




















- **Contenido de la guía: Para iniciar la hoja hay que empezar desde del capítulo 1 en adelante debido a que son interconectado y montado consecutivamente.**
1.  Receta
 2.  Maceración
 3.  Molino y Premacerador
 4.  Paila Maceración
 5.  Cocedor adjuntos
 6.  Cuba de filtración
 7.  Precalentador de mosto
 8.  Paila cocción
 9.  Whirlpool enfriamiento
 10.  Agua

Funciones de la Guía:

Hacer clic en la tecla enter: Proceder con la presentación

-  Ir a la siguiente página
-  Ir a la página anterior
-  Ir al contenido de la guía
-  Ir al inicio del capítulo

Funciones de las celdas según su color

-  Celda donde el usuario ingresa un valor
-  Celda que emite automáticamente un valor (o resultado de cálculo)
-  Celda donde se escoge entre varias posibilidades preestablecidas

1. Receta:

En las próximas páginas de esta herramienta de cálculo se deben ir llenando las casillas en el orden solicitado, ya que el cálculo de los parámetros abajo depende del ingreso de condiciones o parámetros previamente dados.

El primer capítulo trata sobre la maceración, con los parámetros iniciales para los cálculos.

Cantidad de mosto	
Mosto caliente	100 hl
Mosto frío	96 hl
Concentración de mosto final	14,0 °P
Peso específico (20/4)	1,0549 g/cm ³
Concentración de mosto inicio fermentación	14,8 GV% = Peso/ Volumen

En este caso se desean producir 100 hL de mosto caliente, dato que debe ser introducido en el campo “Mosto caliente”. Se calculará automáticamente la cantidad de mosto frío correspondiente a los 100 hL de mosto caliente (96 hL).

El segundo valor que debe ser indicado es la concentración de mosto deseada, en este ejemplo 14 grados Plato (°P). A partir de este valor serán calculados el peso específico (1,0549 g/cm³) así como la concentración de mosto frío al inicio de la fermentación en peso/volumen (14,8%).



Composición del extracto		
	%del extracto total	Extracto [kg]
Malta		
Malta de cebada	70	992
Malta de trigo	0	-
Malta de centeno	0	-
Malta de sorgo o borona	0	-
Cereales		
Arroz	30	425
Arroz quebrantado	0	-
Maíz	0	-
Almidón de Arroz	0	-
Trigo	0	-
Sorgo o Borona	0	-
Azúcar		
Azúcar líquido	0	-
Azúcar cristalina	0	-
	Concentración	Volumen
	0,65 kg/l	- l
Corregir Composición, extracto incorrecta		
Cantidad total de extracto	100	1417,79
		Extracto correcto
Extracto total	14,77	GV% = Peso/Volumen
Peso específico (20/4)	1,05490	
Extracto real	14,00	°P

Posibles afirmaciones

En la tabla anterior se especifica la composición deseada del extracto de mosto: en este caso se desea elaborar un mosto con 70% extracto de cebada malteada y 30% extracto de arroz.

Si se desea emplear azúcar en la formulación se puede determinar la cantidad de azúcar líquida o azúcar diluida necesaria introduciendo el valor de concentración de dicha solución de azúcar. Para el ejemplo la concentración es de 0,65 kg/l oder 65 ° Brix.

Posteriormente se comprobará si la composición del extracto resulta en 100% de la receta. En caso tal que la suma de la composición sea 100% aparecerá el mensaje „Extracto correcto“, en caso contrario aparecerá „Corregir composición, extracto incorrecto“ y se debe corregir la composición para que la sumatoria total sea 100%.

La herramienta también calculará la cantidad de extracto en peso (kg) que se obtendría con la receta planificada.

En las últimas tres celdas se calculará de forma automática la concentración de extracto en Peso/Volumen del mosto (aquí 14,77), el peso específico real (1,05490) y el extracto real en °Plato, el cual debería ser igual al de la receta (en este ejemplo 14°P).

Composición de cantidades de materias primas					
Diferencia entre extracto real y extracto de laboratorio		3 %			
	Extracto laboratorio	Cantidad calculado	Cantidad seleccionada	Proporción extracto total	Verificación de plausibilidad
	[%]	[kg]	[kg]	%	
Malta					
Malta de cebada	78	1.327	1.330	70	OK
Malta de trigo	80	-	0	-	OK
Malta de centeno	82	-	0	-	OK
Malta de sorgo o borona	73	-	0	-	OK
Cereales no malteados					
Arroz	81	543	540	30	OK
Arroz quebrantado	82	-	0	-	OK
Mais	77	-	0	-	OK
Almidon de Arroz	98	-	0	-	OK
Trigo	66	-	0	-	OK
Sorgo o Borona	60	-	0	-	OK
Total	-	1869	1870	-	OK
Cantidad escogido	1.870	kg			OK



En esta sección se calcula la cantidad de cada una de las materias primas necesarias para obtener el extracto definido en la sección anterior. En la columna „Extracto laboratorio“ se debe colocar el rendimiento de cada una de las materias primas que se han determinado en el laboratorio. Para la cebada malteada se utiliza en este ejemplo 78% y para arroz 81%. Asimismo se debe introducir un factor de corrección entre el rendimiento de laboratorio (ideal o teórico) y el rendimiento real (aquí 3%).

Como resultado de los rendimientos asignados a cada materia prima y el factor de corrección la herramienta calcula las cantidades de cada cereal en la columna „Cantidad calculado“. Para este ejemplo resultan 1.327 kg de cebada malteada y 543 kg de arroz. En la siguiente columna „Cantidad seleccionada“ se le permite al usuario ingresar un valor de cantidad deseada a utilizar de cada materia prima distinta a la propuesta por la herramienta. Es importante resaltar que para los cálculos siguientes son estas las cantidades que serán utilizadas (y no las cantidades calculadas por la herramienta). Asimismo la herramienta validará que la cantidad seleccionada no se diferencie de manera importante del propuesto para garantizar la composición deseada de extracto, en cuyo caso la columna de verificación de plausibilidad arrojará „OK“. En caso contrario, aparecerá „Diferencia demasiado grande“ y se deben modificar los valores introducidos.

2. Maceración:

Con base a los parámetros ingresados en el capítulo anterior “Receta” se calcularán en este capítulo los parámetros y cantidades relacionadas a la maceración.

Maceracion		
Concentracion primer Mosto	19,0 °P	Valor sugerido: Concentracion mosto final +5%
Volumen del primer Mosto para el Lauter	63 hl	
Mosto de Cereales no Malteados		
Relación de agua por 100kg de cereales en la maceración	3,8 hl/100kg	Valor sugerido: 3,8 - 4,5 hl/100kg (Mais: 3,8hl, Arroz min. 4hl)
Cantidad total de cereales no malteados	540 kg	
Cantidad parte malta para enzimas	81 kg	aprox. 15% de cantidad cereal
% Evaporacion	1,0 %	

Como punto de partida se toma la concentración de primer mosto (extracto del mosto que resulta luego del proceso de maceración). La influencia de esta concentración en la calidad del mosto es explicada en el módulo “Maceración” del curso Brew-Tech. Para este cálculo se seleccionó 19°P, partiendo de la recomendación de que el primer mosto debe ser aproximadamente 5% por encima de la concentración de mosto al final del proceso (14°P). Con base a este valor de primer mosto resulta un total de 63hL de volumen de maceración, valor que será usado para el cálculo de los parámetros de la maceración.

Debido a que se especificó en la receta un 30% de adjunto arroz para el mosto se calcula en esta sección una maceración de adjunto no malteado. Para el balance másico se debe especificar la concentración de la maceración de adjunto (en este caso 3,8hL/100kg). Recomendaciones para esta concentración pueden encontrarse a la derecha de la celda donde se especifica la concentración así como también en el curso Brew-Tech en el módulo Maceración.

La cantidad necesaria de adjuntos se tomará de la receta (capítulo 1), aquí 540 kg. Complementariamente se recomienda una cantidad de cebada malteada a agregar en la maceración de adjuntos no malteados para facilitar la pre-sacarificación del extracto (aproximadamente un 15% de la cantidad de adjunto). En caso que se utilicen enzimas exógenas (enzimas provenientes de otra fuente a la cebada malteada) se puede sustituir esta cantidad por la cantidad correspondiente de cereal no malteado.

Por último se especifica la evaporación esperada por la hervida de la maceración de adjuntos (aquí se seleccionó 1%).

Aquí serán calculados las cantidades y volúmenes con datos provenientes de la receta. Para la cantidad de cereal no-malteado (540kg) se calcularán el volumen (hL) para dicho cereal, la cantidad de agua así como la cantidad total de mezcla de maceración. Asimismo se calcula la relación de 100kg de cereal no-malteado por hL de agua y la densidad específica. Finalmente se muestran las cantidades másicas totales de la maceración de cereales no-malteados antes y después de la hervida.

De forma análoga a la maceración de cereales no-malteados se dan los mismos valores para la maceración de cebada malteada. Adicionalmente se calcula la relación de cebada malteada con respecto a la maceración total (aquí 3,88 100kg/hL).

Finalmente se calculan las cantidades másicas (kg) y los volúmenes (hL) de la maceración total.

Mosto de Cereales		
	kg	Volumen en hl
Cantidad Cereal	540	2,2
Cantidad Agua	2.011	20,5
Cantidad de mezcla de maceración	2.551	22,7
Relacion cereal/agua	4,20	100 kg/hl
Densidad de mosto	1,1248	kg/hl
	kg	Volumen en hl
Cant. Mosto Cereal total con malta antes hervir	2.632	25,8
Cant. Mosto Cereal total con malta despues hervir	2.606	25,6
Mosto de Malta		
	kg	Volumen en hl
Malta		
Cantidad malta	1.330	9,3
Agua para mosto de maceracion	4.149	42,3
Cantidad mosto total	5.479	51,6
Relacion Malta/Agua	3,18	100 kg/hl
Relacion Malta/Mosto total	3,88	100 kg/hl
Densidad de Mosto	1,0609	kg/l
Mosto total		
	kg	Volumen en hl
Malta y cereales	1.870	11,5
Agua cervecera	6.159	62,9
Mosto total	8.029	74,3
Relacion Malta y cereales / Volumen total	4,0	100 kg/hl
Densidad del mosto	1,0804	kg/l

En este punto falta tomar en consideración el volumen de agua necesario para el empuje de la mezcla desde el macerador a la cuba de filtración. Esta cantidad depende del diámetro de la tubería de salida del macerador hacia la cuba, en nuestro ejemplo 200 mm (DN200), y de la longitud de la misma (15 m). Es recomendable utilizar un volumen adicional de seguridad para garantizar un eficiente empuje de la tubería (aquí 3hL). La cantidad total de agua de empuje resulta en 7,71 hL, valor que será incluido en los consiguientes cálculos.

Calculo agua de empuje Macerador hacia Lauter	
Diametro tuberia de mosto DN	200,0 mm
Longitud	15,0 m
+ Seguridad	3,0 hl
Cantidad de agua de empuje requerida	7,71 hl

De la receta y de los parámetros de diseño de la maceración se calculan las cantidades de los fluidos para la filtración de mosto y el cocimiento. Dependiendo de el rendimiento deseado de primer mosto (aquí 40%, en la derecha se dan valores de referencia) se calcula la cantidad volumétrica de primer mosto.

De la tasa de evaporación en la paila de hervir (aquí 6% y es dependiente del diseño de la paila de hervir) y de la duración de la hervida se calcula la cantidad de agua a evaporar (7 hL) y con la cantidad de mosto a enfriar se calcula la cantidad de mosto en la paila llena (107 hL).

