



---

**Universidad de Valladolid**

## **ANEXO 2**

# **CALCULO Y DIMENSIONADO DE LOS EQUIPOS**

Alumno: Victor Macrino Garcia Ruiz

Tutor: Ignacio Nevares Dominguez

ANÁLISIS Y ELECCIÓN DEL EQUIPO ADECUADO PARA UNA BODEGA CON UNA CAPACIDAD DE ENTRADA DE UVA MÁXIMA DE 598.500 KG EN EL MUNICIPIO DE PEÑAFIEL

## 1. CALCULO Y DIMENSIONADO

### 1.1. TEMPERATURAS INTERIOR Y EXTERIOR EN LA BODEGA.

Para calcular la temperatura tanto exterior como interior en la bodega se utiliza la tabla correspondiente a la Tabla 1.0. Las temperaturas que se tienen en cuenta corresponden a las comprendidas entre los meses de septiembre y noviembre.

**Tabla 1.0** En esta tabla se muestra las temperaturas medias, temperaturas mínimas y máximas tanto en grados centígrados como en faradais y las precipitaciones medias a lo largo del año en la zona de Peñafiel.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	3.5	5	8.1	10.4	13.7	18.1	21.3	21.1	17.8	12.5	8.2	5.5
Temperatura mín. (°C)	-0.1	0.4	3.1	4.9	7.9	11.6	14.2	14.4	11.5	7.4	3.9	2.1
Temperatura máx. (°C)	7.2	9.6	13.1	16	19.6	24.7	28.5	27.9	24.2	17.6	12.6	9
Temperatura media (°F)	38.3	41.0	46.6	50.7	56.7	64.6	70.3	70.0	64.0	54.5	46.8	41.9
Temperatura mín. (°F)	31.8	32.7	37.6	40.8	46.2	52.9	57.6	57.9	52.7	45.3	39.0	35.8
Temperatura máx. (°F)	45.0	49.3	55.6	60.8	67.3	76.5	83.3	82.2	75.6	63.7	54.7	48.2
Precipitación (mm)	36	33	37	41	50	40	18	15	31	42	48	43

$$T^a \text{ EXTERIOR} = (0,6 * T^a \text{ MAXIMA DEL MES MAS CALIDO}) + (0,4 * T^a \text{ MEDIA MES MAS CALIDO})$$

$$T^a \text{ INTERIOR} = 0,7 * T^a \text{ EXTERIOR}$$

Por lo que:

$$T^a \text{ EXTERIOR} = (0,6 * 24,2) + (0,4 * 17,8) = 21,76^{\circ}\text{C}$$

$$T^a \text{ INTERIOR} = (0,7 * 21,76) = 15,23^{\circ}\text{C}$$

### 1.2. CONDICIONES DEL PROCESO PRODUCTIVO

Las temperaturas elegidas para los diferentes procesos de producción fueron las siguientes:

- Entrada de uva → 15,2°C
- Fermentación alcohólica → 18°C
- Fermentación maloláctica → 22°C
- Sala de crianza → 14°C

Las temperaturas tanto para la fermentación alcohólica como para la fermentación maloláctica son las que se van a imponer a las camisas de frío para mantener la temperatura controlada de los procesos.

### 1.3. CALCULO Y DIMENSIONADO DEL EQUIPO

#### 1.3.1. Tolva de recepción

$$FLUJO DE TOLVA DIARIA (q) = \frac{\text{kg vendimia a procesar totales}}{\text{días de vendimia} * \text{horas diarias de trabajo}}$$

$$q \left( \frac{kg}{h} \right) = \frac{598.500kg}{12 \text{ días} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}}} = 6234.38 \text{ kg/h}$$

$$VOLUMEN (Q) = \frac{6234.38 \frac{kg}{hora}}{\left( 800 \frac{kg}{m^3} \right) * } = 7.8 m^3/h$$

(\*) El dato de la masa volúmica (800kg/m<sup>3</sup>) para vendimia manual es obtenido del libro tratado de enología.

Se va a calcular el número de tolvas necesarias a instalar en la recepción de vendimia:

$$\frac{n^{\circ} \text{remolques de descarga}}{\text{horas}} = \frac{q \left( \frac{kg}{hora} \right)}{\text{carga por remolque}}$$

$$\frac{n^{\circ} \text{remolques}}{\text{horas}} = \frac{6234.38 \frac{kg}{hora}}{3000kg} = 2.1 \frac{\text{remolques}}{\text{hora}}$$

$$n^{\circ} \text{tolvas} = \frac{\frac{n^{\circ} \text{remolques}}{\text{hora}} * \text{carga del remolque}}{\text{capacidad de la tolva} \left( q \left( \frac{kg}{hora} \right) \right)}$$

$$n^{\circ} \text{tolvas} = \frac{2.1 \text{ remolques} * 3000}{6234.38 \frac{kg}{hora}} = 1.01 \text{ tolvas}$$

Sabiendo que únicamente se necesita una única tolva, comprobamos la viabilidad calculando su capacidad unitaria definida como:

$$\text{Capacidad unitaria de la tolva}(kg) > 2 * 3000kg$$

$$6234.38 kg > 2 * 3000kg$$

Comprobado que se cumple la condición, se comprueba que es correcta la instalación de una sola tolva.

