducción a la biotecnología**. Ed. Acribia. Zaragoza. 167 pp.

CASTAÑÉ, F.X. (1997). La cerveza: historia, fabricación y propiedades. **Alimentos, equipos y tecnología**, 4: 41-48.

CASTAÑÉ, F.X. (2000). Los tanques cilindro-cónicos y el tiempo de guarda de la cerveza. **Alimentos, equipos y tecnología**, 4: 75-85.

ESTRANY CODA, F.; OLIVER PUJOL, R.; BORRAS CRISTOFOL, N. (2006). Aspectos tecnológicos de la producción industrial de la cerveza. **Alimentos, equipos y tecnología**, 212: 33-41.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION (EBC) (1975). **Analytica – EBC**. Tercera Edición. Zurich.

HORNSEY, I.S. (2002). **Elaboración de cerveza: microbiología, bioquímica y tecnología**. Ed. Acribia. Zaragoza. 229 pp.

HEINEKEN ESPAÑA S.A. (2013). **Especificaciones técnicas y parámetros en procesos de fabricación**. Procedimientos específicos ISO 9000.

KUNZE, W. (2006). **Tecnología para cerveceros y malteros**. Primera edición en español. Ed.VLB Berlín. Alemania. 1075 pp.

MARTÍNEZ, F.; ROJAS, J. H.; (1999). Un método refracto-densimétrico para el análisis de mezclas líquidas ternarias homogéneas. **Revista colombiana de ciencias químico farmacéuticas**, 28: 45- 51

MARTÍNEZ, J. R.; VALLS, V.; VILLARINO, A (2007). El lúpulo contenido en la cerveza, su efecto antioxidante en un grupo controlado de población. **Cerveza y salud**, 16: 9-15.

NOVELL, J.; RAVENTÓS, M. (2003). Producción de mosto cervecero. **Alimentos, equipos y tecnología**, 179: 53-60.

PILLA, S.; VINCI, G. (2011). **Cervezas de todo el mundo: enciclopedia práctica**. Ed. De Vecchi. Barcelona. 600 pp.

RAMÍREZ, M. V.; RUÍZ, S. Y.; ROMÁN, G. A. (2006). **Elección del método para la obtención de mosto de calidad cervecera**. VIII Congreso Nacional de Ciencia de Alimentos y IV Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Monterrey, Nuevo León.

RODRIGUEZ, C. (2003). **Determinación de parámetros fisicoquímicos para la caracterización de cerveza tipo lager elaborada por compañía cervecera Kunstmann**. Tesis doctoral en ingenieros agrónomos. Universidad Austral de Chile. 66 pp.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. (1997). **Bebidas. Tecnología, química y microbiología.** Ed. Acribia. Zaragoza. 487 pp.

ZAMBRANO SOLÓRZANO, J.C.; BORBOR SUÁREZ, K. C. (2014). **Utilización de una nueva cepa de levadura en el proceso de fermentación en una industria cervecera en la ciudad de Guayaquil.** Tesis de grado en ingenieros agrónomos. Escuela Superior Politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador. 173 pp.

## **7. ANEXOS**

# 7. ANEXOS

## ANEXO 1. HOJA DE CONTROL DE LA FERMENTACIÓN

FERMENTACIÓN Y BODEGAS															TANQUE : 223							
Matrícula FAB 03.01 Edición 01 Fecha : 20/03/03										F												
TIPO DE CERVEZA :										B												
DÍA	Nº.COC	HLS	TIPO	PASE	KG	CONSIS	COMB	HORAS	Recup. CO2 a las 4 h. de estar lleno													
17/10/13	1969	720	H	11.1		97.93%	207	71														
18/10/13	1972	717								Nombre:												
Mlhrs → 1.434							HORA	DIA	Purga a las 24 horas													
FINAL SIEMBRA							1960	17/10/13	Nombre:													
FINAL TRASIEGO																						
INICIO FILTRACIÓN																						
DIA	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
FECHA	17/10	18/10	19/10	20/10	21/10	22/10	23/10	24/10	25/10	26/10	27/10	28/10	29/10	30/10	31/10							
ORD.Tº		10			10	10.5	10.5	10.5	10.5			10.5	10.5	10.5	10.5							
Tº MAÑANA		8.1			10	10.7	10.5	10.5	10.5			10.5	10.5	10.5	10.5							
Pº MAÑANA		18.5		19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5			19.5	19.5	19.5	19.5							
PRESIÓN		0			0	0	0	0	0			0	0	0	0							
pH		5.03			4.55	4.48	4.53	4.56	4.57			4.57	4.46	4.40	4.47							
ORDENES								SL														
ORDENES																						
TRANSFER																						
OBSERVAC.																						
OP	Tª	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16																						
15																						
14																						
13																						
12																						
11																						
10																						
9																						
8																						
7																						
6																						
5																						
4																						
3																						
2																						
1																						

Figura 7.1. Hoja de control de los parámetros de las fermentaciones.