Separacion por lauter / cocimiento		
Rendimiento de primer mosto	40,0 %	aprox. 16% conc.primer mosto--->48-52%; aprox. 22% primer mosto--->40%
Volumen de primer mosto	37,32 hl	
Tasa de evaporación horaria	6,0 %/h	
Duracion de la hervida	70 min	
Evaporacion total hl	7,0 hl	
Evaporacion total %	7,00 %	
Volumen de paila llena	107 hl	Receta 103 hl
Concentracion de mosto paila llena	13,80 GV%	GG% 13,08 %
Agua en bagazo/nepe	18 hl	
Volumen de paila llena a 12.5 ° plato	122 hl	GG% 1,0510 kg/l
Agua en bagazo/nepe	15 hl	
Cantidad total de agua	130 hl	
Volumen de agua de riego	68 hl	

A partir de los datos proporcionados en la receta y del volumen de paila llena (antes de hervir) se calcula la concentración de paila llena: 13,8 °P. Como valor de referencia se calcula el volumen de paila llena (=122 hL) si el extracto de paila llena es de 12,5°P así como la cantidad promedio de agua (=15 hL) que queda en el nepe o bagazo también con un mosto de 12,5°P. Finalmente se calcula la cantidad total de agua necesaria para llevar a cabo este cocimiento (=130 hl) y la cantidad de agua para llevar a cabo los riegos en la filtración (=68 hl).

A continuación se calcularán las cantidades y velocidades de flujo de cada uno de los componentes de la maceración.

En la primera parte se calcula la cantidad de cebada malteada necesaria para la acción enzimática en la maceración de cereal no-malteado. El valor de partida de relación agua/malta es el indicado anteriormente de 3,8 hL/100kg. Luego de diseñar el molino en la sección 3 “Molino y Premacerador” se da un tiempo de molienda de esta cantidad de cereales de 1,6 min. De la misma forma a partir de esta relación se obtiene el volumen de premaceración (=3,1 hL)

Los valores siguientes son válidos tanto para molienda húmeda como acondicionada, mas no para una molienda seca. En “agua para remojar” se requiere un volumen de 0,5 hL partiendo de un valor promedio de remojo de 0,65 hL/100kg, que en un tiempo total de molienda de 1,6 min representa un flujo de agua de 20 hL/h. El agua de enjuague es un valor práctico o puede ser estimado de tal forma que en la siguiente celda el “agua adicional para mosto” sea 0 hL. En este ejemplo se especifican 2 hL de agua de enjuague del molino quedando 0,6 hL adicionales que deben ser agregados directamente a la premaceración.

Volumen del Cocedor de Cereales			
Parte del mosto con malta			
Relacion hl de agua por 100 kg de malta	3,8	hl/100 kg	
Tiempo para moler la malta segun molino seleccionado	1,6	min	
Volumen de mosto de malta	3,1	hl	
Agua para remojar (0,65hl/dt)	0,5	hl	
Caudal del agua para remojar	20	hl/h	
Agua de enjuague del molino->Cocedor Cereales	2	hl	
Agua adicional para el mosto	0,6	hl	
Caudal del agua para mosto	16	hl/h	
Parte de mosto de cereales			
Relacion hl de agua por 100 kg de cereales	3,8	hl/dt	(preseleccionado en: Agua para primer mosto)
Volumen de agua para cereales	20,5	hl	
Agua de enjuague molino->Cocedor Cereales	1,0	hl (medido)	Para arrastrar residuos
Agua de enjuague Cocedor Cereales->Paila de maceracion	1,0	hl (medido)	Para arrastrar residuos molino a cecedor
Agua para mosto de cereal restante a agregar	18,5	hl	
Caudal agua para cocedor de cereal	69	hl/h	2,0 t/h capacidad molino de cereales
Tiempo para mezclar mosto cereal	16,2	min	
Volumen total cocedor de cereales	23,3	hl	
Volumen total cocedor de cereales inclusive agua de empuje	24,3	hl	
Ratio Cereales	1: 3,76		

En la segunda sección se trabajará con la parte de cereales no malteados.

De la misma forma se toma la relación agua:cereales de lo indicado en secciones anteriores obteniéndose una cantidad de agua total de de 20,5 hL. En caso tal que se trate de una molienda húmeda se dará en esta sección una cantidad de agua de enjuague desde el molino al cocedor de adjuntos (en una molienda seca es este volumen igual a cero). De forma similar se debe ingresar la cantidad de agua necesaria para vaciar el cocedor de adjuntos hacia la maceración (aquí 1 hL) y el agua para empujar el material que queda en la tubería.

Luego de introducir el flujo de trabajo del molino de adjuntos (=2 t/h) se calcula el tiempo de bajada del material hacia el cocedor (aquí 16,2 min) y el flujo de agua al cocedor de adjuntos (aquí 69 hL/h).

Finalmente se muestra el volumen total en el cocedor de adjuntos (aquí 23,3 hL) asi como el el volumen total de mezcla de adjuntos más el agua de enjuague del cocedor que será bombeado al macerador (aquí 24,3 hL). La relación de agua:adjuntos se recalcula para tomar en cuenta este volumen de enjuague. Para no variar esta relación de forma significativa se recomienda que el agua de enjuague y empuje sean pequeñas.

En la presente sección se calcularán los valores para la maceración de cebada.

La cantidad de cebada malteada es tomada del capítulo Receta (aquí 1249 kg). Se debe especificar la relación de agua:malta en hL:kg (aquí 4,00). El efecto de esta relación en la composición del mosto y la calidad de la cerveza son aclarados en el módulo “Maceración” del curso Brew-Tech. Un valor lógico y real de esta relación es de gran importancia e impacto para los cálculos consiguientes.

Con base en la concentración y la cantidad de malta se obtiene la cantidad de agua cervecera necesaria para la maceración de 50hL. Para una caudal del molino de 3 t/h (este valor se obtiene del molino escogido en la sección “Cuba de filtración”) se obtiene un tiempo total de molienda de 25 min. En el caso de una molienda húmeda se debe indicar la cantidad de agua por kg de malta (aquí el mínimo de aproximadamente 0,65 hl/100 kg), para una molienda seca es este valor igual a 0.

Dependiendo de la concentración indicada se calcula el volumen de agua cervecera (aquí 8,1 hl) así como el caudal (aquí 18,9 hl/h) necesario para mezclar la cantidad total de cebada malteada en el tiempo de molienda.

De forma similar se debe indicar la cantidad de agua para el enjuague del molino de tal forma de vaciar el material completamente (aquí 1 hl), valor que para una molienda seca es de 0 hL. También debe indicarse la cantidad de agua de empuje de la maceración a la cuba de filtración. Ambos valores deben ser pequeños para lograr que la concentración de la maceración sea lo más cercana al valor deseado.

Se toma en cuenta la cantidad de agua necesaria para cubrir el fondo de la cuba de filtración hasta 4 cm (es te valor se toma de la sección “cuba de filtración”) resultando aquí 4 hL.

Finalmente se calcula la cantidad de agua cervecera necesaria para la mezcla de la malta. En el caso de una molienda seca esta agua corresponde al agua de bajada de la malta a la maceración (en este ejemplo resultan 36,1 hL con un caudal de 84 hL/h para una baja de 25 min).

En los dos últimos renglones se muestra el volumen total de la maceración (53,9 hl) así como la concentración final de la misma (aquí 3,62 hl/100 kg).

Paila de Maceracion de Malta (segun receta y sin mosto de cereales)			
Cantidad Malta	1.249	kg	
Relación: ltr agua / kg Malta	4,00	hl/dt	
Volumen de Agua	50	hl	
Capacidad de molino	3	t/h	
Tiempo para moler	25,0	min	
Relación: ltr agua para remojar / kg Malta	0,65	hl/dt	Minimo 0,65 en Molino humedo
Volumen de Agua para remojar	8,1	hl	
Caudal de agua requerido para remojar	18,9	hl/h	
Agua de empuje molino->paila de maceracion	1,0	hl	
Agua de empuje paila de maceracion-> filtro	1,0	hl	
Volumen de agua para cubrir filtro hasta aprox. 4 cm	4	hl	
Agua para maceracion real	36,1	hl	
Caudal de agua para maceracion	84,0	hl/h	
Volumen del mosto total en Paila de maceracion	53,9	hl	
Ratio MB	1: 3,62	hl/dt	

3. Molino y Premacerador:

En este capítulo se diseña y dimensiona el molino de malta y el mezclador.

El molino seleccionado para este ejemplo es el molino húmedo. El dato inicial necesario es la cantidad de malta de la receta (aquí 1.330 kg). De esta cantidad de malta y el tiempo deseado/requerido para la molienda (aquí 18 min) se obtiene un caudal calculado de 4,4 ton/h.

Para diseñar el molino se toman 4 capacidades diferentes identificadas como “tipo de molino” en orden ascendente dependiendo el rendimiento en ton/h. En la casilla verde se puede elegir el tipo de molino según la capacidad deseada. El más cercano a lo requerido es el molino tipo 3 que consta de 3 t/h de capacidad de trabajo. Para este molino se mostrarán automáticamente los datos de sus dimensiones físicas, potencia eléctrica del molino y la bomba, el caudal de agua cervecera necesario.

Finalmente se propone el tamaño del buffer o tolva de malta previo al molino de malta (aquí 29 hL).

Molino		
Datos basicos		
Cantidad de malta (segun receta)	1.330 kg	
Tiempo de molienda	18 min	max.20 minutos en caso de 10 cocimientos/dia
Molina humedo (sumerge en agua) datos tipicos		
Capacidad requerida segun datos basicos	4,4 t/h	
Tipo escogido (colocar Nr. del tipo de molino)	3	
Rendimiento real	3 t/h	
Sumerger malta molida en agua en molino humedo de dimensiones caracteristicas aprox.		
Ancho	600 mm	
Altura	950 mm	
Profundidad	420 mm	
Largo del rodillo del molino	600 mm	
Diámetro del rodillo del molino	238 mm	
Potencia del motor	8 kW	
Revoluciones del motor	1.450 1/min	
Caudal de la bomba del mosto	15 m ³ /h	
Altura de empuje de la bomba	8 m	
Diámetro de la tubería	80	
Potencia eléctrica de la bomba	4 kW	
Revoluciones del motor	1.450 1/min	
Tolva de malta antes del molino		
Volumen total	29 hl	

Tipo molino	Capacidad [t/h]
3	3
8	8
16	16
20	20

Diseño del mezclador o premacerador:

Como valores iniciales se toman la cantidad de malta y de adjuntos fijados en la sección “Receta” (1.330 kg de malta y 540 kg de arroz). Para el cálculo es necesario conocer la temperatura del agua fría y caliente disponibles para la maceración (en la cervecería del ejemplo se dispone de agua caliente a 80°C y agua fresca a 15°C). En la parte derecha de la tabla se muestran recomendaciones de la duración de la bajada de la mezcla dependiendo de la cantidad de cocimientos por día que se desean elaborar en la cervecería. En este ejemplo se seleccionaron 15 min. Debido a que la molienda de los adjuntos (arroz) es menos crítico en términos de tiempo se eligió 25 min para esyete proceso. Luego es necesario ingresar la temperatura de mezcla deseada: 49°C y 50°C.

De estos datos se calcula el caudal del mezclador, el diámetro de la tubería así como el espesor posible del mezclador.

La cantidad de agua de mezcla para la maceración de malta y adjuntos se toma del capítulo “Maceración” (aquí 42 hL y 21 hL respectivamente).

Premacerador			
Datos basicos		Cocimientos/día	Tiempo de mashing in [min]
Cantidad de malta (segun receta)	1.330 kg	4	15
Cantidad de cereales (segun receta)	540 kg	6	12
Temperatura agua cervecera fria	15 °C	8	10
temperatura agua cervecera caliente	80 °C	10	8
		12	6 hasta 8
	Malta	Cereales	
Tiempo de mashing in escochido	15 min	25 min	
Temperatura de mashing in escochido	49 °C	50 °C	
Capacidad del premacerador	5,32 to/h	1,30 to/h	
Diametro del tubo premacerador	150 mm	150 mm	
Valido para volúmenes desde Hasta	0-2500 kg	0-2500 kg	
Cantidad de agua de mezcla	42 hl	21 hl	

Con los datos que han sido introducidos en todas las secciones anteriores se pueden ahora realizar los cálculos de los consumos de agua del del mezclador.

