



*Universidad Tecnológica Nacional*  
*Facultad Regional Villa María*  
*Departamento de Electrónica*  
*Cátedra Trabajo Final de Grado*

# **Planta Automatizada De Fabricación De Cerveza Artesanal**

## **Der Konig**

Autor/es:

Bruschini, Matias Ezequiel  
Quinteros, Santiago

**2020**

**Acreditación:**

**Fecha:**

**Comité Evaluador**

**Presidente:** Msc. Ing. Pedro Danizio

**1º Vocal:** Esp. Ing. Héctor Ferrari

**2º Vocal:** Ing. José Luis Catalano







## **Dedicatorias**

*Este proyecto va dedicado a todos los que nos conocen y apoyaron durante nuestra carrera, familiares, profesores, amigos, conocidos. Sin ustedes no hubiese sido posible que estemos en este momento tan esperado y ansiado.*



## Agradecimientos

*Queremos agradecer el apoyo incondicional de familiares, profesores, amigos y muchos conocidos más que en todo momento nos han brindado, tanto moral, material, como en el día a día, estando siempre que tuvimos la necesidad. Durante estos meses hemos solicitado ayuda en muchos momentos, ya que un proyecto de esta envergadura es complicado realizarlo de habernos aislado con nuestros conocimientos y recursos.*

*Primero queremos agradecer a los profesores y tutores que nos han guiado y acompañado a lo largo del cursado de la carrera, culminando en este trabajo final. La cercanía, disponibilidad, amabilidad sin tapujos a la hora de brindar sus conocimientos y soluciones a problemas que no encontrábamos solución nos sirvió para poder finalizar los estudios.*

*A nuestros familiares queremos agradecerles el haber estado siempre a nuestro lado durante tantos años. Esta carrera de por sí demanda mucho tiempo, por otras cuestiones se alargó incluso más y aun así nos han bancado para lograr este objetivo tan preciado y esperado para nosotros.*

*A nuestros amigos y compañeros queremos agradecerle haberlos conocido en esta etapa, haber compartido tantos momentos dentro y fuera de la facultad, su apoyo durante exámenes, trabajos, juntadas, el vínculo mutuo generado fue extremadamente importante para unos chicos que llegaban de pueblitos pequeños y que tuvieron que enfrentar todo un nuevo mundo al que no estábamos familiarizados en lo más mínimo.*

*A todo aquel que nos acompañó en mayor o menor medida queremos agradecerles lo que nos han asistido, este trabajo fue realizado en gran parte gracias a ustedes y estaremos siempre muy gratificados por ello.*

*Finalmente, a la facultad queremos agradecerle habernos permitido estudiar en su casa, habernos acompañado en cada etapa, desde que éramos unos ingresantes asustados hasta el día de hoy aspirando a ser profesionales. Todo ese camino hubiese sido imposible para nosotros de no haber estado en esta universidad, fuimos parte de grandes cambios, transformaciones y estamos muy orgullosos de ello. Esperamos que día a día vaya creciendo más y sea oportunidad para muchos futuros profesionales.*

*¡¡¡Muchas gracias de todo corazón!!!*



## **Memoria Descriptiva**

El siguiente trabajo se definió en base a la idea de automatización de pequeñas fábricas de cerveza artesanal que hoy existen en el mercado, tras ser realizado un estudio encontrando una gran carencia de tecnología en estas fábricas, lo que hace necesario un control constante humano, además de que ciertos parámetros no son controlados en tiempo real y pueden afectar al resultado final.

Al visitar diferentes fábricas y realizar evaluaciones sobre otras en las distintas redes sociales e internet, se definió el proyecto como “automatización de planta de cerveza artesanal”. Cabe destacar que se pueden elaborar diferentes tipos de cerveza, por lo que se definirán los principales parámetros para que puedan ser elegidos por el usuario de la planta, ya sean precargados por tipo de cerveza o cada uno en particular.

El usuario selecciona el tipo de cerveza y automáticamente comienza la producción. Previo a esto, debe colocar materias primas y la planta le avisará en cierto momento para agregar otras. El producto terminado se debe colocar en tanques de maceración y posteriormente embotellarlo.

El proyecto terminado sufrió modificaciones debido al costo de ciertos materiales, no afectando su funcionalidad mas sí la intervención del operario. De todos modos, el sistema funciona automatizado completo al mismo tiempo que se activan actualmente ciertas funciones, pudiendo automatizarse completo de realizarse la inversión necesaria para todos los componentes.



---

## Índice

<b>Título</b>	<b>Página</b>
Dedicatorias .....	4
Agradecimientos .....	5
Memoria Descriptiva .....	6
Índice .....	7
Introducción .....	9
Objetivos .....	9
Diagrama en bloques .....	10
Introducción a la cerveza .....	12
Componentes .....	12
Malta .....	12
Lúpulo .....	13
Levadura .....	14
Agua .....	16
Otros ingredientes .....	18
Elaboración: subprocesos .....	21
Molienda .....	21
Maceración .....	22
Lavado del grano .....	24
Cocción .....	25
Enfriado .....	28
Fermentación .....	29
Maduración .....	33
Envasado .....	34
Dimensiones del proyecto .....	35
Selección de los materiales .....	36
Acero inoxidable vs aluminio .....	38
Consumo de potencia .....	39
Hardware y materiales .....	41
Software .....	52
Interfaz con el usuario .....	52
Elaboración de cerveza .....	52
Salteo de etapas .....	53
Desagote .....	54
Construcción de los sensores de nivel de líquido .....	54



---

Construcción de los sensores de temperatura .....	55
Construcción de la estructura .....	56
Comunicación con el usuario .....	57
Servicios básicos involucrados .....	58
Limpieza .....	60
Diseño de la placa del microcontrolador .....	60
Diseño PCB y vista 3D .....	63
Planta final .....	64
Receta seleccionada .....	67
Cerveza Dorada .....	67
Ingredientes .....	67
Instrucciones .....	67
Recetas adicionales .....	67
Modificaciones realizadas .....	68
Conclusiones .....	70
Bibliografía .....	72
Información .....	72
Imágenes .....	72
Anexo I: Hojas de datos .....	74



## Introducción

Se realizó una exhaustiva investigación sobre producción y elaboración de cerveza, avocándose a la diagramación de los distintos procesos involucrados en la producción, así como la optimización y ahorro económico de materiales, ya que son insumos de alto costo.

La producción consta de 6 procesos: calentamiento, maceración, cocción, enfriamiento, fermentación, maduración y envasado, de los cuales los últimos dos no se realizan porque supera los costos y tiempo programados para este proyecto final. A su vez, se han agrupado algunos de ellos para mejorarlos y hacerlos más efectivos.

Una consideración tenida en cuenta fue el uso de electricidad en lugar de gas natural, debido a su mejor control, costos, menores regulaciones, la no necesidad de certificaciones por gasistas matriculados y por un calentamiento más homogéneo.

La programación de software incluye la posibilidad de elaboración de diferentes tipos y variedades de cerveza, la cual se preselecciona durante el proceso. Cada cerveza tiene particularidades que deben seguirse estrictamente para no afectar el sabor y calidad. En cuanto a la parte electrónica y mecánica, se han tenido que desarrollar e inventar algunos componentes como sensores por no haberlos conseguido en el mercado, así como el uso de componentes análogos a los usados en procesos industriales que no se consiguen para la escala de nuestro proyecto.

## Objetivos

En las visitas a las diferentes fábricas se observó una carencia de tecnología en cuanto a la producción, con procesos tradicionales y un tanto primitivos, sin controles precisos de las variables que llevan a pérdidas o poca efectividad y calidad.

La necesidad de un operario casi de forma constante para controlar varios procesos conduce a tiempo ocioso elevado y costo innecesario para el productor, que a su vez no permite una repetitividad del producto final tras varias elaboraciones.

Los objetivos de la automatización serán:

- Mejoras en calidad.
  - Aumento del rendimiento.
  - Optimización de tiempos y resultados en la producción.
  - Inversión inicial no tan elevada comparada a la posible ganancia.
  - Optimización de los recursos usados.
  - Desarrollo de una planta piloto que luego podrá agrandarse o adaptarse a las necesidades del cliente sin grandes variaciones.
  - Una vez finalizado y testeado, de obtener resultados positivos, considerarlo como una posible salida laboral, pudiendo comercializar a terceros tanto la cerveza como la automatización.
-

## Diagrama en bloques



Fig. N° 1: Diagrama de procesos resumido y detallado

Se realizó una exhaustiva investigación sobre producción y elaboración de cerveza, avocándose a la diagramación de los distintos procesos involucrados en la producción, así como la posible optimización y ahorro económico de materiales, ya que son insumos de alto costo.

El proceso se divide en 4 subprocesos, de los cuales cada uno está unido directamente al siguiente. Las dos primeras figuras explican el proceso en su modo más general, en el que se ve un esquema del modo en que quedarán finalmente ubicados y referenciados los diferentes componentes de la planta.

El primer subproceso comienza con el llenado de agua potable del primer tanque a través de una electroválvula hasta que el sensor de nivel alto se active. A continuación, se mide la temperatura y se comienza a calentar hasta casi llegar al punto de ebullición (90 °C), con lo que se eliminan todos los microorganismos vivos que pudieran venir en el agua, logrando una mayor calidad y pureza. Esto se logra con el uso de una resistencia eléctrica comandada por el elemento de control que calienta homogéneamente desde el interior del líquido, logrando la temperatura deseada sin grandes variaciones en todo el volumen. Se mantiene a 90°C durante 10 minutos y luego se deja descender la temperatura hasta 70°C, cuando sonará una alarma de advertencia para que el operario pase al siguiente subproceso.



En este momento deberá estar colocada en el segundo tanque la malta correspondiente a la cerveza escogida y el sistema activará el paso del agua a través de las electroválvulas hasta que el sensor de nivel bajo del primer tanque o el de alto del segundo se activen. Las electroválvulas se cerrarán y aquí concluye el primer subproceso.

El segundo subproceso controla que el nivel de líquido esté lleno y comienza a medir la temperatura hasta que llegue nuevamente a 70°C. Una vez logrado, se enciende una bomba que removerá el contenido del tanque durante ciertos minutos (manteniendo la temperatura constante), dependiendo la duración del proceso. Cuando pasa este tiempo se apaga la bomba, termina este subproceso y se abre la electroválvula para el paso del líquido al tercer tanque hasta que los niveles bajo dos o alto tres se activen.

En el tercer subproceso se comienza como en los anteriores, controlando el nivel del líquido. Cuando sea el adecuado se procederá a medir la temperatura y llevarla al punto de ebullición del mosto para cocinarlo. Una vez llegado a ese punto sonará una alarma para introducir el lúpulo elegido, que permanecerá en el mosto el tiempo necesario para brindarle a la cerveza el sabor elegido. Luego de esto, se activa una bomba encargada de pasar el líquido por un sistema enfriador, el cual le da un choque térmico al mosto. La bomba permanecerá encendida hasta que el sensor de nivel bajo se active, en este momento concluye el subproceso.

La fermentación, es el proceso en que el mosto se transforma en cerveza. Se deposita el líquido en bidones de plástico, se agrega levadura y al cabo de aproximadamente 15 días concluye. Este subproceso no está automatizado, el único parámetro importante es mantener la temperatura constante para que los microorganismos se reproduzcan adecuadamente y decanten los sólidos más livianos (no filtrados).

La carbonatación y el envasado se realizan en forma manual.



## **Introducción a la cerveza**

La cerveza es una bebida alcohólica gasificada (por lo general), que se elabora a partir de la fermentación de diferentes cereales o granos, hierbas o plantas. Su coloración abarca las tonalidades marrones, aunque existen variedades que adquieren colores rojizos, verdosos y hasta otras coloreadas intencionalmente.

Existen diferentes sabores, de acuerdo a su amargor, dulzor, cantidad de alcohol, gasificación, densidad, que por lo general se definen en la etapa de fabricación y maduración.

La graduación alcohólica oscila normalmente entre 3 y 12%, pudiendo alcanzar 30% en las cervezas más fuertes, así como variedades sin alcohol muchas veces obtenidas con procesos de destilación.

## **Componentes**

Los ingredientes necesarios para la elaboración de cerveza pueden ser muy diferentes de acuerdo a la variedad que se elija, de modo que se nombrarán los más comunes y usados normalmente tanto en producción artesanal como industrial.

### **Malta**

Es la base de la cerveza y la cebada es el cereal que más se utiliza, siendo el trigo, el centeno y la avena usados en menor cantidad y casi siempre sin maltar. También se puede elaborar con maíz o arroz, pero no dan un resultado suficientemente bueno, obteniendo cervezas más pálidas, por lo que su aporte es en pequeñas cantidades.

Para el proceso de malteado, únicamente se seleccionan los granos de la más alta calidad. Esta selección depende, entre otras cosas, de un contenido de almidón alto, del tamaño uniforme del grano, el bajo contenido de nitrógeno y el alto poder diastático. Este último término hace referencia a la habilidad de los granos para descomponer las complejas moléculas de almidón en simples azúcares para elaborar cerveza, y depende de la cantidad de enzimas diastáticas que contiene el grano.

Las proteínas de sus granos dan estructura a la espuma, mientras que los minerales que contiene proporcionan muchos de los nutrientes esenciales que necesita la levadura para desarrollarse.



*Fig. N° 2: Distintos tipos de malta*

La malta es el grano de cereal al que se le realiza un proceso para que los azúcares que tiene se activen y permitan la fermentación. Consiste en hacer germinar el grano hasta cierto punto, luego cortar la germinación eliminando su humedad y por último realizarle un tostado. El tostado del grano determinará tanto el color como los aromas. La elección de los granos determinará en gran medida la calidad y producto final, por lo que debe hacerse hincapié a la hora de su adquisición.

## **Lúpulo**

El lúpulo (*Humulus Lupulus*) es una de las tres especies de plantas del género *Humulus*. Es oriunda de Europa, Asia occidental y Norteamérica. Siendo una especie dioica, las flores femeninas y masculinas surgen en plantas separadas. Las primeras, de color verde claro, se reúnen en amentos y son usadas como saborizante y agente estabilizador en la cerveza. Hay que tener en cuenta que sólo las plantas femeninas desarrollan la flor, y que en las plantaciones de lúpulo las plantas masculinas y femeninas se sitúan por separado. Ello se debe a que, si las plantaciones masculinas polinizaran las flores, éstas producirían semillas y ya no serían útiles para la elaboración de cerveza.



*Fig. N° 3: Tipos de lúpulo*



El uso de los lúpulos en la fabricación de cerveza es relativamente nuevo. Antes de su expansión definitiva, las encargadas de dar amargor, sabor y aroma a la cerveza eran las gruits, una mezcla de hierbas y especias elaboradas con ingredientes locales. Estas mezclas de especias se elaboraban, entre otros ingredientes, con beleño, romero, brezo, jengibre, pícea, enebro o mirto. En algunas regiones de Europa, las mezclas de gruit pertenecían a gremios especializados, que tenían los derechos exclusivos y mantenían los ingredientes en secreto.

Los países productores de lúpulo más grandes son Alemania, Estados Unidos, China y la República Checa. Otras áreas de producción importantes son Inglaterra, Nueva Zelanda y Argentina. El clima y las condiciones de la tierra también afectan a los lúpulos, de modo que las variedades de cada región son totalmente distintas a las que han crecido en otra área. La época de cosecha se desarrolla entre agosto y octubre, en la que se separan con máquinas los conos de los tajos y las hojas, para colocarlos en hornos por los que circula aire. De esta manera se secan y se elimina hasta el 70% de su peso. Tras el enfriado, los conos se comprimen o se procesan para obtener lúpulo en flor, en pellet o en extracto.

## Levadura

Se utilizan en gran variedad de productos, desde panes hasta bebidas. En la elaboración de cerveza, su función es la digerir los azúcares que posee la mezcla para producir alcoholes y dióxido de carbono, mientras libera calor en el proceso.

Las levaduras son hongos unicelulares. La mayoría de las usadas para fabricación de cervezas pertenecen al género *Saccharomyces*, utilizándose para las ALE las *S. Cerevisiae*, para las LAGER las *S. Uvarum*, y para variedades más particulares como las weizen las *S. Delbrueckii*.



Fig. N° 4: Tipos de levadura

Se la puede dividir de acuerdo al grado de fermentación en alto grado y bajo grado. Las primeras son las más comunes, se las obtiene de elementos naturales tanto vegetales como animales, actúan a temperaturas entre 11 y 25°C y hay muchas variedades diferentes, más usadas en la variedad ale. Las segundas actúan a temperaturas entre 6 y 12°C y producen



las lagers. Se puede mencionar además las levaduras del tipo híbridas, usadas en cervezas de trigo, por ejemplo. Debe cuidarse con gran ahínco la temperatura a la que actúan ya que una pequeña variación de 1 o 2°C puede modificar completamente el sabor, y temperaturas más elevadas (5 a 15°C de exceso) generan subproductos que dan malos sabores.

La levadura es el ingrediente que contribuye con los sabores más particulares a cada cerveza en particular, a tal punto que si se le agrega a un mismo mosto dos levaduras distintas, las cervezas finales serán completamente distintas.

Dentro de las características específicas de cada levadura están el sabor que es propio de cada una y la atenuación, que se refiere al porcentaje de azúcares convertidos en alcohol.

La atenuación aparente de una levadura normalmente está en el rango del 67% al 77% y se determinada por la composición de la cerveza verde y la cepa de levadura usada. Cada cepa de levadura fermenta diferentes azúcares en diferentes proporciones resultando en densidades finales de mayor o menor valor, lo que afectará el dulzor y cuerpo de la cerveza obtenida.

Existe una atenuación real que es el porcentaje de azúcares convertidos en alcohol y una atenuación aparente. La diferencia entre estos dos conceptos surge del hecho que el alcohol tiene una densidad menor que 1 (aprox. 0,8). Midiendo con un densímetro podremos saber qué porcentaje de azúcares han fermentado usando la siguiente fórmula:

$$\text{AtAp (\%)} = \frac{100 * (D_i - D_f)}{(D_i - 1)}$$

donde:

AtAp (%): atenuación aparente en %.

Di: densidad inicial.

Df: densidad final.

La floculación se refiere a la tendencia que tienen las levaduras de unirse en grupo y precipitar, que varía de cepa en cepa. Algunas cepas floculan formando grandes grupos ayudando a clarificar mejor la cerveza, otras floculan muy poco dando una consistencia más granular o turbia. Si la levadura precipita muy pronto, puede dejar sin terminar algunas reacciones químicas dejando un sabor dulce acaramelado debido a su corto contacto con el azúcar.

En cuanto a su aporte nutricional, contienen un 25% de su total de proteínas vegetales, un 20% de fibras, cantidades menores de carbohidratos y amplia variedad de vitaminas del complejo B y minerales.

Por parte de minerales y oligoelementos, en la levadura de cerveza predominan los fosfatos y el potasio, con un contenido relativamente alto de azufre, magnesio y calcio, y un bajo contenido de sodio.

El contenido en lípidos de las levaduras puede variar entre 4 y 7 por ciento según las especies o cepas utilizadas. La especie *Saccharomyces cerevisiae* empleada en la producción de levadura alimenticia contiene una cantidad considerable de ácidos grasos insaturados. El contenido en ácidos oleico y linoleico es importante desde el punto de vista



nutricional y contiene, además, esteroides de distintos tipos moleculares y compuestos como lecitinas y cefalinas.