## ANEXO 2: DATOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS CURVAS DE FERMENTACIÓN

TIPO DE CERVEZA 1.

**Tabla 7.1. Medias del °Plato aparente y sus desviaciones agrupadas cada 12 horas para el tipo de cerveza 1.**

TIPO 1			
MEDIA °PLATO	DESVIACIÓN	TIEMPO (Horas)	TIEMPO (Días)
14,13	0,16	24	1
13,75	0,18	36	1,5
13,08	0,36	48	2
12,31	0,46	60	2,5
10,95	0,55	72	3
9,65	0,40	84	3,5
8,30	0,30	96	4
7,09	0,42	108	4,5
5,88	0,51	120	5
4,77	0,30	132	5,5
3,90	0,30	144	6
3,27	0,18	156	6,5
3,01	0,20	168	7
2,92	0,16	180	7,5
2,89	0,18	192	8

TIPO DE CERVEZA 2.

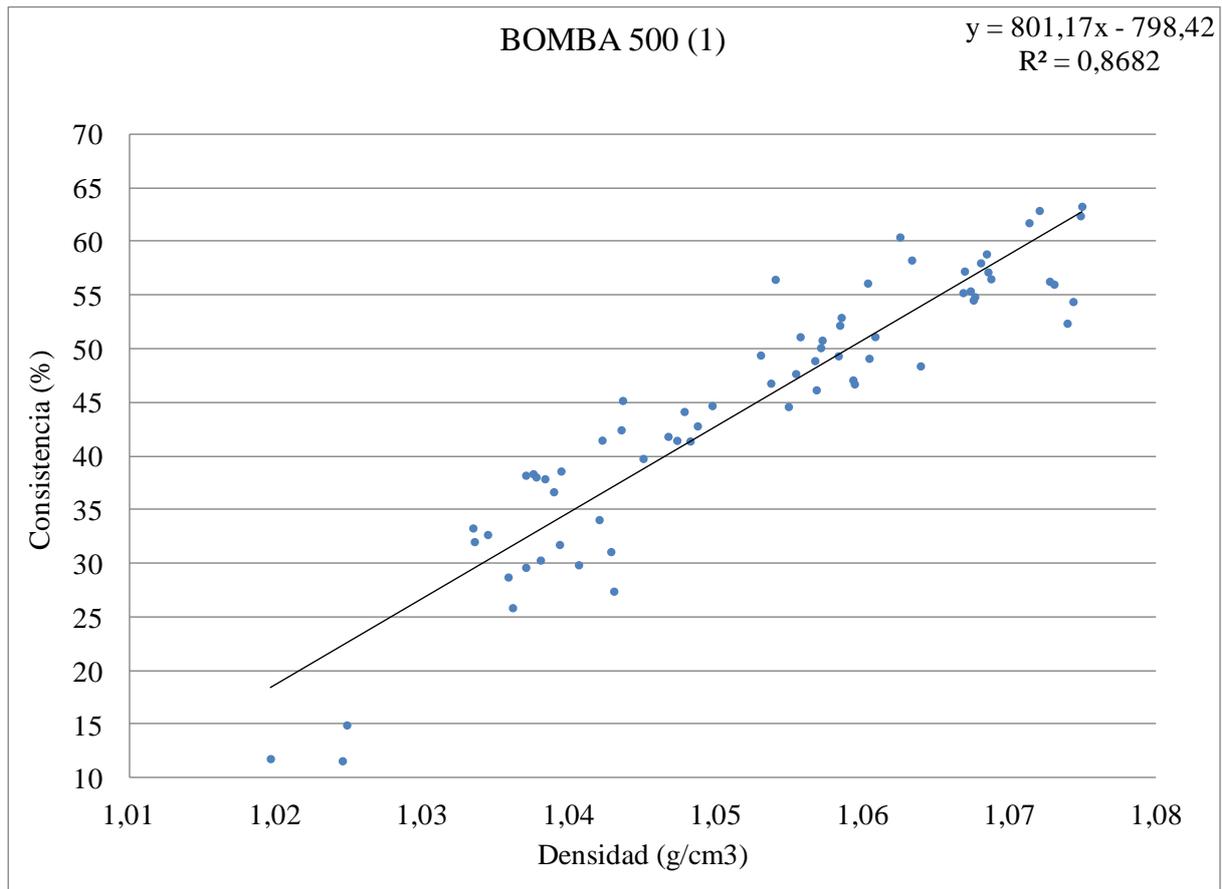
**Tabla 7.2. Medias del °Plato aparente y sus desviaciones agrupadas cada 12 horas para el tipo de cerveza 2.**