Primero se diseña la tubería de alimentación del mezclador. Para ello se debe fijar una velocidad de flujo, en este ejemplo 2 m/s (se recomienda escoger una velocidad entre 1,5 y 2,5 m/s). De las cantidades y tiempos ya previamente conocidos se calcula el diámetro de la tubería al cual se le asigna un diámetro predeterminado según la norma DIN (aquí DN 50 y DN 32). Para ambos diámetros propuestos se recalcula la velocidad lineal de flujo de manera informativa.

Ahora se calcula la cantidad de agua fresca y caliente así como la potencia de la bomba para lograr la mezcla en el el tiempo estipulado anteriormente. Con estos datos se podrán calcular las tuberías de agua caliente y fresca hacia el mezclador. Para dimensionar la tubería de agua caliente se debe especificar una velocidad lineal de flujo (aquí 2m/s) de la cual se calculará el diámetro y similar al caso anterior se escogerían dos diámetros cercanos según la norma DIN de los cuales se debe escoger el que más satisfaga las expectativas del cliente (aquí DN 40 y DN 25). De la misma forma se calcula la velocidad de flujo lineal para cada diámetro..

Este procedimiento se repite de forma análoga para el cálculo de la tubería de agua fría, para la cual se recomienda escoger una velocidad lineal de flujo tendiendo a la alta.

Finalmente se calculan los diámetros de las conexiones para el mezclador de malta y adjuntos. Al final se muestra un resumen de todos los diámetros escogidos para el dimensionamiento.

Valvula reguladora de aguas			
Diametro valvula agua caliente	32	mm	25
Diametro valvula agua fria	32	mm	25
Resumen diametros de tuberías premacerador			
	Malta		Cereales
Diametro de la tubería al premacerador	150	mm	150
Tubería principal al premacerador	50	mm	32
Tubería de agua caliente	40	mm	25
Tubería de agua fria	32	mm	25
Diametro de valvula de agua caliente	32	mm	25
Diametro de valvula de agua fria	32	mm	25

Tubería principal al premacerador			
Velocidad línea de agua en la tubería seleccionada	2,0	m/s	2,0
Diametro de la tubería calculada	55	mm	30
Diametro de la tubería seleccionado	50	mm	32
Velocidad de agua real	2,40	m/s	1,70
(ideal 1.5 a 2.5)			
Cantidades de agua			
Volumen de agua caliente	22,1	hl	11,0
Volumen de agua fria	20,2	hl	9,5
Caudal de agua caliente	8,9	m³/h	2,7
Caudal de agua fria	8,1	m³/h	2,3
Tubería de agua caliente			
Velocidad de agua seleccionado	2,0	m/s	2,0
Diametro de la tubería calculada	40	mm	22
Diametro de la tubería seleccionado	40	mm	25
Velocidad de agua real	1,96	m/s	1,50
Tubería agua fria			
Velocidad de agua seleccionado	3,0	m/s	3,0
Diametro de la tubería calculada	31	mm	16
Diametro de la tubería seleccionado	32	mm	25
Velocidad de agua real	2,8	m/s	1,3

4. Paila de maceración:

En este capítulo se dimensiona y diseña la paila de maceración.

El valor inicial para el dimensionamiento de la paila de maceración es el volumen de la maceración de los cereales calculado ya en la sección de “Maceración” (74 hL). De este valor calculado se le suma un factor de seguridad de 15% lo que resulta en 85 hL. De forma automática se busca a partir de estos datos en una tabla de referencia una paila que cumpla con los requerimientos mostrándose el diámetro, el volumen total del equipo así como el volumen del fondo de la paila y la parte cilíndrica.

Luego debe indicarse el diámetro seleccionado que tendrá la paila de maceración (aquí 2500 mm). De esta escogencia se puede entonces calcular la relación de diámetro a altura de la paila (aquí 1:1,7).

Paila de Maceración	
Dimensiones	
Mosto total	74 hL
Volumen de la Paila de Maceración	85 hL
Diámetro de Paila de Maceración referencial	2500 mm
Volumen de Paila de Maceración referencial	95,6 hL
Volumen del Fondo de Paila de Maceración referencial	7,2 hL
Factor de seguridad Volumen	1,29
Diámetro seleccionado	2500 mm
Relación Diámetro/Altura de paila de maceración	1,7

Para el cálculo de las zonas de intercambio de calor se requiere conocer la rata o tasa de calentamiento deseada, la cual se encuentra normalmente entre 0,5 (para pailas antiguas) hasta 1,8°C/min (pailas modernas). En este ejemplo se escogió 1,5 °C/min. Adicionalmente se debe especificar un valor de la constante de transferencia de calor K que ronda entre 1000 a 1500 y en Pailas modernas puede alcanzar valores de 2000 kcal/m²K. Para este ejemplo se ha seleccionado un valor de K de 1300. Con estos datos se obtiene un requerimiento de 1512 W/m²K.

Se debe conocer la presión de vapor disponible para e calentamiento (suponiendo que se dispone de vapor saturado). Es posible elegir entre valores de 3, 4, 5 ó 6 bar de presión del vapor saturado. Al indicar una presión de vapor se muestra debajo la temperatura correspondiente a la que se encuentra el vapor saturado.

Es necesario indicar la temperatura inicial (50°C) y final (78°C) del proceso de maceración. De estos valores es posible conocer el consumo de energía necesario para el calentamiento (aquí 778 kW).

Al conocer la energía requerida es posible calcular la superficie de calentamiento: aquí 7,40 m². Consultando una tabla de referencia se recomienda una repartición de de esta área total en una zona en el cilindro (3,85m²) y en el fondo (3,55m²).

Posteriormente se muestra con cuántos anillos de calentamiento se lograría el área de calentamiento requerida (cada anillo de calentamiento es de 13 cm).

Es necesario indicar, con base en el cálculo de anillos, la cantidad real de anillos que se instalarían en el equipo. En caso de que la paila no cuente con anillos sino con un plato de calentamiento tipo “dimples” de debe escoger la cantidad de dimples para garantizar el área total necesaria.

Ahora se calcula la cantidad efectiva de mezcla en la maceración de la receta en la parte cilíndrica (aquí 67,11 hL) así como la altura de llenado de la maceración en la misma zona cilíndrica (1,37 m).

Finalmente se muestra la altura de la maceración que está por encima de la última zona superior de calentamiento (aquí 85 cm).

En el caso que no se cuente con una zona de calentamiento inferior se debe tener toda el área de calentamiento en la parte cilíndrica de la paila. En el caso que esto no se pueda llevar a cabo en esta receta aparecerá un mensaje de “no factible”. Aquí debe entonces disminuirse la tasa de calentamiento o cambiar la receta.

Superficies de calentamiento	
Velocidad de calentamiento	1,5 °C/min
Valor K	1300 kcal/m ² K Referencial: 1000 a 1500
	1512 W/m ² K
Presión de vapor	3 bar a escocher: 3, 4, 5, 6 bar
Temperatura del vapor	133,55 °C
Temperatura Inicial Maceración	50 °C
Temperatura final Maceración	78 °C
Energía requerida	778 kW
Superficie de calentamiento requerida	7,40 m ²
Superficie de calentamiento del fondo referencial	3,55 m ²
Superficie de calentamiento del cilindro requerido	3,85 m ²
Cantidad anillos de calentamiento	3,8 (1 anillo corresponde 13 cm altura)
Cantidad de anillos de calentamiento seleccionados	4
Superficie de calentamiento del cilindro resultado	4,08 m ²
Altura de superficie calentamiento resultado	0,52 m
Superficie de calentamiento total resultado	7,63 m ²
Volumen del cilindro	67,11 hl
Altura del cilindro requerido	1,37 m
Altura de mosto sobre nivel calentamiento	0,85 m

Ahora se diseña la conexión entre la maceración y la cuba de filtración. Para ello se debe fijar el tiempo de vaciado de la maceración que debe ir en concordancia con el plan de cocimientos. Aquí se seleccionó 10 min, que en conjunto con la cantidad total de mezcla resulta en 45m³/h de caudal de descarga de la maceración.

El próximo valor a ingresar es la velocidad en la succión de la bomba, la cual no debería superar 1,5 m/s (en el presente ejemplo se seleccionó 1,2 m/s). Con la velocidad es posible calcular el diámetro de la tubería de succión de la bomba que resulta en 115 mm. El próximo diámetro disponible según la norma es el DN 125 y es el seleccionado. Con este diámetro estándar se recalcula la velocidad lineal de succión arrojando 1,01 m/s.

Se diseñan también las conexiones de vapor y condensado a la paila de maceración. De la energía total necesaria para el calentamiento (778 kW) se calcula la energía de vapor necesaria que resulta en 845 kW. De este valor de energía de vapor y tomando en cuenta la presión de vapor seleccionada anteriormente se calcula el flujo másico de vapor necesario (aquí 1.407 kg/h) que se corresponde con un flujo volumétrico de 851 m³/h.

Para estas cantidades de vapor se recomienda una válvula reguladora de vapor de diámetro de 65 mm para lograr la reducción de la presión de vapor proveniente de la caldera a la requerida en la paila de maceración.

Para la tubería de vapor hacia la paila se debe escoger una velocidad lineal de flujo del vapor (valores de referencia se encuentran en el curso de Brew Tech en la “Herramienta básica”). Para la velocidad escogida de 30 m/s se obtiene un diámetro de tubería de 100 mm, que corresponde a un valor nominal DN 100. Se calcula nuevamente la velocidad lineal de flujo con el diámetro nominal seleccionado. De forma análoga se diseña la tubería de condensado. En este caso se debe seleccionar una velocidad lineal de flujo para un fluido en estado líquido (en este caso 1 m/s). Para esta velocidad se obtiene un diámetro de la tubería de 22 mm. Se escoge el diámetro nominal más cercano, en este caso DN 25 al cual le corresponde una velocidad lineal de flujo de 0,8 m/s.

Finalmente se recomiendan la cantidad de separadores de condensado: aquí dos separadores con un diámetro de 40 mm así como un volumen del tanque de condensado de 9 L.

Transferencia del mosto al Lauter			
Duración de la transferencia	10	min	
Velocidad de la transferencia	45	m ³ /h	
Velocidad de succión de bomba seleccionada	1,2	m/s	(no mayor que 1,5 m/sec)
Diámetro de tubería requerido	115	mm	
Diámetro de tubería seleccionado	125	mm	
Velocidad de succión de mosto real	1,01	m/s	
Conexiones de vapor a la paila de maceración			
Energía requerida	778	kW	= 668.896 kcal/h
Consumo calórico de vapor	845	kW	= 727.060 kcal/h
Caudal de masa de vapor	1407	kg/h	
Flujo de volumen d vapor	851	m ³ /h	
Diámetro de válvula reguladora	65	mm	
Velocidad flujo vapor seleccionado	30	m/s	
Diámetro tubería vapor requerido	100	mm	
Diámetro tubería vapor seleccionado	100	mm	
Velocidad flujo vapor real	30,1	m/s	
Velocidad flujo condensado seleccionado	1	m/s	
Diámetro tubería condensado requerido	22	mm	
Diámetro tubería condensado seleccionado	25	mm	
Velocidad flujo condensado real	0,80	m/s	
Cantidad de separadores de condensado	2 x DN 40		
Volumen receptor de condensado	9	L	

En la última sección se diseñan y se comprueban las tuberías y la bomba de la maceración hacia la cuba de filtración.

Se toman inicialmente la duración del vaciado de la maceración especificada en secciones anteriores (10 min) y el caudal de vaciado (45 m³/h). Se debe introducir el caudal real de la bomba, en este caso 55 m³/h.

La velocidad lineal calculada para la maceración es de 1,01 m/s, para lo que se necesitaría una tubería de 139 mm. Sin embargo, el diámetro disponible es de DN 125 para lo que la velocidad lineal de flujo aumenta a 1,24 m/s. Debido a que este valor se mantiene por debajo del máximo recomendado de 1,5 m/s aparece un mensaje de “Bomba OK”.

Para el lado de descarga de la bomba se especificó una velocidad de 2,3 m/s, requiriéndose un diámetro de tubería de 92 mm. El diámetro nominal más cercano es el DN 80 para el cual se obtiene una velocidad lineal de flujo de 3,04 m/s. Como este valor está por encima del máximo recomendado de 3,0 m/s aparece el mensaje de “revisar Bomba”. Para reducir la velocidad de flujo por debajo de 3 m/s se debe reducir el caudal de la bomba seleccionado o se debe aumentar el diámetro de la tubería de salida de la bomba.

Bomba de mosto		
Duración de transferencia de mosto	10 min	
Capacidad de la bomba de mosto calculada	45 m ³ /h	
Capacidad de la bomba de mosto seleccionado	55 m ³ /h	
Velocidad de succión de mosto	1,01 m/s	maximo 1,5 m/sec
Diámetro de tubería requerido	139 mm	
Diámetro de tubería seleccionado	125 mm	
Velocidad de succión real	1,24 m/s	bomba OK
Velocidad de descarga de la bomba	2,3 m/s	maximo 3,0 m/sec
Diámetro de tubería requerido	92 mm	
Diámetro de la tubería seleccionado	80 mm	
Velocidad de descarga de la bomba real	3,04 m/s	revisar bomba!

5. Cocedor adjuntos:

En este capítulo se diseña y dimensiona el cocedor de adjuntos

Este diseño se desarrolla de forma análoga al cálculo de la paila de maceración.

Inicialmente se debe especificar si se trata de una hervida bajo presión (necesaria en instalaciones ubicadas a gran altura sobre el nivel del mar donde la presión atmosférica no permite una temperatura de hervida suficiente por encima de los 95°C) o a presión atmosférica. Esta selección permitirá definir si el fondo de la paila será cónico o toroidal.

El valor de entrada para el dimensionamiento del cocedor de adjuntos es el volumen de la maceración de los adjuntos calculado similar al de la maceración de malta (aquí 26 hL). A este valor calculado se le adiciona un 50% de factor de seguridad obteniéndose un volumen final de 38 hL. A partir de este volumen se consulta una tabla referencial y automáticamente se selecciona una paila que cumpla con este volumen mostrando las especificaciones del equipo: diámetro, volumen total, volumen del fondo y volumen del cilindro.

Con los datos referenciales es posible entonces seleccionar un diámetro del equipo (aquí 2000 mm) y es posible calcular la relación diámetro:altura de líquido (aquí 1:2,5).

Cocedor de adjuntos	
Coccion a presion	<i>no</i> indicar "si" o "no"
Dimensiones	
Volumen de mosto de cereales (con malta)	26 hl
Volumen total calculado del cocedor	38 hl
Diámetro del cocedor segun tabla	2000 mm
Volumen del cocedor segun tabla	48,9 hl
Volumen del fondo del cocedor segun tabla	3,7 hl
Factor de seguridad	191%
Diámetro del cocedor seleccionado	2000 mm
Relacion diámetro/altura de líquido	2,5

Para el cálculo de las zonas de intercambio de calor se requiere conocer la rata o tasa de calentamiento deseada, la cual se encuentra normalmente entre 0,5 (para pailas antiguas) hasta 1,8°C/min (pailas modernas). En este ejemplo se escogió 1,0 °C/min. Adicionalmente se debe especificar un valor de la constante de transferencia de calor K que ronda entre 1000 a 1500 y en Pailas modernas puede alcanzar valores de 2000 kcal/m²K. Para este ejemplo se ha seleccionado un valor de K de 1250. Con estos datos se obtiene un requerimiento de 1.453 W/m²K.

Se debe conocer la presión de vapor disponible para el calentamiento (suponiendo que se dispone de vapor saturado). Es posible elegir entre valores de 3, 4, 5 ó 6 bar de presión del vapor saturado. Al indicar una presión de vapor se muestra debajo la temperatura correspondiente a la que se encuentra el vapor saturado. Es necesario indicar la temperatura inicial (50°C) y final del proceso de maceración (95°C). De estos valores es posible conocer el consumo de energía necesario para el calentamiento (aquí 178 kW).

Al conocer la energía requerida es posible calcular la superficie de calentamiento: aquí 2,01 m². Consultando una tabla de referencia se recomienda una repartición de esta área total en una zona en el cilindro y en el fondo.

Posteriormente se muestra con cuántos anillos de calentamiento se lograría el área de calentamiento requerida (cada anillo de calentamiento es de 13 cm).

Es necesario indicar, con base en el cálculo de anillos, la cantidad real de anillos que se instalarían en el equipo. En caso de que la paila no cuente con anillos sino con un plato de calentamiento tipo “dimples” de debe escoger la cantidad de dimples para garantizar el área total necesaria. Ahora se calcula la cantidad efectiva de mezcla en la maceración de la receta en la parte cilíndrica (aquí 21,87 hL) así como la altura de llenado de la maceración en la misma zona cilíndrica (0,70 m). Finalmente se muestra la altura de la maceración que está por encima de la última zona superior de calentamiento (aquí 0,70 m).

En el caso que no se cuente con una zona de calentamiento inferior se debe tener toda el área de calentamiento en la parte cilíndrica de la paila. En el caso que esto no se pueda llevar a cabo en esta receta aparecerá un mensaje de “no factible”. Aquí debe entonces disminuirse la tasa de calentamiento o cambiar la receta.

Superficies de calentamiento	
Velocidad de calentamiento	1 °C/min
Valor K	1250 kcal/m ² K
	1453 W/m ² K
Presion de vapor absoluto	3 bar
Temperatura del vapor	133,55 °C
Temperatura inicial del mosto de cereales	50 °C
Temperatura de ebullición	95 °C
Capacidad calórica de calentamiento	178 kW
Superficie de calentamiento requerido	2,01 m ²
Superficie de calentamiento por el fondo según tabla	2,00 m ²
Superficie de calentamiento por cilindro requerido	0,01 m ²
Cantidad de anillos de calentamiento (13 cm ancho) requerido	0,0
Cantidad de anillos de calentamiento (13 cm ancho) escogido	1
Área de calentamiento por cilindro seleccionado	0,82 m ²
Altura de calentamiento por cilindro seleccionado	0,13 m
Superficie de calentamiento seleccionado	2,82 m ²
Volumen del cilindro	21,87 hl
Altura del cilindro requerido	0,70 m
Altura de mosto sobre nivel calentamiento	0,57 m

Ahora se diseña la conexión entre la maceración de adjuntos a la maceración principal o la cuba de filtración. Para ello se debe fijar el tiempo de vaciado de la maceración que debe ir en concordancia con el plan de cocimientos. Aquí se seleccionó 10 min, que en conjunto con la cantidad total de mezcla resulta en 15m³/h de caudal de descarga de la maceración.

El próximo valor a ingresar es la velocidad en la succión de la bomba, la cual no debería superar 1,5 m/s (en el presente ejemplo se seleccionó 1,4 m/s). Con la velocidad es posible calcular el diámetro de la tubería de succión de la bomba que resulta en 62 mm. El próximo diámetro disponible según la norma es el DN 80 y es el seleccionado. Con este diámetro estándar se recalcula la velocidad lineal de succión arrojando 0,85 m/s.

Se diseñan también las conexiones de vapor y condensado a la paila de maceración. De la energía total necesaria para el calentamiento (178 kW) se calcula la energía de vapor necesaria que resulta en 194 kW. De este valor de energía de vapor y tomando en cuenta la presión de vapor seleccionada anteriormente se calcula el flujo másico de vapor necesario (aquí 323 kg/h) que se corresponde con un flujo volumétrico de 195 m³/h.

Para estas cantidades de vapor se recomienda una válvula reguladora de vapor de diámetro de 32 mm para lograr la reducción de la presión de vapor proveniente de la caldera a la requerida en la paila de maceración.

Para la tubería de vapor hacia la paila se debe escoger una velocidad lineal de flujo del vapor (valores de referencia se encuentran en el curso de Brew Tech en la “Herramienta básica”). Para la velocidad escogida de 30 m/s se obtiene un diámetro de tubería de 48 mm, que corresponde a un valor nominal DN 50. Se calcula nuevamente la velocidad lineal de flujo con el diámetro nominal seleccionado (aquí 27,6 m/s).

De forma análoga se diseña la tubería de condensado. En este caso se debe seleccionar una velocidad lineal de flujo para un fluido en estado líquido (en este caso 1 m/s). Para esta velocidad se obtiene un diámetro de la tubería de 11 mm. Se escoge el diámetro nominal más cercano, en este caso DN 25 al cual le corresponde una velocidad lineal de flujo de 0,18 m/s.

Finalmente se recomiendan la cantidad de separadores de condensado: aquí un separador con un diámetro de 40 mm así como un volumen del tanque de condensado de 4 L.

Transferencia del mosto cereales			
Duración de la transferencia	10	min	
Velocidad de la transferencia	15	m ³ /h	
Velocidad de succión de bomba seleccionada	1,4	m/s	
Diámetro de tubería requerido	62	mm	
Diámetro de tubería escogido	80	mm	
Velocidad de succión de mosto real	0,85	m/s	
Conexiones de vapor en el cocedor			
Energía requerida	178	kW	= 153.401
Consumo calórico de vapor	194	kW	= 166.740
Caudal de masa de vapor	323	kg/h	
Flujo de volumen de vapor	195	m ³ /h	
Diámetro de válvula reguladora	32	mm	
Velocidad flujo vapor seleccionado	30	m/s	
Diámetro tubería vapor requerido	48	mm	
Diámetro tubería vapor escogido	50	mm	
Velocidad flujo vapor real	27,61	m/s	
Velocidad flujo condensado seleccionado	1	m/s	
Diámetro de tubería de condensado requerido	11	mm	
Diámetro de tubería de condensado escogido	25	mm	
Velocidad flujo condensado real	0,18	m/s	
Cantidad de separadores de condensado	1 x DN 40		
Volumen receptor de condensado	4	L	

En esta sección se calcula el manejo del nepe.

De la receta se estima que la cantidad de nepe a formarse es de 1.933 kg asumiendo un extracto residual normal. Debe escogerse un tiempo para el barrido del nepe (aquí 15 min) de donde se calcula el flujo másico necesario (129 kg/min).

Si se desea almacenar el nepe temporalmente en un silo se requiere un volumen de 3,31 m³, si se desea almacenar el nepe de varios cocimientos se deben multiplicar los 3,31 m³ por la cantidad de cocimientos a almacenar en el silo.

Posteriormente se calcula el caudal de descarga (124 kg/min) que debe manejar el silo dependiendo del tiempo seleccionado para dicha descarga (aquí 20 min).

Luego se proporcionan datos de consumo de transportador neumático de nepe de referencia. Un transportador de referencia manejaría un caudal de 100 kg/min requiriendo 1,5 m³/min de aire a una presión de 2 bar con un consumo eléctrico de 4 kW.

Barrido de nepe	
Cantidad de nepe	1933 kg
Tiempo de barrido del nepe	15 min
Velocidad del transportador de nepe	129 kg/min
Silo de nepe	
Cantidad de nepe	3,31 m ³
Tiempo de barrido de nepe	20 min
Velocidad del transportador de nepe calculado	124 kg/min
Velocidad del transportador de nepe referencial	100 kg/min
Consumo de aire	1,5 m ³ /min
Presión de aire	2 bar
Potencia del motor	4 kW

6. Cuba de filtración:

En este capítulo se dimensiona y diseña la cuba de filtración.

Los valores iniciales para el diseño provienen nuevamente del capítulo „Receta“. De aquí se leen la cantidad total de materia prima empleada (1.870 kg) así como la cantidad de malta (1.330 kg) y la parte de adjuntos (540 kg).

Luego debe introducirse el valor de carga específica, la cual determina el tiempo mínimo alcanzable de filtración. Por ello la carga específica debe seleccionarse en función de la cantidad máxima de cocimientos a alcanzar diariamente y del tiempo de molienda a emplear (ver módulo “Filtración de mosto” del curso BrewTech).

