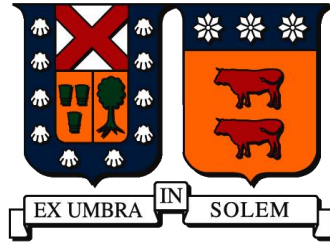


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

VALPARAISO – CHILE



**“ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE
CHAQUETAS DE ENFRIAMIENTO TIPO
DIMPLE JACKET Y TIPO CANALINAS EN
PROCESO DE FERMENTACIÓN
VITIVINÍCOLA”**

ESTEBAN IGNACIO LOYOLA CELEDÓN

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: PH.D. CARLOS ROSALES H.

PROFESOR CORREFERENTE: MG.- ING. JAIME ESPINOZA S.

MAYO 2018

Agradecimientos

Agradezco a mis padres, Ignacio Rainiero Loyola Acuña y Ana Verónica Celedón Ugalde por brindarme todo su apoyo tanto emocional como económico durante esta larga etapa y darme la oportunidad de poder completar mis estudios universitarios lejos de casa.

A mis profesores guía y correferente Carlos Rosales H. y Jaime Espinoza S., por darse el tiempo de ayudarme, corregirme y guiarme en este importante proyecto que marca el final de una etapa de mi vida.

Dedicatoria

A la memoria de mi mejor amiga Carolina Andrea Jara Lagos, quién siempre me entregó su amistad, alegría, cariño y apoyo ante cualquier circunstancia. Nunca te olvidaré.

Resumen

En 1993 la empresa Tecnología de Procesos Industriales (TPI S.A) se asocia con la empresa belga PACKO. La empresa extranjera le aporta a TPI el know-how necesario para comenzar en Chile la producción de estanques de acero inoxidable para leche y vinos. Este último, durante su proceso de elaboración consta de diferentes etapas hasta llegar al punto de fermentación alcohólica, que es donde el mosto de uva reacciona con las levaduras adicionadas para producir finalmente el vino.

Durante este proceso se libera una gran cantidad de calor, el cual debe ser disipado, ya que afecta directamente el resultado del vino. Para esto la empresa cuenta con dos sistemas disipadores de calor que trabajan mediante la circulación interna de agua de refrigeración, uno es el sistema Dimple Jacket el cual es una especie de segunda piel sobre el manto del estanque con un menor espesor de acero, y el segundo es el sistema de Canalinas, este tiene forma de semicilindro el cual rodea externamente el manto del estanque como un serpentín por donde circula el líquido.

Para el desarrollar el ejercicio, se analizó un estanque de volumen de $75 \text{ [m}^3\text{]}$ donde se estudiaron ambos sistemas mediante el método Lopez and Secanell bajo las mismas condiciones ambientales, temperatura del agua y temperaturas de fermentación para el del vino tinto y blanco, y así determinar con cual de ambos se requiere menor cantidad de superficie instalada para el mismo volumen.

Luego de realizar el análisis térmico, y comparar las cantidades de superficies requeridas para las mismas condiciones de trabajo, se obtiene que el sistema Dimple Jacket es más eficiente, ya que tiene una mayor capacidad de disipación gracias a su bajo espesor y se distribuye de mejor manera sobre el manto del estanque.

Abstract

TPI Chile produces stainless steel tanks for wine fermentation. These require keeping the must at constant temperature, for this the company offers to implement two cooling systems which work by internal circulation of water at low temperature, the Canalina type and the Dimple Jacket type. Through a technical-economic analysis to a tank of 75[m³], considering that both systems have the same manufacturing cost and energy consumption for the coolant, it is determined that the Dimple Jacket type is more efficient than the Canalina type, since it requires a lower amount of square meters of steel to dissipate the same amount of heat generated during the period of wine fermentation. At the same time, different volumes were analyzed, under the same working conditions, and this system prevails in all cases studied.

Glosario

D	Diámetro interior estanque [mm]
e	Espesor virolas [mm]
L_e	Altura cilíndrica estanque [m]
V_n	Volumen nominal [m ³]
V	Volumen mosto [m ³]
k_e	Coeficiente conductivo acero $\left[\frac{W}{mK}\right]$
T_m	Temperatura fermentación mosto [K]
$Q_{total.fer}$	Calor total generado durante la fermentación [kJ]
h_m	Coeficiente de convección del mosto $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
T_∞	Temperatura ambiente [K]
ρ	Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
k	Coeficiente conducción $\left[\frac{W}{mK}\right]$
C_p	Calor específico $\left[\frac{J}{kgK}\right]$
ν	Viscosidad cinemática $\left[\frac{m^2}{s}\right]$
μ	Viscosidad dinámica $\left[\frac{kg}{ms}\right]$
β	Coeficiente expansión volumétrica $\left[\frac{1}{K}\right]$
Gr_L	Número de Grashof [-]

Pr	Número de Prandtl [-]
Ra_L	Número de Rayleigh [-]
Nu	Número de Nusselt [-]
h_{nat}	Coeficiente de convección natural $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
T_{gi}	Temperatura agua entrada [K]
T_{go}	Temperatura agua salida [K]
A_1	Área boquilla entrada a sistema disipador de calor [m ²]
A_2	Área transversal Dimple Jacket [m ²]
A_3	Área transversal Canalina [m ²]
V_1	Velocidad entrada boquilla $\left[\frac{m}{s}\right]$
V_2	Velocidad interna Dimple Jacket $\left[\frac{m}{s}\right]$
V_3	Velocidad interna Canalina $\left[\frac{m}{s}\right]$
D_h	Diámetro hidráulico [m]
d_c	Diámetro Canalina [m]
P	Perímetro de Dimple Jacket [m]
Re	Número de Reynolds [-]
f	Factor de fricción [-]
h_{forz}	Coeficiente de convección interna forzada $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
r_o	Radio exterior estanque [m]
r_i	Radio interior estanque [m]

e_d	Espesor Dimple Jacket [mm]
$H_{m.e}$	Resistencia convectiva del mosto con área del manto sin chaqueta $\left[\frac{K}{W}\right]$
A_r	Área del manto sin chaqueta [m ²]
R_r	Resistencia conductiva a través del estanque sin chaqueta $\left[\frac{K}{W}\right]$
L_r	Largo del manto sin chaqueta [m]
H_{air}	Resistencia convectiva del aire con área del manto sin chaqueta $\left[\frac{K}{W}\right]$
H_m	Resistencia convectiva del mosto con área de contacto de agua de chaqueta $\left[\frac{K}{W}\right]$
$A_{m.a}$	Área contacto agua enfriamiento con estanque [m ²]
R_1	Resistencia conductiva entre el estanque y el agua de enfriamiento $\left[\frac{K}{W}\right]$
L_D	Ancho chaqueta [m]
H_{ag}	Resistencia convectiva fluido refrigerante con área contacto con estanque $\left[\frac{K}{W}\right]$
$H_{m.b}$	Resistencia convectiva del agua refrigerante con área de botones $\left[\frac{K}{W}\right]$
A_b	Área botones cónicos [m ²]
R_b	Resistencia conductiva entre el estanque y botones cónicos $\left[\frac{K}{W}\right]$
H_b	Resistencia convectiva entre botones y aire $\left[\frac{K}{W}\right]$
Q_t	Capacidad de disipación del sistema refrigerante $\left[\frac{kJ}{hr}\right]$

Índice

1.	Introducción	13
1.1.	Tipos de vinos	13
1.1.1.	Vino Tinto (Urbina Vinos, 2011).....	14
1.1.2.	Vino Blanco y Rosado (Urbina Vinos, 2011)	15
1.2.	Proceso de elaboración del vino (Vivanco, 2016).....	15
1.2.1.	La vendimia.....	16
1.2.2.	Despalillado.....	17
1.2.3.	Estrujado	17
1.2.4.	Maceración y Fermentación Alcohólica	17
1.2.5.	Prensado	18
1.2.6.	Fermentación Maloláctica	18
1.2.7.	Crianza	19
1.2.8.	Trasiego.....	19
1.2.9.	Clarificación.....	20
1.2.10.	Embotellado.....	20
2.	Objetivos	21
2.1.	Objetivo General	21
2.2.	Objetivos específicos.....	21
3.	Métodos de cálculo de generación de calor	22
3.1.	Boulton Model (Boulton, 1978)	22
3.2.	Flanzy Model (Flanzy, 2000)	22
3.3.	Hidalgo – Tagores Model (Hidalgo – Tagores, 2003)	23
3.4.	El Haloui Model (El Haloui et al, 1987)	23
3.5.	Lopez and Secanell Model (Lopez and Secanell, 1992)	24
4.	Sistemas disipadores de Calor.....	26
4.1.	Dimple Jacket	27
4.2.	Canalina.....	29

5.	Análisis Comparativo.....	30
5.1.	Dimple Jacket	36
5.1.1.	Convección Natural.....	36
5.1.2.	Convección Interna Forzada	38
5.1.3.	Capacidad de disipación Dimple Jacket.....	41
5.2.	Canalina.....	43
5.2.1.	Convección Natural.....	43
5.2.2.	Convección Interna Forzada	44
5.2.3.	Capacidad de disipación Canalina	46
5.3.	Resultados	48
6.	Conclusiones	49
7.	Referencias.....	50
8.	Anexos	52
8.1.	Anexo A: Gráficos tasa generación de calor	52
8.2.	Anexo B: Análisis a diversos volúmenes de estanque	53
8.3.	Anexo C: Detalle Dimple Jacket	54
8.4.	Anexo D: Detalle Canallinas	55

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Esquema elaboración vino	16
Ilustración 2: Estanque con Dimple Jacket	27
Ilustración 3: Estanque con Canalinas	29
Ilustración 4: Estanque fermentación 75 [m3].....	30
Ilustración 5: Resistencias Dimple Jacket.....	41
Ilustración 6: Resistencia Canalina	46
Ilustración 7: Fermentación 9 días – Vino Tinto	52
Ilustración 8: Fermentación 18 días – Vino Blanco.....	52

Índice de Tablas

<i>Tabla 1: Datos estanque 75[m3].....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2: Parámetros Lopez and Secanell</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3: Calor total generado estanque 75[m3]</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4: Fracción diaria de calor generado – Vino Tinto</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 5: Fracción diaria de calor generado – Vino Blanco</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6: Propiedades del aire a temperatura film.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7: Convección Natural Dimple Jacket.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8: Propiedades agua a 8[°C]</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 9: Convección Interna Forzada Dimple Jacket.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 10: Superficie requerida Dimple Jacket</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11: Convección Natural Canalina</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12: Convección Interna Forzada Canalina</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 13: Superficie requerida Canalina</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 14: Resultados Análisis.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 15: Otros volúmenes</i>	<i>53</i>

1. Introducción

El foco de este trabajo de investigación es comparar desde un ámbito técnico y económico los tipos de chaquetas para transferencia de calor con los que cuenta la empresa TPI Chile en la fabricación de estanques de acero inoxidable utilizados actualmente en el proceso de Fermentación en la industria vitivinícola en el país.