La cantidad total de carbohidratos está en el orden del 30 al 35%. Son principalmente carbohidratos de reserva tales como glicógeno y trealosa, y polímeros de glucosa y manosa (glucanos y mananos). Este último tiene la propiedad de ser agente espesante de alimentos, siendo una sustancia que no altera sus propiedades por el calor y mejora la viscosidad.

La levadura de cerveza virgen es rica en fibra dietaria. Su valor es de alrededor del 20% de la materia seca.

## Agua

Es el componente principal de la cerveza (80-95%). Se pueden usar desde aguas minerales hasta aguas duras dependiendo el tipo de cerveza elegido, pudiendo ser necesario filtrados o tratamientos especiales previos a la elaboración. El agua nunca es 100% pura, sino que en ella vienen diluidos diferentes minerales o sales que le aportan sabor y dureza. Cada mineral contribuye en el proceso pudiendo cambiar color, opacidad, reaccionando con los ingredientes durante la cocción, aportando amargor, dulzura, textura, etc. Algunos de ellos pueden ser cloro, calcio, magnesio, manganeso, zinc, sulfatos y otras sales.

A continuación, se detallan los parámetros a tener en cuenta en el agua y su influencia en la cerveza:

- **Dureza:** se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como "dura" tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua "blanda" las contiene en muy poca cantidad. Es el principal parámetro a medir en la elaboración de cerveza. En general se puede decir que las aguas blandas son ideales para cervezas claras y las aguas duras para cervezas oscuras.
- **pH:** El pH o potencial de hidrógeno es una escala numérica que mide la acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] presentes en determinadas sustancias.  
La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7. El pH = 7 indica la neutralidad de la disolución (cuando el disolvente es agua). La forma más sencilla para hacer una medida de éste es con papel de pH (tornasol) o con medidor electrónico.

El pH del agua suele estar en torno a 7, el cuál disminuye en el proceso del macerado a 5.2-5.6. Esto se debe a que los iones Ca<sup>+2</sup> reaccionan con los fosfatos presentes en la cebada malteada acidificando la mezcla. Nos interesa tener un pH ligeramente ácido, en torno a 5.3, donde las enzimas amilasas producen los mejores rendimientos para extraer la máxima cantidad de azúcares.



Hay que tener en cuenta que las maltas oscuras tienen más capacidad de acidificar el macerado que las pálidas, es por ello que las aguas duras (con niveles altos de bicarbonato que dificultan la acidificación) se utilizan para cervezas oscuras, para contrarrestar este efecto y conseguir un pH óptimo de maceración.

Si el pH del macerado no se encuentra en el intervalo adecuado tenemos la posibilidad de rectificarlo químicamente:

- Para reducir el pH se puede utilizar sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) o añadiendo ácido láctico (compuesto ácido).
- Para aumentar el pH se puede utilizar carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) (compuesto básico).

La influencia de iones en el agua es la siguiente:

- Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ): es el primer determinante del nivel de dureza temporal del agua, que puede reducirse hirviéndola. Las dificultades que genera en el proceso son:

- Evita la acidificación en el proceso del macerado. Si los niveles son bajos, el mosto será demasiado ácido sobre todo si usa maltas oscuras.
- Interfiere durante la fermentación con los agentes clarificantes al secuestrar iones calcio.
- Disminuye el efecto de los sulfatos a la hora de extraer las resinas del lúpulo.

- Iones  $\text{Na}^+$ : el sodio contribuye al cuerpo y la sensación en la boca de la cerveza, pero si se usa en grandes cantidades, puede producir un efecto demasiado salado en el resultado final de la cerveza.

- Iones  $\text{Ca}^{+2}$ : el calcio es el ion principalmente responsable de la dureza del agua, y a su vez, tiene un papel importante en la elaboración de la cerveza.

Entre sus funciones importantes está la de acidificar el mosto durante el macerado al reaccionar los iones con los fosfatos procedentes de la malta, reduciendo el pH. Facilita la precipitación de proteínas durante la ebullición al crearse puentes entre ellas. Es un buen nutriente para las levaduras, ayudando a su metabolismo y aumentando su vigor.

Si queremos que el agua de elaboración presente una mayor cantidad de estos iones, se puede agregar  $\text{CaSO}_4$  o  $\text{CaCl}_2$ . Niveles de calcio óptimo estarían entre 50-100 mg/l.

- Iones  $\text{SO}_4^{-2}$ : los sulfatos juegan un papel importante en la mejor extracción de las resinas del lúpulo facilitando el amargor y el sabor seco de la cerveza, pero si es elevado produce sabores y aromas desagradables.

- Iones  $\text{Cl}^-$  y cloro: en pequeñas cantidades los cloruros aportan dulzor, pero en cantidades más altas aportan sabores desagradables y al igual que el sodio, potencia la sensación en la boca y la complejidad de la cerveza, dando una textura más plena.



El cloro presente en el agua que se utiliza para elaborar cerveza puede otorgarle un sabor medicinal (clorofenoles). El carbón activo facilita su eliminación y además es usado para absorber impurezas disueltas, sabores y olores desagradables del agua. Otra forma de eliminarlo es por hervido.

### Otros ingredientes

Se agregan en cantidades pequeñas, por lo general, para aportar sabor o estructura. Pueden enumerarse desde frutas como moras, arándanos, cerezas, duraznos, frambuesas, frutillas, manzanas, bananas, dátiles, higos, uvas, mangos, peras, ciruelas, granadas; hierbas aromáticas y especias como romero, tomillo, coriandro, jengibre, nuez moscada, cáscaras frutales, limón, naranja; y hasta miel o saborizantes artificiales.

La comercialización de las cervezas elaboradas con frutas es un quehacer reciente. Aunque parezca mentira, hay muy pocas referencias escritas que atestigüen que nuestros ancestros añadían frutas a sus fabricaciones cerveceras. Está probado que en el Antiguo Egipto se usaban dátiles y granadas para elaborar cerveza. Sin embargo, se cree que todo uso de frutas en la fabricación de fermentados era una práctica aislada, muy personal y propia de cada elaborador cervecero, de modo que poco de ello ha trascendido hasta nuestros días.



*Fig. N° 5: Agregado de frutas*

El mayor problema a la hora de agregar fruta a la mezcla es la contaminación bacteriana, virósica y de microorganismos como levaduras y pluricelulares que alteran la mezcla agregando sabores indeseados.

Algunos métodos para agregar frutas consisten en hacer un puré de fruta, congelarlo y agregarlo al fermentador secundario al final de la fermentación. Es recomendable lavar debidamente la fruta antes de hacer el puré, y asegurarse de que tanto las manos como los utensilios para prepararlo y almacenarlo estén debidamente desinfectados. Hay que tener en cuenta que el lúpulo y el alcohol son antisépticos naturales, así que el riesgo de contaminación se reduce un poco cuando la levadura ha fermentado el mosto por la presencia de alcohol.

Otro método consiste en remojar la fruta en vodka (o algún otro trago fuerte) para matar



cualquier impureza, y luego agregarla fresca al fermentador secundario. También puede practicársele un blanqueado, que consiste en sumergir la fruta en agua hirviendo por unos segundos para esterilizarla sin realizarle una cocción fuerte.

Como método mecánico, puede usarse fruta licuada. El proceso generará partículas difíciles de eliminar luego de la cerveza, excepto que queramos tener como virtud que una cerveza saborizada tenga un aspecto “turbio”.

Los porcentajes de fruta que se agregan dependen de cada receta o preparación en particular, siendo normales valores de 5 a 30% de peso en kilos de fruta por litro de cerveza preparada.

Las hierbas para la elaboración de cerveza tienen características diferentes, así como las tienen las diferentes variedades de lúpulo. La mayoría de las hierbas tradicionalmente asociadas con elaboración de cerveza son amargas, otras son más plenas de sabor o aromáticas.

Qué hierba utilizar y cuándo utilizarla dependerá de sus cualidades y del tipo de cerveza que se desea elaborar. Algunas hierbas son de propósitos múltiples, aunque ninguna es semejante a los lúpulos en la utilidad general.



*Fig. N° 6: Agregado de hierbas*

Las hierbas amargas incluyen el marrubio, la salvia, el diente de león, la hierba de San Pedro, el cardo mariano, la ortiga, la milenrama, la genciana, la salvia romana y la betonia. Se agregan al comienzo del hervor.

El amargor que le aportan a la cerveza no necesariamente se asemeja al amargor del lúpulo, y algunos pueden agregar sabores inusuales o medicinales.

Las hierbas que pueden ser utilizadas para saborizar incluyen: enebro, pino, romero, el jengibre, el orégano, mentas, bergamota silvestre, mejorana, regaliz y tomillo. La mayoría de éstas son de sabor fuerte.

El romero, la lavanda, la manzanilla, la melisa, la bergamota, las flores de saúco, y muchas otras hierbas pueden ser usadas para proporcionar aroma a la cerveza. Se pueden agregar secas, pero solo en los últimos minutos del hervor.

Una forma más acertada de controlar los aromas y amargor a la hora de agregar hierbas



---

consiste en hacer una infusión previamente y adicionarla en la etapa que se considere apropiada en cantidades medidas más precisas.

Otro ingrediente que suele agregarse a la cerveza en variedades un poco más extrañas es la miel. La miel está influida directamente por el hábitat de la colmena y la flora circundante que aportarán, además, las sustancias (aceites esenciales) que le darán aromas, sabores delicados, distintivos y variaciones de color.

Es un producto que puede conservarse casi indefinidamente. Esto no se debe a la ausencia de bacterias y levaduras salvajes, sino que debido al bajo contenido de humedad en su composición (por debajo del 18%) hace que estos microorganismos se mantengan inactivos y no proliferen. Cuando el porcentaje de agua aumenta es probable la aparición procesos fermentativos.



*Fig. N° 7: Agregado de miel*

Cuando se planifica una cocción con agregado de miel se tiene que tener en cuenta si solo se quiere obtener una mayor graduación alcohólica gracias al aporte de más azúcares simples al mosto o se quiere que la miel se sienta en la cerveza.

En el primer caso, el proceso se simplifica bastante debido a que la miel se adiciona directamente en el hervor unos 10 a 15 min antes de que termine, eliminando así cualquier fuente de contaminación. Por ser muy volátiles, todos los sabores y aromas característicos de la miel se eliminarán casi por completo debido al intenso calor del hervor.

En cambio, si se quiere una cerveza que sepa a miel se tratará de conservar su carácter propio. Para obtener buenos resultados, lo ideal es agregarla durante el proceso de fermentación cuando las levaduras se encuentran en su máxima actividad (espuma prominente).

Pero como se ha dicho anteriormente, la miel posee bacterias y levaduras salvajes que pueden arruinar la cerveza, algo que se debe eliminar para no correr ese riesgo. Para poder hacer esto sin perder el aroma y el sabor propio de la miel, se debe pasteurizar antes de adicionarla sometiéndola a una temperatura de unos 80°C por unos 90 min.



## Elaboración: subprocesos

### Molienda

En todas las cervecerías industriales y microcervecerías se comienza con este proceso. La importancia de la molienda radica en que de ella depende la eficiencia en la extracción de los azúcares atrapados en el grano, tarea que realizan las enzimas durante la maceración. Influye también en el filtrado del mosto durante el recirculado y lavado del grano.

El proceso en sí consiste en reducir el endospermo o interior del grano a partículas más pequeñas tratando de mantener la cáscara intacta. Cuanto más chico se parta el grano más superficie del mismo se expone a la acción de las enzimas encargadas de transformar el almidón y más eficiente será la extracción de los azúcares.

Se debe llegar a un equilibrio en el tamaño final del grano, ya que si se llega a una harina, junto con el agua se convertirá en una masa compacta que hará imposible la filtración, el recirculado y la recolección del mosto. Por otro lado, si molemos muy grueso la extracción de azúcares será escasa y el rendimiento del grano muy pobre.

Es muy importante lograr que la cáscara quede entera ya que es la encargada de mantener la correcta circulación del mosto en las distintas etapas del macerado, formando además una especie de filtro natural. Si la cáscara se rompe en demasía, se disolverán en el mosto un porcentaje mayor de sustancias indeseables (taninos y polifenoles) que afectarán el sabor (astringente) y el aspecto final (turbio) de la cerveza. Además no se formará adecuadamente la cama filtrante que permitirá un drenaje fluido del mosto.

Podemos decir que una molienda es correcta cuando el tamaño de las partículas obtenidas mantiene una relación balanceada entre la extracción de los azúcares y la fluidez del drenaje.

Una buena molienda debería dar como resultado aproximadamente los siguientes porcentajes:

Forma del grano	Porcentaje (%)
Cáscara	30%
Grano grueso	10-20%
Grano fino	20-30%
Harina	20-30%

*Tabla 1: Grado de molienda del grano*

Existen varias formas de moler la malta, desde el uso de pequeños molinos de discos en métodos caseros hasta enormes molinos de martillo que usan las grandes cervecerías industriales, pero la forma más difundida es la que se vale de dos o más rodillos que giran en sentido contrario uno del otro.



---

## Maceración

Durante el proceso de maceración se obtiene el llamado “mosto”, una solución dulce formada, entre otras cosas, por azúcares fermentables, dextrinas, proteínas, aminoácidos y otros elementos, disueltos en agua.

La maceración consiste básicamente en someter una mezcla de agua y granos a una serie de descansos a diferentes temperaturas, que deberán ser sostenidos durante un tiempo específico. Estas tres variables (relación agua/grano, tiempo y temperatura) se determinan al momento de planear una receta y varían dependiendo de los ingredientes usados, de los métodos de elaboración y del perfil que el maestro cervecero quiera darle a su cerveza.

Se puede decir que en la maceración, son las enzimas las que cargan con casi todo el trabajo.

Una enzima es una proteína catalizadora (catalizador biológico) que tiene la función de acelerar una reacción química energéticamente posible, logrando acortar un proceso que se produciría de todos modos sin su presencia pero muchísimo más lento.

Tanto la temperatura como el pH son factores importantes para el accionar de las enzimas. Cada una logra su máxima acción a una temperatura y a un pH óptimos. Como estos valores difieren de una enzima a otra, el cervecero recurre en ocasiones a escalones de temperaturas durante la maceración y a variaciones de pH del mosto, para favorecer el trabajo de cada una de ellas o de alguna en especial.

Las enzimas que se activan o se generan durante el malteo se encargarán luego de la acidificación del mosto, de la degradación de proteínas y fundamentalmente de la conversión del almidón en azúcares más simples para que puedan ser procesados luego por las levaduras.

- Acidificación del mosto: cuando la maceración se realiza a una temperatura baja (30-52°C) favorece la acción de una enzima llamada fitasa. Ésta tiene la particularidad de degradar la fitina presente en la malta logrando, de esta forma, acidificar el mosto.

- Degradación de betaglucanos: los beta-glucanos son largas cadenas formadas por moléculas de glucosa unidas entre sí por enlaces glucosídicos tipo beta. Al igual que el almidón son polisacáridos pero de estructura diferente. Una correcta degradación de estos polisacáridos debe realizarse siempre durante el malteado porque cualquier defecto o insuficiencia influye negativamente hasta la finalización del proceso.

Los glucanos forman geles que aumentan la viscosidad del empaste y dificultan la filtración del mosto y de la cerveza final. Para degradar los betaglucanos será necesario un rango de temperatura de entre 36 y 45°C y entre 4,5 y 5,5 de pH.

- Degradación de proteínas: en el malteado se debería llevar a cabo mayormente la degradación de las proteínas de alto peso molecular, convirtiéndose en compuestos menores, como aminoácidos y oligopéptidos. Con la degradación de proteínas se busca contribuir al buen desarrollo de las levaduras impidiendo así fermentaciones lentas o inactivas y evitar la turbiedad.



Las condiciones óptimas se pueden establecer en temperaturas entre 45-55°C y un pH de 4,2-5,3, durante unos 20 min.

- Conversión del almidón: el almidón es un polímero formado por 2 tipos de cadenas polisacáridas (cadenas grandes de glucosa), la amilasa y las amilopectinas. Tal como se presenta en el grano es insoluble en agua y totalmente inútil para la elaboración de cerveza. Esto se debe a que las levaduras sólo pueden procesar azúcares en sus formas más simples, monosacáridos como la glucosa, disacáridos como la maltosa y la maltotriosa.

En granos como los de la cebada, el almidón constituye entre el 63% y el 65% del peso seco y para poder ser utilizado, debe ser convertido a azúcares solubles en agua (azúcares fermentables y dextrinas) y para que esto se logre debe pasar por 3 etapas distintas. Primero se hidrata y aumentan notablemente el tamaño de sus gránulos. Posteriormente cuando se eleva la temperatura se gelatiniza y se hace soluble en agua. La cebada maleada posee un almidón que gelatiniza a temperaturas mayores a los 60°C, pero existen otros almidones (como el del arroz) que lo hacen por sobre los 90°C y requieren ser hervidos antes de ser convertidos por las enzimas.

El rango de temperaturas óptima para esta enzima está entre 60 y 75°C, con un pH entre 5,0 y 5,5.



*Fig. N° 8: Maceración*

- Factores que afectan las condiciones de maceración:

- Temperatura: influye la cantidad de extracto producida (rendimiento) y la fermentabilidad del mosto durante la maceración. Temperaturas más bajas (62-63°C) se traducen en una cerveza más alcohólica y con menos cuerpo. En el extremo superior de ese rango (72-75°C), menor contenido de alcohol y más cuerpo.
- Tiempo: maceraciones prolongadas aumentan la producción de extracto en el mosto y si se realizan a las temperaturas más bajas (62 a 63°C) habrá mayor fermentabilidad.



- pH: la actividad de las enzimas depende en gran medida del valor pH. Macerando en un rango de 5,2 a 5,5 se incrementa la producción de extracto, con más azúcares fermentables y una mayor atenuación.
- Densidad del mosto: una relación agua-grano menor a 2,1 litros/Kg producirá mostos de una densidad excesiva que dificulta el mezclado y el filtrado de los mismos. La escasez de agua en la mezcla inhibe la acción de las enzimas debido a que necesitan un medio líquido para poder realizar su trabajo. Por eso, en mostos densos, la mayor cantidad de agua es absorbida por el grano aumentando la concentración de almidón en el agua restante, reduciendo así el campo de acción para las enzimas.
- Agua de maceración: la mayor parte del mosto está formado por agua, por lo que la calidad de la misma tiene una influencia importante en todo el proceso. Transmitirá sabores al mosto que deben ser tenidos en cuenta a la hora de elegir la fuente y varios de sus componentes reaccionan con los de la malta variando el pH de la mezcla. Lo que normalmente se busca obtener es un agua base que contenga pocos minerales para luego adaptarla al estilo de cerveza que se desee elaborar.

## Lavado del grano

El lavado de grano se hace terminada la maceración y antes de llenar la olla de cocción o caldera. El propósito de este proceso es extraer al máximo los azúcares que guarda el interior de los granos malteados disolviéndolos en agua caliente para formar un mosto dulce que luego debe ser separado de los granos agotados en el proceso llamado “lautering”.

Normalmente la adición de agua para el lavado del grano se realiza por rociado o aspersion (sparging) para evitar romper la cama filtrante, pero muchas veces a nivel casero se emplean otras formas sin problemas.