TIPO 2			
MEDIA °PLATO	DESVIACIÓN	TIEMPO (Horas)	TIEMPO (Días)
Tanques de fermentación horizontales			
14,49	0,08	12	0,5
14,44	0,10	24	1
14,17	0,13	36	1,5
13,61	0,21	48	2
12,88	0,28	60	2,5
11,24	0,23	72	3
9,94	0,32	84	3,5
8,35	0,47	96	4
Trasiego a tanques generales de fermentación			
7,37	0,11	108	4,5
6,24	0,69	120	5
5,13	0,19	132	5,5
4,48	0,25	144	6
3,76	0,14	156	6,5
3,31	0,10	168	7
3,12	0,12	180	7,5
2,87	0,13	192	8

### ANEXO 3: REPRESENTACION BOMBAS 500 (BOMBA 1 Y 2)

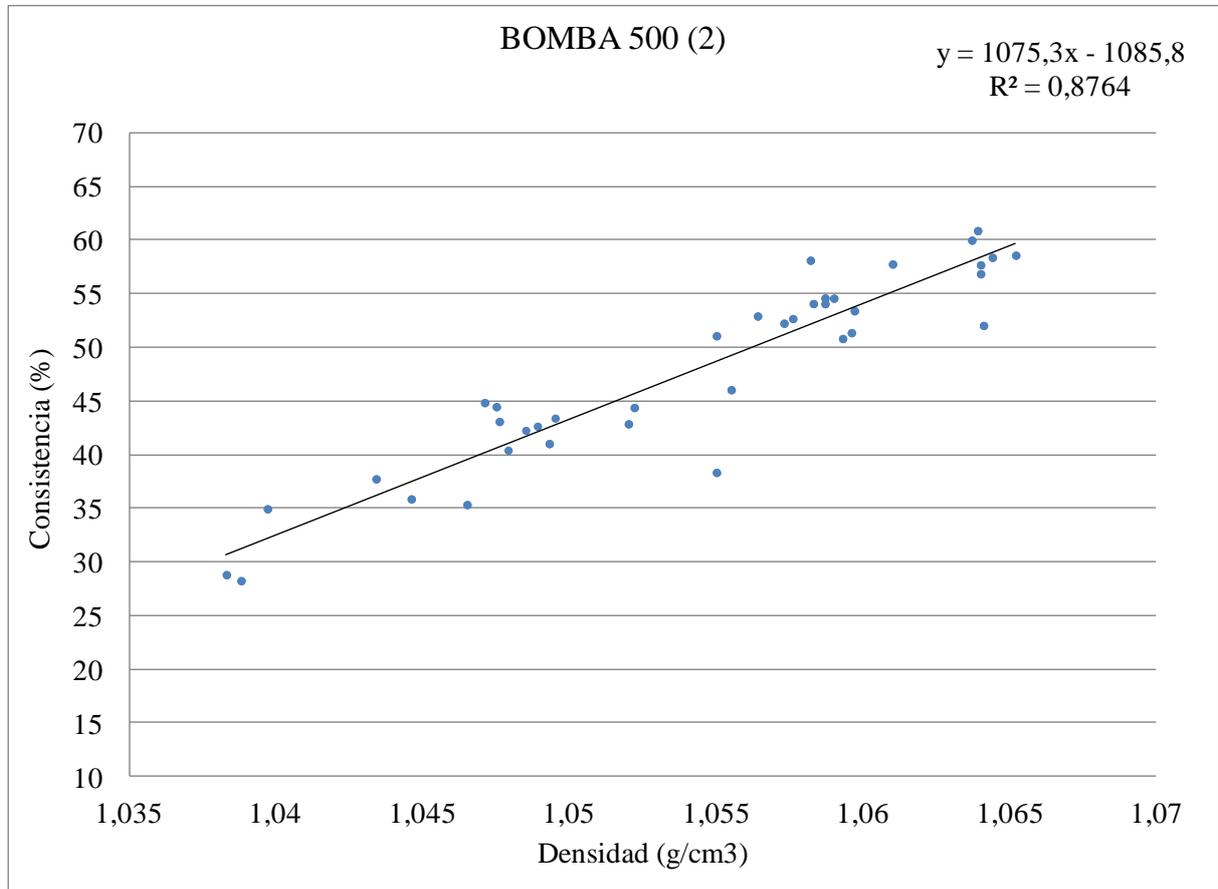
Se representan la recta de calibración de los densímetros para las dos bombas 500 individualizadas.