Para contextualizar este trabajo, primero se deben conocer a grandes rasgos los tipos de vinos y sus clasificaciones además de entender el proceso de elaboración de estos y la importancia que tienen los sistemas de transferencia de calor en el proceso de fermentación.

1.1. Tipos de vinos

La industria vitivinícola en nuestro país está en auge a gran nivel internacional, siendo tal que Chile está ubicado como el cuarto mayor vendedor mundial de vino envasado, después de Francia, Italia y España respectivamente, además de su alta calidad dado los varios reconocimientos que ha tenido internacionalmente como el premio al mejor vino en “categoría económico” y el premio a “la mejor producción sustentable”, entre otros (Todo Vinos, 2017).

Hoy en día en enología existen una gran variedad de tipos de vinos, y entre los cuales se distinguen sus principales clasificaciones como:

- Según color:
 - Vino tinto.
 - Vino blanco.
 - Vino rosado.
 - Vino clarete.

- Según envejecimiento:
 - Vino del año.
 - Vino crianza.
 - Vino reserva.
 - Vino gran reserva.

- Según la cantidad de tipos de uvas:
 - Vino varietal o monovarietal.
 - Vino de corte, de assemblage, genérico o multivarietal.

- Según presión de gases disueltos:
 - Vinos tranquilos
 - Vinos espumosos.

Estas son algunas clasificaciones que reciben los diferentes tipos de vinos. Para esta investigación nos concentraremos en los vinos según la clasificación de color y centrándonos aún más en los de tipo vino tinto, vino blanco.

1.1.1. Vino Tinto (Urbina Vinos, 2011)

Como lo dice su nombre, este vino es procedente mayormente de mosto de uvas tintas, el cual mediante una elaboración pertinente, adquiere su color gracias a los hollejos de la uva.

La temperatura ideal en la vinificación se encuentra entre los 25 y 30 [°C], en función de la necesidad de conseguir una fermentación suficientemente rápida, y evitar el cese de la fermentación.

Con una temperatura inferior a los 22 [°C], existe una baja maceración, y el vino resultante presenta falta de color, a causa de pocos taninos. Estos se encuentran en las pepitas, pieles y raspones de uva, y son los que contienen los pigmentos responsables del color.

Entre 24-26 [°C] existe baja extracción de taninos, produciendo un vino tinto afrutado y aromático.

Entre 28-32 [°C] existe una buena extracción de color y taninos. Esta temperatura es recomendable para vinos de crianza o para algunas variedades de uva que liberan con dificultad su materia colorante.

Con una temperatura superior a los 32 [°C] existen riesgos de parada de fermentación y pérdidas de aroma.

1.1.2. Vino Blanco y Rosado (Urbina Vinos, 2011)

Para la vinificación de vinos blancos y rosados, se recomienda una temperatura más baja que para los vinos tinto, alrededor de unos 20 [°C].

Con una temperatura inferior a los 15 [°C] el arranque de la fermentación es más difícil, provocando riesgos de oxidación, llevando a la necesidad de utilizar una levadura adaptada para esta temperatura.

Entre 15-18 [°C] se considera una temperatura óptima para la formación de aromas.

Entre 18-20 [°C] es una temperatura deseable para asegurar un buen término de la fermentación.

Para una temperatura entre 20-25 [°C] se considera una fermentación muy activa, pero se pierden algunos aromas.

1.2. Proceso de elaboración del vino (Vivanco, 2016)

La elaboración del vino, es un proceso milenario que con los años ha llegado a alcanzar un nivel de complejidad y estándares de calidad sobresalientes. A pesar de esto, en esencia, este proceso es el mismo que se empleaba antiguamente. Todo el proceso se concentra en la fermentación del mosto de la uva.

Para poder lograr altos resultados de reconocimiento mundial, se requiere de un alto control en todas las etapas del proceso productivo, sobre todo como fue mencionado anteriormente en la etapa de la fermentación alcohólica, ya que es aquí donde el vino adquiere gran parte de su aroma, sabor y donde se definen los grados etílicos.

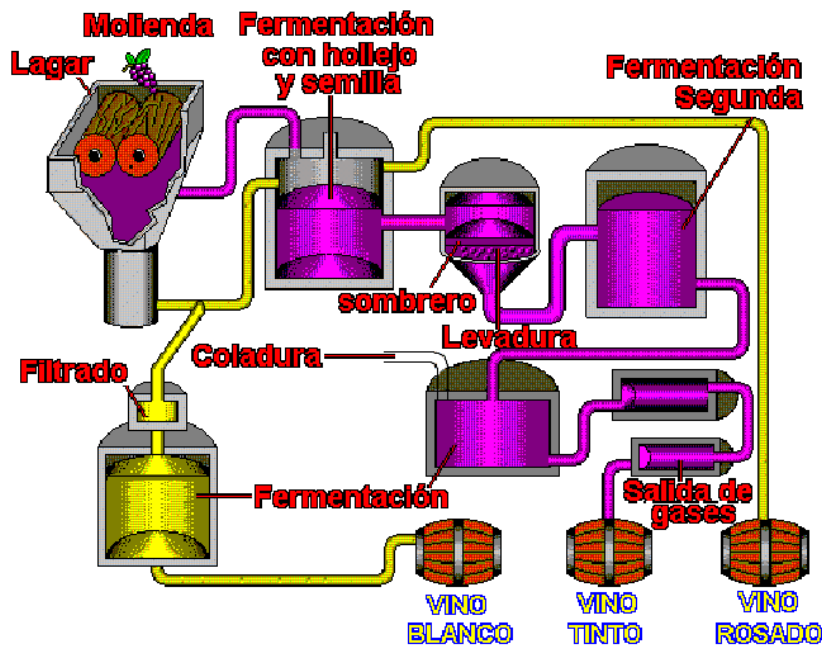


Ilustración 1: Esquema elaboración vino

1.2.1. La vendimia

La vendimia es la cosecha de la uva que se realiza en nuestro país entre los meses de marzo y abril a fines del verano austral. Es en este período donde la uva se encuentra en un estado idóneo de maduración, y así poder extraer de ella un vino de calidad. Es particularmente importante la concentración de azúcar que presenten las uvas, ya que de ello depende la posterior fermentación y el nivel de alcohol que presentará el vino.

1.2.2. Despalillado

El despalillado es un proceso mediante el cual se separan las uvas del resto del racimo, lo cual es conocido como raspón. Tradicionalmente esta labor se hacía a mano, pero hoy en día se utiliza un método más eficiente a través del uso de una máquina: la despalilladora. El objetivo de separar la uva de las hojas y ramas que pueden estar presentes en los racimos, es que estas dos últimas aportan sabores y aromas amargos al mosto durante el proceso de maceración.

1.2.3. Estrujado

Una vez que es desgranado el racimo, los granos de uva se pasan por una máquina estrujadora o pisadora. Esta etapa tiene como finalidad conseguir que se rompa la piel de la uva, conocida como hollejo. Así se extrae gran parte del mosto del interior de la fruta, lo que facilitará el proceso de maceración, ya que existirá un mayor contacto con los hollejos. El proceso de estrujado debe ser suave, ya que se debe evitar que se rompan las semillas de las uvas, lo que podría aportar amargor al mosto.

1.2.4. Maceración y Fermentación Alcohólica

La etapa de maceración es un proceso que dura unos días, el cual permite que ocurra la fermentación. Este propicia que el mosto adquiera su color, así como otras características mediante el contacto con los pigmentos propios de los hollejos.

Posteriormente, en estos mismos depósitos y a través de las propias levaduras presentes de forma natural en la piel de las uvas, comienza el proceso de fermentación alcohólica, donde el azúcar de estas se transforma en alcohol etílico.

Durante la fermentación, el dióxido de carbono sube hacia la superficie produciendo un burbujeo y arrastrando consigo las partes sólidas de la mezcla. Por este efecto, se crea una capa sólida compuesta por hollejos, pulpa y pepitas sobre el mosto conocida como sombrero. Para facilitar que las partes sólidas sigan en contacto con el mosto se lleva a cabo el remontado; este consiste en la extracción del mosto por la parte

inferior del depósito para reintroducirlo por la parte superior, regando el sombrero; y el bazuqueo, el cual consta de romper el sombrero de forma manual con ayuda de una vara o bazuqueador para que se mezcle con el mosto. El objetivo de ambos trabajos es que se mantenga una mezcla homogénea y así los hollejos puedan transferir las propiedades deseadas al vino.

Este proceso dura, según el tipo de vino que se pretenda elaborar, entre 7 a 10 días para los vinos tintos, el cual no debe superar el rango de temperatura entre 25[°C] a 32[°C] y entre 15 a 21 días para lo que es vino blanco y rosado con un rango de temperatura de 18[°C] a 20[°C] (Urbina Vinos, 2011).

Al cumplirse este tiempo, se procede con el descube, mediante el cual se transfiere el líquido a otro depósito.

1.2.5. Prensado

Posteriormente al descube, el producto sólido de la fermentación aún tiene grandes cantidades de vino, por lo que es sometido a un prensado para extraer todo el líquido, obteniéndose el vino de prensa, el cual es rico en aromas y taninos, sin ser mezclado con el obtenido en el descube. Estos dos vinos se utilizarán para elaboración de productos diferentes. Además los restos sólidos resultantes del prensado se emplean como subproductos en la elaboración de orujos, entre otros (Urbina Vinos, 2011).

1.2.6. Fermentación Maloláctica

El vino obtenido luego de las etapas previamente mencionadas es sometido a un nuevo proceso de fermentación. A través de este proceso, el ácido málico presente en el producto se convierte en ácido láctico. Esto ayuda a rebajar el carácter ácido del vino haciéndolo más agradable para su consumo. Este proceso de fermentación puede durar entre 15 a 21 días.

1.2.7. Crianza

Luego de las dos fermentaciones, otra etapa de gran importancia en la elaboración de un vino, es el proceso de crianza o envejecimiento. Aquí el vino obtenido de los pasos anteriores es introducido en barricas de roble.

La madera para la elaboración de las barricas es seleccionada principalmente por sus propiedades de dureza, permeabilidad y porosidad. Estas juegan un papel importante, ya que debido al tratamiento de calor que reciben para darles su forma, estas obtienen diferentes tipos de tostado, además del tipo de roble seleccionado (normalmente francés o americano) y la cantidad de veces que hayan sido utilizadas modifican el carácter del vino.

Es aquí donde el vino adquiere notas aromáticas, las cuales se pueden identificar como tostadas, ahumadas, avainilladas y amaderadas. Además durante su estancia en las barricas se producen una serie de procesos físicos-químicos, y la porosidad de la madera permite la microoxigenación de este, otorgándola a lo largo del tiempo sus características particulares.

En paralelo a la crianza del vino en barrica, se realizan dos trabajos adicionales que permitirían eliminar las impurezas y sedimentos que los diferentes vinos arrastran desde las fermentaciones: trasiego y el clarificado.

1.2.8. Trasiego

Después de la fermentación maloláctica se lleva a cabo el trasiego, proceso mediante el cual el vino se cambia varias veces de recipiente, con el fin de ir eliminando los sedimentos sólidos y de airear el vino.

1.2.9. Clarificación

Durante el proceso de clarificación se emplean sustancias orgánicas que arrastran las impurezas suspendidas en el vino hacia el fondo de la barrica. Si se considera necesario, este paso puede ir seguido de un posterior filtrado del vino para eliminar más eficazmente esas impurezas.

1.2.10. Embotellado

Una segunda parte del período de crianza del vino tendrá lugar una vez que este es embotellado. Durante este tiempo el vino evolucionará en una atmósfera reductora asimilará el oxígeno que se introduce en la botella cuando se cierra con el corcho.

El envejecimiento en botella también es importante, ya que permite que el vino se estabilice y que los aromas y propiedades adquiridas en la barrica encuentren un punto de equilibrio y armonía. Dependiendo del tipo de crianza que se les den tanto en barrica como en botella, se obtendría como producto final un vino crianza, reserva o gran reserva.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

El trabajo presentado tiene por objetivo principal el análisis térmico de los sistemas disipadores de calor Dimple Jacket y Canalinas que ofrece la empresa TPI Chile para los estanques de fermentación de vino, comparando su capacidad de transferencia de calor y los costos de fabricación, instalación y funcionamiento que conlleva la utilización de cada uno de estos.

2.2. Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general se proponen los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar del proceso de elaboración del vino tinto y blanco.
- Estudiar la tasa de generación de calor producida por el mosto durante el proceso de fermentación para el vino tinto y vino blanco.
- Balance térmico de los dos sistemas disipadores de calor bajo mismas condiciones de trabajo.
- Análisis comparativo entre ambos sistemas de transferencia de calor considerando costos de fabricación y poder de disipación.

3. Métodos de cálculo de generación de calor

Durante la fermentación alcohólica de los azúcares por efecto de las levaduras, se produce un desprendimiento de $40 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \right]$, de las cuales $14.6 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \right]$ las utilizan las levaduras para atender sus funciones vitales y los $25.4 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \right]$ restantes se desprenden al medio calentándolo. De tal manera que si una molécula de azúcar tiene 180[gr], resulta un desprendimiento de calor de (Urbina Vinos, 2011):

$$\frac{25.4 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{mol}} \right]}{180 \left[\frac{\text{gr}}{\text{mol}} \right]} = 0.140 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{gr}} \right] \rightarrow 140 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right]$$

Existen diferentes autores quienes plantean diversos métodos para calcular la generación de calor producida durante el proceso de fermentación del vino, entre los cuales podemos destacar (Gupta et al, 2013):

3.1. Boulton Model (Boulton, 1978)

Este modelo considera que la velocidad de la fermentación es constante, por lo tanto la liberación de calor también lo es. La tasa de fermentación se deriva de la concentración inicial de azúcar de la cepa y la duración estimada de la fermentación. Boulton estima que la tasa promedio de consumo de azúcar es de $2 \left[\frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{día}} \right]$ para los vinos blancos, y de 4 a 6 $\left[\frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{día}} \right]$ para los vinos tintos, resultando en una tasa de liberación de calor de $460 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3\text{hr}} \right]$ para los vinos blancos y $1360 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3\text{hr}} \right]$ para los vinos tintos.

3.2. Flanzky Model (Flanzky, 2000)

Este modelo sólo considera que la tasa de fermentación es constante y se diferencia entre vinos blancos y tintos. La tasa de fermentación expresada en términos del consumo de azúcar es: $2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3\text{hr}} \right]$ para vinos blancos y $7 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3\text{hr}} \right]$ para vinos tintos.

3.3. Hidalgo – Tagores Model (Hidalgo – Tagores, 2003)

Otra opción para una estimación rápida es calcular el calor total liberado y distribuirlo de manera uniforme durante la fermentación.

$$P_{fer} = 1000 \frac{V_f S_0 \Delta H_f}{M 24 t_{fer}}$$

P_{fer} : Calor total liberado durante la fermentación $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{hr}}\right]$.

S_0 : Concentración inicial de azúcar $\left[\frac{\text{gr}}{\text{Lt}}\right]$.

V_f : Volumen mosto $[\text{m}^3]$.

ΔH_f : Calor de fermentación $\left(100.5 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol glucosa}}\right]\right)$.

M : Peso molecular de la glucosa $\left(180 \left[\frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right]\right)$.

t_{fer} : Duración fermentación [días].

3.4. El Haloui Model (El Haloui et al, 1987)

Este modelo considera la relación entre el azúcar consumido y el dióxido de carbono o etanol formado durante la fermentación. Con este modelo, Colombié et al. 2007 y Palacios et al. 2009 estimaron la tasa de liberación de calor utilizando los modelos cinéticos de Malherbe et al. 2004 y Coleman et al. 2007, respectivamente.

3.5. Lopez and Secanell Model (Lopez and Secanell, 1992)

Este modelo, derivado de los datos de microvinificación correlaciona la tasa de liberación de calor con la temperatura de fermentación, la concentración inicial de azúcar y la acidez total del mosto.

$$P_{fer} = 4187 \frac{k_1}{k_1 - k_2} (e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t})$$

P_{fer} : Tasa de calor liberada por la fermentación $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3 \text{hr}} \right]$.

k_1 : Parámetro dependiente de la temperatura y de la acidez total.

k_2 : Parámetro dependiente de la temperatura y la concentración inicial de azúcar.

t : Tiempo fermentación [hr].

Los parámetros k_1 y k_2 son calculados utilizando la siguiente correlación:

$$k_1 = K_{10} e^{-\frac{E_a}{RT} + K_{11} A_t} \quad k_2 = \frac{K_{20}}{S_0} e^{-\frac{E'_a}{RT}}$$

T : Temperatura fermentación [K].

A_t : Acidez total del mosto (ácido tartárico) $\left[\frac{\text{gr}}{\text{Lt}} \right]$.

S_0 : Concentración inicial de azúcar $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$.

K_{10} : Constante adimensional ($4.1646 \cdot 10^{14}$ [-]).

K_{11} : Constante ($0.04848 \left[\frac{\text{Lt}}{\text{gr}} \right]$).

K_{20} : Constante ($35.70 \left[\frac{\text{gr}}{\text{Lt}} \right]$).

$\frac{E_a}{R}$: Constante ($1.1206 \cdot 10^4 [\text{K}]$).

$\frac{E'_a}{R}$: Constante ($480.875 [\text{K}]$).

R : Constante de los gases ($8.314 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$).

Q_{fer} : Calor total liberado $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$.

El calor total liberado durante la fermentación se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{fer} = 4187 \frac{k_1}{k_1 - k_2} \left(\frac{1}{k_1} e^{-k_1 t} - \frac{1}{k_2} e^{-k_2 t} + \frac{k_1 - k_2}{k_1 k_2} \right)$$

Este modelo considera una tasa de fermentación variable; por lo tanto, la tasa de liberación de calor depende en gran medida de la temperatura del mosto y el progreso de la fermentación.

Con estos antecedentes podemos determinar que método es el más adecuado para realizar el análisis comparativo entre los dos sistemas disipadores de calor. Para esto debemos determinar el calor total liberado durante el proceso de fermentación, por lo tanto se utilizará el último método mencionado, el Modelo “Lopez and Secanell (1992)”, ya que este considera gran parte de las variables de las cuales depende la generación de calor.

4. Sistemas disipadores de Calor.

La empresa TPI Chile está preparada para ofrecer a sus clientes, estanques para sus procesos de Fermentación Vitivinícola con la implementación necesaria de sistemas de transferencia de calor denominadas chaquetas de enfriamiento para el control de temperaturas, conocidos como el tipo Canalinas y el tipo Dimple Jacket.

Estos dos sistemas disipadores funcionan mediante la circulación interna de agua a una temperatura promedio de 6 a 8 [°C]. En ocasiones se reemplaza por una mezcla de agua con Glicol (30%) o con alcohol, ya que esto permite mantener la mezcla a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua y así trabajar con temperaturas cercanas a -4 o -3[°C], permitiendo una mejor capacidad de disipación de calor, pero esto implicaría un mayor consumo energético en el sistema de refrigeración.

Además, por otro lado existen una variedad de sistemas de impulsión capaces de suplir las necesidades de estos dos sistemas disipadores, pero la empresa ofrece las bombas PACKO del tipo FP60 la cual posee un caudal máximo de $40\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\right]$ o FP2 con un caudal máximo de $110\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\right]$ (Packo Pumps, n.d.). Estas son utilizadas en aplicaciones alimenticias e higiénicas respectivamente, como bombas de proceso para intercambiadores de calor, unidades de filtración para máquinas de llenado, inyectoros de salmuera y sistemas de limpieza CIP (Cleaning In Place).

Para el desarrollo de este análisis se utilizará sólo agua, considerando un sistema de impulsión de una bomba PACKO FP60, con una exigencia de caudal de $10\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\right]$ donde entrega una eficiencia del 60% con un consumo energético de 0.8[kW] (Packo Pumps, n.d.) a diferencia de la PACKO FP2 que para el caudal requerido entrega una eficiencia del 50% con un consumo energético de 1.5[kW] (Packo Pumps, n.d.).

4.1. Dimple Jacket

Este sistema de enfriamiento es fabricado a partir de una bobina de acero inoxidable 304/304L o 316/316L según solicite el cliente. Se elabora con la medida estándar de 1.2 metros de ancho con un espesor de 0.8 [mm] para así disminuir la resistencia por conducción del acero. Este bajo espesor limita a este disipador de calor a una presión interna máxima de trabajo de unos 2 [bar] aproximadamente.

El sistema Dimple Jacket consiste en formar una segunda capa sobre el manto del estanque como se puede apreciar en la Ilustración 2, donde se muestra una instalación tradicional de una chaqueta por cada virola que conforma el manto cilíndrico.

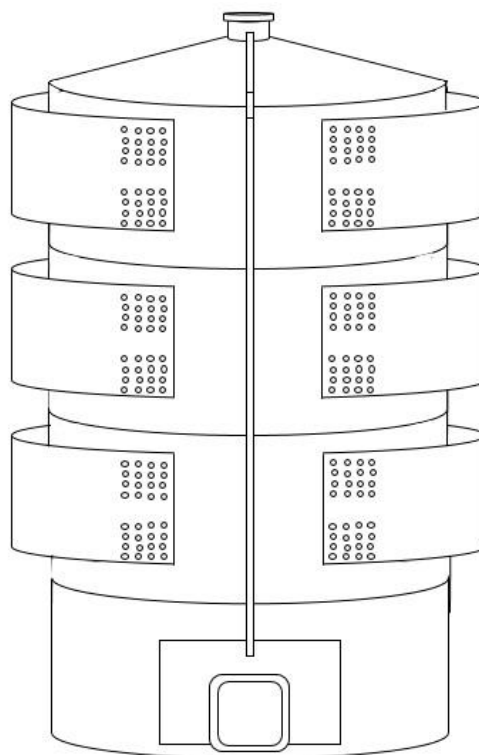


Ilustración 2: Estanque con Dimple Jacket

Cada Dimple Jacket cuenta con dos boquillas de 1 pulgada de diámetro, fabricadas del mismo tipo de acero de la chaqueta, una es para la entrada y otra para la salida por donde circula el líquido refrigerante, siendo alimentado mediante el sistema de impulsión seleccionado previamente.

Este diseño se elabora mediante una Plegadora con una matriz especial se le elaboran unos “botones cónicos” por toda la superficie, distribuidos uniformemente con una separación de 50 [mm] entre ejes (Anexo C), quienes ayudan a aumentar la turbulencia dentro de esta y así incrementar la eficiencia en la transferencia de calor.

La chaqueta va soldada con una costura continua por todo su perímetro directamente al cilindro, y estos “botones” van con soldadura de punto directamente adheridos al manto del estanque, lo que se puede desarrollar de manera manual o automática utilizando la “Máquina de punto” según especifique el cliente, sin embargo a través del método manual implica un aumento en las horas hombre de la fabricación por lo que se asocia un aumento en el costo total del proyecto.

4.2. Canalina

El sistema de Canalinas al igual que las Dimple Jacket, son fabricadas a partir de bobinas de acero inoxidable 304/304L o 316/316L, pero a diferencia de la mencionada anteriormente, esta puede trabajar con anchos variables. TPI ofrece tres versiones de ancho de pletina bruta para su fabricación; 90.8, 91.6 y 136.5 [mm] con espesores de 2 y 2.5 [mm]. Esto le permite soportar una presión de hasta 10 [bar] aproximadamente.

El sistema de Canalinas se basa en el conformado de una pletina bruta, la cual es moldeada para darle la forma de medio cilindro según el radio deseado.

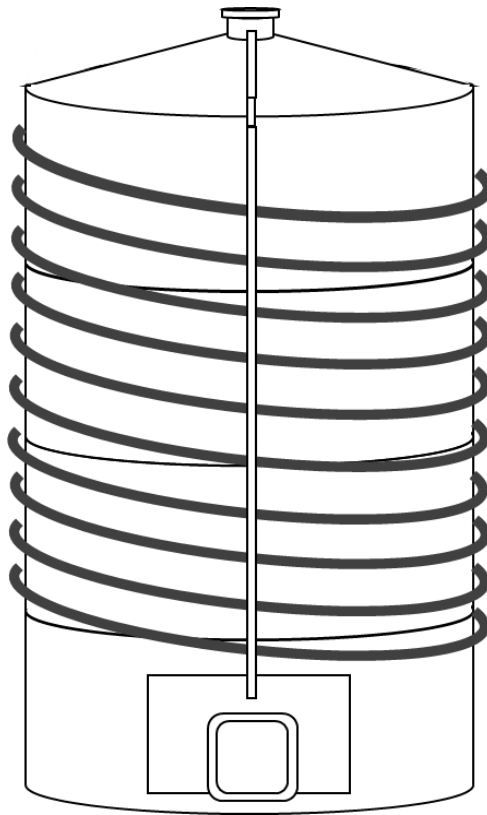


Ilustración 3: Estanque con Canalinas

Esta se emplean alrededor del estanque como un serpentín externo, como se muestra en la Ilustración 3, con un paso de 124[mm] entre ellas. Esto permite cubrir gran parte del estanque, para una disipación de calor más homogénea a lo largo del manto de este, pero esto conlleva a un gran consumo de soldadura, ya que debe ser soldada por el lado superior e inferior de la geometría.

Estas son fabricadas mediante un sistema semi-automático para producción de media caña de la gama IMCAR. Este sistema está compuesto por una desbobinadora de chapa y una curvadora de perfiles CPHV 80, la cual permite trabajar de manera horizontal o vertical con pre-curvado individual o doble.

5. Análisis Comparativo.

La principal diferencia entre los estanques de fermentación para vino tinto y vino blanco es el tipo de fondo con el que se fabrican. Para el vino tinto, necesariamente se requiere de un estanque con fondo plano, ya que posteriormente se deben filtrar los hollejos del mosto con el cual se realiza el proceso. Para la elaboración del vino blanco se utilizan preferencialmente estanques con fondo cónico, el cual facilita el proceso de drenado de este, sin embargo no existen limitaciones en cuanto a usar un estanque de fondo plano para la fermentación de vino blanco.

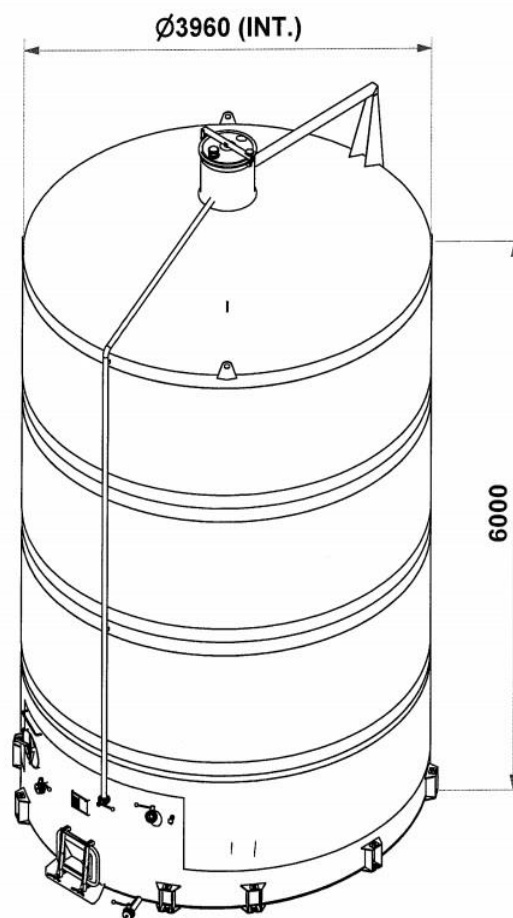


Ilustración 4: Estanque fermentación 75 [m³]

Para efectos del análisis, se considera un estanque de fondo plano para poder considerar ambos tipos de vinos (Ilustración 4). Además se estudiarán diferentes volúmenes de estanques cilíndricos con variaciones en sus diámetros y alturas del manto, con el objetivo de poder determinar en base al volumen de vino a producir, una relación con la superficie necesaria de cada tipo de sistema de transferencia de calor.

Por lo tanto, se analizará la transferencia de calor a través del manto del estanque y los sistemas disipadores, ya que la pérdida de calor existente a través del fondo y la evaporación del mosto es cercana al 4% por lo que puede considerarse despreciable (Colombié et al. 2007).

A continuación, en la Tabla 1 se señalan las medidas generales, volumen nominal, volumen de llenado, tipo de acero y su coeficiente conductivo asociado del estanque a utilizar para el desarrollo del ejercicio.

Tabla 1: Datos estanque 75[m³]

Estanque 75[m ³]	
D [mm]	3960
e [mm]	2,5
L_e [mm]	6000
Llenado Estanque 75 a 85 [%]	80%
V_n [m³]	75
V [m³]	60
Tipo Acero	304/304L
k_e [W/mK]	16.3

Como se muestra en la tabla anterior se considera un estanque para fermentación fabricado en Acero Inoxidable tipo 304L con un volumen nominal de 75[m³], una porcentaje de llenado del 80%, con un diámetro interior de 3960[mm], una altura cilíndrica de 6000[mm] y un espesor promedio de virola de 2.5 [mm].

Para realizar el análisis comparativo entre los dos sistemas de enfriamiento en cuestión, se fijarán condiciones de operación constantes, es decir, los estanques a estudiar se encontrarán bajo una temperatura ambiente de 12[°C] la cual no sufrirá variaciones a lo largo del tiempo (temperatura que se puede encontrar en bodegas de industrias vitivinícolas), el agua de refrigeración tendrá una temperatura de entrada y salida de 8 y 9[°C] respectivamente y una temperatura inicial de mosto de vino de unos 16[°C].

En la Tabla 2 se señalan las variables y parámetros a determinar necesarios para poder calcular el calor generado mediante el método Lopez and Secanell.

Tabla 2: Parámetros Lopez and Secanell

Lopez and Secanell Model (1992)		
Variables / Parámetros	Tinto	Blanco
T_m [°C]	25	18
T_m [K]	298,15	291,15
t [días]	9	18
t [hr]	216	432
S_0 [kg/m ³]	240	180
A_t [g/L]	7	7
K_{10} [-]	4,16E+14	4,16E+14
K_{11} [L/g]	4,85E-02	4,85E-02
K_{20} [g/L]	35,70	35,70
E_a/R [K]	1,12E+04	1,12E+04
E_a'/R [K]	480,88	480,88

Mediante el método seleccionado obtendremos, el calor total liberado por el mosto para un proceso de fermentación estándar de 9 días para el vino tinto, con una concentración de azúcar inicial de 240[kg/m³], a una temperatura de operación de 25[°C]. En el caso del vino blanco se considera una fermentación estándar de 18 días, con una concentración de azúcar inicial de 180[kg/m³], a una temperatura de operación 18[°C]. Para ambos tipos de vino se asume un valor de ácido tartárico de 7[gr/L].

Ya que tenemos nuestros parámetros de trabajo, podemos proceder a calcular las variables k_1 y k_2 para el posterior cálculo de Q_{fer} y realizar el análisis térmico para determinar las superficies necesarias de cada chaqueta para la correcta disipación de calor.

$$k_1 = K_{10} e^{-\frac{E_a}{RT_m} + K_{11} A_t} \quad k_2 = \frac{K_{20}}{S_0} e^{-\frac{E_a}{RT_m}}$$

$$Q_{fer} = 4187 \frac{k_1}{k_1 - k_2} \left(\frac{1}{k_1} e^{-k_1 t} - \frac{1}{k_2} e^{-k_2 t} + \frac{k_1 - k_2}{k_1 k_2} \right)$$

En la Tabla 3, se indican los valores de las variables k_1 y k_2 de las cuales depende el valor de Q_{fer} [kJ/m³] y el valor del calor total generado $Q_{total.fer}$ [kJ] durante el período determinado.

Tabla 3: Calor total generado estanque 75[m³]

Variables	Tinto	Blanco
k₁ [-]	2,78E-02	1,13E-02
k₂ [-]	2,96E-02	3,80E-02
Q_{fer} [kJ/m³]	1,39E+05	1,09E+05
Q_{total.fer} [kJ]	8,35E+06	6,53E+06

El valor Q_{fer} [kJ/m³] se multiplica por el volumen del mosto, es decir, 60[m³] correspondiente al 80% del volumen del estanque de 75[m³], para así obtener el calor total liberado por el volumen definido y distribuirlo a lo largo de los períodos de fermentación para el vino tinto y blanco.

En la Tabla 4 se muestra una distribución tradicional de la fracción porcentual de calor generado diariamente durante una fermentación de 9 días para el vino tinto (Gupta et al, 2013).

Tabla 4: Fracción diaria de calor generado – Vino Tinto

Vino Tinto		
días	%	Q _{fer} [kJ/hr]
1	10%	34787
2	18%	62617
3	18%	62617
4	15%	52180
5	12%	41744
6	10%	34787
7	7%	24351
8	6%	20872
9	4%	13915

Con estos valores, podemos generar un gráfico representando la curva que describe el comportamiento de la generación de calor bajo la cual se puede ver afectado el mosto de vino.

Por otra parte, en la Tabla 5 se utiliza una aproximación referente a la Tabla 4 para determinar una distribución aproximada para una fermentación de 18 días para el vino blanco, ya que se asume una curva de generación de calor similar para ambos casos.

Tabla 5: Fracción diaria de calor generado – Vino Blanco

Vino Blanco		
días	%	Q_{fer} [kJ/hr]
1	3,5%	9528
2	5,0%	13612
3	7,0%	19057
4	9,0%	24502
5	10,0%	27224
6	10,0%	27224
7	9,0%	24502
8	8,0%	21779
9	7,0%	19057
10	6,0%	16335
11	5,5%	14973
12	5,0%	13612
13	4,0%	10890
14	3,5%	9528
15	3,0%	8167
16	2,0%	5445
17	1,5%	4084
18	1,0%	2722

Luego de obtener los gráficos de la fracción diaria de generación de calor de cada tipo de vino (Anexo A), procederemos a seleccionar la condicionas más desfavorable, es decir, analizaremos los días que la generación de calor alcanza sus valores máximo.

De esta manera se evita el problema transiente del ejercicio, siendo el principal problema presente en este proceso productivo, ya que la acumulación de energía calórica en el mosto de vino provocaría un aumento en la temperatura de este afectando la el comportamiento de los elementos involucrados, tanto de la levadura como del mosto.

En el caso del vino tinto esto se cumple durante el segundo y tercer día de fermentación, alcanzando un valor de 62617[kJ/hr] y para el caso del vino blanco, esto se cumple durante el quinto y sexto día tomando un valor de 27224[kJ/hr].

Para poder desarrollar el análisis térmico, primero debemos obtener los coeficientes de conducción, convección interna forzada y convección natural para cada sistema disipador en las condiciones de trabajo establecidas anteriormente.

Para efectos del coeficiente de convección dentro del estanque generado por el mosto de vino, usaremos un valor determinado en condiciones enológicas en (Singh, 1982). Este valor depende de la naturaleza del mosto y la turbulencia mecánica en el estanque, pero el impacto de estas variaciones son despreciables en el balance de calor (Colombié et al, 2007).

$$h_m = 25837 \left[\frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{hrK}} \right] = 30.048 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \right]$$

Para el cálculo de los coeficientes de convección natural e interna forzada en cada sistema disipador de calor, utilizaremos los métodos mencionados en el libro de Transferecia de calor y masa de Çengel & Ghajar (2011).

5.1. Dimple Jacket

Se debe estimar un área total de Dimple Jacket para cada tipo de vino para calcular su capacidad de disipación de calor, y así poder determinar la superficie requerida por el estanque en cada caso.

En el caso del vino tinto, se considerará un área total de 38[m²] de chaqueta de enfriamiento. Por otra parte, en el caso del vino blanco se considerará una superficie de 30[m²].

5.1.1. Convección Natural

Como se mencionó anteriormente, para el análisis se considerará condiciones ambientales controladas a una temperatura constante de 12[°C].

A continuación se presenta la Tabla 6 con las propiedades del aire a la temperatura del film calculada para ambos tipos de vino a estudiar, las cuales son necesarias para los cálculos.

$$T_{\infty} = 12[^{\circ}\text{C}] \quad T_m = 25[^{\circ}\text{C}] \wedge 18[^{\circ}\text{C}]$$

$$T_{film} = \frac{T_{\infty} + T_m}{2}$$

Tabla 6: Propiedades del aire a temperatura film

Condiciones Ambientales		
	Tinto	Blanco
T_{film} [°C]	18.5	15
T_{film} [K]	291.65	288.15
ρ [kg/m³]	1.210	1.225
k [W/mK]	2.50E-02	2.48E-02
Cp [J/kgK]	1007	1007
ν [m²/s]	1.50E-05	1.47E-05
μ [kg/ms]	1.80E-05	1.80E-05

Con estos valores se procede a calcular las demás variables necesarios para obtener el coeficiente de convección natural, tanto para el vino tinto como el blanco.

$$\beta = \frac{1}{T_{film}}$$

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_{film} - T_{\infty})L_r^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$Ra_L = Gr_L Pr$$

Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando: $D \geq \frac{35L_r}{Gr_L^{1/4}}$

$$Nu = \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{8}{27}}} \right]^2 \quad (\text{Placa Vertical})$$

$$h_{nat.d} = \frac{kNu}{L_r}$$

En la Tabla 7 se presentan los valores calculados de las variables planteadas anteriormente, y el valor que toma el coeficiente de convección natural para el caso del sistema Dimple Jacket.

Tabla 7: Convección Natural Dimple Jacket

Convección Natural		
	Tinto	Blanco
β [1/K]	3.43E-03	3.47E-03
Gr [-]	1.34E+10	4.41E+10
Pr [-]	7.14E-01	7.32E-01
Ra_L [-]	9.59E+10	3.23E+10
Nu [-]	2.49E+02	3.68 E+02
h_{nat} [W/m ² K]	2.6	1.87

Como se puede apreciar, con las condiciones mencionadas, para el caso del vino tinto se obtiene un valor para el coeficiente de convección natural de 2.6 [W/m³K], mientras que para el caso del vino blanco, se obtuvo un valor de 1.87 [W/m³K].

5.1.2. Convección Interna Forzada

La Tabla 8 presentan las propiedades físicas del líquido refrigerante a utilizar en el estudio. Para este análisis se considerará agua normal sin mezclar.

Tabla 8: Propiedades agua a 8[°C]

Propiedades del agua	
T_{gi}[°C]	8
T_{go}[°C]	9
ρ [kg/m³]	1000
k [W/mK]	0.58
C_p [J/kgK]	4194
μ [kg/ms]	1.31E-03
Caudal [m³/hr]	10

Con estos valores obtenidos del libro Çengel, Y. A., Ghajar, A. J. (2011) se puede obtener el coeficiente de convección interna forzada. Para esto primero debemos obtener el valor de la velocidad del fluido en el interior de la chaqueta y así calcular el número de Reynolds. Utilizaremos la ecuación de continuidad considerando un caudal de trabajo de $10 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$, y una boquilla de entrada a la chaqueta de diámetro Ø=1[in].

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu C_p}{k}$$

$$D_h = \frac{4A_2}{P}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho V_2 D_h}{\mu}$$

$$f = [0.79 \ln(\text{Re}) - 1.64]^{-2} \quad (3 * 10^3 < \text{Re} < 5 * 10^6)$$

$$\text{Nu} = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(\text{Re}-1000)\text{Pr}}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5}\frac{2}{(\text{Pr}^3-1)}} \quad \left(\begin{array}{l} 0.5 \leq \text{Pr} \leq 2000 \\ 3 * 10^3 < \text{Re} < 5 * 10^6 \end{array} \right)$$

$$h_{\text{forz}} = \frac{k\text{Nu}}{D_h}$$

A continuación en la Tabla 9 se tabulan los resultados obtenidos en base a las ecuaciones presentadas anteriormente, con el resultado final del valor del coeficiente de convección interna forzada.

Tabla 9: Convección Interna Forzada Dimple Jacket

Convección Interna Forzada	
A₁ [m²]	0.0005
V₁ [m/s]	5.48
A₂ [m²]	0.003
V₂ [m/s]	0.93
Pr [-]	9.45
D_h [m]	0.005
Re [-]	3535
f [-]	0.043
Nu (Gnielinski) [-]	30.49
h_{forz} [W/m²K]	3545

Con estos resultados, podemos proceder a calcular las resistencias presentes en la transferencia de calor a través del estanque, el medio ambiente y el agua de enfriamiento.

$$\Delta T_i = T_m - T_{gi} \quad \Delta T_o = T_m - T_{go}$$

$$\Delta T = \frac{\Delta T_i - \Delta T_o}{\ln\left(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_o}\right)}$$

Resistencias a través del estanque sin chaqueta al ambiente:

$$H_{m.e} = \frac{1}{h_m A_r}$$

$$R_r = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L_r}$$

$$H_{air} = \frac{1}{h_{nat} A_r}$$

Resistencias a través del estanque al agua de enfriamiento:

$$H_m = \frac{1}{h_m A_{m.a}}$$

$$R_1 = \frac{e}{k_e A_{m.a}}$$

$$H_{ag} = \frac{1}{h_{forz} A_{m.a}}$$

Resistencias a través del estanque a los botones cónicos y al ambiente:

$$H_{m.b} = \frac{1}{h_m A_b}$$

$$R_2 = \frac{e}{k_e A_b}$$

$$R_b = \frac{e_d}{k_e A_b}$$

$$H_b = \frac{1}{h_{nat} A_b}$$

5.1.3. Capacidad de disipación Dimple Jacket

Calor total capaz de disipar; considerando el calor a través del manto del estanque expuesto a convección natural, a través de la Dimple Jacket con convección interna forzada, y a través de los botones cónicos:

$$Q_t = \frac{T_m - T_\infty}{H_{m,e} + R_r + H_{air}} + \frac{\Delta T}{H_m + R_1 + H_{ag}} + \frac{T_m - T_\infty}{H_{m,b} + R_2 + R_b + H_b}$$

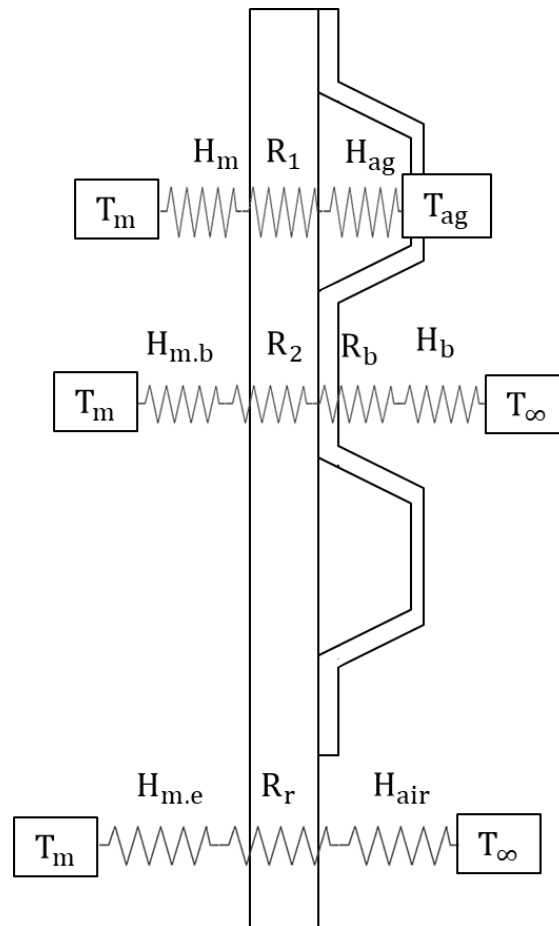


Ilustración 5: Resistencias Dimple Jacket

En la siguiente tabla, es decir, la Tabla 10 se presenta los resultados obtenidos del análisis térmico, señalando la capacidad de disipación de calor del área determinada previamente para cada tipo de vino e indicando la capacidad disipadora propia de las secciones que conforman el sistema Dimple Jacket.

Tabla 10: Superficie requerida Dimple Jacket

Disipación de Calor		
	Tinto	Blanco
Superficie Dimple Jacket [m^2]	38	30
Q_{fer} máxima [kJ/hr]	62617	27224
A través de botón cónico [kJ/hr]	506	136
A través de Dimple Jacket [kJ/hr]	58823	26817
A través del estanque [kJ/hr]	4104	1694
Q_t [kJ/hr]	63433	28647

Como se señala en la tabla, para el vino tinto, con 38[m²] de chaqueta instalado se logra disipar un total de 63433[kJ/hr], lo cual es suficiente para este volumen de estanque y no permitir una acumulación de energía calórica, evitando el aumento de la temperatura del mosto.

Por otra parte los 30[m²] para el vino blanco, disipan un total de 28647 [kJ/hr] por lo que supe las necesidades disipadoras requeridas por el volumen de mosto bajo las condiciones mencionadas anteriormente.

5.2. Canalina

Para ambos tipos de vino se utilizará la pletina de 136.5[mm] de ancho con 2[mm] de espesor, es decir, la que conforma la canalina de $d_c = 88.9$ [mm]. Para el vino tinto se analizará una superficie de 53[m²] o 385[m] de largo y en el caso del vino blanco estudiaremos 40[m²] de superficie o 295[m] de largo de canalina.

5.2.1. Convección Natural

Las condiciones ambientales, se mantienen para ambos tipos de sistemas disipadores, por lo que los datos a utilizar están en la Tabla 6.

Por otra parte, a continuación se presentan en la Tabla 11 los valores obtenidos para la convección natural analizando el estanque usando el sistema de Canalinas.

Tabla 11: Convección Natural Canalina

Convección Natural		
	Tinto	Blanco
β [1/K]	3.43E-03	3.47E-03
Gr [-]	4.15E+11	2.79E+10
Pr [-]	7.14E-01	7.32E-01
Ra_L [-]	2.96E+11	2.04E+10
Nu [-]	3.56E+02	3.18 E+02
h_{nat} [W/m ² K]	2.55	2.02

Como se puede apreciar, con las condiciones mencionadas, para el caso del vino tinto se obtiene un valor para el coeficiente de convección natural de 2.55 [W/m³K], mientras que para el caso del vino blanco, se obtuvo un valor de 2.02 [W/m³K].

5.2.2. Convección Interna Forzada

Al ser las mismas condiciones de trabajo para el líquido de enfriamiento, sus propiedades se encuentran en la Tabla 8.

Las Canalinas al ser cilíndricas, el diámetro hidráulico se puede considerar como el diámetro de la Canalina.

$$A_1 V_1 = A_3 V_3$$

$$D_h = d_c$$

A continuación en la Tabla 12 se tabulan los resultados obtenidos en base a las ecuaciones presentadas anteriormente para el caso del sistema Dimple Jacket.

Tabla 12: Convección Interna Forzada Canalina

Convección Interna Forzada	
A₁ [m²]	0.0005
V₁ [m/s]	5.48
A₃ [m²]	0.0028
V₃ [m/s]	0.98
Pr [-]	9.45
D_h [m]	0.088
Re [-]	63746
f [-]	0.02
Nu (Gnielinski) [-]	460.35
h_{forz} [W/m²K]	3145

Con estos resultados, podemos proceder a calcular las resistencias presentes en la transferencia de calor a través del estanque, el medio ambiente y el agua de enfriamiento.

Resistencias a través del estanque sin chaqueta al ambiente:

$$H_{m.r} = \frac{1}{h_m A_r}$$

$$R_r = \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L_r}$$

$$H_{air} = \frac{1}{h_{nat} A_r}$$

Resistencias a través del estanque al agua de enfriamiento:

$$H_m = \frac{1}{h_m A_{m.a}}$$

$$R_1 = \frac{e}{k A_{m.a}}$$

$$H_{ag} = \frac{1}{h_{forz} A_{m.a}}$$

5.2.3. Capacidad de disipación Canalina

Capacidad de disipación de calor; considerando el calor a través del manto del estanque expuesto a convección natural y a través de la Canalina con convección interna forzada con el agua de enfriamiento:

$$Q_t = \frac{T_m - T_\infty}{H_{m,r} + R_r + H_{air}} + \frac{\Delta T}{H_m + R_1 + H_{ag}}$$

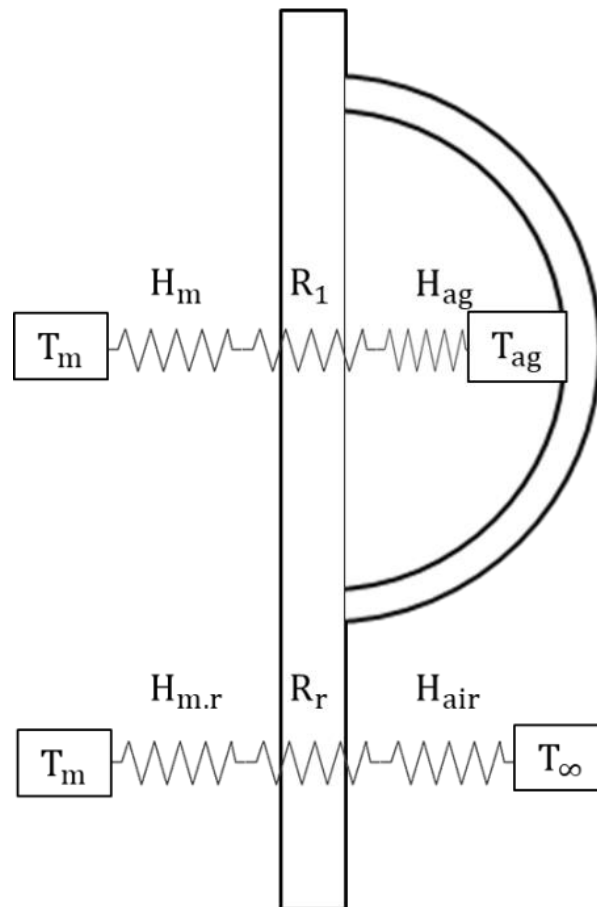


Ilustración 6: Resistencia Canalina

En la siguiente tabla, es decir, la Tabla 13 se presenta los resultados obtenidos del análisis térmico, señalando la capacidad de disipación de calor del área determinada previamente para cada tipo de vino e indicando la capacidad disipadora propia del sistema de Canalinas y el calor disipado por la sección del manto libre del manto.

Tabla 13: Superficie requerida Canalina

Disipación de Calor $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{hr}}\right]$		
	Tinto	Blanco
Superficie Canalina [m^2]	53	40
Q_{fer} máxima [kJ/hr]	62617	27224
A través de Canalina [kJ/hr]	58255	25355
A través del estanque [kJ/hr]	4395	1979
Q_t [kJ/hr]	62650	28643

Para el vino tinto, utilizando 53[m^2] de Canalina se logran disipar un total de 62650[kJ/hr], lo cual es suficiente para este volumen de estanque, pero ya que la instalación de esta tiene un paso de 124[mm] entre ellas, esta cantidad de metros de Canalina no caben en el manto del estanque, lo cual no lo dejaría como alternativa a menos que se disminuya su paso hasta lograr instalar los metros requeridos.

Por otra parte los 40[m^2] para el vino blanco, disipan un total de 28643[kJ/hr] por lo que suple las necesidades del estanque, si fuese utilizado para este licor.

5.3. Resultados

El nivel de automatización con el que cuenta la empresa para la fabricación e instalación de estos dos sistemas disipadores permiten que ambos tengan un costo total de \$20.000 pesos por metro cuadrado fabricado e instalado en el manto del estanque. Este valor tiene considerado el costo de lo que es la mano de obra, insumos y acero.

Dado esto, podemos determinar cuál de estos es más eficiente en su capacidad de disipación a partir de la cantidad de superficie necesaria para el mismo fin.

En la Tabla 14 se presentan los resultados obtenidos del estudio de ambos sistemas disipadores, contemplando la cantidad de superficie necesaria para el estanque de 75 [m³], el costo que conlleva el uso de estos, y el ahorro que existe entre ellos, para el caso de ambos vinos.

Tabla 14: Resultados Análisis

Estanque 75[m ³]				
Tipo Vino	Tinto		Blanco	
Sistema disipador	Dimple Jacket	Canalina	Dimple Jacket	Canalina
Superficie [m ²]	38	53	30	40
Costo [\$]	\$ 758.560	\$ 1.064.700	\$ 601.013	\$ 805.350
Ahorro [%]	29%		25%	

Como se puede apreciar en la Tabla 14, utilizando el sistema Dimple Jacket, se puede ahorrar sobre un 25% de superficie necesaria para la disipación de calor, lo cual se refleja directamente en el costo total del estanque, ya que este implica alrededor de un 15% del costo total de la fabricación de uno para fermentación de vino.

6. Conclusiones

Como se puede apreciar en el punto 5.3, donde se presentan los resultados del análisis comparativo para el estanque de fermentación de $75[m^3]$, el cual se encuentra bajo condiciones ambientales controladas, y mismas condiciones del fluido refrigerante para ambos sistemas, la cantidad de superficie que se requiere para disipar el calor generado por el mosto durante el período de fermentación, es menor al implementar el sistema disipador Dimple Jacket ya sea en el caso del vino tinto o el vino blanco.

Como se puede apreciar en el Anexo B, al estudiar diferentes volúmenes, con diferentes diámetros y alturas cilíndricas, podemos determinar que independiente de sus medidas, esta chaqueta de enfriamiento es la mejor alternativa, aunque para los volúmenes más pequeños la diferencia y requerimiento de sistema disipador es casi nulo.

Esta mejora se debe a que la geometría y diseño de la Dimple Jacket permite abarcar una amplia superficie de contacto con las paredes del recipiente, además de que las soldaduras de punto en disposición triangular permiten generar turbulencia del fluido al interior de la chaqueta y por toda la superficie de contacto mejorando significativamente la transferencia térmica.

Para un cálculo rápido de la superficie necesaria del sistema disipador Dimple Jacket para un volumen determinado de un estanque de fermentación, se podría utilizar para el caso del vino tinto una relación de $6.5[m^2]$ y para el vino blanco una relación de $5[m^2]$ de chaqueta por cada $10[m^3]$ de mosto. Esto es factible para volúmenes de estanque superior a $25[m^3]$ con un llenado tradicional del 80%.

7. Referencias

Boulton, R. 1978. A kinetic model for the control of wine fermentation. *Biotechnol. Bioeng. Symp.* 9: 167-72.

Çengel, Y. A., Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mc Graw Hill.

Colombié, S. (2007). Modeling of heat transfer in tanks during wine-making fermentation. *Food Control*, 18, 953-960.

El Haloui, N., D. Picque and G. Corrieu. 1978. Mesures physiques permettant le suivi biologique de la fermentation alcoolique en oenologie. *Sciences des Aliments* 7: 241-265.

Flanzy, C. 2000. *Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos*. AMV Ediciones y Mundi prensa Madrid España.

Gupta V., Schmoll M., Mazutti M., Mäki M., Tuohy M. (2013). *Applications of Microbial Engineering*. CRC Press, 159-180.

Hidalgo-Tagores, J. 2003. *Tratado de Enología*, Mundi Prensa Libros S.A. Madrid España.

Lopez, A. and P. Secanell. 1992. A simple mathematical empirical model for estimating the rate of heat generation during fermentation in white wine making. *Int. J. Refrig.* 15: 1-5.

Manzocco, L., Maltini, E., & Lerici, C. R. (1998). Changes of some thermal and physical properties in model system simulating an alcoholic fermentation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 22, 1-12.

Packo Pumps. (n.d.). www.packopumps.com. Retrieved 02 2018, from <http://www.packopumps.com/es/productos/gama-de-bombas/bombas-higienas/fp2>

Packo Pumps. (n.d.). www.packopumps.com. Retrieved 02 2018, from <http://www.packopumps.com/es/productos/gama-de-bombas/bombas-higienas/fp60>

Singh, R. P. (1982). Thermal diffusivity in food processing. *Food Technology*, 36(2), 87-91.

Todo Vinos. (2017). www.todovinos.cl. Retrieved 10 2017, from <http://www.todovinos.cl/wp2/2017/10/02/chile-es-el-cuarto-mayor-vendedor-mundial-de-vino-ensvasado>.

TPI Chile. (n.d.). www.tpi.cl. Retrieved 08 2017, from <http://www.tpi.cl/historia>

Urbina Vinos. (2011). www.urbinavinos.com. Retrieved 09 2017, from <http://urbinavinos.blogspot.cl/2011/02/control-de-temperatura-de-fermentacion.html>

Urbina Vinos. (2011). www.urbinavinos.com. Retrieved 09 2017, from <http://urbinavinos.blogspot.cl/2011/12/control-de-las-temperaturas-de.html>

Vivanco. (2016). <http://vivancoculturadevino.es>. Retrieved 11 2017, from <https://vivancoculturadevino.es/blog/2016/06/14/proceso-de-elaboracion-del-vino-tinto/>

8. Anexos

8.1. Anexo A: Gráficos tasa generación de calor

A continuación se presentan los gráficos obtenidos a partir de la Tabla 4 y Tabla 5 para el vino tinto y vino blanco respectivamente, donde se puede apreciar el comportamiento de la tasa de generación de calor a lo largo del período de fermentación.

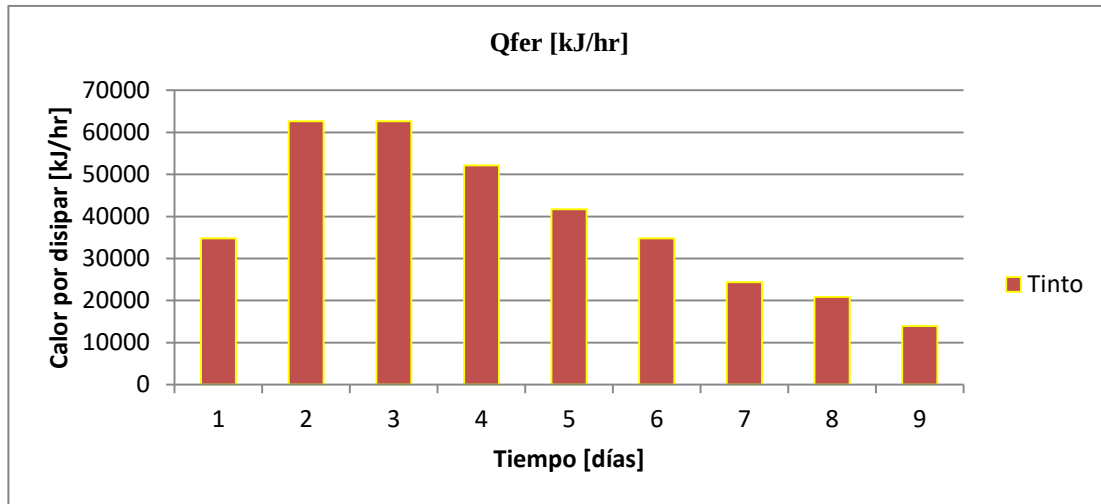


Ilustración 7: Fermentación 9 días – Vino Tinto

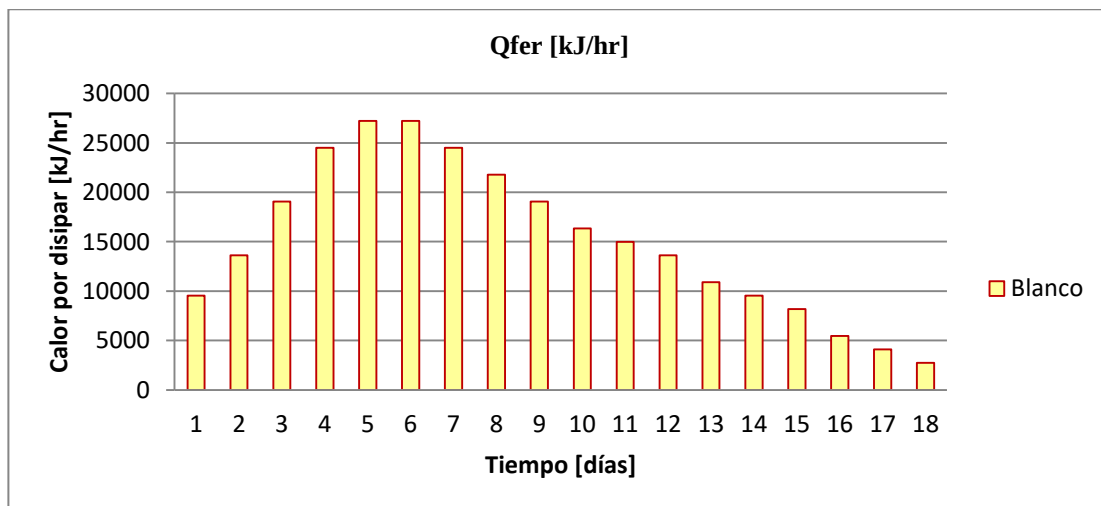


Ilustración 8: Fermentación 18 días – Vino Blanco

8.2. Anexo B: Análisis a diversos volúmenes de estanque

Para poder desarrollar correctamente el análisis entre la Dimple Jacket y Canalinas, se estudió un pequeño historial de diferentes volúmenes de estanques solicitados a la empresa considerando un llenado del 80%, para así comprobar cuál de ambos sistemas es más favorable en cada caso, y si no sólo para el estudio del estanque de 75[m³] es más eficiente la implementación de la Dimple Jacket.

Estos resultados están en la Tabla 15, donde se pueden apreciar la cantidad de superficie necesaria de cada sistema disipador para cada tipo de vino.

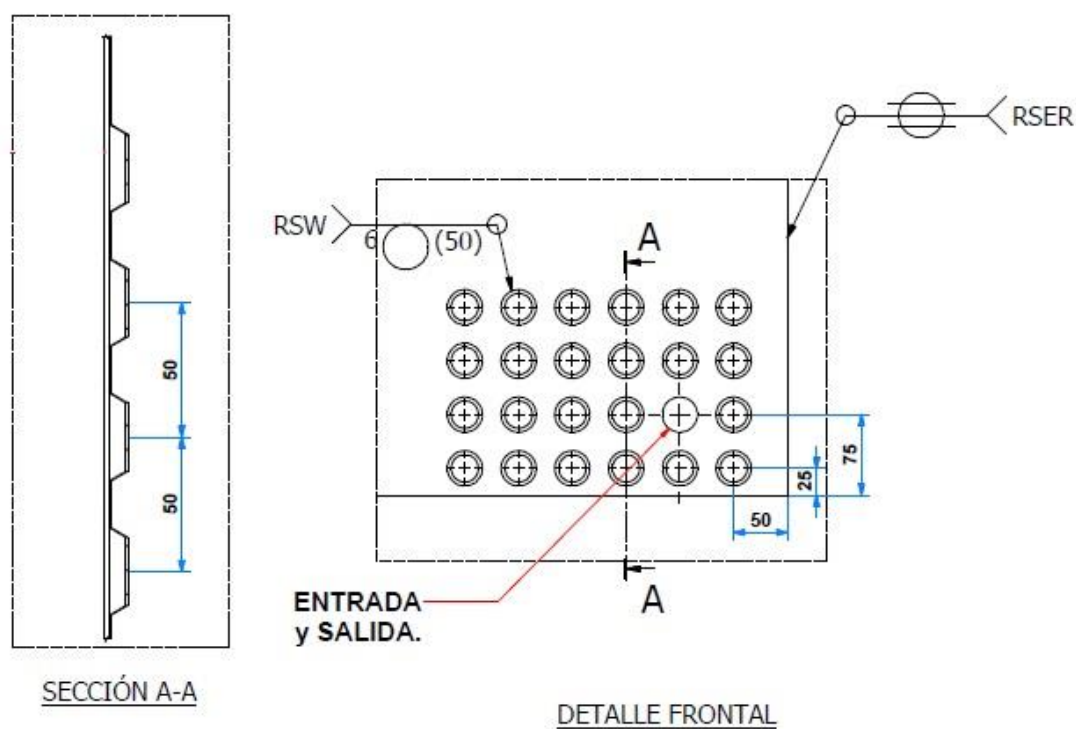
Tabla 15: Otros volúmenes

Datos Estanques				Superficie requerida [m ²]			
				Vino Tinto		Vino Blanco	
Volumen [m ³]	e [mm]	Ø [mm]	Le [mm]	Dimple Jacket	Canalina	Dimple Jacket	Canalina
2.5	2	1200	2250	1	1.1	1	1.1
5	2.5	1700	2250	1.8	2.7	1.8	2.3
10	2.5	2040	3000	4.4	6.1	3.7	4.8
15	2.5	2055	4500	6.3	8.9	5.2	6.8
40	2.5	3600	4000	20	29	16	22
50	2.5	3735	4500	25	35	21	26
75	2.5	3960	6000	38	53	30	40
100	2.5	4134	7500	50	70	38	55

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el sistema Dimple Jacket es más conveniente en comparación al sistema de Canalina para cualquier volumen en cuestión.

8.3. Anexo C: Detalle Dimple Jacket

Normalmente estas chaquetas son instaladas por medio de soldaduras de punto, con intervalos espaciados entre 40 y 50[mm] en disposición triangular, lo que permite ser distribuidas en una gran superficie del estanque.



8.4. Anexo D: Detalle Canalias