Dependiendo de cómo se realiza la adición del agua de lavado del grano se pueden distinguir:

- Lavado por etapas: consiste en realizar varias adiciones de agua al macerador (pueden llegar a ser tres), recirculando y drenando completamente el mosto después de cada una. Al finalizar la maceración se agrega un volumen pequeño de agua para diluir levemente el mosto, entonces se recircula para clarificarlo (“vorlauf” en alemán) y se retira rápidamente, enviando la totalidad del líquido a la olla de cocción.

- Lavado continuo: la mayoría de las grandes cervecerías modernas utilizan el lavado continuo porque produce un mosto de una calidad más alta y mucho más claro, que además resulta ser más eficiente porque se basa en el principio de arrastre o desplazamiento.

La maceración se realiza en tanques donde un dispositivo de palas remueve constantemente el empaste. Luego, se lo deja asentar durante 30 minutos y se comienza a rociar el agua de lavado.



El lavado continuo necesita más equipo, más atención y algo más de experiencia comparado con el lavado en etapas.



*Fig. N° 9: Lavado del grano*

- No lavado: consiste en mezclar todo para asegurar la mayor extracción, recircular y drenar todo el mosto de una sola vez. Se necesita un macerador de mayor capacidad.

- Eficiencia del lavado: cuando se habla de eficiencia del proceso de lavado nos referimos a la capacidad de extraer los azúcares que tiene el mosto. El porcentaje de azúcares disueltos en el mosto suministra el valor, siendo entre 50 y 75% valores normales.

## **Cocción**

Lo que se busca por lo general en esta etapa es la remoción de compuestos volátiles indeseados, la isomerización de los ácidos del lúpulo, la desnaturalización y floculación de proteínas, la esterilización, la inactivación enzimática, la concentración del mosto, y además es aquí donde se definen el color y algunos sabores y aromas específicos. También es el momento indicado para agregar adjuntos si se busca aumentar la densidad del mosto por encima de lo obtenido en el macerador o si se usan maltas ricas en nitrógeno. En esos casos se puede adicionar jarabes, azúcares, saborizantes y frutas.

A continuación, se detallarán punto a punto cuáles son los procesos que ocurren durante la cocción.

- Esterilización del mosto: todas las materias primas usadas en una cocción, como la malta, los lúpulos, y a veces el agua, están llenas bacterias y mohos. De no eliminar estos microorganismos contaminantes la cerveza corre riesgo de deteriorarse. Generalmente hirviendo se provee la suficiente temperatura para acabar con cualquier contaminación bacteriana. Terminado el hervor es necesario tomar mayores precauciones biológicas ya que no habrá otra forma de esterilización del mosto. Los pH bajo sumado a la acción antibiótica de ciertos componentes del lúpulo asegurarán la eliminación de organismos patógenos y esporas que puedan sobrevivir al hervor.



- Inactivación enzimática: durante la cocción se detiene la actividad enzimática remanente, se fija la composición de carbohidratos del mosto y se establece el contenido de dextrina que tendrá la cerveza terminada. A las dextrinas las levaduras no pueden fermentarlas y quedan en el mosto.

- Efecto del hervor sobre las proteínas: el mosto que viene directo del macerado contiene diversas proteínas que son perjudiciales y deben ser removidas porque suelen causar turbidez y sabores indeseables que pueden arruinar una cerveza. En cambio, hay otras que son responsables de características importantes como el color, la espuma y sensación en boca.

Bajo condiciones favorables de cocción, las proteínas y otros polipéptidos presentes en el mosto se combinarán precipitando al fondo de la olla. La duración necesaria de cocción para la precipitación de proteínas disminuye con el aumento de presión y consecuentemente con mayor temperatura.

- Hot break: Las proteínas y los taninos son los principales componentes de los turbios calientes (hot trub) en la olla. Estos turbios pueden verse a simple vista formando inicialmente una especie de espuma marrón arriba del mosto y luego cúmulos mayores. La puede ser favorecida con la adición de productos específicos, usualmente extractos de algas como el Irish Moss. Un pH bajo (5,2) y la presencia de iones de calcio causa que los cúmulos de proteínas sean más grandes y más estables.

Algunos compuestos de alto peso molecular coagulables, permanecen en solución hasta el final de la cocción del mosto y precipitan recién durante el enfriamiento del mismo formando los turbios fríos (cold trub).



*Fig. N° 10: Cocción*

- Lúpulos: contribuye significativamente en el sabor y el aroma de muchos de los estilos de cerveza. Sus aceites aportan el amargor imprescindible para balancear el dulzor de la malta y ayudan a la preservación de la cerveza. Las adiciones de lúpulo se realizan en tiempos diferentes, algunos casi al comienzo del hervor y otros de la mitad y hacia al final del mismo. Esto dependerá de las propiedades que se quieran obtener del lúpulo. Las características más delicadas como ser sabor y aroma se pierde muy rápidamente con el



hervor (se evaporan), en cambio el amargor necesita tiempo para liberarse y ser absorbido por el mosto. Generalmente, el sabor y los compuestos aromáticos se extraen y preservan mejor si el lúpulo es adicionado en los minutos finales. En cambio, para obtener el amargor característico del lúpulo se debe hervir el mosto por aproximadamente una hora.

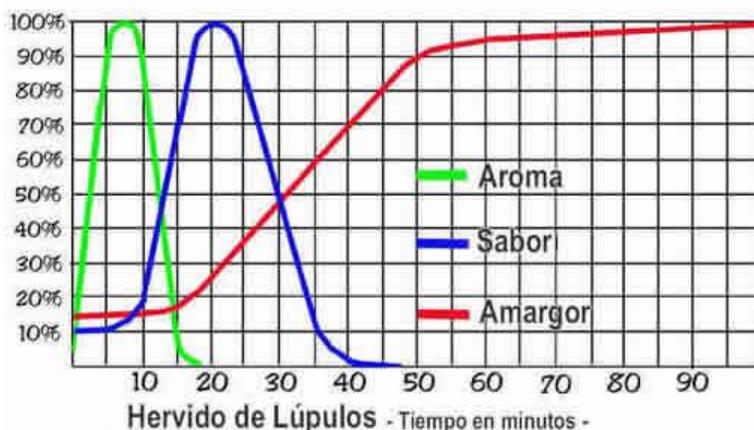


Fig. N° 11: Características del lúpulo con la cocción

- Aroma a lúpulo: el lúpulo contiene aceite esencial como componente que es responsable de su aroma característico. Cada aceite imparte su propio olor y el aroma está formado por varios de ellos. Los aceites son solubles en el mosto caliente y muy volátiles, por lo tanto se eliminan rápidamente junto con el vapor de agua durante el hervor. Se hace una adición lo más tarde posible tratando de atrapar el aroma antes que se evapore.

- Evaporación de compuestos aromáticos indeseables: se encuentran en el mosto una serie de sustancias aromáticas de volatilidad variable, que resultan poco agradables al ser percibidas en el aroma de la cerveza. Para lograr un buen perfil aromático, es necesario deshacerse de estas sustancias indeseadas que incluyen sulfuro de dimetilo (DMS), hexanal, etc. Aportan aromas como a maíz hervido o vegetales sobrecocidos. Se debe intentar enfriar el mosto tan rápido como sea posible después de la cocción para reducir al máximo este problema.

- Desarrollo del color: el color obtenido en la olla es una combinación de varios factores. La caramelización de los azúcares del mosto lo oscurecen durante el hervor. A medida que las moléculas de azúcar pierden agua van cambiando la forma de absorber la luz afectando el color del mosto. El desarrollo del color se obtiene también a partir de la reacción de Maillard, un conjunto complejo de reacciones químicas que se producen lentamente debido al bajo pH del mosto y no sólo afectan el color sino que contribuyen también con algunos sabores.

Finalmente, el mosto puede oscurecerse por la excesiva caramelización que se produce en las superficies de transferencia de calor, como al cocinar en una olla de fondo muy delgado.



- Concentración del mosto: la concentración del mosto se logra por la evaporación del agua en forma de vapor y es directamente proporcional a la tasa evaporación de la olla (dependerá de su diseño).

- Descenso del valor pH en el mosto: el pH del mosto caerá de 5,6–5,8 al comenzar el hervor a alrededor de 5,2–5,4 al final. Para lograr el nivel deseado del pH se usan agentes ácidos como el Sulfato de Calcio ( $\text{CaSO}_4$ ) para bajarlo o agentes alcalinos como el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) para subirlo. Una desventaja del bajo valor pH es el menor aprovechamiento de los compuestos amargos del lúpulo, por lo cual se requiere más lúpulo. Por ello es preferible acidificar también el mosto a un valor pH de 5,1 a 5,2 poco antes del final de la cocción.

## Enfriado

Otro paso clave en la elaboración de cerveza es el momento del enfriado. Existen distintas técnicas y métodos, cada uno tiene sus ventajas y desventajas ya sea visto desde la parte económica, eficiencia o practicidad, pero todas son válidas si se logran buenos resultados.

Lo principal a tener en cuenta al elegir el método de enfriado, será el volumen a enfriar y el tiempo que tardará en pasar de  $100^\circ\text{C}$  o más que tiene nuestro mosto luego del whirlpool, a los  $23\text{--}27^\circ\text{C}$  que es la temperatura ideal de inoculación.

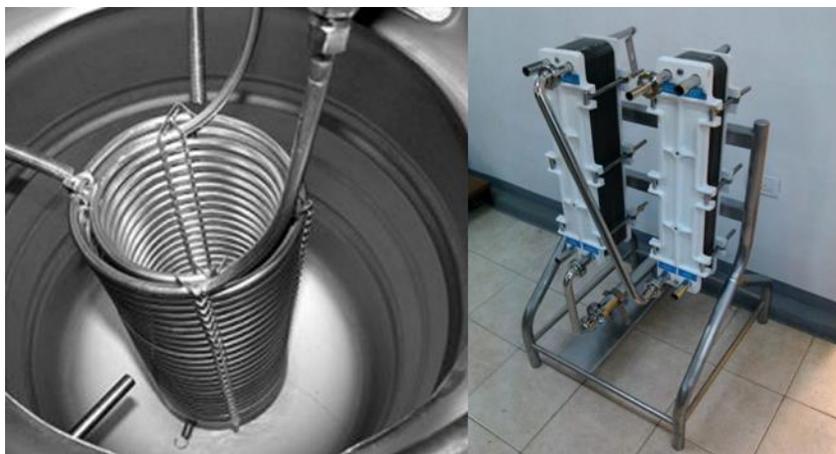


Fig. N° 12: Métodos de enfriado

Un enfriador por inmersión es un caño de cobre de unos 10 mm de diámetro y 6 metros de largo. Se forma una especie de resorte, cuyos dos extremos quedan hacia arriba y su diámetro entre cómodo en la olla o tina a utilizar.

Este enfriador se introduce 15 minutos antes de terminar la cocción en la olla, limpiándolo previamente para que el mosto hirviendo lo termine de sanitizar. Luego de producido el whirlpool, se conecta un extremo a la canilla de agua fría y el otro extremo a un desagüe, simplemente haciendo circular agua fría por el interior del enfriador que hará de intercambiador de calor, logrando el descenso de la temperatura. Una vez logrado esto se



pasa el mosto a los fermentadores de la forma más higiénica posible. Antes y luego de usar la serpentina es conveniente circularle agua hirviendo para una limpieza interior. Otra solución es colocarle una bomba conectada a la salida del enfriador, impulsando el mosto hasta la entrada del fermentador por medio de una manguera esterilizada.

Existen los enfriadores o intercambiadores de calor por placas que son muy eficientes logrando el enfriamiento de grandes volúmenes en tiempo reducido. Esto se logra debido a que el mosto pasa entre dos placas con muy poca separación, logrando una superficie de intercambio muy grande. Poseen un dibujo estriado en forma de flechas que sirven para que el líquido tenga mayor superficie de contacto al producir turbulencias dentro del enfriador. El inconveniente suele ser el costo, que es muchísimo más elevado que los enfriadores simples, gasto justificable para grandes producciones o procesos industriales.

## **Fermentación**

La fermentación es un fenómeno químico-biológico que se produce por la acción anaeróbica (sin oxígeno) de ciertos organismos microscópicos sobre los azúcares contenidos en un medio determinado. Por lo general, estos microorganismos, son levaduras pero también existen otros, como algunas bacterias, que son capaces de actuar del mismo modo.

La fermentación es el proceso que más tiempo requiere en la elaboración de una cerveza y en este caso, se busca obtener una fermentación del tipo alcohólica. Normalmente en este tipo de fermentación se convierte el azúcar (glucosa, maltosa, etc.) en alcohol y CO<sub>2</sub>.

La levadura no sólo procesa los azúcares y expelle alcohol y dióxido de carbono. Necesita de varios componentes que deben estar presentes en el mosto y, además, como fruto de su crecimiento y su metabolismo produce otros subproductos (algunos no son deseables), que influyen directamente en el sabor, aroma y calidad de la cerveza terminada.

Si se han realizado correctamente hasta aquí todos los procesos, terminada la ebullición se tiene en la olla de hervor el mosto terminado completamente estéril, conteniendo cantidades más que suficiente de nutrientes para cubrir todos los requerimientos de la levadura, a excepción del oxígeno.

- Aireación del mosto: el oxígeno es el único nutriente que un mosto correctamente elaborado no puede suministrarle a la levadura. Es esencial para su crecimiento y para una correcta fermentación, por lo que después de enfriado el mosto es generalmente aireado en su camino hacia el fermentador. El crecimiento celular durante la fermentación influye en gran medida en el sabor y en otros atributos de las cervezas.

- Inoculación del mosto: una de las formas de incorporar la masa de levadura al mosto es agregándola en línea camino al fermentador una vez que el mosto este frío y aireado, y otra es mezclar el mosto frío y la levadura en un tanque iniciador (starter) antes de ser transferido al fermentador.

- Fases de la fermentación: una vez inoculado el mosto, la levadura empieza un proceso de adaptación a las nuevas condiciones que le brinda un mosto rico en nutrientes, extendiéndose desde que se activa la levadura hasta el comienzo de una actividad fermentativa apreciable.

En condiciones normales no se prolonga más allá de las 12 horas, un tiempo mayor estaría indicando algún tipo de problema. Durante este tiempo la levadura pone en marcha su maquinaria metabólica para poder crecer. Inicialmente, sintetiza enzimas y otros componentes necesarios para poder utilizar los nutrientes que el nuevo hábitat le ofrece y soportar su crecimiento.



Fig. N° 13: Características del producto durante la fermentación

La asimilación de oxígeno se torna importante en esta primera etapa, y cuando el mosto es de una densidad muy alta suele ser beneficioso un segundo aporte de oxígeno entre 12 y las 18 horas posteriores a la activación de la levadura.

Terminada la adaptación, la levadura empieza a reproducirse dando comienzo a lo que se conoce como fase de crecimiento exponencial o atenuativa.

Cuando la levadura comienza a asimilar los carbohidratos fermentables lo hace en un orden específico, empezando por los azúcares simples. Primero la glucosa, luego la fructosa, la sucrosa, la maltosa que es el azúcar que más abunda en el mosto (casi un 60% del total de carbohidratos) y tiene gran influencia en la formación de compuestos de sabor en la cerveza, y por último la maltotriosa, la más difícil de asimilar.

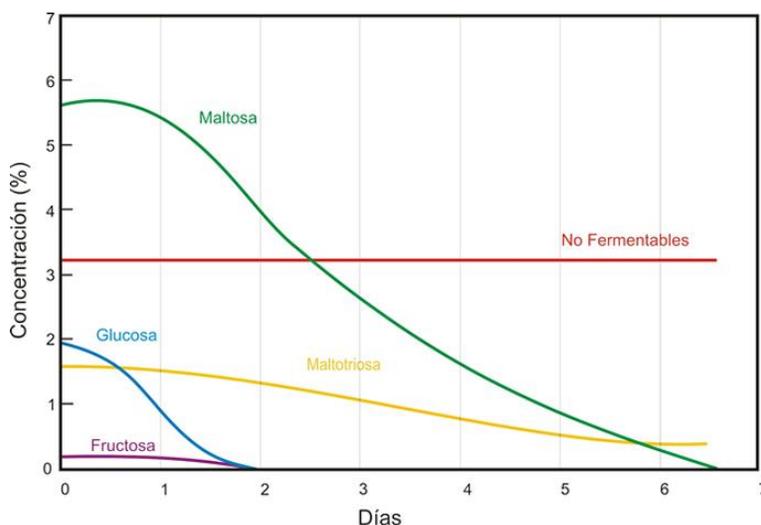


Fig. N° 14: Concentración de azúcares durante la fermentación

Para poder convertir todos estos nutrientes en energía para sus procesos metabólicos, la levadura se vale de la glucólisis que consiste en una serie de reacciones enzimáticas que convierten la glucosa en  $\text{CO}_2$  y agua. Cuando el oxígeno falta, la levadura comienza a metabolizar los azúcares de forma anaeróbica en etanol y  $\text{CO}_2$  (fermentación alcohólica). Las sustancias son poco solubles al final de la fermentación quedan adheridas en las paredes del fermentador separándose del mosto.

Toda esta actividad aumenta la temperatura del mosto a unos grados, siendo menester tener un control de la temperatura interna del fermentador para mantenerla dentro del rango óptimo.

Durante el crecimiento de la levadura se produce la mayor parte de la atenuación. La densidad de la cerveza disminuye llegando a medir de  $1/3$  a  $1/4$  de la densidad inicial. El tiempo que requiere dependerá de la cepa de levadura utilizada y de las condiciones reinantes. Puede ir de los 2 a los 6 días en el caso de las ales, o entre 4 y 10 días cuando se trate de variedades lagers.

Comienza, entonces lo que se conoce como fase estacionaria o de acondicionamiento. La efusiva actividad desaparece y, a pesar que, la mayoría de las células de levadura se han inactivado y han sedimentado, quedan algunas todavía activas.

La función de esta etapa es la de reducir todo el fermentable remanente y eliminar los subproductos originados en las fases anteriores. Se puede extender varias semanas, pero no debe quedar más de tres en contacto con el sedimento ya que puede generar sabores extraños o desagradables.

Una vez que se ha alcanzado el máximo de atenuación se empieza a enfriar el mosto progresivamente para facilitar la floculación (sedimentación) de la levadura que había quedado en suspensión.



*Fig. N° 15: Fermentación*

- Lagers y Ales: en el caso de las Lagers, el rango de temperatura óptimo para esta levadura va de los 7 a 14°C aproximadamente. Si bien fermenta más rápido a temperaturas altas, los subproductos producidos no son de sabor y aroma deseables. Tradicionalmente la duración del proceso oscila entre 8 a 20 días.

Para las cervezas Ales los mostos de la Ales son inoculados a una temperatura más alta (sobre 15°C) y permiten que la temperatura pueda elevarse a aproximadamente 20°C o más. Normalmente tarda entre 4 y 6 días.