Para los cálculos tanto del tornillo sin fin como de la tolva, se sobredimensiona en volumen un 25% más, de este modo se sabe que:

$$VOLUMEN(Q') = 7.8m^3 * 1.25 = 9.75 \frac{m^3}{hora}$$

Para poder calcular el tamaño de la tolva que se necesita instalar es necesario dimensionar el tamaño del tornillo sin fin y la altura. La capacidad de la tolva ha de ser lo suficientemente grande para que quepa la carga de los remolques y posteriormente en la despalilladora y prensa.

La capacidad de la tolva viene dada por la siguiente fórmula:

$$C(m^3) = (S + s + \sqrt{S} * \sqrt{s}) * \frac{h}{3}$$

$$9.75m^3 = (10m^2 + 1.2m^2 + \sqrt{10m^2} * \sqrt{1.2m^2}) * \frac{h}{3}$$

$$h = 2.08 \text{ metros.}$$

La tolva deberá de tener una altura de 2 metros.

S→Base mayor de la pirámide truncada.  $S=L * A$

s→Base menor de la pirámide truncada.  $s=L * a$

Para la longitud (L) los valores están entre los 4 y 5 m, proceso se va a elegir una longitud de 4 metros, y la (A) se encuentra entre 1 y 3 m, por ello se va a elegir de 2.5m, para (a) se usa la medida obtenida por el tornillo sin fin. Sabiendo esto:

$$S = 4 * 2.5 = 10m^2$$

$$s = 4 * (0.250 + 0.05) = 1.2m^2$$

Una vez calculada la altura de la tolva calculamos el diámetro del tornillo sin fin el cual es necesario:

$$Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = 60 * \frac{\pi * D^2}{4} * D * \rho * n * \alpha$$

Siendo:

D → Diámetro del tornillo (m)

p → Paso de rosca de hélice (m), tiene el mismo vale que D

n → Régimen de rotación (45rpm)

α → Coeficiente de llenado 0.3

Q' → Capacidad de transporte a sobredimensionar para que el tamaño suficiente

$$9.75 \frac{m^3}{h} = 60 * \frac{\pi * D^2}{4} * D * 45 * 0.3$$

$$D = 0.248m$$

Por lo que el diámetro del tornillo sin fin deberá ser 0.248m, que en milímetros son 248mm.

La potencia necesaria para la tolva será:

$$W = \frac{Q' * L * \rho * f}{80 * \eta} + \frac{Q * \rho * H}{270 * \eta}$$

Q' → Capacidad transporte volumen.

L → Longitud del tornillo sin fin 4 metros.

P → Peso específico del producto t/m<sup>3</sup>

f → Factor del producto 1.5

η → Rendimiento mecánico 0.4

$$W = \frac{9.75 \frac{m^3}{h} * 4m * 0.75 \frac{t}{m^3} * 1.5}{80 * 0.4} = 1.37CV$$

Se elige un motor de 1.5CV para asegurarnos de tener potencia suficiente.

### 1.3.2. Balance térmico de necesidades de refrigeración/calentamiento

Para saber el equipo de frío que necesitamos, primero debe ser calculado la cantidad de energía necesaria que debe proporcionar. Para ello se calcula el calor necesario para los diferentes procesos, flash-expansión (en el caso este equipo lleva un equipo de frío independiente al que se usa para los demás procesos), fermentación alcohólica y fermentación maloláctica. A partir de un histograma donde se muestra el balance térmico correspondiente a los días de mayor consumo de energía siendo el pico más alto por el cual se partirá para elegir nuestro equipo de refrigeración.

#### 1.3.2.1. Flash-expansión

Tras el proceso de despalillado la uva sufrirá un proceso de calentamiento de 15,2°C, temperatura ambiente, hasta llevarla a 80°C, mediante un intercambiador dinámico coaxial. El caudal masico será el mismo que sigue tanto la tolva como la despalilladora, por lo que las necesidades de frío correspondientes a este proceso sera:

$$Q_{ID} = m * c_e * \Delta t$$

Donde: m: Caudal masico de entrada en el intercambiador (6234,kg/h).

C<sub>e</sub>: Calor específico del mosto

Δt: t<sub>f</sub>=80°C t<sub>i</sub>=15,2°C.

$$Q_{ID} = 6234 \frac{kg}{h} * 0,92 * (80 - 15,2)^{\circ}C = 371646,14 kcal/h.$$

Seguidamente se llevará a una cámara de expansión donde la uva se bajará de temperatura de nuevo 80°C a 35°C, suponiendo un gasto de:

$$Q_{cexpansión} = m * c_e * \Delta t$$

Donde: m: Caudal masico de entrada en el intercambiador (6234,kg/h).