La figura 7.2. corresponde a la recta de calibración del densímetro de la bomba 1 con su correspondiente  $R^2$ .



**Figura 7.2. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bomba 500 numero 1.**

La figura 7.3. corresponde a la recta de calibración del densímetro de la bomba 2 con su correspondiente  $R^2$ .



**Figura 7.3. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bomba 500 numero 2.**

## ANEXO 4: REPRESENTACION BOMBA 100 y 400

Se representa la recta de calibración de los densímetros a partir de los datos unificados de ambas bombas.

La figura 7.4. corresponde a la recta de calibración de los densímetro de las dos bombas peristálticas (100 y 400) con su correspondiente  $R^2$ .

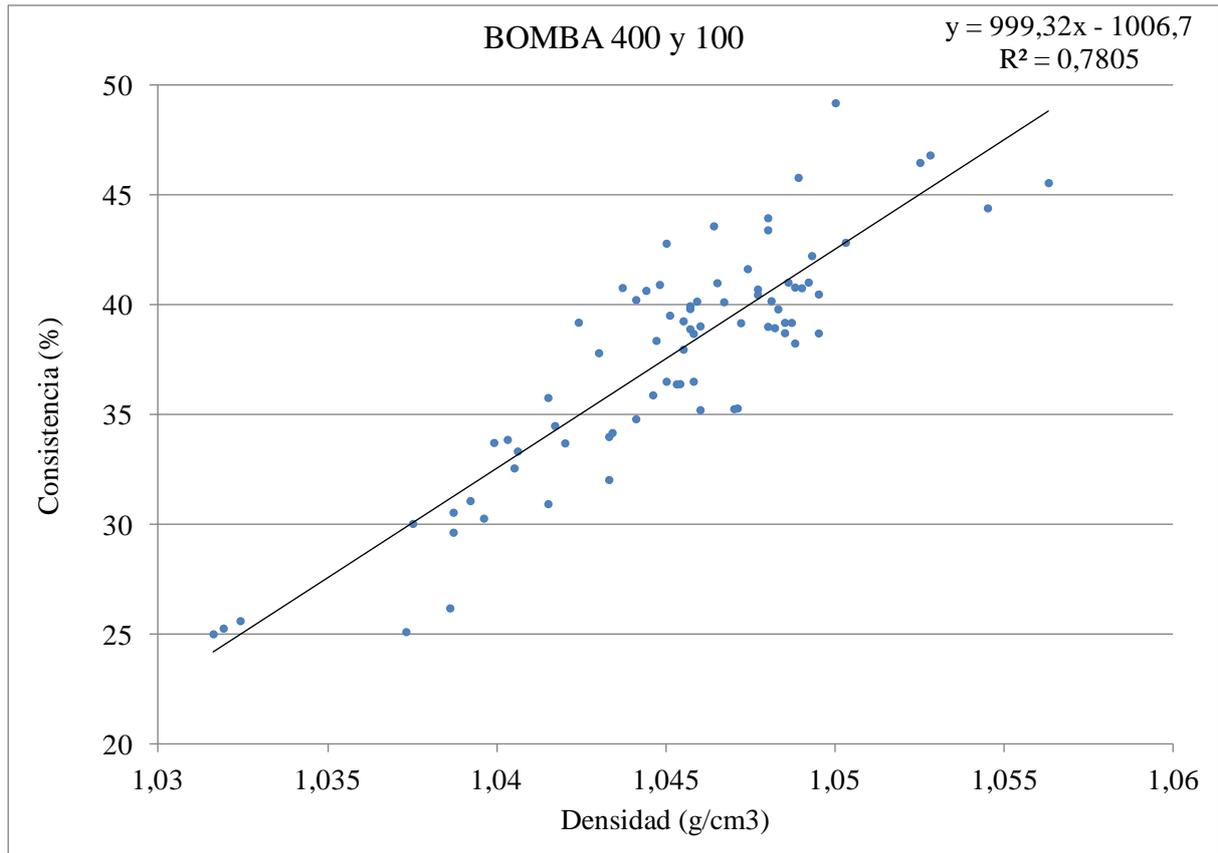


Figura 7.4. Variación de la densidad en función de la consistencia para la levadura extraída por las bombas 100 y 400