- Factores que afectan la fermentación:

- **Levadura:** es la gran protagonista de este proceso. Uno de los mayores contribuyentes de sabor en la cerveza por lo que debe ser manejada cuidadosamente en el momento de la inoculación al influir de forma notable en la fermentación.
- **Temperatura:** afecta decisivamente a la levadura e influye directamente en la velocidad de fermentación. Cuanta más alta sea, más rápida será la fermentación y si es demasiado baja las levaduras se inactivarían y la fermentación será interrumpida.
- **Oxígeno:** la concentración de oxígeno disuelto en el mosto influirá en la multiplicación celular ya que la levadura lo requiere para producir compuestos esenciales en la formación de nuevas células, tarea que requiere una gran cantidad de energía que obtiene más eficientemente cuando el proceso se realiza de forma aeróbica.
- **Geometría del fermentador:** la fermentación será distinta si se realiza en tanques horizontales o verticales, diferenciándose en el resultado de la agitación natural producida por corrientes de convección, por las burbujas y cantidad de CO<sub>2</sub>.
- **pH:** para su óptima multiplicación, la levadura necesita un mosto con un pH entre 5,1 y 5,5.



## Maduración

Al término de la fermentación primaria, se obtendrá una cerveza que tendrá la mayoría de las características planeadas en la receta, pero con una excesiva turbidez debido a los residuos de levadura y otros sólidos que aún permanecen en suspensión. Además, tendrá un porcentaje significativo de azúcares remanentes y una cantidad apreciable de subproductos de la fermentación que no deben percibirse en una cerveza terminada. Estas son las causas, no sólo de un aspecto visual poco atractivo, sino también de aromas y sabores indeseables. Para poder darle un acabado correcto debemos someter esa cerveza al proceso denominado “maduración”.

La maduración (conocida también como fermentación secundaria, lagering, guarda, acondicionamiento o almacenamiento) es el período posterior a la fermentación primaria, durante el cual mantenemos la cerveza en reposo, a temperaturas determinadas, con el fin de mejorar las condiciones organolépticas de la misma antes de ser finalmente consumida. En esta fase, la levadura reduce lentamente los fermentables remanentes (formados en mayor medida por azúcares más pesados como la maltotriosa) generando  $\text{CO}_2$  que suma carbonatación a la cerveza, y reprocesa ciertos subproductos perjudiciales de la fermentación.

El propósito de la maduración es convertir una bebida rústica en una que sea agradable para todos nuestros sentidos, debiendo cumplir tres objetivos principales: desarrollo del sabor, clarificación y carbonatación.



*Fig. N° 16: Maduración*

- Acondicionamiento en barril: la cerveza se trasvasa directamente del fermentador al barril cuando la fermentación se juzga suficientemente completa. Se le pueden agregar productos clarificadores para decantar los sólidos o pasar a través de un filtro para mejorar la claridad.
- Acondicionamiento en botella: la práctica consiste en agregar azúcares de cebado para el acondicionamiento.



- Fermentador secundario: terminada la fermentación primaria se baja la temperatura a unos 10°C para ralentizar el metabolismo de la levadura. Después de 2 o 3 días a esa temperatura, la cerveza se trasvasa cuidadosamente (evitando airearla) a otro recipiente, obviamente limpio y desinfectado. El tiempo mínimo aconsejable que la cerveza debe permanecer en el fermentador secundario es entre 2 y no más de 6 semanas.
- Desarrollo del sabor: es considerado la consecuencia más importante de la guarda y acabado de una cerveza. Puesto que la mayoría de los compuestos que intervienen en la maduración del aroma y gusto de la cerveza son el resultado del metabolismo de la levadura, se entiende el papel principal que desempeña ésta en todo el proceso.
- Carbonatación:
- Carbonatación natural: es la forma clásica, y se consigue cerrando herméticamente el recipiente en donde la cerveza madura para que el CO<sub>2</sub> generado en una segunda fermentación no escape y se disuelva en el líquido saturándolo.
  - Carbonatación forzada: se realiza inyectando CO<sub>2</sub> artificialmente en la cerveza para que disuelva manipulando la temperatura y la presión.
- Clarificación: obtiene por sedimentación. Con el tiempo, las partículas sólidas en suspensión en la cerveza se depositan en el fondo del recipiente y la velocidad a la que se asientan está determinada por varios parámetros, pudiéndose acelerar con el agregado de productos floculantes o centrifugaciones.

## **Envasado**

Es un proceso de gran importancia en la producción y venta de esta bebida, que se puede afrontar con diferentes soluciones.

El embotellado de bebidas puede realizarse en botellas de vidrio o de PET (poco habitual). El vidrio es higiénico, agradable desde el punto de vista estético y natural. Su uso es casi universal y sus desventajas incluyen el peso del vidrio, el coste del mismo y el transporte de las botellas, ya que se necesita más espacio para el almacenamiento que con otros contenedores.

El enlatado es una solución muy habitual en el envasado de cerveza. Las latas son más económicas que las botellas, pero menos resistentes a golpes y abolladuras. Ocupan menos espacio de almacenamiento y transporte y suponen un ahorro importante en todo lo que se refiere a la logística.

El envasado en barriles es el proceso menos habitual en el mercado de consumo masivo, pero el más utilizado cuando una cervecería desea vender su cerveza a otra industria o negocio en cantidades importantes. Las razones radican en la necesidad de ahorrar espacio y tiempo en el envasado y transporte. Es bastante más rápido y barato que el embotellado y el enlatado.



## Dimensiones del proyecto

Un punto importante a la hora de definir los alcances que tendría el proyecto final fue cuán grande debería ser para estar dentro de los límites tanto económicos como prácticos.

Averiguando y buscando tanto en internet como por experiencia personal de allegados o cerveceros consultados, se observó que las producciones de cerveza artesanal van entre los 20 y 100 litros. Los kits asequibles de materiales plásticos de tipo DIY (Do It Yourself) ofrecidos en internet en portales de compraventa oscilan en precios entre \$2000 y \$8000 (US\$50 a US\$200) para tiradas de 20 a 30 litros. Estos kits no ostentan tecnología alguna, sino más bien son para producir en la cocina de una casa con una olla grande que el comprador ya debe poseer. Incluyen desde la materia prima hasta algunas partes para la fermentación y control de parámetros básicos como temperatura y gasificación.

El propósito perseguido no es una producción en masa para venta, sino que intentar ofrecer la experiencia de hacer tu propia cerveza y degustarla formando parte desde que se agrega el agua hasta que se sirve en un vaso.

Los siguientes kits ofrecidos ya se asemejan más a una planta de producción a menor escala, con tiradas de 30 a 100 litros. Los costos son bastante más elevados y los materiales ofrecidos son muy variados.

La mayoría de ellos son completamente metálicos, por lo general de aluminio, vienen con calentadores a gas no homologados, termómetros, medidores de pH y CO<sub>2</sub>, densímetros, mangueras transparentes o caños de PVC para las interconexiones, botellas y tapadores, bidones plásticos de gran capacidad, etc. El precio ya oscila entre \$15000 a \$100000 (US\$350 a US\$2300), con posibilidad de agregar componentes más específicos o materiales de mejor calidad.

Es una venta mucho más personalizada, no para el consumidor promedio o experimental, sino para personas que deseen tener una producción suficiente para autoabastecimiento o como pequeña inversión realizando un trabajo de medio tiempo. Los interesados suelen ser pequeños productores que ya han fabricado cerveza anteriormente, con recetas ya testeadas y perfeccionadas.

El paso siguiente ya es la gran escala, donde los niveles de producción son de 100 a miles de litros. La inversión que debe realizarse no es para tomarlo a la ligera pues los costos son de miles de dólares y con tiempos de fabricación de la planta de semanas o meses.

En estos proyectos, el interesado por lo general es un inversor que ha formado un equipo de trabajo profesional, con laboratorios, empleados, maestros cerveceros, etc. Las dimensiones de las plantas suelen ser muy grandes, con edificios e instalaciones dedicadas exclusivamente a ello.

El objetivo es la venta a gran escala, bordeando el límite de la elaboración artesanal y la industrial. Los procesos no son los mismos sino que las etapas pueden ser muy distintas, y tanto los elementos usados como los tiempos de producción pueden variar completamente intentando economizar al máximo para obtener ganancias.

Tras la realización de este estudio, se definió que lo ideal sería una planta de producción que se encontrase entre las dos primeras descritas anteriormente. Una producción de 30

---



litros, con estructuras metálicas, intentando seguir con el paso a paso lo más técnicamente posible, cumpliendo con requisitos de seguridad indispensables y tiempos acordes al proyecto final.

La materia prima decidió adquirirse a proveedores locales a pequeña escala debido a que la inversión está dentro de los límites y permite la producción de diferentes variedades en tiradas chicas, de modo que la experimentación y en el peor de los casos descarte de malas producciones, sean más viables.

Los componentes electrónicos y estructurales se adquirieron en la región, buscando alternativas en el caso de no conseguir lo inicialmente programado. En las siguientes páginas se explica punto por punto la elección de cada material y el porqué.

## **Selección de los materiales**

Una vez decidido el proyecto, se inició la búsqueda de lo necesario para construirlo. En la mayoría de los casos había diferentes opciones para elegir y en otras dependió de cuestiones económicas o de tiempo.

Durante la primera charla en la definición de la idea, se habló sobre la parte de calentamiento de líquido. Las opciones eran usar gas o electricidad.

El uso de gas implicaba reglamentaciones mucho más complejas, ya que los organismos de seguridad habilitan la conexión si es totalmente segura. Era necesario un gasista matriculado que realizara toda la instalación aun usando dos o tres mecheros y una garrafa. Los costos y tiempos no eran acordes a lo apuntado por lo que se descartó. Otro inconveniente era el uso de electroválvulas de gas y mecheros con pilotos analizadores de gas que no permitían un control de la temperatura del líquido constante por su dificultad al encender y apagar la llama durante el monitoreo grado a grado por parte del software. El costo de estos dispositivos es muy elevado y generalmente usado en grandes fábricas que necesitan alto poder calorífico.

La segunda opción era usar electricidad. Dentro de las posibilidades más viables del mercado hay resistencias y calor por inducción. La inducción permite un calentamiento más parejo, pero no fue seleccionada porque es más útil para el calentamiento de metales para fundición en grandes fábricas, podría ser hasta inseguro si no se tomaran ciertos recaudos de aislación, los costos eran mucho mayores y requería circuitos adicionales que agregaban complejidad innecesaria al proyecto.

Finalmente se definió la elección de resistencias como medio para calentar. En el mercado hay gran variedad con diferentes potencias y modos de calentamiento, ya sea de contacto por inmersión o por contacto indirecto a través de metal. Se escogieron resistencias de 1000W de tipo W, suficientes para la cantidad de litros a calentar y de ser necesario pueden agregarse más sin un elevado gasto de potencia innecesario. Bien pudieron usarse resistencias de una o dos varillas de 2000 a 2500W de potencia (usadas en ciertos electrodomésticos), que no implicarían un cambio drástico en el diseño.

En cuanto a los recipientes para el líquido en las diferentes etapas se pueden usar metales o plásticos (tecnología más novedosa).



Ciertos plásticos hoy disponibles permiten un calentamiento sin problemas hasta los 150°C con grandes ventajas en cuanto a limpieza y esterilización, pero su costo es mucho mayor así como la complejidad de soldado y adquisición a costos acordes a este proyecto, por lo que fue descartado casi inmediatamente (al menos para las etapas que requieren calor).

Dentro de los contenedores metálicos los dos más utilizados son aluminio y acero inoxidable. El acero es el más común en fábricas de alimentos y aceptado a nivel legal y bromatológico, pero su costo es bastante más elevado. Tras el pedido de presupuesto tanto de materiales nuevos como usados, sumado a las soldaduras y tratamientos necesarios, se adquirió acero en pocas partes del proyecto considerados primordiales.

Para las primeras etapas que requieren calentar solamente agua o bien no obtener una pureza tan exacta del mosto, se eligió aluminio. Se consigue mucho más, es más económico y cumple con los propósitos necesarios. Si bien para grandes escalas o empresas se exige acero inoxidable, para una pequeña planta artesanal está muy difundido el aluminio. La gran diferencia es la higiene, que debe ser mucho más cuidadosa en el último y es menester realizar limpiezas más seguidas.

Para la planta se tuvo en cuenta un principio físico muy básico como la gravedad, por los simples hechos de abaratar costos y simplificar el proceso, al no ser necesario el uso de bombas para agua. La estructura metálica hecha con hierro tiene alturas escalonadas para cada tacho, de manera que el líquido fluya hacia abajo sin problemas por las cañerías. Esto se puede realizar a escala pequeña ya que la altura de los tachos es relativamente pequeña y son de poca capacidad, en una producción a gran escala sería imposible o poco práctico.

Para el control de paso de líquidos es necesario el uso de electroválvulas para líquido. Existen diversos tipos variando el caudal, voltaje de trabajo, ángulo de las tuberías, etc. La elección se realizó entre dos modelos, uno completamente metálico de una pulgada de paso y otro del tipo que se usan en lavarropas automáticos. Se eligió el segundo por el costo (relación 1/15).

Para la interconexión entre los tanques se usaron caños de PVC de tipo domiciliario, descartando las mangueras transparentes. Cumplen con su función, el margen de temperatura está dentro de lo soportable por el material y son de fácil obtención. Para la conexión hacia las bombas se utilizó manguera flexible para agua caliente, que soporta 90°C, en el límite del proyecto.

En cuanto al software, la elección estuvo entre PIC o PLC. Los PLC son de una programación más simple, más costosos, y por la cantidad de entradas y salidas del proyecto se habría necesitado uno bastante avanzado. Por lo tanto se escogió un PIC, con una programación más familiarizada en proyectos a lo largo de la carrera, su cantidad de entradas y salidas, posibilidad de multiplexación, frecuencia de trabajo, etc.

Para sensor temperatura se encuentran disponibles sensores de salida digital tipo Arduino DS18B20 y de salida analógica LM35. Fueron adquiridos y testeados ambos, decidiéndose por los LM35 por un control de frecuencia de trabajo mayor y menor programación ante el mismo resultado. El inconveniente se presentó al tener que ir sumergido, solucionado



introduciéndolo en una varilla metálica hueca con pasta disipadora (para distribución pareja de la temperatura en el transistor), como recomendación de parte de un compañero que había tenido ese mismo inconveniente.

Los sensores de nivel fueron quizás lo más paradójico, ya que no se consiguen prácticamente o son para usos industriales de tamaños que no eran muy adecuados. Tras semanas de búsqueda, se decidió fabricar sensores con varillas metálicas conductoras (acero inoxidable), que introducidas en el líquido funcionan como llaves cuando este último las puentea. Las varillas se conectan directamente al microcontrolador principal, el consumo de corriente y nivel de tensión es suficiente para la correcta detección, siendo innecesario el desarrollo de placas adicionales.

Posterior al hervido, se debe bajar la temperatura rápidamente. Los intercambiadores de calor comerciales son bastante costosos, por lo que se desistió su adquisición. La otra posibilidad, finalmente elegida fueron serpentinas de aluminio en un recipiente aislante de telgopor con líquido a baja temperatura. El mosto caliente es impulsado por la última bomba al interior del caño, intercambiando calor con el hielo y agua fría, retornando al tanque hasta llegar a los 22-25°C.

Como el agua en la zona suele ser bastante dura con alto contenido de minerales, sales y sarro, se colocó un filtro comercial doméstico de agua al comienzo del proceso. El agua fluye lentamente y se obtiene un mejor producto final con una inversión pequeña.

Durante la maduración, se usan bidones de agua de 5 y 10 litros. La temperatura baja se obtiene y mantiene con una heladera tipo frigobar, de uso exclusivo para este proceso.

La comunicación con el usuario es a través de una pantalla LCD, una botonera, LEDs y una alarma, conectados al microprocesador. Esto se detallará de forma exhaustiva más adelante.

## **Acero inoxidable vs aluminio**

El aluminio y el acero inoxidable son diferentes tipos de metales que a simple vista pueden parecer similares, pero en cuanto a material difieren en muchos aspectos. Sus similitudes y diferencias son:

- **Peso:** el aluminio no es tan resistente como el acero, pero es mucho más ligero (su peso equivale a casi un tercio del acero).
- **Durabilidad:** no hay duda de que el aluminio es un material duradero, pero no es tan fuerte como el acero inoxidable, debido a su mayor densidad general. Si se requiere un nivel particular de resistencia se debe optar por el acero inoxidable.
- **Corrosión:** tanto el aluminio como el acero inoxidable se destacan por sus propiedades anticorrosivas, especialmente cuando se comparan con otros metales. Aun así, el acero inoxidable es mucho menos susceptible a la corrosión que el aluminio, y depende del grado del acero inoxidable que puede estar hecho a base de



hierro, níquel, manganeso y cobre. Además, como el acero no es poroso su resistencia a la corrosión es mayor. Aunque el aluminio tiene una gran resistencia ante la oxidación y corrosión, igualmente se corroe. Al oxidarse la superficie se vuelve de color blanco y en algunas ocasiones se pueden formar pequeños orificios.

- Costo: normalmente el aluminio es mucho más accesible económicamente que el acero inoxidable. Esto dependerá mucho de los materiales que se emplean para fabricar cada metal. Sin embargo, ambos pueden comprarse a precios asequibles y son materiales altamente reciclables y eficientes con el medio ambiente.
- Conductividad: el aluminio supera al acero inoxidable tanto en conductividad térmica como eléctrica.
- Propiedades térmicas: el acero puede ser utilizado en temperaturas muy altas, en comparación con el aluminio.
- Soldadura: el acero inoxidable es relativamente fácil de soldar, mientras que la soldadura en el aluminio es más complicada.
- Efecto en la comida: una de las principales ventajas que tiene el acero inoxidable sobre el aluminio es su capacidad para ser utilizado en la preparación de alimentos. El acero inoxidable no influirá en el sabor o la textura de los alimentos, y esto se debe a su composición química neutra. El aluminio puede afectar el sabor y cambiar la apariencia de los alimentos si estos entran en contacto con la superficie del metal durante un período prolongado.
- Practicidad: el aluminio es bastante suave, por lo que es fácil de cortar, manipular y moldear. Por otro lado, el acero es totalmente diferente debido a su gran resistencia ante el deterioro y es más complicado manipularlo.

Teniendo en cuenta todos estos puntos, se priorizó la utilización de acero. Los mayores inconvenientes fueron el costo y la disponibilidad zonal. Al ser un proyecto piloto y temporal, no se consideró un impedimento el uso de uno u otro material.

## Consumo de potencia

La planta está fabricada para realizar de a un proceso a la vez y nunca dos al mismo tiempo. El diseño podría modificarse en un futuro para optimizarlo y realizar varios al mismo tiempo con el objetivo de aumentar la producción pero no es el fin actual de este trabajo por lo que no se prioriza. Dicho esto, la potencia que necesitará el circuito es muy escasa. Los cálculos que se darán a continuación no son extremadamente precisos sino que se tienen en cuenta las peores condiciones de modo de obtener un consumo máximo teórico (peor condición).

Para comenzar, si se tiene en cuenta la electrónica del microprocesador con consumo máximo obtenido de su hoja de datos (PIC18F4550), nos da un valor de 1 W. Este valor comparado al consumo de potencia necesario para los demás componentes es totalmente despreciable y no se tiene en cuenta.