C<sub>e</sub>: Calor específico del mosto

Δt: t<sub>f</sub>=80°C t<sub>i</sub>=15,2°C

$$Q_{cexpansión} = 6234 \frac{kg}{h} * 0,92 * (35 - 80)^{\circ}C =$$

$$Q_{\text{expansión}} = 258100 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 258100 \text{kcal/h}$$

### 1.3.2.2. Fermentación alcohólica

Durante el proceso de fermentación alcohólica son necesarias satisfacer las necesidades de frío para evacuar el calor generado durante la fermentación, las pérdidas producidas por el depósito con el exterior y las pérdidas de la camisa de refrigeración. Conociendo el volumen del mosto que va a fermentar y las dimensiones de cada depósito se calcula:

#### 1. Calor por la fermentación:

Mediante la fórmula:

$$Q_f = \frac{V * g * C_f * \rho_{\text{mosto}}}{d}$$

Donde: V: Volumen de mosto en un depósito (L).  
54000kg\*0,7=37800L/día

G: Gramos de azúcar por cada kg de mosto  
(200g/kg).

C<sub>f</sub>: Calor de fermentación (0.14 kcal/g de azúcar).

P<sub>mosto</sub>: Masa volúmica del mosto (1.09 kg/L).

D: Duración días fermentación.

$$Q_f = \frac{37800L * \frac{200g}{kg} * \frac{0,14kcal}{g} * \frac{1,09kg}{L}}{\frac{24h}{día} * 8días}$$
$$= 6008,62 \text{kcal/h}$$

#### 2. Perdidas de depósito:

Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_{pd} = U * S * \Delta t$$



Sabiendo la superficie de las camisas que tienen los depósitos, en este caso  $24,5m^2$  y las dimensiones del depósito  $\varnothing 3900 \times 5000$  dadas por el fabricante podemos calcular la superficie total del depósito sin contar la parte de la camisa:

$$\begin{aligned} S &= \pi * r^2 + 2 * \pi * r * h - 2 * \pi * r * a \\ S &= \pi * (1,9)m^2 + 2 * \pi * 1,9m * 5m - 24,5m^2 \\ &= 46,53m^2 \text{ de superficie del depósito} \end{aligned}$$

El coeficiente global de transmisión de calor que se ha tenido en cuenta es de  $5kcal/m^2h^{\circ}C$  (Depósito-ambiente: 3-5). Tomando el valor más alto

El salto térmico corresponde a la diferencia entre la temperatura exterior, en este caso:

$$\Delta t = t_{ext} - t_f$$

Donde:  $t_{ext}$ : Temperatura exterior.

$t_f$ : Temperatura de fermentación deseada ( $18^{\circ}C$ )

$$t_{ext} = 0,6 * t_{max} + 0,4 * t_m$$

$t_{max}$ : Temperatura máxima mes de Septiembre.

$t_m$ : Temperatura media mensual.

$$t_{ext} = 0,6 * 24,2 + 0,4 * 18 = 21,72^{\circ}C$$

Luego:

$$Q_{pd} = 46,53m^2 * 5 \frac{kcal}{m^2h^{\circ}C} * 1,72^{\circ}C =$$

$$Q_{pd} = 400,158 \frac{kcal}{h}$$

### 3. Pérdidas de camisa:

Por la superficie de la camisa también se producen intercambios de calor debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y exterior, además hay la posibilidad de que se produzcan condensaciones de vapor de agua en la superficie de la camisa al ser la temperatura de la camisa más baja que la temperatura del punto de rocío, produciéndose pérdidas altas por el calor latente de condensación del agua.

Por ello, se utiliza un aislante de caucho sintético para reducir el coeficiente global de transmisión de calor a la mitad y bajar la temperatura de la superficie por debajo de la temperatura de rocío.

El coeficiente global de transmisión de calor para camisas no aisladas a temperatura ambiente y aire en calma es de 8 a 12 kcal/m<sup>2</sup>h°C.

La conductividad térmica del caucho sintético es de 0,24W/m°C, obtenemos mediante cálculo un espesor necesario de 2,3 cm, con ello se consigue reducir el coeficiente global de transmisión de calor de 12 a 6kcal/m<sup>2</sup>h°C.

$$Q_{pc} = U * S * \Delta t$$

En este caso:

$$\Delta t = (t_{ext} - t_m)$$

Donde  $t_m$  es la temperatura media de líquido frigorífero que circula por la camisa.

$$\begin{aligned} T_{\text{entrada agua}} &: 7^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{salida agua}} &: 12^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$Q_{pc} = 6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}} * 24,5\text{m}^2 * (21,7 - 9,5)^{\circ}\text{C} = 1793,4\text{kcal/h}$$

### 4. Calor de fermentación total por depósito

$$Q_F = Q_f + Q_{pd} + Q_{pc}$$

$$Q_F = \frac{8202,178\text{kcal}}{h} = 196852,272\text{kcal/día}$$

### 1.3.2.3. Fermentación maloláctica

#### 1. Calor necesario para FML

Para la realización de la FML es necesario aumentar la temperatura del vino hasta 22°C para el correcto desarrollo y actividad de las bacterias que realizan esta actividad. Para calcular el gasto energético necesario se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_{FML} = \frac{V * \rho_{vino} * C_e * \Delta t}{N^{\circ} dias}$$

Donde: V: Volumen de mosto (L)  
C<sub>E</sub>: Calor específico del vino (0,95 kcal/g de Azúcar).  
P<sub>vino</sub>: Masa volúmica del vino (0,9 kg/L).

$$Q_{FML} = \frac{37800L * \frac{0,9kg}{L} * 0,95 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (22 - 15)^{\circ}C}{14dias}$$
$$= 16159,5kcal/dia$$

#### 2. Perdidas del depósito:

$$Q_{pd} = U * S * \Delta t$$

Donde: U: Coeficiente global de transmisión de calor (kcal/m<sup>2</sup>h°C).