En la tabla mostrada a la derecha se encuentran distintos valores de la carga específica en función de la cantidad de cocimientos diarios, el tiempo de molienda y la altura de la torta (nepe/lecho). Mientras menor es la carga específica mayor será la cuba y más costosa. En este ejemplo se seleccionó una carga específica de 180 kg/m².

Con este valor es posible calcular el área de filtración necesaria de 10,4 m² y el diámetro teórico de la cuba de 3.637 mm. Ahora debe escogerse un diámetro de la cuba real para los consiguientes cálculos (aquí 3.600 mm). Con este valor se recalcula el área de filtración (10,2 m²) y la carga específica resultante (157 kg/m²).

Es necesario también indicar la altura del cilindro de la cuba, la cual debe ser por lo menos 50% mayor al volumen máximo que manejaría la cuba de filtración. En el presente ejemplo se seleccionó 2.000 mm lo cual da una capacidad volumétrica de 192 hL.

Finalmente se calcula el volumen de nepe (torta) de 27,5 hL así como la altura de nepe en la cuba (aquí 0,29 m).

DIMENSIONES Y CAPACIDADES	
Cantidad total	1870 kg
Cantidad de malta	1330 kg
Cantidad de cereales	540 kg
Carga específica seleccionada	180 kg/m ²
Área de la cuba	10,4 m ²
Diámetro de la cuba	3637 mm
Diámetro de la cuba seleccionado	3600 mm
Área de la cuba resultado	10,2 m ²
Carga específica resultado	157 kg/m ²
Altura del cilindro	2000 mm
Capacidad total	192 hl
Volumen de nepe en la cuba	27,5 hl
Altura del nepe en la cuba	0,29 m

	8	9	
	Cocimient	Cocimiento	
Molienda seca	165-175	155-165	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	29-32	27-29	cm
Molienda acondicionada	175-185	170-175	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	32-33	30-32	cm
Molienda húmeda	220-230	205-215	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	30-41	36-38	cm
	10	12	
	Cocimient	Cocimiento	
Molienda seca	150-160	140-150	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	26-28	25-26	cm
Molienda acondicionada	165-175	150-160	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	29-32	26-28	cm
Molienda húmeda	195-205	185-195	kg/m ²
Altura de nepe/lecho	35-36	33-35	cm

En esta sección se calculan las válvulas de entrada de la mezcla a la cuba de filtración. Ya en secciones anteriores se tiene la cantidad de mezcla de 74 hL así como se fijó el tiempo de vaciado de la maceración en 10 min. Con ambos datos se calcula el flujo de vaciado resultando 55 m³/h. Para garantizar un vaciado de la maceración minimizando la solubilización de oxígeno del aire se recomienda una velocidad lineal de entrada menor a 1 m/s. En este ejemplo se seleccionó 0,5 m/s, lo que permite calcular el área de entrada necesaria de 306 cm² o 30.556 mm². En este caso se seleccionaron válvulas de entrada con un diámetro de 100 mm, de donde se obtienen 3,9 válvulas necesarias. Se seleccionan entonces 4 válvulas DN 100.

TRANSFERENCIA DE LA MEZCLA DESDE LA MACERACIÓN (SIN PRESENCIA DE AIRE)

Mezcla total de maceración	74	hl	
Duración de la transferencia	10	min	
Flujo de transferencia	55	m ³ /h	
Velocidad de entrada	0,5	m/s	< 1 m/s
Superficie de válvulas de entrada al fondo de la cuba	306	cm ²	
	30.556	mm ²	
Diámetro de la válvula de entrada (DN)	100	mm	
Cantidad de válvulas (calculado)	3,9		
Cantidad de válvulas seleccionado	4		

Ahora se calcula el mecanismo de los riegos. El valor inicial es el máximo tiempo permitido para los riegos. Este tiempo se obtiene de la tabla anexa (valor aproximado) conociendo la cantidad de cocimientos máximos a alcanzar diariamente (8, 10, 12) y la duración máxima de todo el proceso de la filtración. En este ejemplo se seleccionó un tiempo de riego de 45 min. La cantidad de agua de riego fue calculada obteniéndose 68 hL. La temperatura del agua de riego se selecciona en 77°C para asegurar la sacarificación de todo el almidón. Las temperaturas de agua caliente y agua fresca en la cervecería ya han sido especificadas con anterioridad por lo que se toman de secciones anteriores (15 y 80°C).

MECANISMO PARA RIEGOS

Tiempo de riegos	45	min
Cantidad de agua de riego	68	hl
Temperatura de agua de riego	77	°C
Temperatura del agua cervecera fría	15	°C
Temperatura del agua cervecera caliente	80	°C

	8	10	12
	Cocimient	Cocimiento	Cocim
Tiempo de filtración	140	110	90
Tiempo de riegos	60	50	40
Cantidad de agua de riego	5,3-5,8	6,0-6,3	6,4-6,6
	m ³ /t*h	m ³ /t*h	m ³ /t*h

De los valores ingresados y de los calculados para la cuba de filtración se pueden ahora diseñar las tuberías del mezclador de agua.

La velocidad lineal de la tubería principal de agua de riego se selecciona en 2 m/s, de donde se obtiene un diámetro necesario de 40 mm. Al coincidir con un diámetro estándar se selecciona DN 40 con lo que se recalcula la velocidad de flujo resultando en 1,99 m/s.

Para alcanzar la temperatura del agua de riego y las cantidades necesarias de agua se requieren 64 hL de agua caliente y 3 hL de agua fresca, que para el tiempo total de riego selecciona resulta en un flujo de 8,6 m³/h de agua caliente y 0,4 m³/h de agua fresca.

Para el suministro de agua caliente al mezclador de agua se selecciona una velocidad lineal de 2 m/s y un diámetro de tubería de 39 mm (calculado). Se selecciona el diámetro estándar más cercano DN 40 y se recalcula la velocidad lineal resultando en 1,90 m/s.

Para el suministro de agua fresca hacia el mezclador de agua también se selecciona una velocidad de 2 m/s obteniéndose una tubería de 9 mm de diámetro. Se selecciona una tubería DN 25 que arroja una velocidad lineal de flujo de 0,24 m/s.

Mezclador de agua	
Tubería principal	
Velocidad de flujo	2 m/s
Diámetro de tubería (calculado)	40 mm
Diámetro de tubería seleccionado (DN)	40 mm
Velocidad de flujo real	1,99 m/s
Cantidad de agua	
Cantidad de agua caliente	64 hl
Cantidad de agua fría	3 hl
Flujo de agua caliente	8,6 m ³ /h
Flujo de agua fría	0,4 m ³ /h
Tubería de agua caliente	
Velocidad de flujo	2 m/s
Diámetro de tubería (calculado)	39 mm
Diámetro de tubería seleccionado	40 mm
Velocidad de flujo real	1,90 m/s
Tubería de agua fría	
Velocidad de flujo	2 m/s
Diámetro de tubería (calculado)	9 mm
Diámetro de tubería seleccionado (DN)	25 mm
Velocidad de flujo real	0,24 m/s

Finalmente se calcula la filtración del mosto.

En primer lugar se calculan la cantidad de conos de salida necesarios. Como referencia se toma un cono cada 1 m², de donde se calculan 10 aberturas necesarias.

Según la receta se filtran 107 hL de mosto. Esta cantidad de mosto debe fluir en el tiempo efectivo de filtración de mosto, es decir, el tiempo total de ocupación de la cuba menos el tiempo de llenado de la cuba, menos el tiempo de recirculación del mosto turbio y menos el tiempo de barrido del nepe. En este caso son 130 min (que depende de la cantidad de cocimientos diarios a alcanzar). De este valor se calcula un caudal de 5 m³/h de mosto.

Para extraer este mosto se selecciona una bomba de 8 m³/h.

La velocidad lineal de flujo del mosto debería ser de 1,5 m/s, de donde se obtiene un diámetro de 43 mm. Se selecciona el diámetro DN 50 resultando en una velocidad lineal de flujo de 1,13 m/s.

Finalmente se encuentra la velocidad de giro del rastrillo.

Durante la filtración debería girar a 0,2 RPM. Durante e barrido del nepe la velocidad debe aumentar a 9,5 RPM.

Filtración del mosto	
Cantidad de conos de salida de mosto	10
Cantidad de mosto de paila llena	107 hl
Tiempo de filtración total	130 min
Flujo del mosto filtrado	5 m ³ /h
Flujo de la bomba seleccionado	8 m ³ /h
Velocidad de flujo	1,5 m/s
Diámetro de tubería (calculado)	43 mm
Diámetro de tubería seleccionado (DN)	50 mm
Velocidad de flujo real	1,13 m/s
Motoreductor	
Velocidad durante la filtración	0,2 UpM
Velocidad para retirar nepe de la cuba	9,5 UpM

7. Precalentador de mosto filtrado:

En este capítulo se calcula y dimensiona un calentador de mosto.

Un calentador de mosto se ubica a la salida de la cuba de filtración y la paila de hervir para reducir el tiempo de ocupación de la paila de hervir (se ahorra el tiempo de precalentamiento del mosto hasta la temperatura de hervida) y para contar con la posibilidad de recuperar la energía.

Para realizar el cálculo se requieren la cantidad de mosto total (107 hL), el tiempo total de flujo del mosto (130 min) y el flujo que resulta de estos dos datos anteriores (49 hL/h), datos ya son conocidos con anterioridad.

Se debe introducir la temperatura de entrada del mosto al calentador (aquí 74°C), así como la temperatura deseada de salida (dependiente de la temperatura de hervida según la altura a nivel del mar, o de la temperatura de agua caliente disponible en el almacenador de energía), aquí 92°C.

Ahora se calcula el tamaño del intercambiador de calor necesario para calentar el mosto usando agua caliente del tanque almacenador de energía.

Se debe especificar la temperatura del agua caliente en el almacenador de energía (aquí 96°C) así como la temperatura deseada de retorno del agua (normalmente de 3 a 6 °C por encima de la temperatura de entrada del mosto), aquí 80°C. De estos datos se obtiene la energía necesaria de intercambio de 110 kW con un caudal de agua de 59 hL/h.

Adicionalmente se debe ingresar el valor K (factor de transferencia de calor) del intercambiador, el cual se obtiene del proveedor del equipo (equipos viejos cuentan con valores de 1.200 a 1.800, equipos modernos de 2.000 a 2.500). Para este ejemplo se seleccionó un valor de 2.000.

Con este valor se calcula la diferencia media de temperatura entre ambos medios (aquí 4,9 K) pudiéndose así calcular el área necesaria de intercambio de 11,1 m² (este valor no cuenta con porcentaje de seguridad).

PRECALENTADOR DE MOSTO FILTRADO		
Cantidad de mosto en paila llena	107	hl
Tiempo total de filtración	130	min
Flujo del calentador	49	hl/h
Temperatura de entrada al calentador	74	°C
Temperatura de salida del calentador	92	°C
Densidad del mosto	106	kg/hl
Capacidad calorífica específica	4,187	KJ/kgK

Medio caliente: Agua caliente del almacenador de energía		
Temperatura de entrada	96	°C
Temperatura de salida	80	°C
Densidad	99,9	kg/hl
Capacidad calorífica específica	4,187	KJ/kgK
Capacidad de intercambio de calor requerida	110	kW
Flujo	59	hl/h
Transferencia de calor (valor K)	2000	W/m ² K
Temperatura media diferencial	4,9	K
área de intercambio de calor requerida	11,1	m ²

En caso de no disponer de un tanque almacenador de energía se puede generar agua caliente a través de calentadores alimentados con vapor saturado. Aquí se calculará el suministro de vapor necesario.

El tamaño del generador de agua caliente puede calcularse con el módulo “Herramientas básicas”.

El punto de partida es indicar la presión del vapor (aquí 4 bar), de donde se obtiene según tabla la temperatura de saturación de ese vapor (aquí 143,64°C).

Ahora se requiere el vapor K del generador de agua caliente (aquí 800), el cual es transformado a unidades más convenientes resultando 930 W/m²K.

La energía necesaria para el calentamiento es de 110 kW, lo que corresponde a una demanda energética de vapor de 119 kW, que se corresponde a 201 kg/h de vapor a la presión indicada (esto se corresponde a un caudal volumétrico de 93 m³/h).

Con estos valores es posible calcular las tuberías de vapor (suministro) y de condensado.

Con un valor de velocidad lineal de flujo de vapor previamente indicada de 25 m/s (valores de referencia se dan en el módulo de herramientas básicas) se obtiene un diámetro de tubería de 36 mm. Se selecciona el diámetro DN 40 resultando en una velocidad lineal de vapor de 20,53 m/s.

Con un valor de velocidad lineal de flujo de condensado de 2 m/s (valores de referencia se dan en el módulo de herramientas básicas) se obtiene un diámetro de tubería de 6 mm. Se selecciona el diámetro DN 25 resultando en una velocidad lineal de vapor de 0,11 m/s.

Medio caliente: Vapor (para la generación de agua caliente)			
Presión del vapor	4	bar	
Temperatura del vapor	143,64	°C	
Transferencia de calor (valor K)	800	kcal/K m ² h	
Transferencia de calor (valor K)	930	W/m ² K	
Consumo de vapor			
Requerimiento energético	110	kW	=
Consumo de vapor	119	kW	=
Caudal de vapor	201	kg/h	
Flujo volumétrico	93	m ³ /h	
Tubería de vapor			
Velocidad de flujo del vapor	25	m/s	
Diámetro de tubería necesario	36	mm	
Diámetro de tubería seleccionado	40	mm	
Velocidad de flujo del vapor real	20,53	m/s	
Tubería de condensado			
Velocidad de flujo del condensado	2	m/s	
Diámetro de tubería de condensado requerida	6	mm	
Diámetro de tubería de condensado seleccionada	25	mm	
Velocidad de flujo del condensado real	0,11	m/s	

Para transferir el mosto desde la cuba de filtración hacia la paila de hervir sin depender de la ocupación de la paila de hervir (independientemente si se tiene o no un calentador de mosto) se puede instalar un tanque buffer entre ambos equipos, el cual se diseña en esta sección.

La herramienta permitirá seleccionar la orientación (vertical, horizontal) así como el tipo de fondo (curvado, toroide) del tanque buffer. La cantidad de mosto en paila llena es de 107 hL (tomado de secciones anteriores), que adicionándole un factor de seguridad de 15% resulta en un buffer de capacidad para 123 hL.

Para el buffer seleccionado (vertical, curvado) se elige un diámetro de 2000 mm. El volumen en el fondo corresponde a 5 hL así como un volumen en la parte cilíndrica de 118 hL con una altura de 3,76 m. La altura real seleccionada para el cilindro es de 3,90 m, lo cual arroja una altura total real de 4,19 m y un volumen en el cilindro de 123 hL. El volumen total utilizable es de 127 hL.

Se selecciona un tiempo para el bombeo del mosto desde el tanque buffer hacia la paila de hervir de 12 min, lo cual requiere un flujo de 54 m³/h. La bomba seleccionada maneja un caudal de 80 m³/h.

La velocidad lineal de succión de la bomba se selecciona (como máximo) en 1,4 m/s, de donde se obtiene un diámetro de 142 mm, se elige entonces el diámetro nominal más cercano (DN 150) que arroja una velocidad lineal de 1,26 m/s.

A la salida de la bomba se elige como máxima velocidad lineal 1,7 m/s de donde se obtiene un diámetro de tubería de 129 mm. Se elige nuevamente el diámetro nominal más cercano DN 150 que da una velocidad de 1,26 m/s.

Tanque de espera (tanque que recibe el mosto filtrado)

Orientación	vertical	
Fondo	curvado	
Cantidad de mosto de paila llena	107	hl
Capacidad total	123	hl
Diámetro seleccionado	2000	mm
Volumen del fondo	5	hl
Volumen del cilindro	118	hl
Longitud/Altura calculada	3,76	m
Longitud/Altura seleccionada	3,90	m
Longitud/Altura total	4,19	m
Volumen del cilindro real	123	hl
Capacidad total real	127	hl
Tiempo de transferencia	12	min
Flujo de la bomba	54	m ³ /h
Flujo de la bomba seleccionado	80	m ³ /h
Velocidad de succión de la bomba	1,4	m/s
Diámetro de tubería requerido	142	mm
Diámetro de la tubería seleccionado	150	mm
Velocidad de succión de la bomba real	1,26	m/s
Velocidad de descarga de la bomba	1,7	m/s
Diámetro de tubería requerido	129	mm
Diámetro de la tubería seleccionado	150	mm
Velocidad de descarga de la bomba real	1,26	m/s

8. Paila Coccion:

Para el cálculo de la paila de hervir se requiere el volumen de mosto caliente que se desea obtener al final de la hervida, en este caso se especificó 100 hL. A esta cantidad se le aumenta un 50% para obtener el volumen total del equipo resultando 150 hL.

Luego se selecciona el diámetro de la paila de hervir, en este caso se elige 2.800 mm (la relación de altura de la paila y su diámetro debe estar comprendida entre 1:1 y 1:1,5, también dependiendo si se desea usar la paila de hervir como Whirlpool, ver capítulo “Whirlpool”).

Ahora se selecciona el tipo de fondo de la paila, para una paila que trabaje a presión se requiere un fondo toroidal, sino se puede seleccionar curvado. Dependiendo del tipo de fondo seleccionado se calcula el volumen del mismo (13 hL) así como el volumen del cilindro (137 hL) y la altura del cilindro de 2,22 m.

El último paso es la selección de la altura real del cilindro, aquí 2,4 m. Con este valor se calcula la altura total real del equipo obteniéndose 2,8 m (sin incluir el motor ni las tuberías) y un volumen del cilindro de 148 hL y un volumen total de 161 hL.

Luego se calcula el calentamiento de la paila. Para ello debe seleccionarse si el cocedor es interno o externo.

Se muestran los parámetros introducidos anteriormente en la receta: cantidad de mosto caliente al final de la hervida de 100 hL, una tasa de evaporación horaria de 6%, un tiempo total de hervida de 70 min, el volumen evaporado por hora de 6 hL y la cantidad total de volumen evaporado de 7 hL. La tasa de evaporación total es de 7% que da la cantidad de mosto en paila llena de 107 hL.

Como último parámetro se debe especificar el tiempo en el cual se desea que la temperatura del mosto inicial (precalentado a 92°C a la salida del calentador de mosto) a la temperatura de hervida (aquí 99°C), aquí se desea que este proceso dure 10 min.

PALA DE HERVIR		
Cantidad de mosto caliente al final de la hervida	100	hl
Capacidad total	150	hl
Diámetro de la paila seleccionando	2800	mm
Fondo	curvado	
Volumen del fondo	13	hl
Volumen del cilindro	137	hl
Altura calculada	2,22	m
Altura seleccionada	2,40	m
Altura total	2,80	m
Volumen de cilindro real	148	hl
Capacidad total real	161	hl
Cocedor interno/externo		
Tipo	interno	
Cantidad de mosto caliente al final de la hervida	100	hl
Tasa de evaporación horaria	6	%/h
Tiempo de hervida	70	min
Evaporación	6	hl/h
Evaporación total	7,0	hl
%Evaporación total	7,0	%
Cantidad de mosto en paila llena	107	hl
Tiempo de calentamiento hasta temperatura de hervor	10	min

Con los datos introducidos anteriormente puede calcularse el calentamiento de la paila. En la paila se diferencia entre la fase de calentamiento y la fase de hervida, ambos procesos deben observarse separadamente. En la fase de calentamiento se requiere introducir los datos de la temperatura inicial del calentamiento (del calentador de mosto) de 92°C así como la temperatura de inicio de la hervida (aquí 99°C). Luego se toma en cuenta el tiempo deseado de calentamiento, aquí 10 min lo que corresponde a una tasa de calentamiento de 0.70 °K/min.

Igualmente se debe especificar la temperatura de inicio de la hervida así como la temperatura de salida del cocedor interno/externo, la cual debe ser la máxima temperatura que no cause un sobrecalentamiento del mosto (aquí 103 °C).

Se debe indicar la presión del vapor del intercambiador de calor (aquí 3 bar) con lo que se obtiene la temperatura del vapor saturado correspondiente de 133,55°C.

Adicionalmente debe especificarse el valor K del intercambiador (aquí 1.650) que es especificado por el fabricante del equipo (modelos viejos 1.500-2.000, modernos 2.000 – 2.500). Automáticamente se convierte el valor ingresado de kcal/m²Kh a unidades más convenientes de W/m²K obteniéndose 1.919.

Al área necesaria de intercambio se le adiciona un factor de seguridad necesario para compensar el ensuciamiento de las placas con lo que se dificulta el intercambio de calor reduciendo el valor K. Se añade 30% al área necesaria. Para la hervida se requiere un área de 8,61 m² y para el calentamiento 10,23 m². Como se instala un solo intercambiador se debe escoger de ambas áreas la mayor para cumplir tanto el proceso de calentamiento como el de hervida del mosto (aquí 10,23 m²).

Ahora es posible diseñar el suministro de vapor. De los datos obtenidos anteriormente se obtiene una demanda energética durante la fase de hervida de 323.640 kcal/h y para la fase de calentamiento de 449.400 kcal/h. Estos valores se corrigen con un 5% de seguridad para compensar pérdidas por radiación. A través de estos valores se obtiene el flujo másico de vapor requerido de 659 kg/h para la hervida y 915 kg/h para el calentamiento del mosto, así como los caudales volumétricos de vapor de 399 m³/h en la hervida y 554 m³/h para el calentamiento. El consumo energético durante el calentamiento se estima en 550 kW y durante la hervida en 396 kW.

Finalmente se muestra el valor nominal de la válvula recutora de vapor, la cual debe ser seleccionada según el valor mayor entre ambos casos (40 mm hervida y 50 mm calentamiento), en este caso DN 50.

Área de intercambio de calor		
	Hervida	Calentamiento
Temperatura de entrada	99 °C	92 °C
Temperatura de salida	103 °C	99 °C
Tasa de calentamiento		0,70 °K/min
Presión absoluta de vapor	3 bar	3 bar
Temperatura del vapor	133,55 °C	133,55 °C
Valor k	1650 kcal/m²Kh	1650 kcal/ m² K h
	1919 W/m² K	1919 W/m² K
Factor de seguridad	30 %	30 %
Área de intercambio de calor requerida	8,61 m²	10,23 m²
Mecanismos de calentamiento		
Requerimiento energético	323.640 kcal/h	449.400 kcal/h
Pérdida de vapor	5 %	5 %
Consumo de vapor	340.674 kcal/h	473.053 kcal/h
Caudal másico de vapor	659 kg/h	915 kg/h
Flujo de vapor	399 m³/h	554 m³/h
Potencia del cocedor	396 kW	550 kW
Válvula reguladora (seleccioanr la más grande)		
Díámetro (DN)	40 mm	50 mm

Con los resultados anteriores se pueden diseñar la tubería de suministro de vapor desde la válvula reguladora hacia la paila de hervir. Se asumen un velocidad lineal de flujo de vapor de 20 m/s en la tubería de vapor. Con esta velocidad se requieren un diámetro de 84 mm para la fase de cocción y 99 mm para el calentamiento. Se elige el diámetro mayor para cubrir ambas fases y recalculando las velocidades se obtiene una velocidad de 14,1 m/s en la hervida y 19,6 m/s en el calentamiento al elegir un diámetro nominal DN 100.

De forma análoga se diseña la tubería de condensado, asumiendo una velocidad lineal de flujo de 1 m/s. El cálculo resulta en una tubería de 15 mm de diámetro para la fase de hervida y 18 mm para el calentamiento. Se elige el diámetro nominal más cercano DN 25 obteniéndose velocidades lineales de flujo reales de 0,37 m/s en la hervida y 0,52 en el calentamiento.

Ahora se calcula, en el caso de haber elegido un cocedor externo, la capacidad necesaria de la bomba de recirculación de mosto para poder alcanzar el intercambio de calor. En este caso la bomba debe manejar un caudal de 81 m³/h.

Tubería de vapor				
Velocidad de flujo	20	m/s	20	m/s
Diámetro de tubería requerido	84	mm	99	mm
Diámetro de tubería seleccionado	100	mm	100	mm
Velocidad de flujo real	14,1	m/s	19,6	m/s
Tubería de condensado				
Velocidad de flujo del condensado	1,0	m/s	1,0	m/s
Diámetro de tubería de condensado requerida	15	mm	18	mm
Diámetro de tubería de condensado seleccionada	25	mm	25	mm
Velocidad de flujo del condensado real	0,37	m/s	0,52	m/s
Bomba de recirculación para el cocedor externo				
Caudal de la bomba	81	m ³ /h		

Aquí se calcula el suministro de energía a la paila de hervir empleando agua caliente en vez de vapor saturado.

El valor inicial requerido es nuevamente la cantidad de mosto en paila llena: 107 hL. La tasa de calentamiento de la paila se elige en 0,7 °K/min. En este ejemplo se asume que no hay instalado un precalentador de mosto filtrado, como se ha hecho en secciones anteriores. La temperatura inicial del mosto filtrado es de 74°C y la temperatura final del calentamiento se elige en 99°C (esta es la temperatura a la que inicia la hervida del mosto).

Aquí debe especificarse la temperatura del agua caliente (aquí 130°C) así como la temperatura deseada de retorno del agua caliente (aquí 100°C). Así mismo se debe elegir una temperatura de mezcla a la entrada del cocedor que no cause sobrecalentamiento del mosto para no dañarlo por carga térmica. En este ejemplo dicha temperatura se desea en 120 °C la cual se alcanza mezclando el agua de salida del intercambiador (a 100°C) con el agua caliente disponible en la cervecería (a 130°C).

El valor K del intercambiador se ajusta en 1.500, al cual se le suman una factor de seguridad de 5% por pérdidas y un 10% por ensuciamiento. Con estos datos se obtiene la energía necesaria para llevar el proceso de calentamiento en 523 kW, que tomando en cuenta las pérdidas antes especificadas da un valor final de 550 kW (de forma alternativa se dan estos valores en kcal/h). El área de intercambio necesaria es de 25,49 m², que sumándole un 10% de factor de seguridad se convierte en 28,04m².

Ahora se muestran el flujo másico y el caudal volumétrico del agua según su temperatura. El flujo a través del intercambiador de calor se divide entonces como sigue: 23.373 kg/h (24,8 m³/h) a una temperatura de 120°C, 15.582 kg/h (16,7 m³/h) de agua caliente a 130°C, 15.582 kg/h (16,3 m³/h) de agua caliente a la salida del intercambiador a 100°C y la cantidad de agua de recirculación desde la salida del intercambiador (100°C) hacia la entrada para bajar la temperatura del agua suministro (139°C) a la máxima temperatura deseada (120°C) es de 7.791 kg/h (8,1 m³/h) a una temperatura de 100°C.

Medio de calentamiento: Agua caliente a alta presión			
Volumen	107	hL	
Tasa de calentamiento	0,7	K/min	
Temperatura inicial Mosto	74	°C	
Temperatura final Mosto	99	°C	
Temperatura entrada Agua Caliente	130	°C	
Temperatura salida Agua caliente enfriada	100	°C	
Temperatura de mezcla	120	°C	
Valor k	1500	kcal/K m ² h	
	1.744	W/m ² K	
Pérdidas de calor	5	%	
Factor de seguridad	10	%	
Requerimiento energético	523	kW	449.400 kcal/h
Requerimiento energético con pérdidas	550	kW	473.053 kcal/h
Temperatura media diferencial	11,75	K	
Área de intercambio de calor necesaria	25,49	m ²	
Área de intercambio de calor con factor de seguridad	28,04	m ²	
Caudal de agua caliente mezclada requerido	23.373	kg/h	24,8 m ³ /h
Caudal de agua caliente de entrada antes de mezcla	15.582	kg/h	16,7 m ³ /h
Caudal de agua caliente de retorno	15.582	kg/h	16,3 m ³ /h
Caudal de mezcla antes de la salida hacia entrada	7.791	kg/h	8,1 m ³ /h



Como corresponde, se calcula también las tuberías de suministro de agua para el funcionamiento de la hervida. Para ello se deben especificar las velocidades lineales de flujo para las tres corrientes de agua, en este caso es de 1,5 m/s. Para el agua caliente, tanto suministro como retorno el calculo arroja un diámetro de 61 mm, escogiéndose un diámetro nominal DN 65. De forma análoga para la tubería de recirculación o de mezcla se requiere un diámetro de 43 mm, tubería a la que se selecciona el nominal DN 50.

Ahora se dimensiona la bomba de mosto caliente. El valor de entrada es el volumen de mosto caliente (aquí 100 hL). Se especifica el tiempo de bombeo (aquí 15 min) de donde se obtiene el caudal necesario de 40 m³/h. Se escoge una bomba entonces de 50 m³/h. La velocidad lineal de flujo a la entrada de la bomba (succión) se selecciona en 1,3 m/s (valor que no debe ser superado) obteniéndose un diámetro necesario de 117 mm. Se elige un diámetro nominal DN 125 que da una velocidad lineal de flujo de 1,13 m/s (menor que 1,3 m/s). La velocidad de flujo a la salida de la bomba no debería superar los 2,4 m/s, valor que requiere un diámetro de 86 mm. Se elige una tubería DN 100 que corresponde a una velocidad de 1,77 m/s (menor que los 2,4 m/s).

Velocidad de flujo de entrada	1,5	m/s
Diámetro de tubería requerido	61	mm
Diámetro de tubería seleccionado	65	mm
Velocidad de flujo de entrada real	1,30	m/s
Velocidad de flujo de salida	1,5	m/s
Diámetro de tubería requerido	61	mm
Diámetro de tubería seleccionado	65	mm
Velocidad de flujo de salida real	1,30	m/s
Velocidad de flujo de mezcla	1,5	m/s
Diámetro de tubería de mezcla requerido	43	mm
Diámetro de tubería de mezcla seleccionado	50	mm
Velocidad de flujo de mezcla real	1,10	m/s

Bomba de mosto caliente		
Cantidad de mosto caliente al final de la hervida	100	hl
Tiempo de bombeo	15	min
Flujo de la bomba	40	m ³ /h
Flujo de la bomba seleccionado	50	m ³ /h
Velocidad de succión de la bomba	1,3	m/s
Diámetro de tubería requerido	117	mm
Diámetro de la tubería seleccionado	125	mm
Velocidad de succión de la bomba real	1,13	m/s
Velocidad de descarga de la bomba	2,4	m/s
Diámetro de tubería requerido	86	mm
Diámetro de la tubería seleccionado	100	mm
Velocidad de descarga de la bomba real	1,77	m/s

9. Whirlpool:

En esta sección se diseña el Whirlpool y el enfriador de mosto.

El valor de entrada es la cantidad de mosto caliente al final de la hervida (100 hL) tomados de la sección “Receta”. A este volumen se le adiciona un 20% de factor de seguridad para obtener el volumen de diseño del Whirlpool (120 hL).

El próximo valor requerido es la relación de altura: diámetro del Whirlpool, el cual normalmente se encuentra entre 2,5-3,0:1. En el presente ejemplo se seleccionó 2,5:1.

De esta relación se obtiene un diámetro calculado de 3.169 mm, seleccionándose como diámetro real 3.200 mm. Este diámetro arroja una altura de llenado de 1.243 mm y una relación altura:diámetro real de 2,57:1. Con estos valores es posible calcular la altura de la zona cilíndrica del Whirlpool obteniéndose 1.492 mm, seleccionando entonces una altura de 1.500 mm. Con el diámetro (3.200 mm) y la altura del cilindro (1.500 mm) que fueron seleccionados se recalcula el volumen del equipo resultando 121 hL (muy cercano a los 120 hL sugeridos inicialmente).

En caso tal que el Whirlpool sea utilizado también como paila de cocción los cálculos se realizan de forma similar. Para esta situación se recomienda seleccionar un calentador externo para no tener que elegir un diámetro tan pequeño para asegurar inmersión de un calentador interno.

Nuevamente e requiere como punto de partida la cantidad de mosto caliente al final de la hervida (100 hL). Debido a que en el equipo se procederá a hervir, el factor de seguridad usado en este caso es de 40% resultando en un volumen total de 140 hL para el diseño.

La relación de altura:diámetro seleccionada es de 2,0:1 (para mantener la versatilidad de usar un cocedor interno). De los cálculos se obtiene un diámetro de 2.942 mm (seleccionado 3.000 mm) y una altura de mosto de 1.415 mm que corresponde a una relación altura:diámetro real de 2,12:1.

Con estos datos es posible calcular una altura del cilindro obteniéndose 1.981 mm. Se selecciona una altura de 2.000 mm que arroja un volumen total de 141 hL.

WHIRLPOOL		
Cant. de mosto caliente al final de la hervida	100 hL	
Capacidad total	120 hL	con 20% de factor de seguridad
Relación diámetro/altura	2,5 : 1	2,5-3,0 : 1 valor sugerido
Diámetro calculado	3.169 mm	
Diámetro seleccionado	3200 mm	
Nivel del mosto	1.243 mm	
Relación diámetro/altura real	2,57 : 1	
Altura del cilindro calculada	1.492 mm	
Altura del cilindro seleccionada	1500 mm	
Capacidad total real	121 hL	

Paila de cocción-Whirlpool		
Cant. de mosto caliente al final de la hervida	100 hL	
Capacidad total	140 hL	incluyendo 40% de factor de seguridad
Relación diámetro/altura	2 : 1	2,0-3,0 : 1
Diámetro calculado	2.942 mm	
Diámetro seleccionado	3000 mm	
Nivel del mosto	1.415 mm	
Relación diámetro/altura real	2,12 : 1	
Altura del cilindro calculada	1.981 mm	
Altura del cilindro seleccionada	2000 mm	
Capacidad total real	141 hL	



En esta sección se realizan los cálculos de las bombas asociadas al Whirlpool.

El tiempo en caliente total del mosto no debería exceder los 120 min (trasiego de la paila de hervir al Whirlpool + tiempo de sedimentación del trub caliente de 30-40 min + tiempo de enfriamiento).

En este ejemplo se toma el tiempo de transferencia al Whirlpool y la rotación en 30 min. Debido a que se usa la misma bomba para el trasiego como para el enfriamiento, este último también dura 30 min. El caudal teórico de la bomba resulta en 200 hL/h, valor que pasa a ser el seleccionado.

La velocidad tangencial del mosto a la entrada del Whirlpool debe estar comprendida entre 10 y 15 m/s para poder alcanzar el efecto centrífugo del Whirlpool. Se selecciona una velocidad lineal de 15 m/s, lo que requiere una reducción del diámetro a la entrada del Whirlpool a 22 mm. Se selecciona el diámetro nominal más cercano (25 mm) y se obtiene una velocidad lineal real de 11,32 m/s.

La velocidad lineal de entrada de mosto en la succión de la bomba seleccionada es de 1,5 m/s, obteniéndose un diámetro de tubería de 69 mm. El próximo diámetro nominal disponible es de 80 mm que correspondería a una velocidad lineal de entrada de 1,11 m/s.

La velocidad lineal de salida de la bomba se selecciona en 2,0 m/s obteniéndose un diámetro de 59 mm. El próximo diámetro nominal disponible es de 65 mm que correspondería a una velocidad lineal de entrada de 1,67 m/s. Este diámetro es válido para las tuberías hasta la entrada al Whirlpool y las tuberías al enfriador de mosto y hacia el celar de fermentación.

Luego se calcula la transferencia de trub caliente. La cantidad esperada de trub caliente esperada es de alrededor 1,0 m³ (dependiente del tipo y la cantidad de lúpulo dosificado). Para esta cantidad se recomienda un caudal de la bomba de trasiego de trub de 10 m³/h. Por seguridad se selecciona una bomba de caudal de 12 m³/h.

La velocidad lineal de entrada de trub en la entrada de la bomba se selecciona en 1,4 m/s obteniéndose un diámetro de 55 mm. Se selecciona el diámetro nominal mas cercano de 65 mm que equivale a una velocidad lineal real de 1,00 m/s.

La velocidad lineal de salida de trub en la descarga de la bomba se selecciona en 2,0 m/s obteniéndose un diámetro de 46 mm. Se selecciona el diámetro nominal mas cercano de 50 mm que equivale a una velocidad lineal real de 1,70 m/s.

Bomba del Whirlpool	
Tiempo de transferencia/rotacion	30 min
Flujo de la bomba	200 h/h
Flujo de la bomba seleccionado	200 h/h
Velocidad entrada tangencial	15 m/s
Diámetro de entrada tangencial requerido	22 mm
Diámetro de entrada tangencial real	25 mm
Velocidad de entrada real	11,32 m/s
Velocidad de succión de la bomba	1,5 m/s
Diámetro de tubería requerido	69 mm
Diámetro de la tubería seleccionado	80 mm
Velocidad de succión de la bomba real	1,11 m/s
Velocidad de descarga de la bomba	2 m/s
Diámetro de tubería requerido	59 mm
Diámetro de la tubería seleccionado	65 mm
Velocidad de descarga de la bomba real	1,67 m/s
Transferencia del trub caliente	
Cantidad de trub caliente	1,0 m ³
Flujo de la bomba de trub caliente	10 m ³ /h
Flujo de la bomba trub caliente seleccionado	12 m ³ /h
Velocidad de succión de la bomba	1,4 m/s
Diámetro de tubería requerido	55 mm
Diámetro de la tubería seleccionado	65 mm
Velocidad de succión de la bomba real	1,00 m/s
Velocidad de descarga de la bomba	2 m/s
Diámetro de tubería requerido	46 mm
Diámetro de la tubería seleccionado	50 mm
Velocidad de descarga de la bomba real	1,70 m/s

En esta sección se calcula el enfriador de mosto.

Se toma como valor inicial el caudal seleccionado de la bomba de enfriamiento de la sección anterior (200 hL/h). La temperatura de entrada del mosto se estima en 97°C (luego de un enfriamiento ligero durante el descanso en el Whirlpool), el cual debe abandonar el enfriador con 8°C. La temperatura de entrada del agua helada disponible es de 3°C que debe aumentar a 80°C en un enfriador de una sola etapa (para calcular un enfriador o intercambiar de dos etapas se puede emplear la herramienta básica 1).

Como valor K del enfriador se toma un valor de 2.500 (un enfriador moderno). El rendimiento del enfriador se selecciona en 95% obteniéndose una demanda energética de 2.024 kW y una efectiva de 1.924 kW.

De todas estas premisas se obtiene un caudal necesario de agua helada de 217 hL/h así como un área de intercambio de calor de 82,57 m².

Tomando en cuenta un factor de seguridad del 10% (debido a posible ensuciamiento de las placas y pérdida de eficiencia) aumenta el área de intercambio requerida a 90,83 m².

Ahora se calcula la presión que debe vencer la bomba de mosto en el enfriamiento. El valor inicial necesario es el caudal de mosto, en este caso 200 hL/h.

La resistencia al flujo del aireador de mosto es normalmente dada por el fabricante (algunos sistemas usan su propia bomba Booster). En el ejemplo se estima esta presión en 2 bar.

Luego debe indicarse la longitud máxima de tubería o manguera hasta el tanque de fermentación más lejano, aquí 140 m. Estimando una pérdida de presión de aproximadamente 0,1bar/100m se obtiene una pérdida total de 0,14 bar en el trayecto (este valor es mayor si existen codos, tuberías en T, entre otros accesorios). Finalmente se debe indicar la máxima altura de mosto sobre el fondo del Whirlpool, aquí 25 m lo que permite estimar la presión necesaria que debe vencer la bomba. En este caso esta presión es de 4,6 m.

Enfriador de mosto		
Flujo de mosto	200	hL/h
Temperatura de entrada del mosto	97	°C
Temperatura de salida del mosto	8	°C
Temperatura de entrada del agua helada	3	°C
Temperatura de salida del agua caliente	80	°C
Valor k	2500	W/m ² K
Diferencia de temperatura promedio	9,81	K
Eficiencia de intercambio de calor	95	%
Capacidad calórica teórica	2.024	kW
Capacidad calórica efectiva	1.923	kW
Flujo de agua	217	hL/h
Área de intercambio	82,57	m ²
Reserva de área de intercambio escogido	10	%
Área teórica de intercambio con reserva escogido	90,83	m ²
Presión de mosto frio		
Capacidad de la bomba	200	hL/h
Perdida de presión por estacion de aireación de mosto	2	bar
0,1 bar/100 m perdido de presion en tubo, largo de tubo =	140	m
perdida de presion por tuberia	0,14	bar
Altura de nivel en tanque maximo	25	m
Perdida de presión total	4,6	bar

10. Agua:

Esta sección representa un resumen de los caudales, volúmenes y velocidades de flujos de los diversos fluidos.

Inicialmente se muestran las diferentes temperaturas del agua disponible en la cervecería: Agua caliente a 80 °C, agua fría a 15 °C y agua helada a 3 °C. Luego se muestra la cantidad de agua necesaria para la mezcla en la maceración: se requieren en total 63 hL de agua con una temperatura (de mezcla) de 49°C en un lapso de tiempo de bajada de la mezcla de 10 min. La temperatura de mezcla se alcanza a través de la mezcla de 30 hL de agua fría con 33 hL de agua caliente. El caudal requerido de agua fría es de 2,00 hL/min ó 12,0 m³/h así como 2,19 hL/min ó 13,2 m³/h de agua caliente.

Cantidad de agua			
Temperatura del agua caliente	80 °C		
Temperatura del agua fría	15 °C		
Temperatura del agua helada	3 °C		
Mezcla de maceración			
Agua de mezcla	63 hl		
Temperatura de mezcla	49 °C		
Tiempo de bajada de la mezcla	15 min		
Cantidad de agua fría	30 hl	=	2,00 hL/min = 12,0 m ³ /h
Cantidad de agua caliente	33 hl	=	2,19 hL/min = 13,2 m ³ /h

Ahora se muestra la cantidad de agua necesaria para los riegos en la filtración de mosto: se requieren 68hL de agua a una temperatura de mezcla de 77°C en un lapso de tiempo de 45 min. Nun wird das für das Anschwätzen notwendige Wasser aufgezeigt: Es werden insgesamt 68 hl Wasser mit einer Mischtemperatur von 77 °C in einem Anschwätzzeitraum von 45 min benötigt. La temperatura de mezcla se alcanza a través de la mezcla de 3 hL de agua fría con 64 hL de agua caliente. El caudal requerido de agua fría es de 0,07 hL/min ó 0,4 m³/h así como 1,43 hL/min ó 8,6 m³/h de agua caliente.

Riegos			
Cantidad de agua de riego	68 hl		
Temperatura de agua de riego	77 °C		
Tiempo de dosificación de los riegos	45 min		
Cantidad de agua fría	3 hl	=	0,07 hL/min = 0,4 m ³ /h
Cantidad de agua caliente	64 hl	=	1,43 hL/min = 8,6 m ³ /h

En esta sección se muestra el balance de un posible condensador de vahos en la hervida a instalarse con el propósito de recuperar la energía del vapor de agua formado en la hervida del mosto.

Se asume una tasa de evaporación horaria de 6 hL/h y un tiempo de hervida de 70 min. Con estos datos se obtiene que es posible calentar agua fría de 15°C a 80°C (agua caliente). El volumen de 56 hL fríos se convierten en 58 hL calientes (por expansión térmica). El flujo de agua fría requerido es de 0,80 hL/min ó 4,8 m³/h, que corresponde a 0,83 hL/min ó 5,0 m³/h del lado del agua caliente.

Condensador de vapores de hervida					
Evaporación	6	hL/h			
Tiempo de hervida	70	min			
Cantidad de agua fría	56	hl	=	0,80	hL/min = 4,8 m ³ /h
Cantidad de agua caliente	58	hl	=	0,83	hL/min = 5,0 m ³ /h

Aquí se analiza el condensado del vapor de agua de la hervida.

En total se generan 8 hL de condensado caliente, los cuales se pueden enfriar en el intercambiador para producir 7 hL de agua fría (contracción térmica). El flujo de agua fría requerido es de 0,11 hL/min ó 0,6 m³/h, que corresponde a 0,11 hL/min ó 0,7 m³/h del lado del agua caliente.

Enfriador de condensados					
Cantidad de agua fría	7	hl	=	0,11	hL/min = 0,6 m ³ /h
Cantidad de agua caliente	8	hl	=	0,11	hL/min = 0,7 m ³ /h

En esta sección se muestra la cantidad de agua total necesaria para el enfriamiento del mosto: Para el enfriamiento de 100 hL de mosto caliente a la temperatura de inicio de la fermentación (8°C) en 30 min se requieren 117 hL de agua helada (a 3 °C) que se convierten en 120 hL de agua caliente (a 80°C) por expansión térmica. El flujo de agua helada requerido es de 3,90 hL/min ó 23,4 m³/h, que corresponde a 4,02 hL/min ó 24,1 m³/h del lado del agua caliente.

Enfriamiento de mosto					
Cantidad de mosto caliente luego de la hervida	100	hl			
Tiempo de enfriamiento	30	min			
Temperatura de inicio de fermentación	8	°C			
Cantidad de agua helada	117	hl	=	3,90	hl/min = 23,4 m³/h
Cantidad de agua caliente	120	hl	=	4,02	hl/min = 24,1 m³/h

En el balance de agua se resumen en un a tabla todos las cantidades y caudales de agua requeridos en cada parte del proceso en distintas unidades.

Balance de agua		[hl]	[hl/h]	[hl/min]	[m³/h]
Mezcla de maceración	Agua caliente	33	132	2,19	13,2
	Agua fría	30	120	2,00	12,0
Riegos	Agua caliente	64	86	1,43	8,6
	Agua fría	3	4	0,07	0,4
Condensador de vapores en la hervida	Agua caliente	58	50	0,83	5,0
	Agua fría	56	48	0,80	4,8
Enfriador de condensados	Agua caliente	8	7	0,11	0,7
	Agua fría	7	6	0,11	0,6
Enfriamiento de mosto	Agua caliente	120	241	4,02	24,1
	Agua helada	117	234	3,90	23,4

Finalmente se resumen nuevamente los diámetros mínimos de las tuberías de succión y descargas de las bombas diseñadas en cada sección de la cervecería requeridos para alcanzar los flujos máximos especificados en las tablas anteriores.

En la vista siguiente se pueden elegir libremente los diámetros de tubería para cada sección (succión, descarga) y área de la cervecería. Al escoger los diámetros aparecerá automáticamente la velocidad lineal resultante en la entrada/salida de la bomba.

Diámetros nominales		DN calculado			
		Succión Minimal		Descarga Minimal	
Mezcla de maceración	Agua caliente	44		37	
	Agua fría	42		35	
Riegos	Agua caliente	36		30	
	Agua fría	8		7	
Condensador de vapores en la hervida	Agua caliente	27		23	
	Agua fría	27		22	
Enfriador de condensados	Agua caliente	10		8	
	Agua fría	10		8	
Enfriamiento de mosto	Agua caliente	60		50	
	Agua helada	59		49	

		DN seleccionado		Velocidad de flujo	
		Succión mm	Descarga mm	Succión [m/s]	Descarga [m/s]
Mezcla de maceración	Agua caliente	50	50	1,86	1,86
	Agua fría	50	50	1,70	1,70
Riegos	Agua caliente	40	40	1,90	1,90
	Agua fría	25	25	0,24	0,24
Condensador de vapores en la hervida	Agua caliente	40	40	1,10	1,10
	Agua fría	40	40	1,06	1,06
Enfriador de condensados	Agua caliente	25	25	0,37	0,37
	Agua fría	25	25	0,36	0,36
Enfriamiento de mosto	Agua caliente	50	50	3,41	3,41
	Agua helada	50	50	3,31	3,31