## PIC18F2455/2550/4455/4550

### 28.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

#### Absolute Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

Ambient temperature under bias	-40°C to +85°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V <sub>SS</sub> (except V <sub>DD</sub> and MCLR) (Note 3)	-0.3V to (V <sub>DD</sub> + 0.3V)
Voltage on V <sub>DD</sub> with respect to V <sub>SS</sub>	-0.3V to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to V <sub>SS</sub> (Note 2)	0V to +13.25V
Total power dissipation (Note 1)	1.0W
Maximum current out of V <sub>SS</sub> pin	300 mA
Maximum current into V <sub>DD</sub> pin	250 mA
Input clamp current, I <sub>IK</sub> (V <sub>I</sub> < 0 or V <sub>I</sub> > V <sub>DD</sub> )	±20 mA
Output clamp current, I <sub>OK</sub> (V <sub>O</sub> < 0 or V <sub>O</sub> > V <sub>DD</sub> )	±20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin	.25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	.25 mA
Maximum current sunk by all ports	200 mA
Maximum current sourced by all ports	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows:

$$P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$$

2: Voltage spikes below V<sub>SS</sub> at the MCLR/VPP/RE3 pin, inducing currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the MCLR/VPP/RE3 pin, rather than pulling this pin directly to V<sub>SS</sub>.

3: When the internal USB regulator is enabled or V<sub>USB</sub> is powered externally, RC4 and RC5 are limited to -0.3V to (V<sub>USB</sub> + 0.3V) with respect to V<sub>SS</sub>.

Fig. N° 17: Características eléctricas del PIC18F4550 (datasheet)

Del mismo modo, puede despreciarse tanto el consumo de los sensores como de la pantalla LCD. El LM35 tiene consumos máximos del orden de décimas de mW y los sensores de nivel en el orden de mW, ya dependen del consumo de las entradas del PIC y pequeñas pérdidas o polarización.

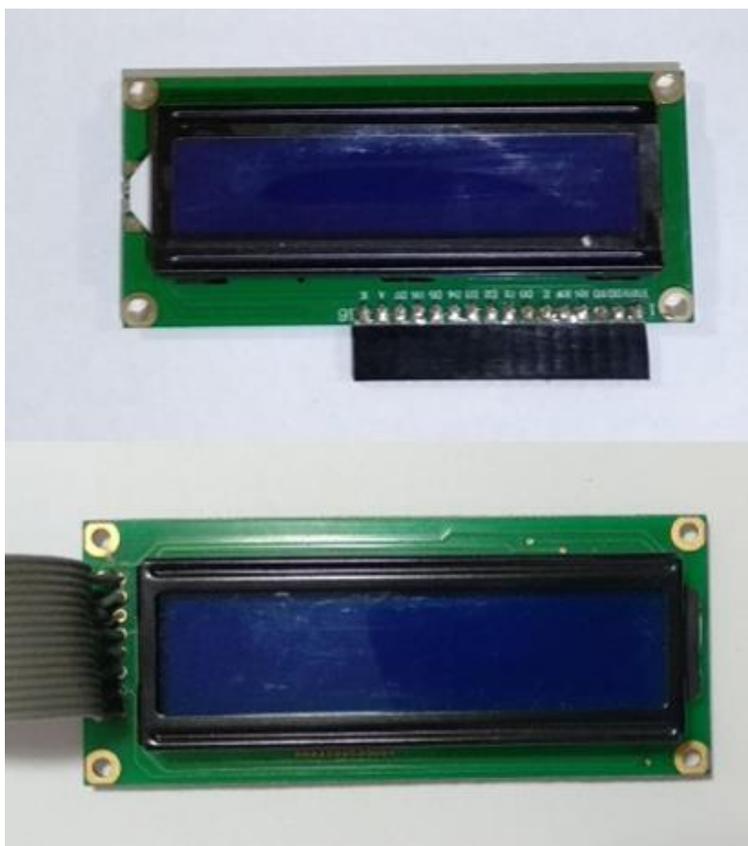
El mayor consumo de resistencias se dará al estar las resistencias de calentamiento activadas. Estas resistencias son de 1000W, por lo que tendremos valores cercanos a los 5A con 220V individualmente. Al ser cada proceso independiente y nunca simultáneo, se tomará el consumo de una sola.

Las electroválvulas de paso de líquido tienen un consumo de unos 5W, activándose una sola y nunca dos al mismo tiempo. Su potencia de todos modos es muy baja.

Las bombas de recirculación consumen unos 60W, para los procesos maceración y cocción. Deben encenderse por 15 minutos máximo con un descanso de 5 minutos para evitar recalentamientos y posibles roturas o fallas.

Tomando márgenes de potencias módicos, dando un margen de 20% podría prepararse el sistema para suministrarle unos 1070W, y de ser mucho más cautos (prácticamente exagerados), 2500W a 4000W de querer agregarle resistencias extras para acelerar el proceso. Esos niveles de potencia son bajísimos de compararlo, por ejemplo, con el consumo de electrodomésticos caseros como un aire acondicionado (1500 a 3500W), deduciendo que no deben tomarse grandes recaudos más que alimentar la planta con una instalación que posea cables de 1,5 a 4mm.





*Fig. N° 20: Pantalla LCD*

- Botonera: permite la elección de parámetros o comandos de acuerdo al menú del microprocesador, a través de 3 teclas: subir, bajar y enter.



*Fig. N° 21: Botonera*

- Resistencias: las resistencias usadas son por inmersión, de acero o bronce, con potencias entre 1000 y 1500 watts. No poseen termostato propio ya que la temperatura se regula desde el PIC. Su alimentación requiere 220V, por lo que se usan relés a través de una placa de potencia. La conexión a la placa se realiza con enchufes diseñados para alto consumo.

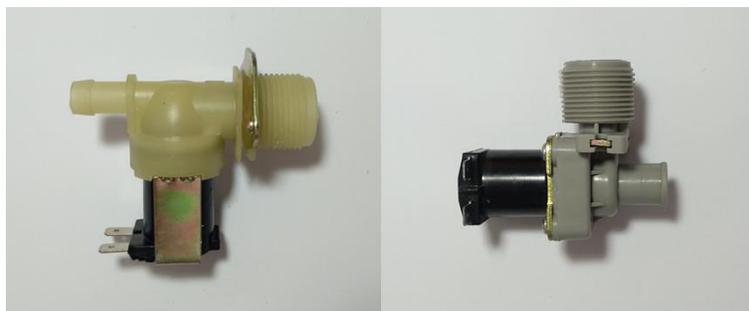


*Fig. N° 22: Resistencia de calentamiento*



*Fig. N° 23: Enchufe para resistencia de calentamiento*

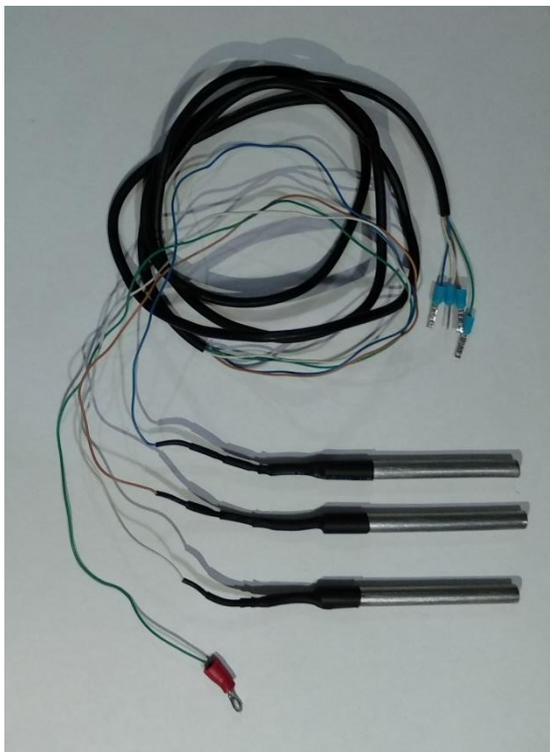
- Electroválvulas para líquido: es una válvula electromecánica, posee una bobina solenoide interna que permite o no el paso del fluido. Sus posiciones de paso son abierto o cerrado, sin términos medios, con un vástago o mecanismo interno que realiza el movimiento. Se comandan desde el PIC a través de la placa de potencia.



*Fig. N° 24: Electroválvulas para líquido*

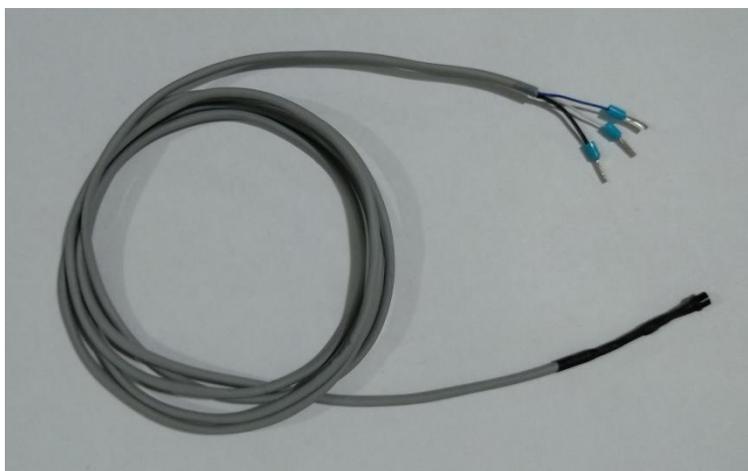
- Sensores de nivel de líquido: de fabricación propia, constan de varillas metálicas de acero inoxidable sumergidas en el líquido, atravesadas por una tensión que permite su actuación como llave on/off.

Poseen 4 cables. En un extremo, uno de ellos es común de alimentación atornillado al tacho, y 3 independientes que detectan niveles de líquido. Del otro lado la señal que llega al PIC, a través de terminales metálicos.



*Fig. N° 25: Sensores de nivel de líquido*

- Sensores de temperatura: de fabricación propia, contienen sensores LM35 soldados a un cable de 3 hilos aislado por malla metálica. En el extremo del sensor están sellados con termocontraíble, y en el otro poseen terminales metálicos. Su longitud es de aproximadamente 1,2 metros.



*Fig. N° 26: Sensores de temperatura*

- Varillas huecas de aluminio: ingresan al tacho por orificios con prensacables, sirven de sostén y aislación para los sensores de temperatura. En su extremo sellado interior (soldado) tienen grasa para una mejor distribución de temperatura en el sensor.



*Fig. N° 27: Varillas huecas de aluminio*

- Prensacables plásticos: son elementos plásticos usados para introducir las varillas metálicas de los sensores de nivel dentro de los tachos, sin que se produzcan derrames o pérdidas. Al ajustarse aprietan herméticamente tanto el tacho como la varilla con gomas y o-rings. También sostienen los caños de aluminio que contienen los sensores de temperatura.



*Fig. N° 28: Prensacables plásticos*

- Fuente de alimentación: como el sistema necesita diferentes tensiones de alimentación, se subdividen y regulan en cada lugar que sea necesario. La placa de potencia permite el suministro a las resistencias y electroválvulas, mientras que la alimentación del PIC es más filtrada para evitar interferencias o ruidos indeseados. Se utilizó un cargador estándar de 5V, ya que cumple con los requisitos necesarios para el proyecto.



*Fig. N° 29: Fuente de alimentación*

- Contenedores metálicos: la planta posee tres, dos de aluminio de 45 litros y uno de acero de 27 litros para la etapa final. Tienen agujeros para la conexión de las resistencias calentadoras, entrada de líquido y desagotes, y tapas desmontables a la que se encuentran sujetos los sensores.



*Fig. N° 30: Contenedores metálicos*

- Bomba de agua: se utiliza para el Whirlpool, que es el proceso por el cual el líquido se hace girar en forma circular como si fuese un remolino para ayudar con la decantación y aireación del mismo.



*Fig. N° 31: Bombas de agua (parte plástica)*

- Serpentina de enfriamiento: son varios metros de tubo de aluminio, doblados en forma de cilindro por los que circula el líquido caliente para bajar la temperatura al intercambiar calor con líquido frío más hielo.



*Fig. N° 32: Serpentina de enfriamiento*



- Contenedor aislante: tiene como objetivo el almacenamiento de hielo y agua fría para bajar la temperatura de la serpentina rápidamente después de la cocción.



*Fig. N° 33: Contenedor aislante*

- Estructura de sostén: como su nombre lo indica es el esqueleto de la planta. Es de hierro por su fortaleza y precio.



*Fig. N° 34: Estructura de sostén*

- Placa de desarrollo de PIC: con esta placa se carga el software al PIC. No tiene función en la planta, salvo durante su fabricación. Una vez cargado el programa, no se utiliza más.

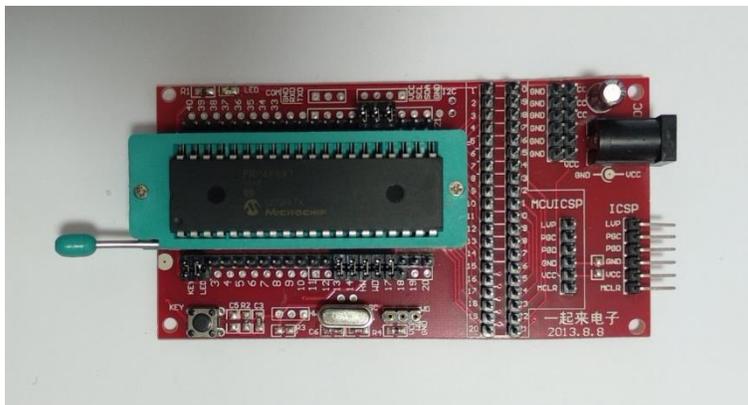


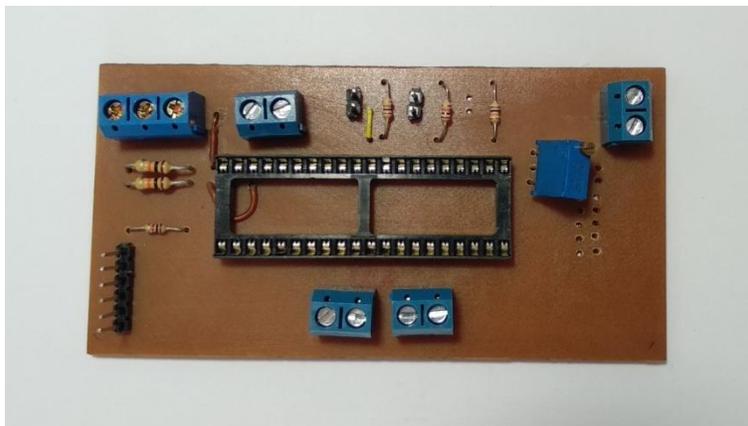
Fig. N° 35: Placa de desarrollo de PIC

- Relés: permiten suministro de tensiones y corrientes elevadas, comandados por una señal de poca potencia proveniente del PIC. La primera es una placa comercial de relés, los segundos relés individuales.

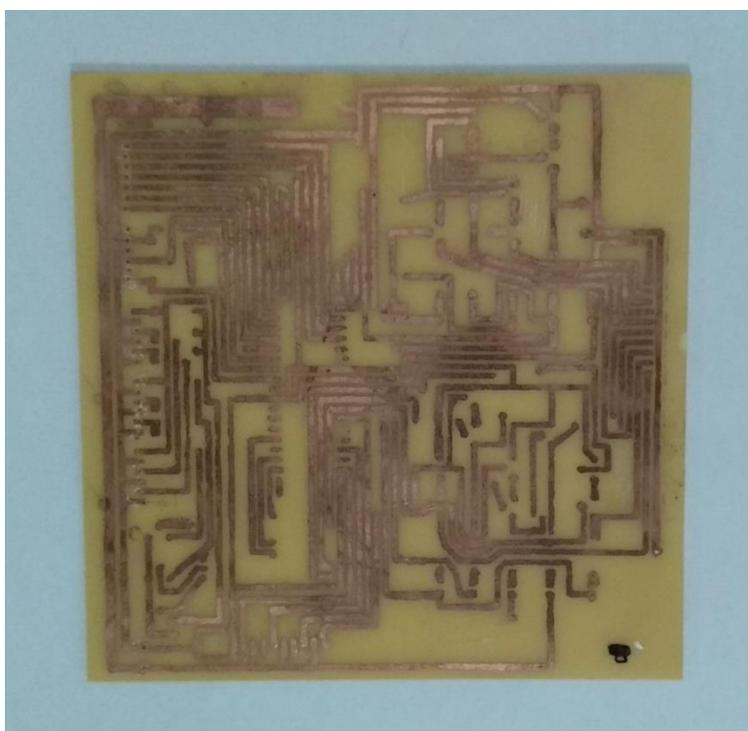


Fig. N° 36: Relés

- Placas de prueba varias: estas placas fueron utilizadas en el proceso de prueba y error o testeo de componentes. Si bien no tienen utilidad en la planta, se dejan como observación por haber ayudado e influido en el resultado.



*Fig. N° 37: Placa de prueba 1*



*Fig. N° 38: Placa de prueba 2*

- Gabinete plástico: estructura de sostén de todos los elementos electrónicos y de comunicación con el usuario.



*Fig. N° 39: Gabinete plástico*

- Manguera plástica: utilizada para la conexión entre tanques, bombas y electroválvulas.



*Fig. N° 40: Manguera plástica*

## Software

Para la programación del PIC se usó lenguaje C++, a través del programa compilador PIC-C Compiler. El programa no se adjunta ya que posee más de 1500 líneas y puede modificarse para cada planta en particular.

El fermentador no está incluido en este proyecto ya que es un proceso que no necesita mayor automatización y se debe realizar en un espacio ajeno a la planta, por lo que se deja pudiendo quedar para un futuro de ser requerido en casos particulares.

El diagrama de flujo que se tuvo en cuenta para la planta principal es el siguiente:

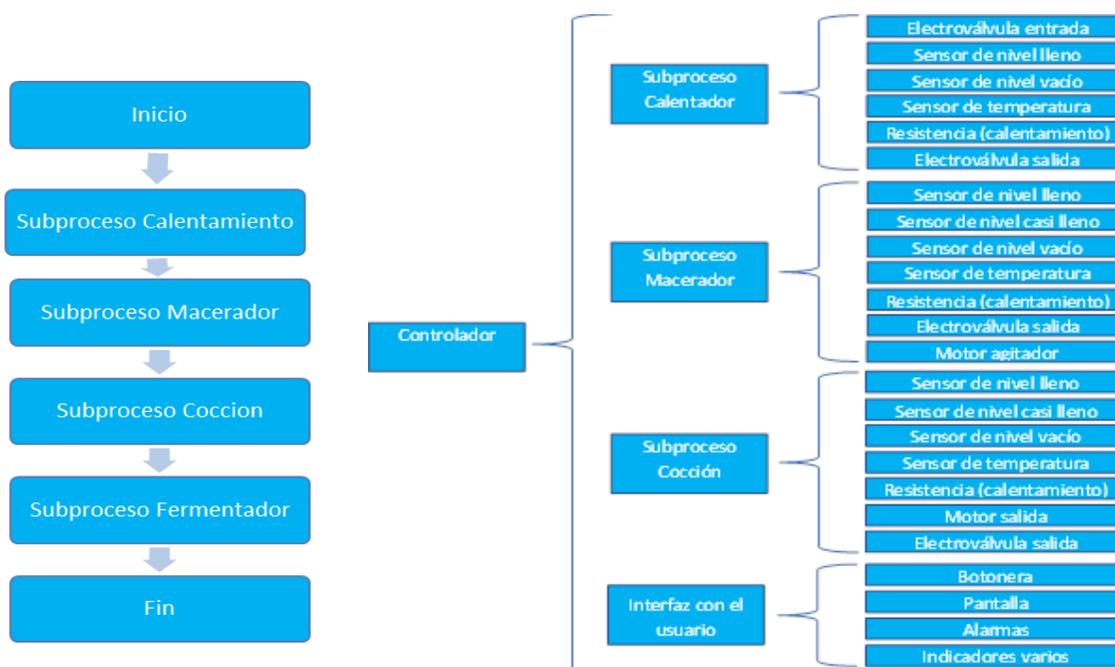


Fig. N° 41: Diagrama de flujo del proceso

A continuación, se detallará el funcionamiento de la planta en forma de pseudocódigo.