S: Superficie del depósito (m<sup>2</sup>).

Δt: Salto térmico (°C)

Se tiene que calentar el vino del interior del depósito a 22°C.

$$\Delta t = t_{fml} - t_{ext}$$

Luego:  $Q_{pd} = 46,53m^2 * \frac{5kcal}{m^2} * 7^{\circ}C = 1628kcal/h$

$$Q_{pd} = \frac{1628,55kcal}{h} * \frac{24h}{dia} = 39085,2kcal/dia$$

3. Perdidas de camisa:

Las pérdidas producidas por la camisa son similares a las de fermentación alcohólica, variando las condiciones de temperatura.

$$Q_{pc} = \frac{6kcal}{m^2h^{\circ}C} * 24,5m^2 * (22 - 15)^{\circ}C = 1029kcal/h$$

$$Q_{pc} = \frac{1029kcal}{h} * \frac{24h}{dia} = 24696kcal/dia$$

4. Calor necesario para la FML en cada depósito:

$$Q_F = Q_{fml} + Q_{pd} + Q_{pc}$$

$$Q_F = 79940,7 \frac{kcal}{dia}$$

1.3.2.4. CRONOGRAMA DE NECESIDADES TÉRMICAS

DIA/ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	#	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40									
ENTRADA DE UVA																																																	
FA																																																	
FML																																																	
Nº DE DEPOSITOS	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8	7	6	5	4	3	2	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9	9	8	7	6	5	4	3	2	1									
FLASH-EXPANSIÓN																																																	

### 1.3.2.5. SELECCIÓN DEL CICLO FRIGORÍFICO

A través de los cálculos realizados anteriormente de las necesidades frigoríficas en los diferentes procesos, podemos ver en el histograma (figura 2) que los días de máxima potencia requerida son los días 9,10,11, donde hay un proceso de flash-expansión y 8 depósitos realizando fermentación alcohólica.

Una vez seleccionado el ciclo es conveniente comparar la potencia que el equipo puede dar cambiando las condiciones de temperatura de evaporación y condensación, que realizara en el apartado posterior mediante software.

Para seleccionar el ciclo, indicamos la temperatura de evaporación y la temperatura de condensación deseada para obtener la potencia necesaria para el control de temperatura de la fermentación alcohólica.

La temperatura de agua de refrigeración que queremos es de 6°C, como se utiliza un intercambiador en el evaporador se tiene aproximación de 3°C, con lo que la temperatura de evaporación es:

$$T_{eva} = 6 - 3 = 3^{\circ}C$$

La temperatura de condensación es la temperatura ambiente sumando 15°C:

$$T_{con} = 21,76 + 15 = 36,76^{\circ}C$$

Sabiendo que la potencia máxima requerida o pico máximo de necesidades de frio para la fermentación alcohólica son el día 9,10,11, cuando se encuentran fermentando 8 depósitos a la vez. Siendo su potencia requerida en total de:

$$Q_{FA} = \frac{196852,272kcal}{dia} * 8 depósitos = 1.574.818,176 \frac{kcal}{dia}$$

Como el equipo como máximo puede estar funcionando como máximo 16 horas al día, esa potencia se divide entre 16, resultando:

$$1.574.818,176 \frac{kcal}{dia} * 1 \frac{dia}{16h} = 98426,136kcal/h$$

$$114,47 \text{ kW}$$

ANÁLISIS Y ELECCIÓN DEL EQUIPO ADECUADO PARA UNA BODEGA CON UNA CAPACIDAD DE ENTRADA DE UVA MÁXIMA DE 598.500 KG EN EL MUNICIPIO DE PEÑAFIEL

Por lo que se necesita un equipo que tenga una potencia mínima de 140,28 kW.

Mediante el programa Coolpack en el apartado Cycle Specification, se comprueba que el equipo elegido pueda satisfacer los requerimientos de potencia necesaria para cada proceso y en sus condiciones particulares, resultando una comprobación satisfactoria al poder obtener más potencia de la necesaria para el otro proceso de fermentación maloláctica.

Para este equipo se elige el refrigerante R-134<sup>a</sup> (1,1,1,2-tetrafluoroetano), fluido utilizado para refrigeración.