### Interfaz con el usuario

El programa comienza, al encender la planta, con una pequeña secuencia de luces a modo decorativo. Posteriormente en pantalla aparece la opción de seleccionar el tipo de cerveza o desagote, comandadas por la botonera. Al elegirse uno, el programa inicia el comando de la planta.

### Elaboración de cerveza

En el caso de elaboración de cerveza, el proceso comienza con un aviso de agregado de malta en el segundo tanque. Al ser agregada, se debe presionar el botón enter. Inmediatamente se activa la electroválvula de entrada de agua general y cerrado de salida



de líquido del primer tanque hasta que el sensor de tanque lleno del primer tanque detecta nivel. Al recibir la señal, el microprocesador cierra la primera electroválvula a través de la placa de relés, cortando el paso de agua.

Comienza el calentamiento de líquido, el microprocesador comandando el relé activa la resistencia de calentamiento del primer tanque hasta que el agua llega a la temperatura prefijada, sensándola con el LM35 y enviando señales a la entrada analógica cada ciertos milisegundos. Se muestra en pantalla que ha culminado la primera etapa mostrándolo en pantalla y activando una alarma.

Comienza la segunda etapa, abriendo la entrada de agua al segundo tanque (salida de agua del primero), hasta que el sensor de nivel alto del segundo tanque se active o el de nivel bajo del primero se desactive. Se procede a calentar el agua con la resistencia gobernada por el micro desde la placa de relés hasta llegar a la temperatura establecida. Al llegar empieza una subetapa que mantiene la temperatura estable al mismo tiempo que recircula el líquido caliente con una bomba durante 1/5 del tiempo encendida y 1/5 apagada durante ciertos minutos. Cuando se cumple el tiempo, se avisa en pantalla y con la alarma la finalización de la segunda etapa.

La tercera etapa empieza igual, llenándose de líquido hasta que el sensor de nivel alto detecte tensión o se vacíe el segundo tanque (sensor vacío sin tensión). Esta etapa no contiene recirculado durante la cocción, sino que calienta hasta una temperatura deseada y luego la mantiene otra cantidad de tiempo más. Tanto en la segunda como tercera etapa se sensa la temperatura como en la primera, a través de un LM35 durante milisegundos (para estabilizar la medición).

Al culminar, se avisa de la misma forma que en las etapas anteriores al usuario y se le pide que coloque la manguera de desagüe en el mismo tanque, pasando por la serpentina de enfriamiento. Al presionarse enter, la segunda bomba se activa recirculando el líquido a través de la serpentina en contacto con hielo y agua fría, descendiendo bruscamente la temperatura. La bomba permanece encendida hasta que el líquido alcanza unos 22°C, finalizando la etapa. Se le pide al usuario que conecte la manguera de desagüe en contenedores donde irá el mosto final y se presione enter. De ser necesario interrumpir el desagüe para cambiar de bidón, botella, etc., se presiona la tecla bajar y durante unos segundos no saldrá líquido.

Cuando el sensor de nivel bajo no detecta más tensión, se da aviso de fin de etapa en display y alarma, además del aviso de que han concluido todas las etapas. Posterior a esto el microprocesador se reinicia quedando listo para una nueva producción.

### **Salteo de etapas**

En el caso de producirse errores durante el proceso, cortes de tensión o simplemente porque el usuario lo desee, se agregó la opción de saltar etapas. Esto se realiza presionando 3 veces la tecla enter en cualquiera de las etapas. Al presionarlo, se muestra en pantalla que se ha oprimido y cuántas veces. Cuando se presionó tres veces, se muestra un aviso en



pantalla de etapa salteada, se activa una alarma e internamente el microprocesador continúa con la siguiente etapa.

El salteo no tiene límites llegando al caso hipotético (y poco práctico) de poder saltar todas las etapas de principio a fin.

### **Desagote**

Para fallas catastróficas en las que el producto debe tirarse o si se ha realizado una limpieza en la que queden líquidos indeseados en el interior de la planta, se selecciona la opción desagote. En ésta, se abren las electroválvulas de modo que el líquido circule libremente por gravedad saliendo por la manguera del último tanque. No produce cerveza sino más bien es un proceso post elaboración o post limpieza, en la que el usuario no podría abrir manualmente las electroválvulas.

Al concluir el desagote, el usuario presiona enter, finaliza el proceso y el microprocesador se reinicia.

## **Construcción de los sensores de nivel de líquido**

Debido a que la disponibilidad de sensores de nivel de líquido era muy escasa o nula, se decidió la construcción de sensores personalizados.

Como primer punto se tuvo en cuenta que la comunicación al microcontrolador requería de señales con valores lógicos 0 y 1, no siendo señales analógicas por lo que su simpleza es mayor. Un terminal metálico atornillado al tacho, suministra una pequeña cantidad de corriente con tensión a nivel seguro (pocos volts), a otras 3 posibles varillas que detectan los niveles requeridos. Al estar sumergidas en líquido conductor, la corriente fluye del terminal en el tacho con tensión positiva a la de tensión menor (varilla con tensión cercana a 0 volts), cerrando el circuito y enviando la señal lógica directamente al microprocesador.

Cada sensor posee borneras para a conexión de 3 varillas metálicas más un terminal metálico a través de cables, pudiendo detectar desde uno a tres valores dependiendo de los niveles de líquido que quieran obtenerse como medida. Las entradas que no se usen tendrán como salida un cero lógico constante, mientras que las que detecten nivel suministrarán 5 volts (uno lógico) y corrientes del orden de miliamperios.

Cabe destacar que los ruidos presentes en la planta podrían detectarse erróneamente como nivel, aunque durante las pruebas y primeros usos no se han tenido inconvenientes.

Al comienzo del proyecto se construyeron placas de amplificación con alarmas y filtrado de señal para la detección de nivel, funcionando de forma autónoma. Sin embargo, presentaba ciertos problemas y aunque se pensaba desarrollarlo para ofrecer como un producto secundario, se abandonó esta parte del proyecto por considerarse innecesaria, sumado a que retrasaba los tiempos del plan original del proyecto final.



## **Construcción de los sensores de temperatura**

Tras un estudio de los sensores disponibles en el mercado, se llegó a la conclusión de que sus costos eran demasiado elevados para este proyecto, además de que varios de ellos requerían cambios en la programación o calibraciones extras.

Por ende, la opción fue adquirir sensores LM35 estándar y adaptarlos. Su construcción consistió en soldar los pines de los sensores (en forma de transistores) a cables mallados de de 1,2 metros de longitud, sellados con cable termocontraíble cubriendo el LM35 para evitar filtraciones o corrosión. En el otro extremo se colocaron borneras hembras para su fácil agarre a las borneras tipo pines.

Se usaron varillas de aluminio de 15, 15 y 30 cm como sostén, soldadas en una punta de manera que no pase líquido, pero si detecte la temperatura. Una mejor transferencia de calor se logra colocando grasa siliconada en su interior.

Para sumergirlas en el líquido sin problemas, están sostenidas con prensa cables plásticos que ejercen gran presión sobre las varillas y tacho con terminaciones de goma/o-rings. Se mejorará aún más este sellado usando silicona comercial para temperatura, debido a pequeñas goteras producidas por la dilatación de los materiales con los cambios de temperatura.

La precisión de medida es muy buena, con variaciones programadas de aproximadamente 0,5V (0,489V), cada medio segundo. Los tiempos de sensado se fueron probando eligiéndose este último ya que tiempos menores mostrados en pantalla variaban muy rápidamente no siendo correctamente observables y poco prácticos para el usuario.

Su costo comparado a los sensores comerciales es ínfimo y su utilidad, al menos en esta planta, es la misma.

## Construcción de la estructura

La estructura fue fabricada por encargo, tras un diseño calculado para sostener los 3 tachos más el resto de componentes de menor tamaño como eléctricos y conexiones de PVC para líquido.

El croquis fue el siguiente:

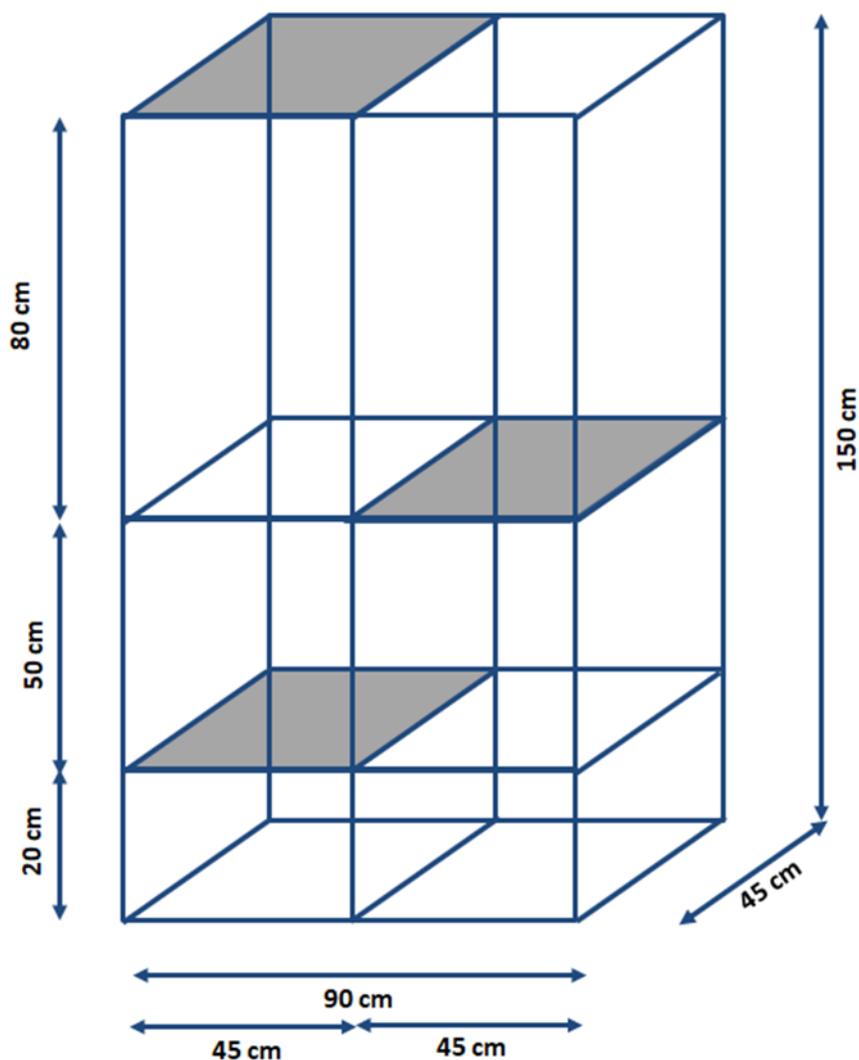


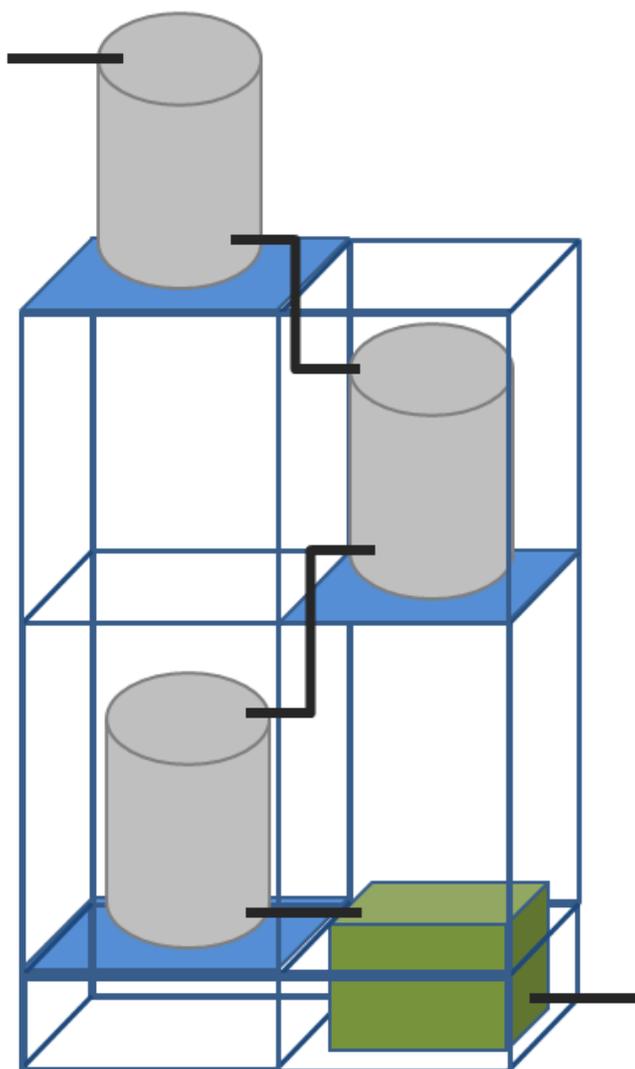
Fig. N° 42: Croquis estructura metálica de sostén

Las medidas que se tuvieron en cuenta mayormente fueron las de los tachos, ya que el resto de la estructura puede adaptarse más fácilmente.

Está construida de caños de hierro de 20x20 mm y pintada con esmalte color gris.

No cumple otra función más que la de sostén.

A continuación, se muestra la disposición aproximada de los principales componentes al momento del encargue.



*Fig. N° 43: Distribución aproximada de los principales elementos*

Puede observarse que queda mucho espacio disponible para colocar tanto la electrónica como demás dispositivos necesarios para el funcionamiento total de la planta. La altura total final es de aproximadamente 2,2 metros.

## Comunicación con el usuario

El comando de la planta lo realiza el microprocesador con el software precargado. Los procesos no pueden ser controlados por el usuario debido a la complejidad que llevaría, además de no ser práctico ni el objetivo perseguido. Por lo tanto, el microprocesador posee recetas precargadas que el operario deberá seleccionar y monitorear durante el proceso si así lo desea, pero sin comandar prácticamente ningún procedimiento más que el agregado de materia prima o salteo de etapas.



La comunicación con el operario se realiza a través de una pantalla LCD que muestra opciones básicas y las recetas disponibles, una botonera que permite el desplazamiento dentro de ese menú y una alarma sonora de aviso.

Los componentes electrónicos no pueden manipularse externamente y la automatización es casi total.

La alarma sonará en momentos límites para que se corrijan ciertos parámetros, se agreguen ingredientes en el momento indicado, como lúpulos, hierbas, etc., se cambien de lugar mangueras o se retire la producción al final del proceso, cuando es necesario el embotellado, enlatado o llenado de barriles.

De todos modos, quien esté monitoreando deberá conocer la receta previamente para descartar los productos que ya no sirven en las etapas intermedias, así como el desagote de líquido que queda como remanente. Esto podría automatizarse también, pero requiere una estructura tanto de desagüe como lavado que no está incluida ni proyectada para este trabajo final.

Tres indicadores LED en el gabinete indican la presencia o no de líquido en cada uno de los tres tanques.

## **Servicios básicos involucrados**

La planta se diseñó para ser lo más adaptable y simple de fabricar posible, de modo que cualquier persona con conocimientos básicos la pueda operar y armar, en un lugar que posea agua, energía eléctrica, algún tipo de desagüe y lugar para deposición de residuos.

Desde la definición del proyecto se desestimó el uso de gas natural por razones de seguridad, normativas, prácticas y económicas. Para empezar la utilización de gas puede ser económico en la situación actual comparado a los consumos eléctricos por la misma cantidad de potencia calórica suministrada, sin embargo en muchos sitios se está intentando deponer su uso. Muchos edificios de departamentos ya no poseen cañerías de gas, sino que para calefacción, limpieza y uso en cocinas ha sido reemplazado por electricidad.

El hecho de tener que adquirir mecheros como los usados normalmente en pequeñas cervecerías es muy peligroso. Son dispositivos que no están aceptados por las regulaciones sobre gas natural, y con mucha lógica, ya que en la mayoría de los casos son conexiones caseras hechas por personal no idóneo con todos los riesgos que implica. El gas natural es muy peligroso con pequeñas pérdidas causando en casos extremos la muerte.

En cuanto a practicidad (como se venía diciendo) es muy mala e imprudente. En el caso de no poseer gas natural de línea deben usarse garrafas, los costos son más elevados, puede terminarse el contenido en medio de un proceso teniendo que cambiarlas rápidamente, debe tenerse un lugar de almacenamiento, proveedores de forma continua, y podrían enumerarse muchos inconvenientes más que solo redundan la idea. De poseer gas natural de línea, la conexión debe realizarla un gasista matriculado, en edificios dedicados específicamente a la producción de cerveza, teniendo que cumplir con reglamentaciones exhaustivas, costos



elevados tanto de instalación como de normativas, tiempos de semanas o meses entre las inspecciones de autorización y posibles inspecciones periódicas.

Otro punto que conlleva cautela es la posibilidad de incendios. Si las conexiones no están bien realizadas o se dan las condiciones inoportunas podría generarse un incendio, que de estar en zonas urbanas, céntricas o casas es extremadamente peligroso e incontrolable. La supervisión durante la elaboración debe ser continua.

Por todos estos motivos, se decidió la elección de electricidad como fuente de calor. En el mercado hay una gran cantidad de resistencias eléctricas tanto de inmersión como de contacto externo, de diferentes potencias, conexiones, etc. Su instalación requiere solo energía eléctrica, algunos dispositivos de seguridad altamente accesibles y simples de instalar, no se necesitan matrículas ni autorizaciones tan complicadas o minuciosas como con el gas natural, los peligros en cuanto a incendios son muchísimo menores si se toman los recaudos suficientes como la sección de los cables, los riesgos de electrocución pueden disminuirse cada día más con tomas a tierra y disyuntores, etc.

El punto importante sobre el suministro eléctrico es la potencia que va a ser solicitada. Puede tomarse el peor caso de consumo como punto límite y de allí realizar los cálculos para la instalación. Más allá de eso, la planta funciona por etapas e individualmente, es decir nunca están dos en funcionamiento al mismo tiempo. El consumo máximo se dará en la maceración que involucra mayor tiempo y consumo debido a las resistencias necesarias para elevar la temperatura al punto más alto durante el proceso (cerca de 90°C). La parte electrónica del microprocesador tiene una potencia despreciable a comparación por lo que debe tenerse menos en cuenta.

El suministro de agua potable es indispensable, aunque no tan extremo. Como se ha visto anteriormente, las condiciones del agua afectan al producto final y debe tenerse en cuenta como materia prima de excelencia. La cantidad de agua que la planta usa es aproximadamente igual a la producción final, necesitándose litros extras en el lavado del grano y limpieza final.

De tenerse agua potable de línea de calidad, con una canilla y una manguera que llegue hasta el comienzo del proceso posiblemente serán suficientes. De tener tanques de agua, pueden ser necesarios dispositivos como bombas o filtros que ya dependerán del usuario que ponga en marcha la planta, y su capacidad tampoco es de gran importancia si se pueden asegurar algunos litros extras a los de producto final.

La posibilidad final es el uso de agua mineral o aguas especiales, para cervezas especiales. En este caso las adaptaciones quedarán a gusto del usuario, aunque no exijan grandes esfuerzos, tales como el agregado de sales (fosfatos, sulfatos, etc.) para aumentar o disminuir la dureza y ciertas condiciones organolépticas.

Por último, debe disponerse algún desagote para materiales líquidos y sólidos que se descartan durante el proceso. Puede ser tanto una cloaca como un tanque de desperdicios para los líquidos, ya que no son cantidades grandes (pocos litros), y un tacho de basura para los sólidos. Los residuos sólidos pueden servir como alimento para ganado o abono.



## Limpieza

La limpieza de la planta debe realizarse cada vez que se termine una producción para no afectar a la siguiente. En la elaboración de cerveza están involucrados microorganismos variando de estilo en estilo, que contaminan fácilmente el sabor de no ponerse énfasis en la higiene. A su vez, durante el calentamiento del mosto se desprenden vapores y azúcares que pueden generar caramelos o carbonizados en las ollas, siendo necesario revisar periódicamente su interior para asegurarse que no estén fuera de control.

La limpieza en ciertas partes debe ser crítica necesiéndose esterilizaciones con agua hirviendo o productos químicos que eliminen bacterias y microorganismos. Durante la maceración y fermentación, las levaduras pueden ser opacadas por la contaminación microbiana y generar sabores extraños, afectando la excelencia de la cerveza final.

Los residuos sólidos deben ser extraídos por el operario ya que no se dispone automatización para esa parte del proceso. Es una acción simple y rápida que se realiza en minutos y no requiere instrumentos especiales.

## Diseño de la placa del microcontrolador

El diseño de la placa del microcontrolador fue realizado en Proteus. Los objetivos principales eran incluir el PIC, todas las entradas y salidas a través de borneras y que fuese del menor tamaño posible.

Tras varios diseños fallidos se llegó al desarrollo final de una placa de 10x5cm cubierta prácticamente en su totalidad, con las borneras ubicadas en los bordes para mejor acceso, el microcontrolador al centro, las salidas extras de ser necesarias para alguna aplicación especial modificando el software (adaptabilidad), filtros de alimentación, etc.

El diseño final se muestra a continuación:

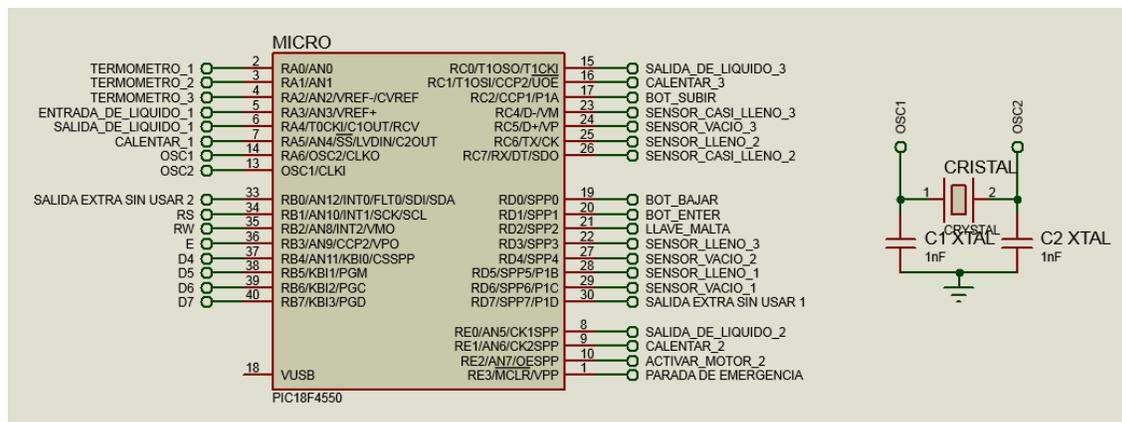


Fig. N° 44: PIC



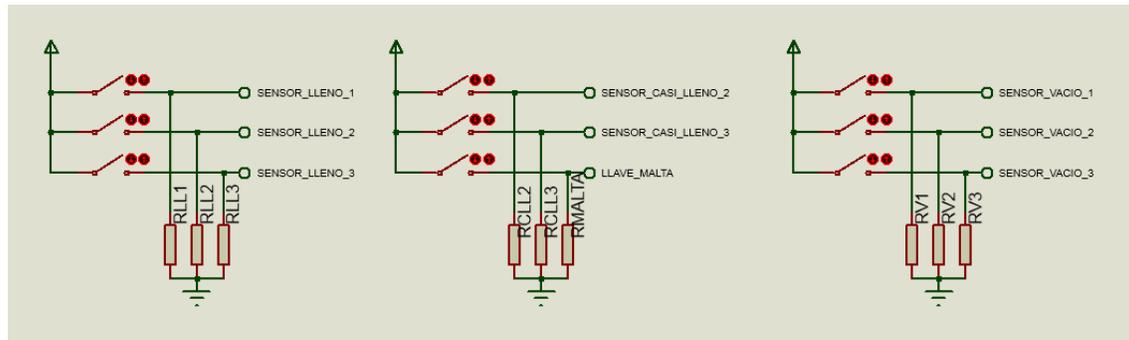


Fig. N° 48: Entradas

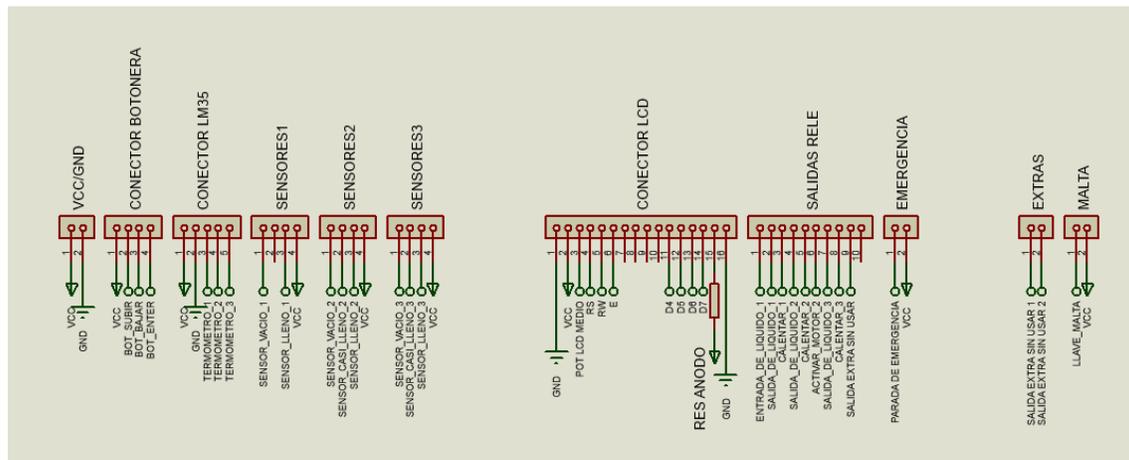


Fig. N° 49: Borneras

Los LEDs que se observan simulan partes de la planta como electroválvulas, resistencias y bombas, para observar durante la simulación si se activan o apagan. Se colocó un cristal de modo que los tiempos puedan contarse con mayor precisión y sean más estables.

## Diseño PCB y vista 3D

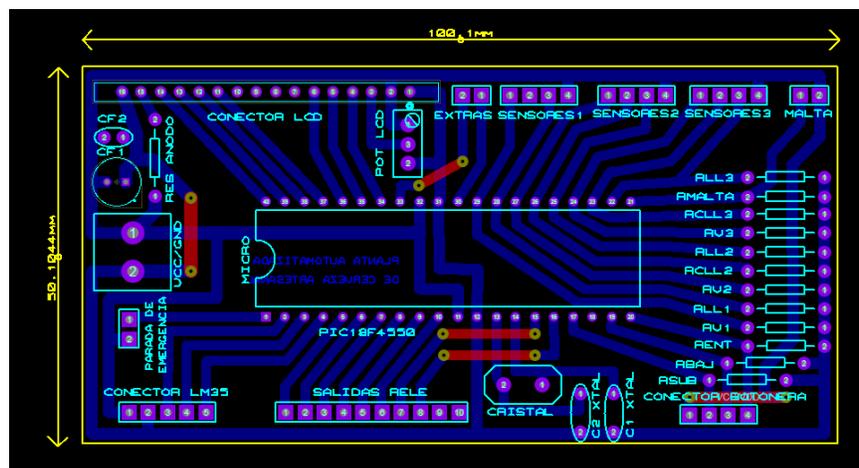


Fig. N° 50: Diseño del PCB

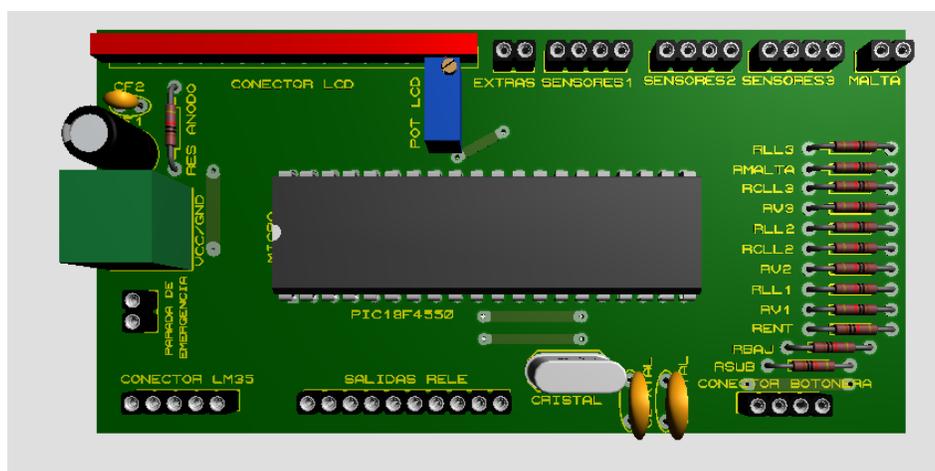


Fig. N° 51: Vista 3D superior

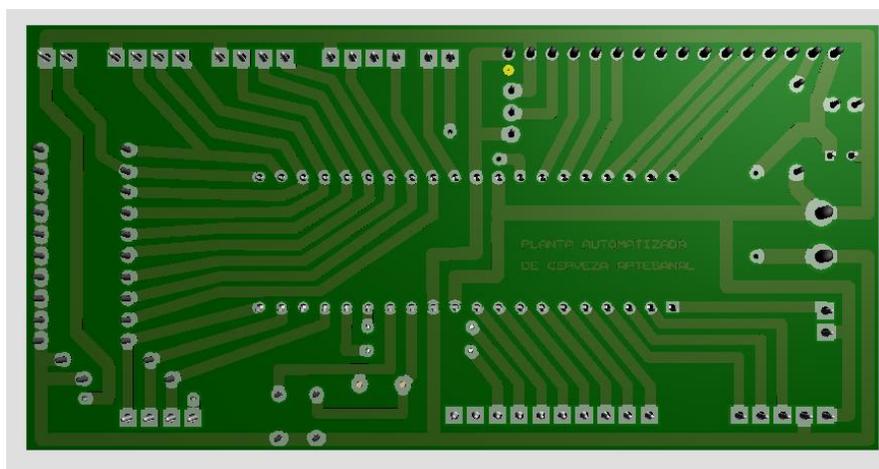


Fig. N° 52: Vista 3D inferior



## Planta final



*Fig. N° 53: Planta final*



Fig. N° 54: Diferentes etapas en pantalla



*Fig. N° 55: Interior de los tanques 2 y 3*

Las imágenes muestran la planta completamente construida, con todos los puntos mencionados anteriormente. La unidad de control se ubicó al medio para ser accesible a una altura razonable, se utilizó sellador de alta temperatura para evitar pérdidas tras la colocación de sensores, las conexiones de PVC se utilizaron junto a las mangueras para el transporte de líquidos con el uso de adaptadores para caños, intentándose que quede ordenada y visualmente agradable. La mayoría de los cables de tensión de línea (220V) están introducidos en cablecanales, dejando los de sensores externamente para evitar posibles ruidos e interferencias de los primeros.

La disposición de algunos elementos de la planta puede variar por pequeñas modificaciones, pero que no afectan ni modifican su funcionamiento en lo más mínimo.



## Receta seleccionada

### Cerveza Dorada

#### Ingredientes

- Malta Pilsen: 4 Kg.
- Irish Moss: 4 grs.
- Lúpulo Cascade: 20 grs.
- Levadura Ale: 1 paquete

#### Instrucciones

- 1) Mezcla de granos: mezclar todos los granos en seco, en las proporciones indicadas.
- 2) Maceración: agregar todos los granos molidos a 15 litros de agua caliente (75°C). La temperatura en la maceración debe ser de 62 a 67°C y se mantiene por un tiempo de 90'.
- 3) Whirlpool: comenzar con la recirculación del mosto para obtener la clarificación.
- 4) Filtrado: posteriormente se va incorporando agua caliente (75 a 78°C) a la maceración sobre la parte superior y se va recepcionando este mosto en otra olla o recipiente hasta obtener un mosto con los valores de densidad necesarios para este momento (1035 a 1040).
- 5) Cocción: hervir el mosto durante 60'. Cuando rompe el hervor agregar el lúpulo Cascade de acuerdo a los cálculos realizados. Al cumplirse 45' agregar el Irish Moss disuelto en agua fría. A los 55' agregar el lúpulo Cascade.
- 6) Reducción rápida de la temperatura: enfriar el mosto hasta una temperatura de 22°C.
- 7) Agregado de levadura: agregar un paquete de levadura previamente hidratada.
- 8) Fermentación: la fermentación dura aproximadamente 7 días.
- 9) Embotellado: embotellar con 7 grs. de azúcar por litro de cerveza.
- 10) Maduración: La maduración es de aproximadamente 25 días.

## Recetas adicionales

Debido a la amplia variedad de tipos y formas de elaborar cerveza, se consideró suficiente que este informe posea detallada solo una, para no extenderlo innecesariamente. Muchas de estas varían mínimamente en tiempos, temperaturas o ingredientes, pudiéndose agregar saborizantes como se describió en los primeros puntos del informe. No es un punto crítico sino que permite prueba y error hasta obtener un producto de calidad, momento en el cual se graba en el microcontrolador la receta final que ya no tendrá modificaciones.

El programa permite el agregado de otras recetas, en el caso de que un potencial cliente así lo deseara. Es un proceso simple de realizar, pudiéndose cargar hasta 10 recetas, abarcando un amplio rango de productos.

Como punto final, muchas veces la materia prima habitual no se consigue por lo que el proveedor ofrece alternativas que pueden modificar ciertos parámetros.

---



## **Modificaciones realizadas**

El principal obstáculo enfrentado al poner en funcionamiento la planta completa fueron las electroválvulas de líquido. La electroválvula de entrada de líquido al primer tanque no tiene problemas ya que está conectada al agua de red que viene con presión suficiente como para dejar pasar un caudal relativamente grande. En el resto de las electroválvulas, al tener solo la presión de la altura del líquido en los tanques (30-40 cm), dejan pasar un hilo de agua al principio, finalizando en un goteo hasta cortar el paso quedando unos 5 cm de líquido.

Si bien podrían usarse dejando más líquido para descarte y acomodando a distintas alturas los sensores de nivel, el tiempo que tarda en pasar de una etapa a otra es muy alto, llegando prácticamente a una hora para desagotar 25 litros. Esto afecta, a su vez, el proceso y los sabores del producto final, en el que los tiempos y temperaturas son críticos.

Las soluciones eran dos. La primera consistía en adquirir nuevas electroválvulas, de costo bastante elevado (miles de pesos cada una), que aun así necesitan un mínimo de presión de líquido para permitir un caudal acorde. La disponibilidad de este tipo de materiales en la zona es muy escasa y demoraba los tiempos de realización de este proyecto.

La segunda solución, finalmente escogida, fue el uso de llaves de paso manuales de media pulgada. El tiempo de desagote se redujo a 2 a 3 minutos, manteniendo las propiedades y temperaturas del mosto/líquido. Se perdió esta parte de la automatización aunque se dejaron las placas de relés activas y en funcionamiento para conectarlas en el caso de adquirir nuevas electroválvulas, de modo que solo conectándolas en las tuberías realicen la automatización completa.

Para compensar este inconveniente, al estar los tachos tapados durante el proceso, se agregaron indicadores LED y sonoros que le avisan al operario cuando abrir y cerrar las llaves de paso de acuerdo al nivel de líquido que hay en los tanques. A su vez avisa en los momentos que se necesita intercambiar mangueras o posiciones de ciertos elementos que involucran la corriente de líquido.

El objetivo y fin de este proyecto era la automatización completa de la planta, sin embargo la situación económica y los tiempos de presentación obligaron a buscar una solución de compromiso, al menos temporal, para que se lograra el funcionamiento al 100% con una automatización prácticamente completa.

La parte de sensores funciona perfectamente, no se han experimentado problemas salvo un pequeño delay en la toma de temperatura al no ser el dispositivo lo que toca directamente el líquido sino la varilla metálica que lo sostiene. De todos modos la demora es de uno o dos segundos, cuando la toma de temperatura se realiza cada medio segundo y las variaciones de gradiente grado a grado con la resistencia encendida se producen cada aproximadamente 1 minuto. Se concluye que no afecta en lo más mínimo, siendo hasta quizás más lógico debido a que variaciones en tiempos pequeños confunden al operario en la lectura en pantalla.

En el tercer tanque podrían usarse dos bombas, una de recirculación para enfriado y otra para desagüe final, como también usar un cuarto tanque y más sensores, o bien usar

---



enfriamiento desde el interior teniendo el operario que introducir la serpentina en el tanque para que el agua fría circule y enfríe el mosto.

La solución más acorde fue usar una bomba, intercambiando la manguera entre la recirculación (a través de la serpentina) y el desagüe, con avisos al usuario para que lo realice. Es un intercambio simple y no ofrece complicaciones al proceso.

La mayoría de estas modificaciones se realizaron por motivos económicos debido a que no se tuvo un inversor para la adquisición de materiales, y como se ha explicado anteriormente son de costos altísimos. La situación económica del país tampoco ayudó mucho en este punto, teniendo que llegar a soluciones menos deseadas que funcionaran para completar la automatización. Las modificaciones fueron autorizadas y acordadas, de modo que el funcionamiento primara sobre los inconvenientes.



## Conclusiones

Tras la realización de este proyecto, se llegó a varias conclusiones importantes. Como primer ítem, la planificación del proyecto es tan importante como el desarrollo en sí, tener un plan de acción para seguir paso a paso y no “andar a los tumbos sin rumbo” permite avances constantes y permanentes.

La disponibilidad de materia prima o de materiales de construcción no es muy amplia, suele ser costosa y para un proyecto de esta magnitud suelen excederse en gran medida. Es menester adaptarse a lo que se encuentra y es accesible, usando el ingenio para suplantar lo que no se dispone con materiales similares. Una vez realizado podría encararse la construcción con materiales de mucha mayor calidad, con su correspondiente inversión ya teniendo la base actual en funcionamiento y probada.