A continuación, realizamos los cálculos manualmente y mediante el software Coolpack del ciclo frigorífico:

1- Dibujo del ciclo ideal en el diagrama de Mollier:

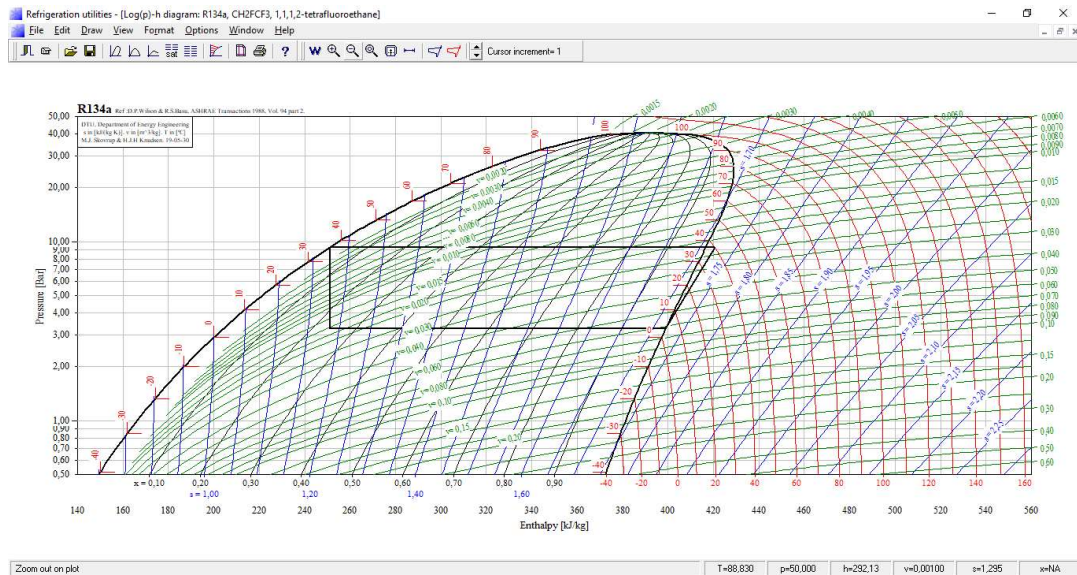


Figura 1

2- Descripción de los puntos del ciclo (Ciclo teórico):

**TABLA 1.0** (En esta tabla se encuentran escritas las medidas de presión, temperatura, entalpía y volumen de las 4 puntos del diagrama de Mollier)

PUNTOS	P(bar)	t(°C)	h(kcal/kg)	v(m <sup>3</sup> /kg)
1	3.265	3.050	95.32	-
2	9.283	40.162	100.55	0.02238
3	9.283	36.650	60.05	0.00388
4	3.265	3.050	60.05	-

3- Cálculo:

Mediante los datos de la tabla 1.0. podemos calcular  $q_e, q_c, w$ :

$$q_e = h_1 - h_4 = 95.32 - 60.05 = 35.27 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$q_c = h_2 - h_3 = 100.55 - 60.05 = 40.5 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$w = h_2 - h_1 = 100.55 - 95.32 = 5.23 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

Por lo que el caudal másico en horas y segundos corresponde:

$$m = \frac{Q_e}{q_e} = \frac{98426.13 \text{kcal/h}}{35.27 \text{kcal/kg}} = 2790.64 \text{kg/h}$$

<

$$m = \frac{2790.64 \text{kg/h}}{3600 \text{s/h}} = 0.77 \text{kg/s}$$

Producción frigorífica volumétrica:

$$q_v = \frac{q_e}{v} = \frac{35.27 \text{kcal/h}}{0.02238 \text{m}^3/\text{kg}} = 1575.96 \text{kcal/m}^3$$



Caudal volumétrico:

$$V = \frac{Q_e}{q_v} = \frac{98426.13 \text{ kcal/h}}{1575.96 \text{ kcal/m}^3} = 62.45 \text{ m}^3/\text{h}$$

Estas son las especificaciones principales del ciclo elegido para la fermentación alcohólica, que en nuestro caso es la limitante. El equipo elegido tiene que ser capaz de mover un caudal volumétrico de 62.45 m<sup>3</sup>/h.

$$\varepsilon = \frac{q_e}{w} = \frac{35.37 \text{ kcal/kg}}{5.23 \text{ kcal/kg}} = 6.76 \text{ (Adimensional)}$$

Ahora se realiza el cálculo del ciclo mediante el software Coopalck, dando los siguientes resultados:

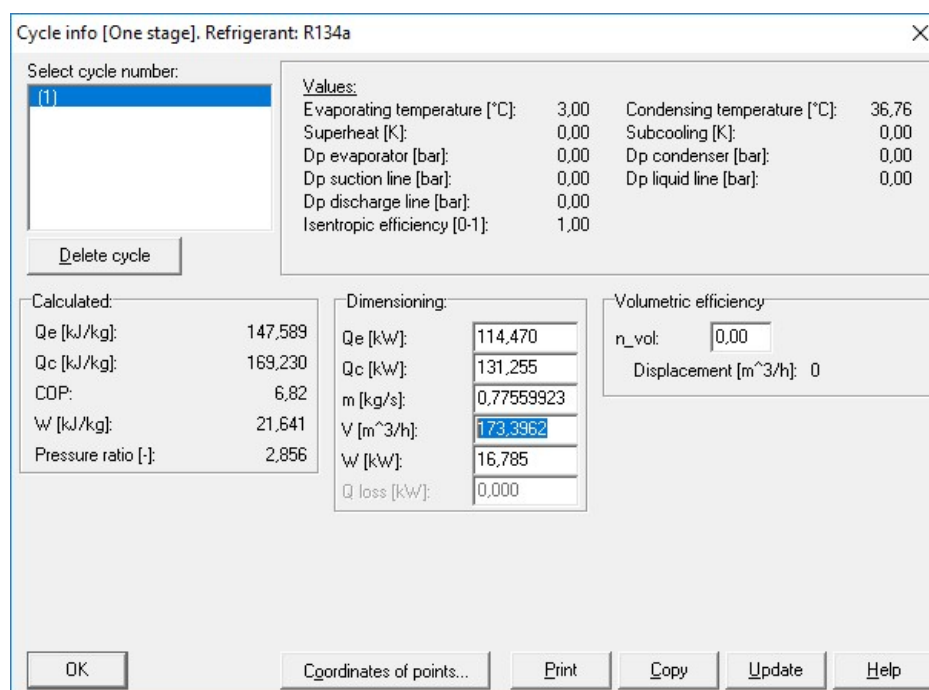


Figura 2

Los datos obtenidos son prácticamente iguales a los calculados manualmente.

### 1.3.2.6. DEPOSITO PULMON

$$V_D = \frac{PF * t_{min}}{180 * \Delta T * C_e}$$

$V_D$ : Volumen del deposito.

$P_F$ : Potencia frigorífica del equipo (kcal/h).

$T_{min}$ : Tiempo mínimo de parada (min)

$\Delta T$ : Variación máxima de temperatura durante la parada (°C).

$C_e$ : Calor específico del agua (1kcal/°C\*L)

180: Factor de conversiones.

Se diseña para que las paradas sean de al menos 5 minutos y queriendo que la variación máxima permisible sea de 2°C

$$V_D = \frac{98426kcal/h * 5min}{180 * 2^{\circ}C * \frac{1kcal}{^{\circ}C * L}} = 1367,2 L$$

### 1.3.3. Tuberías de la bodega.

#### 1.3.3.1. Fluidos primarios (Mosto y vino).

##### 1.3.3.1.1. Tubería principal para pasta y mosto a máquina flash-expansión

Se necesita mover pasta y mosto de la despalladora-estrujadora a la maquina flash-expansión con un caudal aproximado 7800L/h de pasta aproximadamente y seleccionando una velocidad de 0,8m/s para evitar problemas por velocidades altas. Se calcula el diámetro de la tubería necesaria.

Con el caudal y la velocidad, podemos calcular el diámetro de la tubería:

$$\text{Caudal} = v * S \quad S: \text{Sección (m}^2\text{)}$$

$$S = \pi * \frac{D^2}{4}$$

Sustituyendo los valores del caudal y velocidad deseada se obtiene un diámetro de:

$$D = 0,071m = 71mm.$$

Se elige mangueras de 71 mm de diámetro interior, cuya velocidad en este caso es de 0,63 m/s.

1.3.3.1.2. Movimientos de fluido en bodega (Trasiegos, remontados..)

El caudal que se estima para los distintos movimientos de la bodega es de máximo 5.500L/h, durante la fermentación alcohólica, tomando una velocidad aproximada de 1.1m/s

Con el caudal y la velocidad, podemos calcular el diámetro de la tubería:

$$\text{Caudal} = v * S \quad S: \text{Sección (m}^2\text{)}$$

$$S = \pi * \frac{D^2}{4}$$

Sustituyendo los valores del caudal y velocidad deseada se obtiene un diámetro de:

$$\frac{7.8m^3}{h} * 1 \frac{h}{3600s} = 2.16 * 10^{-3} m^3/s$$

$$S = \frac{Q}{v} = 2.70 * 10^{-3} m^2$$

Por lo que el diámetro ideal sera:

$$D = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} = 0.05863m = 58.63mm$$

Se eligen mangueras de diámetro interior 60mm, siendo su velocidad de 1.1m/s.

### 1.3.3.2. Fluidos secundarios (Agua glicolada)

Se realiza el cálculo de las características de las tuberías que son necesarias para nuestra bodega para cada proceso.

#### 1.3.3.2.1. Tuberías circuito fermentación alcohólica general

Se conoce el caudal que es necesario circular por el circuito en su punto máximo de necesidades frigoríficas:

$$Q_{FA}=1574818,176 \text{ kcal/día}$$

$$Q_{FA}=65617,242 \text{ kcal/día}$$

El caudal de agua glicolada deberá ser el que permita evacuar el calor.

Para evitar que el agua utilizada se congele añadimos un porcentaje de propilenglicol, fluido anticongelante permitido en la industria enológica.

Conociendo las condiciones de la temperatura más extremas (), en tablas obtenemos:

Debemos añadir un 33% en peso de propilenglicol (32,4% en volumen), que será la misma proporción para todos los procesos, y cuyas características principales son:

Mezcla de agua- propilenglicol (33% en peso):

Punto de congelación: -14.8°C

Punto de evaporación: 102,2°C

Densidad a -14,5°C: 1042,67 kg/m<sup>3</sup>

Calor específico: 3,7136 Kj/kg°C

Viscosidad: 0,164 kg/ms

Se obtiene el caudal masico que es necesario circular por la tubería y que debe evacuar 98426,13 kcal/h

$$Q_F = m * C_e * \Delta t$$

$$98426 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = m * 0,8882 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 10^\circ\text{C}$$

$$Q_F = m * C_e * \Delta t$$

$$m = 11081,51 \text{ kg/h}$$

Dividiendo por su densidad obtenemos el caudal volumétrico:

$$V_m = 10,62 \text{ m}^3/h$$

La velocidad a la que debe ir el fluido, en este caso agua es de 1,5 m/s para evitar que se produzcan golpes de ariete si circula a una velocidad mayor.

Con el caudal y la velocidad, mediante la fórmula siguiente, podemos calcular el diámetro de la tubería:

$$\text{Caudal} = v \cdot S \quad S: \text{Sección (m}^2\text{)}$$

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

Sustituyendo los valores del caudal y velocidad obtenemos el diámetro de tubería necesario:

$$D = 0,05004 \text{ m}$$

$$D = 50,04 \text{ mm}$$

Se elige PVC como material, siendo la 63mm la más superior a 50,05 mm.

Por último, calculamos la velocidad real que existe con el diámetro comercial:

$$\text{Caudal} = v \cdot \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$v = 0,95 \text{ m/s}$$

Mediante tablas y gráfica obtenemos la pérdida de carga específica para material PVC, mediante la velocidad o diámetro utilizado y el caudal.

j: Caída de presión específica (mca/100m)

mca: metros columna de agua

$$j = 1.455 \text{ mca por cada 100 metros de tubería}$$

Determinamos el número de Reynolds y el factor de fricción para conocer el tipo de régimen de desplazamiento del fluido.

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu}$$

Donde: Re: Numero de Reynolds  
 $\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)  
d: Diámetro (m)  
 $\mu$ : Viscosidad

$$R_e = \frac{1042,7 * 1,24 \text{ m/s} * 0,055\text{m}}{0,164 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 433,61$$

Reynolds nos indica que tiene un flujo laminar ya que  $433,61 < 2000$ .

Con el numero de Reynolds podemos obtener el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{R_e} = 0,15$$

#### 1.3.3.2.2. Tuberías conectadas a la tubería general y a cada depósito

Se debe conocer el caudal que es necesario circular por las camisas de cada depósito en el momento de máximo requerimiento de evacuación durante la fermentación alcohólica, se calculara a partir del calor total para un depósito:

$$Q_{FA} = 196852,272 \text{ kcal/día}$$
$$Q_{FA} = 8202,178 \text{ kcal/h}$$

El caudal de agua glicolada deberá ser el que permita evacuar el calor.

Para evitar que el agua utilizada se congele añadimos un porcentaje de propilenglicol, fluido anticongelante permitido en la industria enológica.

Conociendo las condiciones de la temperatura más extremas (), en tablas obtenemos:

Debemos añadir un 33% en peso de propilenglicol (32,4% en volumen), que será la misma proporción para todos los procesos, y cuyas características principales son:

Mezcla de agua- propilenglicol (33% en peso):

Punto de congelación:	-14.8°C
Punto de evaporación:	102,2°C
Densidad a -14,5°C:	1042,67 kg/m <sup>3</sup>
Calor específico:	3,7136 Kj/kg°C
Viscosidad:	0,164 kg/ms

Se obtiene el caudal masico que es necesario circular por la tubería y que debe evacuar 98426,13 kcal/h

$$Q_F = m * C_e * \Delta t$$

$$8202,178 \frac{kcal}{h} = m \left( \frac{kg}{h} \right) * 0,8882 \frac{kcal}{h} * 10^{\circ}C$$

$$m = 923,46 \text{ kg/h}$$

Dividiendo por su densidad obtenemos el caudal volumétrico:

$$V_m = 0,88 \text{ m}^3/h$$

La velocidad a la que debe ir el fluido, en este caso agua es de 1,5 m/s para evitar que se produzcan golpes de ariete si circula a una velocidad mayor.

Con el caudal y la velocidad, mediante la fórmula siguiente, podemos calcular diámetro de la tubería:

$$\text{Caudal} = v * S \quad S: \text{Sección}(\text{m}^2)$$

$$S = \pi * \frac{D^2}{4}$$

Sustituyendo los valores del caudal y velocidad obtenemos el diámetro de tubería necesario:

$$D = 0,0144 \text{ m}$$

$$D = 14,40 \text{ mm}$$

Se elige PVC como material, siendo la 19mm.

Por último, calculamos la velocidad real que existe con el diámetro comercial:

$$\text{Caudal} = v * \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$v = 0,86 \text{ m/s}$$

mediante tablas y gráfica obtenemos la pérdida de carga específica para material PVC, mediante la velocidad o diámetro utilizado y el caudal.

$$j = 5,62 \text{ mca por cada 100 metros de tubería}$$

**j:** Caída de presión específica (mca/100m)

**mca:** metros columna de agua

Determinamos el número de Reynolds y el factor de fricción para conocer el tipo de régimen de desplazamiento del fluido.

$$R_e = \frac{\rho * v * d}{\mu}$$

Donde: Re: Numero de Reynolds

$\rho$ : Densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

d: Diámetro (m)

$\mu$ : Viscosidad

$$R_e = \frac{1042,7 \text{ kg/m}^3 * 0,72 \text{ m/s} * 0,017 \text{ m}}{0,164 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}}} = 77,82$$

Reynolds nos indica que tiene un flujo laminar ya que  $77,82 < 2000$ .

Con el número de Reynolds podemos obtener el factor de fricción:

$$f = \frac{64}{R_e} = 0,82$$



### 1.3.4. Bombas para movimiento de fluidos en bodega

#### 1.3.4.1. Fluidos secundarios (Agua glicolada)

Conociendo el caudal necesario que se debe circular por el circuito en su momento de máximas necesidades de potencia y las pérdidas de carga que se producen obtenida la pérdida de carga específica en el apartado de tuberías.

Teniendo un caudal de  $10,63\text{m}^3/\text{h}$  y una pérdida de carga específica de:

$$j=1.455 \text{ mca por cada } 100 \text{ metros de tubería}$$

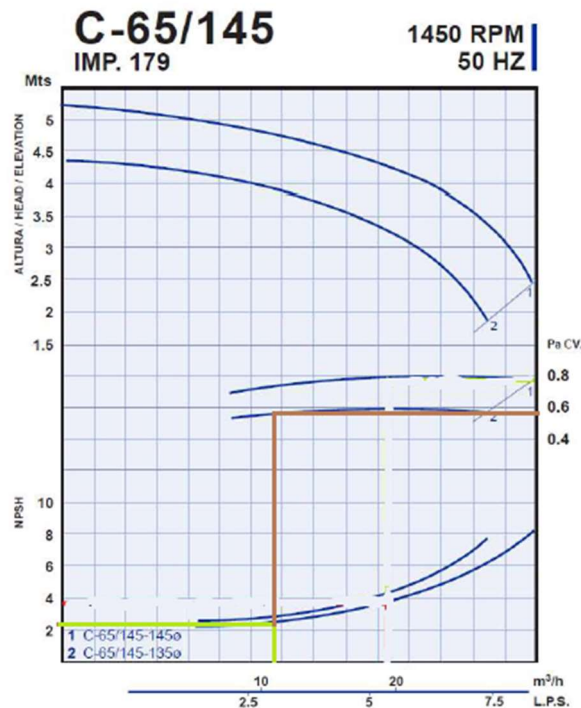
La longitud total del circuito se hace una aproximación que será de entorno a los  $141,6\text{m}$  (Suma de la longitud total del circuito mas una estimación del 20 % de longitud equivalente ( $L_{eq}$ : pérdida de carga producida por los distintos accesorios (codos, válvulas, etc.))

$$F_a = 2,06 \text{ mca}$$

Se calcula  $NPSH_d$

$$NPSH_d = 10 - 0,03 + 0 - 3 = 6,97 \text{ mca}$$

Comprobación si se cumple  $NPSH_d > 1,2 \cdot NPSH_r$



Mediante la gráfica se obtiene un  $NPSH_r$  de 3,9

Confirmándose la relación:  $NPSH_d > 1,2 \cdot NPSH_r$

Figura 3

Mediante la gráfica se obtiene un  $NPSH_r$  de 2.3

Confirmándose la relación:  $NPSH_d > 1,2 * NPSH_r$

Con una potencia de 0,6 CV en esas condiciones.

A continuación, se muestra un dibujo orientativo de como irán las tuberías de agua glicolada al depósito y equipo de frío.

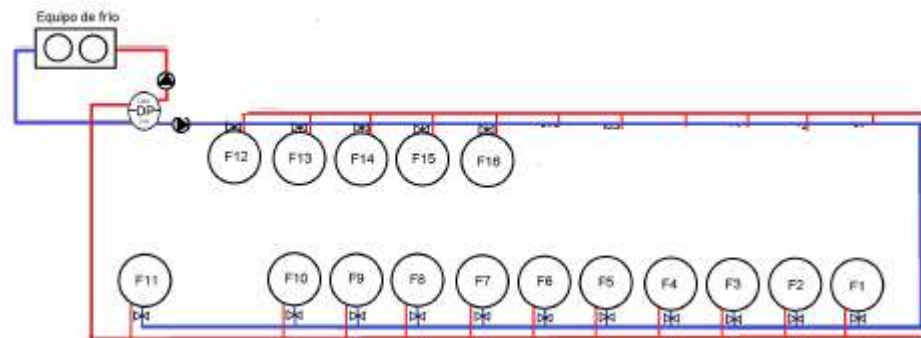


Figura 4

## 2. BIBLIOGRAFIA

López Gómez, Antonio, 2011. Las instalaciones frigoríficas en las bodegas (Manual de diseño). Madrid.