La programación del microcontrolador sufre modificaciones casi constantemente, es un proceso de prueba y error hasta que el proceso funciona perfectamente. Es conveniente tener la posibilidad de extraerlo de la placa principal para su reprogramación, en el caso de no contar con los pines necesarios in situ. El uso de zócalos es una gran solución hasta que se llega al fin deseado ya que no afecta el funcionamiento en lo absoluto. La programación de nuevas recetas también lo exige, debido a que poseen diferentes temperaturas, tiempos, recirculados, enfriados, etc.

Los sensores disponibles en el mercado para uso al por menor son muy escasos, por lo que se deben fabricar prácticamente desde cero. Al ser un proyecto no estandarizado las medidas varían y deben adaptarse todos los componentes. Los ruidos e interferencias afectan las mediciones, sobre todo en sensores que están alejados de la placa principal (a más de 1,5 metros) aun usando cables mallados o protegidos.

Debe tenerse en cuenta que la estructura también sufre modificaciones y es la más difícil de desarmar, de forma que el enfoque al comienzo es crítico.

Los tiempos proyectados durante el anteproyecto parecen elevados, pero durante la ejecución se acotan al punto de trabajar contrarreloj. Para cumplirlos es necesario dedicarle horas todos los días para no llegar a cuellos de botella cuando también se necesita de terceros (materiales, proveedores, etc.).

La complejidad del proyecto final es muy grande, como lo afirma su definición. No solo depende de la electrónica en sí sino de muchos aspectos que debe tener en cuenta un profesional, como seguridad, económicos, logísticos, sanitarios, etc. Al ser un proceso que produce un alimento es importante la higiene para llegar a un producto que cumpla con aspectos mínimos de seguridad, asepsia, sanidad.

Por último, la redacción del informe también es muy trascendente. Lleva su tiempo, debe tener un lenguaje adecuado profesionalmente, orden, ser entendible para futuros usuarios y lectores, explicar todos los aspectos desarrollados así como los que influyeron y brindar la posibilidad de llegar a conclusiones y entendimientos sin ver el proyecto físico.



Como conclusión personal fue de gran agrado poder haberlo llevado a cabo porque parecía algo inalcanzable al comienzo y con el correr del tiempo increíblemente tomó forma y funcionamiento. Los años de preparación en la facultad dan sus frutos, se notan a la hora de enfrentar cada desafío con los conocimientos básicos adecuados y la posibilidad de ampliarlos de forma rápida y eficiente.

Viendo a futuro, está la posibilidad de perfeccionar este proyecto, usando otros recursos para fabricarlo a mayor nivel o adaptando plantas ya fabricadas volviéndolas automatizadas. El cimiento principal está construido, los pisos siguientes pueden modificarse con rapidez y sencillez.



---

## Bibliografía

### Información

<https://es.wikipedia.org/wiki/Cerveza>  
<https://es.wikipedia.org/wiki/LM35>  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Humulus\\_lupulus](https://es.wikipedia.org/wiki/Humulus_lupulus)  
<https://www.nextiafenix.com/producto/pic18f4550/>  
<http://www.lcvirgen.com.ar/?cont=qes&qes=qeshome>  
<http://www.cerveceroscaseros.com.ar/infolevad.htm>  
<https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-de-la-malta.html>  
<https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-del-lupulo.html>  
<https://www.cervezartesana.es/blog/post/historia-del-uso-de-las-frutas-en-la-elaboracion-de-cerveza.html>  
<http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/lupulo.htm>  
<http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/cervezaconmiel.html>  
<https://www.fabricarcerveza.es/blog/el-agua-caracteristicas-y-uso-en-la-elaboracion-de-cerveza>  
<https://www.cerveza-artesanal.co/como-usar-frutas-en-la-preparacion-de-cerveza/>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=401>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=347>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=376>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=364>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=356>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=95>  
<http://www.revistamash.com/2017/detalle.php?id=379>  
<https://www.comacitalia.es/comac/focus/ensado-de-cerveza>  
<http://www.ref-wiki.com/es/content/view/31188/28/>  
<http://www.jnaceros.com.pe/blog/principales-diferencias-aluminio-acero-inoxidable/>  
[https://cdn.datasheetspdf.com/pdf-down/P/I/C/PIC18F4550\\_MicrochipTechnology.pdf](https://cdn.datasheetspdf.com/pdf-down/P/I/C/PIC18F4550_MicrochipTechnology.pdf)

### Imágenes

<http://www.mondore.es/blog/wp-content/uploads/2014/12/que-es-la-malta-de-cerveza.jpg>  
[https://http2.mlstatic.com/malta-lupulo-levadura-para-cerveza-artesanal-D\\_NQ\\_NP\\_991621-MLA20817401906\\_072016-F.jpg](https://http2.mlstatic.com/malta-lupulo-levadura-para-cerveza-artesanal-D_NQ_NP_991621-MLA20817401906_072016-F.jpg)  
<https://worldhealthdesign.com/wp-content/uploads/2011/04/levadura-de-cerveza-beneficios-y-propiedades-cuatro-fotos.jpg>  
<https://www.cerveza-artesanal.co/wp-content/uploads/2016/06/como-usar-frutas-en-preparacion-cerveza-1200x800.jpg>  
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQSpO1UIYTb1SEjmvWJk3KE1UWmQlxLQvHK97dxkeyM95j3cNBm>  
<https://banner2.kisspng.com/20180320/xgw/kisspng-india-spice-flavor-masala-culinary-art-spices-png-photo-5ab1c9262f2ad6.7085057115216008061932.jpg>



<https://1.bp.blogspot.com/-Yqo1tFGDPBQ/V1Vgs4xxWdI/AAAAAAAAABpw/T9Cqr8fWhOkoWlCu3wn-FcDtO08q7HkNgCLcB/s1600/f1664-aroma-cerveza-miel.jpg>  
[https://www.researchgate.net/figure/Figura-15-Diferentes-tipos-de-envases-de-cerveza\\_fig8\\_304989309](https://www.researchgate.net/figure/Figura-15-Diferentes-tipos-de-envases-de-cerveza_fig8_304989309)  
[http://1.bp.blogspot.com/\\_a\\_UrogRCMdk/S8TID3sz\\_GI/AAAAAAAAACE/liif1VTCUTE/s1600/peru\\_5.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_a_UrogRCMdk/S8TID3sz_GI/AAAAAAAAACE/liif1VTCUTE/s1600/peru_5.jpg)  
<http://cervezacasa.com.mx/wp-content/uploads/2016/03/ferme2.jpg>  
<https://3btourspraga.com/wp-content/uploads/2018/02/serpent%C3%ADn-enfriamiento-300x246.jpg>  
<http://www.waltergrosso.com.ar/wp-content/uploads/2013/01/Placa-para-leche-14-660x880.jpg>  
<https://cerveza-mut.com/nuestro-proceso>  
[https://www.cervezartesana.es/media/wysiwyg-m1/Maceracio\\_n2.jpg](https://www.cervezartesana.es/media/wysiwyg-m1/Maceracio_n2.jpg)  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Ciclo\\_Producto.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/Ciclo_Producto.png)



## Anexo I: Hojas de datos


November 2000

### LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

**General Description**

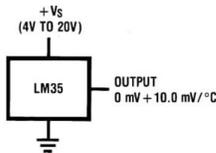
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  at room temperature and  $\pm 3/4^\circ\text{C}$  over a full  $-55$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only  $60\ \mu\text{A}$  from its supply, it has very low self-heating, less than  $0.1^\circ\text{C}$  in still air. The LM35 is rated to operate over a  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  temperature range, while the LM35C is rated for a  $-40^\circ$  to  $+110^\circ\text{C}$  range ( $-10^\circ$  with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

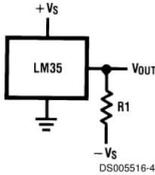
**Features**

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full  $-55^\circ$  to  $+150^\circ\text{C}$  range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than  $60\ \mu\text{A}$  current drain
- Low self-heating,  $0.08^\circ\text{C}$  in still air
- Nonlinearity only  $\pm 1/4^\circ\text{C}$  typical
- Low impedance output,  $0.1\ \Omega$  for 1 mA load

**Typical Applications**



DS005516-3



DS005516-4

Choose  $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$   
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$  at  $+150^\circ\text{C}$   
 $= +250\ \text{mV}$  at  $+25^\circ\text{C}$   
 $= -550\ \text{mV}$  at  $-55^\circ\text{C}$

**FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)**

**FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor**

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors



LM35

### Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: $T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

### Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$		$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1.0$	°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	$\pm 0.3$			$\pm 0.3$			°C
	$T_A = T_{MAX}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		°C
	$T_A = T_{MIN}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$		$\pm 1.5$	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$\pm 0.18$		$\pm 0.35$	$\pm 0.15$		$\pm 0.3$	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b>+10.0</b>	<b>+9.9,</b> <b>+10.1</b>		<b>+10.0</b>		<b>+9.9,</b> <b>+10.1</b>	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		$\pm 0.4$	$\pm 1.0$		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	<b><math>\pm 0.5</math></b>		<b><math>\pm 3.0</math></b>	<b><math>\pm 0.5</math></b>		<b><math>\pm 3.0</math></b>	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		$\pm 0.01$	$\pm 0.05$		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b><math>\pm 0.02</math></b>		<b><math>\pm 0.1</math></b>	<b><math>\pm 0.02</math></b>		<b><math>\pm 0.1</math></b>	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	<b>105</b>		<b>131</b>	<b>91</b>		<b>114</b>	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	<b>105.5</b>		<b>133</b>	<b>91.5</b>		<b>116</b>	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	<b>0.5</b>		<b>2.0</b>	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		<b>+0.39</b>		<b>+0.5</b>	<b>+0.39</b>		<b>+0.5</b>	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$ , for 1000 hours	$\pm 0.08$			$\pm 0.08$			°C



LM35

Electrical Characteristics								
(Notes 1, 6)								
Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±1.0		±0.4	±1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	±0.5			±0.5		±1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	±0.8	±1.5		±0.8		±1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	±0.8		±1.5	±0.8		±2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				±0.6	±1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				±0.9		±2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				±0.9		±2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>±0.3</b>		<b>±0.5</b>	<b>±0.2</b>		<b>±0.5</b>	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>+10.0</b>	<b>+9.8, +10.2</b>		<b>+10.0</b>		<b>+9.8, +10.2</b>	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.4	±2.0		±0.4	±2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	<b>±0.5</b>		<b>±5.0</b>	<b>±0.5</b>		<b>±5.0</b>	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	±0.01	±0.1		±0.01	±0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	<b>±0.02</b>		<b>±0.2</b>	<b>±0.02</b>		<b>±0.2</b>	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		$\mu\text{A}$
	$V_S = +5\text{V}$	<b>105</b>		<b>158</b>	<b>91</b>		<b>138</b>	$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		$\mu\text{A}$
	$V_S = +30\text{V}$	<b>105.5</b>		<b>161</b>	<b>91.5</b>		<b>141</b>	$\mu\text{A}$
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		$\mu\text{A}$
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	<b>0.5</b>		<b>3.0</b>	$\mu\text{A}$
Temperature Coefficient of Quiescent Current		<b>+0.39</b>		<b>+0.7</b>	<b>+0.39</b>		<b>+0.7</b>	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$ , for 1000 hours	±0.08			±0.08			$^\circ\text{C}$

**Note 1:** Unless otherwise noted, these specifications apply:  $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$  for the LM35 and LM35A;  $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$  for the LM35C and LM35CA; and  $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$  for the LM35D.  $V_S = +5\text{Vdc}$  and  $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$ , in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from  $+2^\circ\text{C}$  to  $T_{\text{MAX}}$  in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 2:** Thermal resistance of the TO-46 package is  $400^\circ\text{C}/\text{W}$ , junction to ambient, and  $24^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is  $180^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is  $220^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is  $90^\circ\text{C}/\text{W}$  junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

**Note 3:** Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

**Note 4:** Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

**Note 5:** Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

**Note 6:** Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

**Note 7:** Accuracy is defined as the error between the output voltage and  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in  $^\circ\text{C}$ ).

**Note 8:** Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

**Note 9:** Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

**Note 10:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

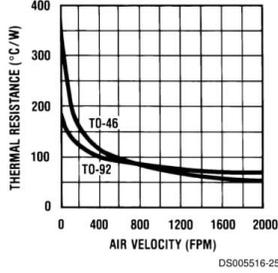
**Note 11:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

**Note 12:** See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

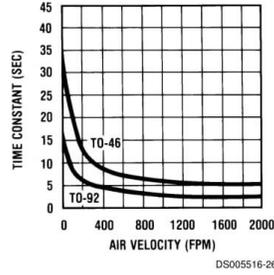


### Typical Performance Characteristics

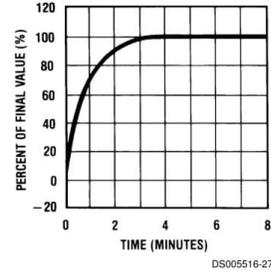
Thermal Resistance  
Junction to Air



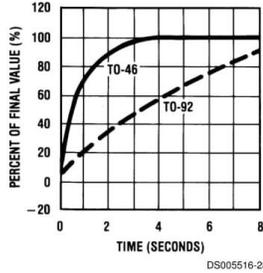
Thermal Time Constant



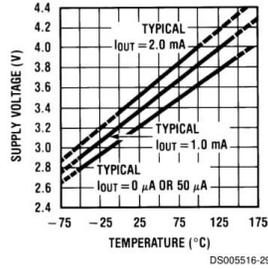
Thermal Response  
in Still Air



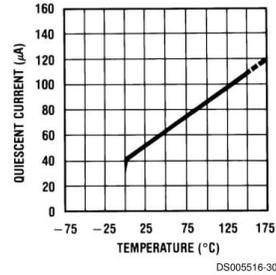
Thermal Response in  
Stirred Oil Bath



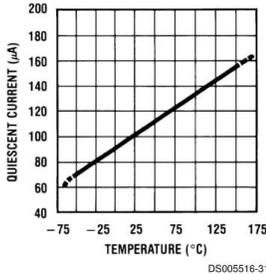
Minimum Supply  
Voltage vs. Temperature



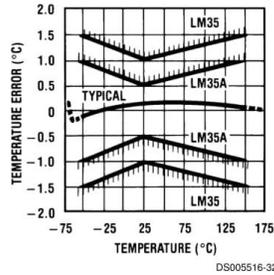
Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 1.)



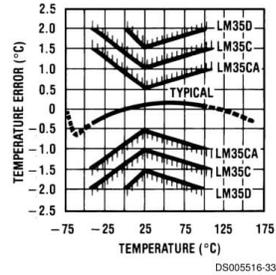
Quiescent Current  
vs. Temperature  
(In Circuit of Figure 2.)



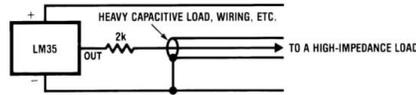
Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)



Accuracy vs. Temperature  
(Guaranteed)

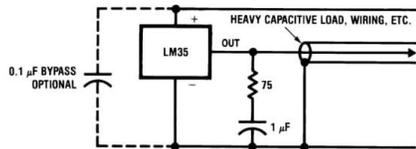


### Typical Applications



DS005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



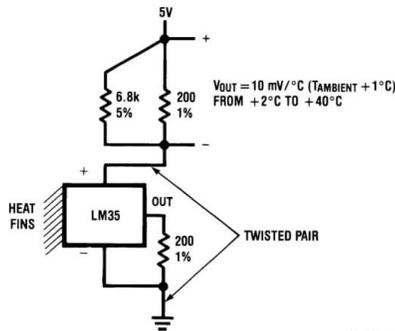
DS005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

#### CAPACITIVE LOADS

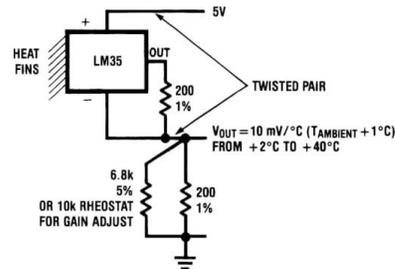
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from  $V_{IN}$  to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



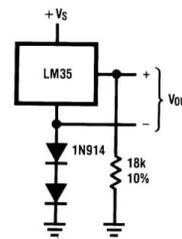
DS005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



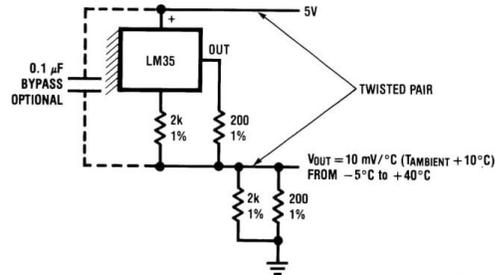
DS005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



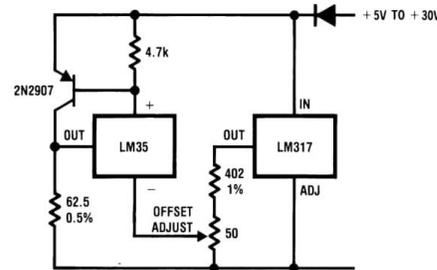
DS005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply,  $-55^{\circ}$  to  $+150^{\circ}\text{C}$



DS005516-8

FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS005516-9

FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source ( $0^{\circ}\text{C}$  to  $+100^{\circ}\text{C}$ )

LM35



# MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8  $\mu$ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1  $\mu$ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1  $\mu$ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
  - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

### Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

### Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

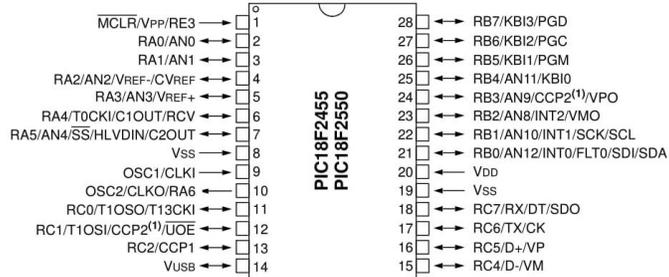
Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3



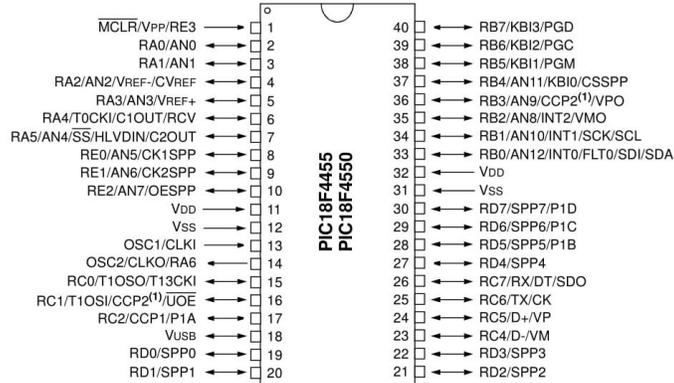
## PIC18F2455/2550/4455/4550

### Pin Diagrams

#### 28-Pin PDIP, SOIC



#### 40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.



## PIC18F2455/2550/4455/4550

**TABLE 1-1: DEVICE FEATURES**

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz			
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT			
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled			
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP