

REDUCCIÓN DE LA DEMANDA TÉRMICA ORIGINADA EN LA VINIFICACIÓN EN BODEGAS LOCALIZADAS EN ZONA DE CLIMA ÁRIDO, MEDIANTE MODELADO TÉRMICO SEMI-EMPÍRICO

Artículo
Recibido 26-03-2014
Aceptado 10-09-2015

REDUCTION OF THE THERMAL DEMAND OF PRODUCTION IN
WINERIES LOCATED IN AN ARID CLIMATE USING SEMI-EMPIRICAL
THERMAL MODELING

ALBA RAMOS SANZ, Instituto Regional de Planeamiento y
Hábitat (IRPha). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y
Tecnológicas (CONICET), San Juan, Argentina
aramossanz@fau.unsj.edu.ar

RESUMEN

El estudio de tres muestras de bodegas elaboradoras, de San Juan, Argentina, revela que la demanda energética (DE) en la vinificación se vincula a los procesos térmicos que se desenvuelven en el interior de las envolventes de vinificación (EV). Estos procesos determinan la calidad del vino y se extienden desde la fermentación hasta la conservación del mismo, durante los cuales el producto requiere cierta rigurosidad térmica, a la que se refiere análogamente en este trabajo como *confort del vino*. Para determinar la incidencia del clima árido en las condiciones de confort del vino y en la consecuente DE en acondicionamiento térmico, se diseña una planilla de modelización semi-empírica. Mediante este instrumento se experimentan los procesos térmicos de fermentación y conservación del vino en períodos cálidos (fermentación y conservación) y fríos (conservación). Los resultados de la modelización confirman que un incremento de la inercia térmica de las EV promueve la disminución de la carga térmica (QT), la cual repercute sobre la DE en la bodega.

Palabras clave

Eficiencia, clima, vinificación, modelización térmica, envoltorio

ABSTRACT

The study of a sample of three wineries in San Juan, Argentina reveals that energy demand (DE) in winemaking is related to the thermal processes that occur inside winemaking receptacles (EV). These processes determine the quality of the wine, range from fermentation to storage, and require a certain thermal stringency, which is likewise referred to in this article as *wine comfort*. To determine the influence of an arid climate on wine comfort conditions and the resulting DE for thermal conditioning, a semi-empirical modeling tool was designed. With this instrument it is possible to test the thermal processes of wine fermentation and storage during warm (fermentation and storage) and cold seasons (storage). The modeling results confirm that an increase in the thermal inertia of the EVs promotes heat load reduction (QT), which affects the winery's DE.

Keywords

Efficiency, climate, winemaking, thermal modeling, receptacle

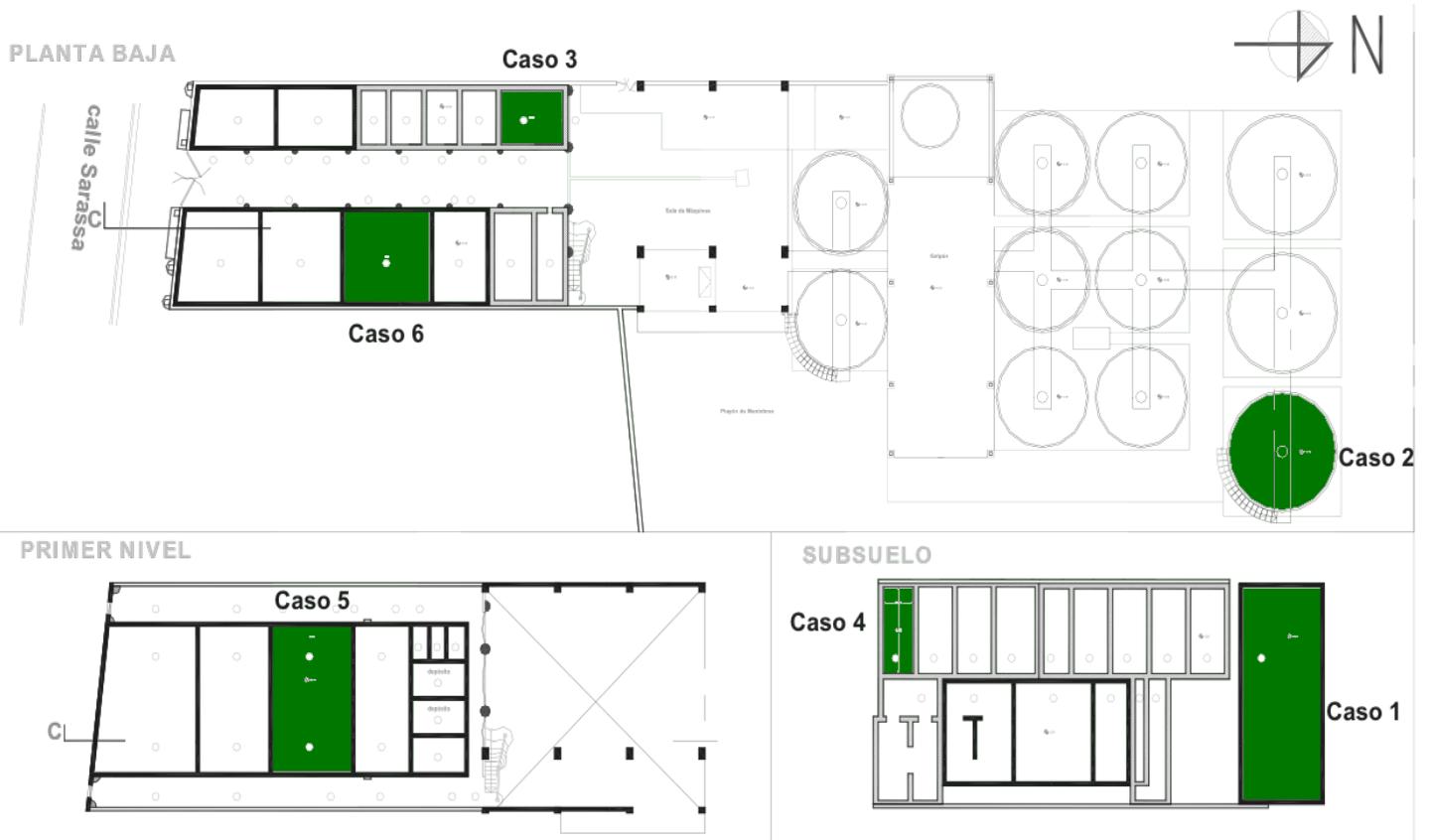


Figura 1: Planta de la MI: casos de EV tradicionales expuestos a la intemperie.

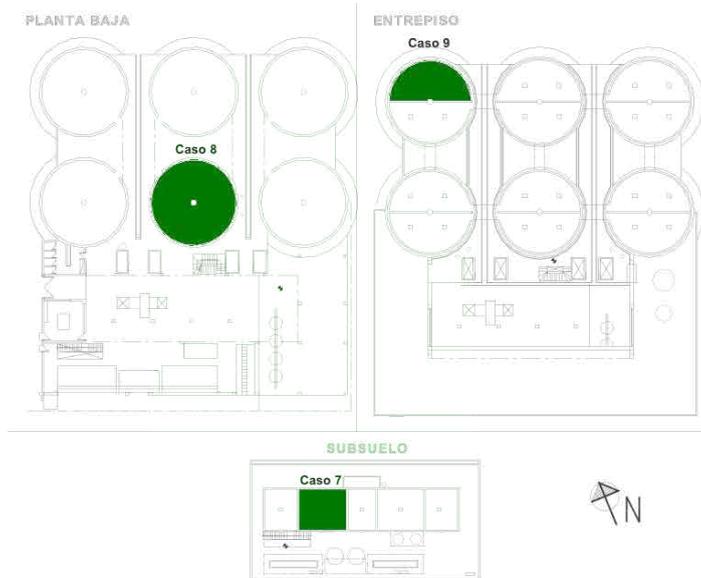


Figura 2: Planta de la MII: casos de EV de bodegas trasladistas, expuestos a la intemperie.

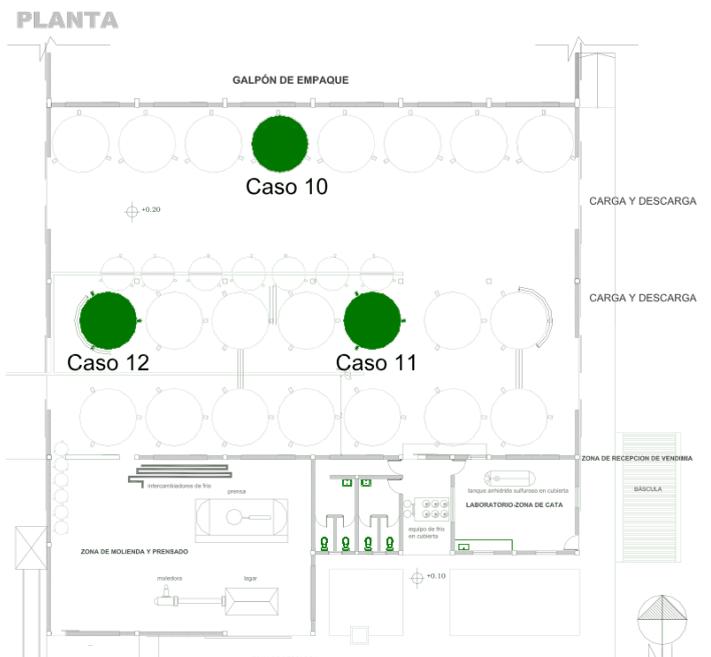


Figura 3: Planta de la MIII: casos de EV de bodegas

INTRODUCCIÓN.

La vinificación implica los procesos térmicos de fermentación y de conservación. En el primero, luego de molido o prensado el grano de uva, el mosto inicia su proceso exotérmico en el cual la temperatura de la masa constituye el factor más importante para alcanzar un producto de calidad¹. Una vez acabada esta transformación de mosto a vino, se procede a su conservación, cuyo período oscila entre los seis meses y los dos años². En esta instancia el vino debe conservar una temperatura estable y dentro de un rango estricto, dado que una temperatura elevada (en verano) promueve infecciones en él debido a la proliferación de microorganismos (Oreglia, 1978). Asimismo, una temperatura baja (en invierno) propicia la decantación de sustancias, en detrimento de su transparencia y limpidez. Las envolventes de vinificación (EV) desempeñan un papel relevante en su rol de regulador térmico de las condiciones térmicas de confort del vino, tanto en la instancia de fermentación como en la de conservación anual (Ramos Sanz y Blasco Lucas, 2011). Las bodegas de San Juan, Argentina, se caracterizan por disponer de EV de diversos materiales, capacidades y formas, dependiendo de las posibilidades comerciales y económicas de la empresa. Entre los doce casos de EV seleccionados para el estudio, se reconocen envolventes de acero inoxidable, acero negro, mampostería enlucida, hormigón armado y adobe. Estos materiales inciden sobre las condiciones térmicas en el interior de las EV, afectando a la demanda energética (DE) en vinificación. Las EV escogidas ofrecen diversas situaciones espaciales y configuraciones geométricas individuales y grupales heterogéneas, con efectos comparativos.

1. DESARROLLO.

1.1. OBJETO DE ESTUDIO.

Se han considerado tres establecimientos agroindustriales (MI, MII y MIII), localizados en la Provincia de San Juan -cuya Latitud Sur es de 31° y Longitud igual a 68°, y contemplados en la zona bioambiental IIIa de la República Argentina (IRAM 11603, 1996). La MI (Tabla 1: seis primeros casos y Figura 1) se describe como una bodega tradicional de principios del siglo XIX, en la cual se encuentran EV de diversos tiempos, dada la evolución temporal del establecimiento. Aunque en sus orígenes se utilizó para procesar la vendimia, su ubicación urbana condiciona

actualmente el funcionamiento a la conservación del vino elaborado. Estos casos varían desde EV de adobe (caso 4) hasta EV de acero común y de capacidades superiores a los 150.000 L (caso 2), pasando por algunas envolventes de ladrillón armado (casos 1, 3, 5 y 6). Estas últimas EV presentan una configuración aglomerada, superpuesta y adosada una con otra.

La MII (Figura 2), consiste en una bodega trasladista, caracterizada por una gran sala de molienda, muy representativa de los modelos de producción de los años setentas. Esta bodega constituye un claro caso de producción continua y masiva de vinos comunes, aunque en ella se elaboran algunos varietales. A diferencia de la MI, la MII presenta una homogeneidad en cuanto a su materialidad dado que está íntegramente construida en hormigón armado (casos 7, 8 y 9). Como en la muestra anterior, los casos se ubican a la intemperie.

La MIII (Figura 3) representa el modelo productivo de los últimos tiempos, impuesto a partir de la internacionalización del vino argentino a partir de 1990. Se trata de una bodega boutique, definida como tal dada los pequeños volúmenes de producción y la rigurosidad de su mecanización. La elaboración del vino se desenvuelve en un proceso discontinuo y lento, de pequeñas cantidades de uva. Las EV son homogéneas (casos 10, 11 y 12), confeccionadas en acero inoxidable y cobijadas dentro de un galpón industrial.

1.2. METODOLOGÍA.

Se aborda la investigación mediante el Estudio de Casos de 12 EV de conservación y fermentación del vino durante el seguimiento de la molienda 2011 y 2012. Se confecciona una herramienta de modelización térmica a partir de la definición semi-empírica de variables físicas afectadas a los coeficientes de intercambio térmico superficial exterior (h_e), en contacto con el entorno climático, e interior (h_i), en contacto con el vino y con el dióxido de carbono de las diversas clases de EV (de hormigón, adobe, ladrillón, metal) y de la envolvente de bodega. Esta herramienta posibilita la experimentación de los casos en diversas condiciones térmicas.

Para la fermentación se instrumentan variables de temperatura media exterior para períodos cálidos en el día (33,1°C) y en la noche (18°C). Para la conservación se instrumentan las variables para períodos cálidos y fríos en momentos del día (10,6°C) y de la noche (2,7°C). Se conoce la temperatura de confort del vino a partir

[1] Estos rangos térmicos se definen a partir de las condiciones adecuadas a la vida de las levaduras y bacterias.

[2] Los vinos jóvenes son de pronta liberación y consumo, no siendo apropiados para el añejamiento, proceso en el cual transitan varios años de conservación dentro de la EV.

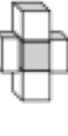
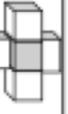
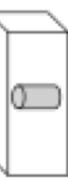
Nomenclatura	Orden	Ambiente	Forma planta	Relación	Ubicación	Material	Capacidad (L)	Configuración	Tipología Bodega	Muestra		
ATSLVc3	Caso 1	Sistema de conservación		aislada	subterránea	ladrillón	>150000		Conservación	I		
ASMchVc3	Caso 2	Tanque de conservación		aislada	sobrerասante	chapa	>150000					
ESSaVc1	Caso 3	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	<30000					
ETSaVc1	Caso 4	Sistema de conservación		entre vasijas	subterránea	adobe	<30000					
ESSLVc2	Caso 5	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	30000 a 150000					
ESSLVc1	Caso 6	Pileta de conservación		entre vasijas	sobrerասante	ladrillón	<30000					
ESHVc2	Caso 7	Sistema de conservación		entre vasijas	sobrerասante	hormigón armado	30000 a 150000				Elaboración y Conservación	II
ASHVf3	Caso 8	Pileta de fermentación		aislada	sobrerասante	hormigón armado	<30000					
ESHVf2	Caso 9	Pileta de fermentación		entre vasijas	sobrerասante	hormigón armado	30000 a 150000					
ASMxVf1	Caso 10	Tanque de fermentación		aislada	sobrerասante cubierto	acero inox	30000					
ASMchVf1a	Caso 11	Tanque de fermentación		aislada	sobrerասante cubierto	chapa	30000				Elaboración y Conservación	III
ASMchVf1b	Caso 12	Tanque de fermentación		aislada	subterránea cubierto	chapa	30000					

Tabla 1 Descripción de los casos de EV seleccionados para la modelización térmica, pertenecientes a las diversas muestras de bodegas MI, MII y MIII.

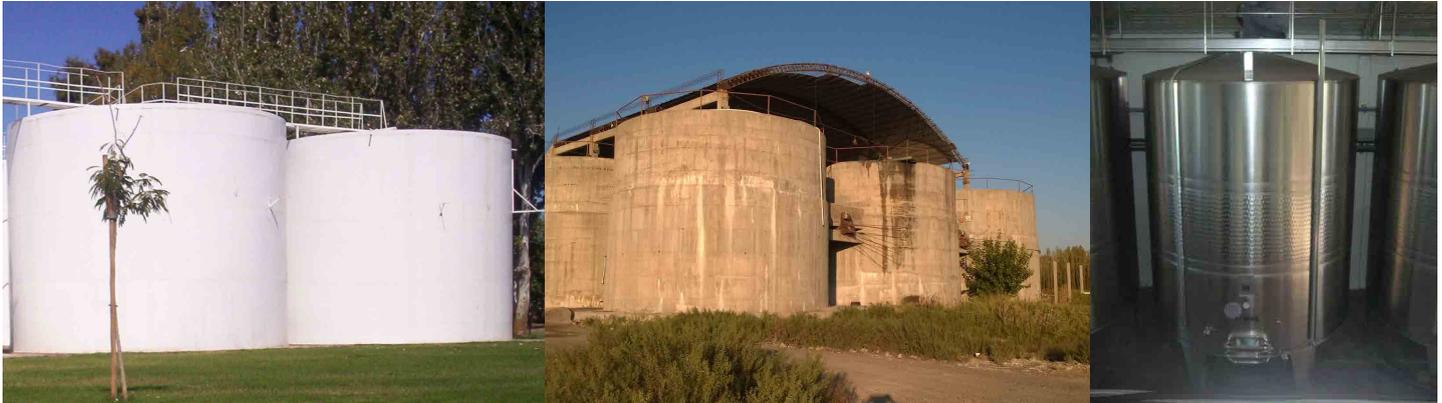


Figura 4: EV de acero común, caso 5 (MI).

Figura 5: EV de hormigón armado, caso 9 (MII).

Figura 6: EV de acero inoxidable, casos 11 y 12 (MIII); únicos casos que no se hallan a la intemperie.

de desarrollos semi-empíricos que involucran valores promedios establecidos mediante mediciones y consultas a profesionales idóneos. La temperatura de fermentación varía según se trate de vinos blancos o tintos. En el caso de los primeros, los rangos se definen en 23,5°C, con una desviación estándar igual a +/- 3,3K; y en el de los segundos, el valor promedio corresponde a 25,6°C +/- 4,5 K.

En relación a los estados de conservación en período cálido, se define una temperatura media de confort igual a 22,2°C y 15°C en período frío. La desviación estándar en ambas instancias es de +/- 1,9 K.

Para la simplificación de los fenómenos de transferencia de calor, tanto en la fermentación como en la conservación del vino, se recurre al análisis en régimen estacionario y régimen cíclico estacionario. Se conoce la temperatura interior necesaria para el confort así como la temperatura exterior, y se suponen ambas constantes. Se suman las cargas horarias debidas a la fermentación. La envolvente está sometida a un régimen térmico diurno y nocturno. Se considera que la energía transmitida por conducción varía según el retardo y la amortiguación del material. A estas cargas diferidas se las denomina desviaciones instantáneas del flujo de calor y se suman a las cargas en régimen estacionario.

Con el fin de estimar los flujos de calor en régimen estacionario, se recurre al empleo de las siguientes expresiones;

$$\text{Por Conducción } Q_c = kA (T_e - T_i) \quad [\text{Wh}] \quad (1)$$

$$\text{Por Convección } Q_v = hA (T_\theta - T_a) \quad (2)$$

$$\text{Por Radiación } Q_r = \alpha I + \epsilon \sigma (T_\theta - T_a) \quad (3)$$

Donde;

k es el coeficiente de transmitancia térmica

T_i y T_e son temperatura interior y exterior

h es el coeficiente combinado de intercambio térmico

T_θ es la temperatura superficial

α es el coeficiente de albedo de la superficie

I es la intensidad de la radiación solar

ε es la emisividad del material

σ es la constante de Stefan-Boltzmann

La variación térmica horaria en el mosto-vino se estima como:

$$\partial T / \partial t = Q_{\text{total}} / V \rho C_p \quad [\text{°C/h}] \quad (4)$$

Donde;

É es la energía exotérmica producida en la fermentación del mosto

Q_{E_{edilicia}} es la energía que transita la envolvente, sin considerar la energía exotérmica liberada en la fermentación del mosto-vino

Q_{total} es (É + Q_{E_{edilicia}})

C_p es la capacidad calorífica específica del mosto vino

Un procedimiento sencillo para obtener la carga diurna – en régimen cíclico estacionario- de un sistema inerte con retardo medio de 12 horas (Papparelli y De Rosa, 1998) consiste en la sumatoria de ambos flujos, estacionario y desviado -por efecto de la amortiguación y el retardo-. La carga diferida va a depender de la diferencia de temperatura superficial entre el exterior (a mediodía) y la temperatura superficial interior -con 12 horas de retraso- del valor de la amortiguación.

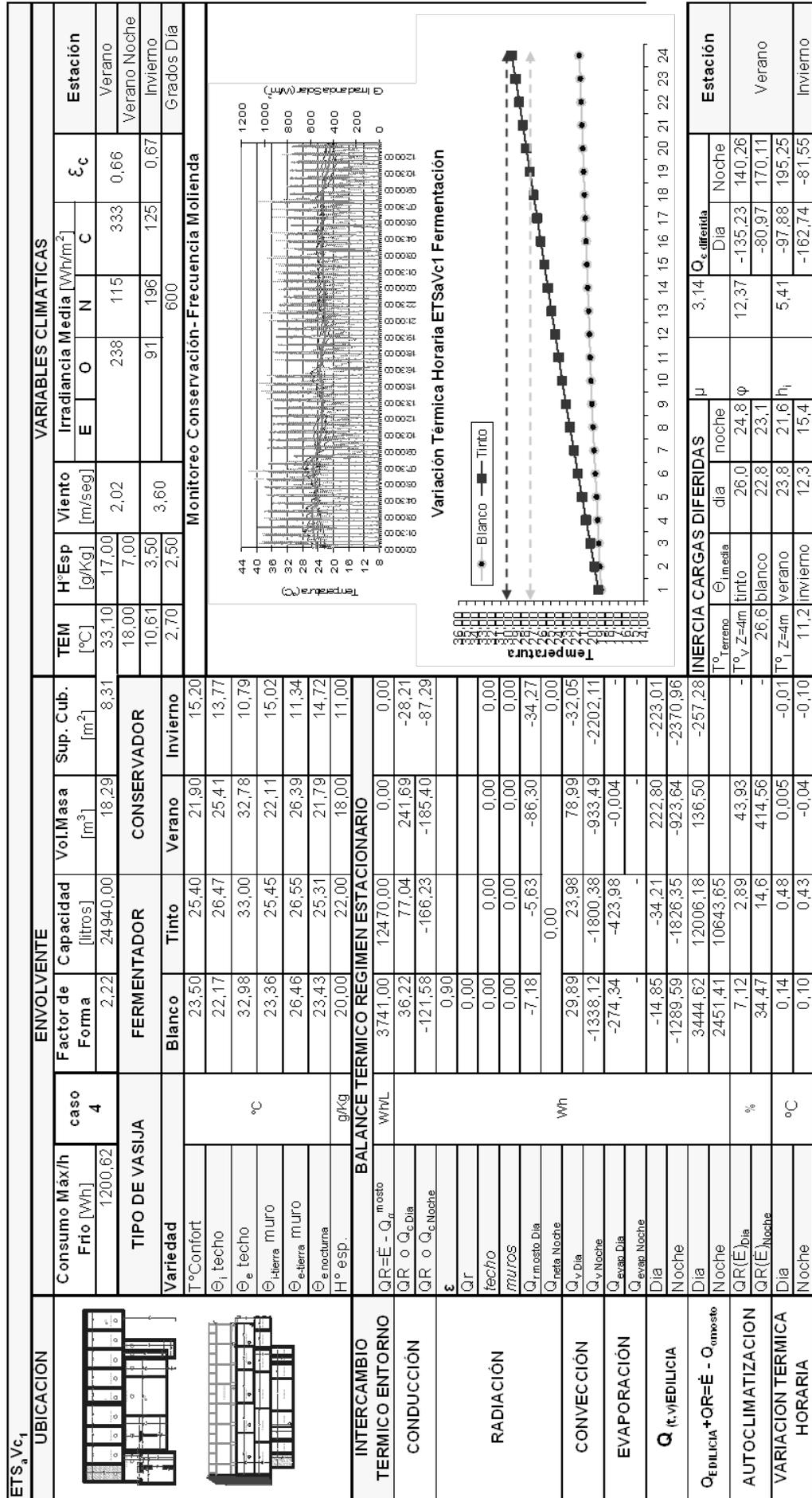


Figura 7: Planilla de modelización térmica.

$$QC_{\text{dia}} = Q_c + h_i \mu (T_{\theta e} \text{ máx} - T_{\theta i} \text{ máx})$$

$$QC_{\text{noche}} = Q_c + h_i \mu (T_{\theta e} \text{ máx} - T_{\theta i} \text{ máx}) \quad [\text{Wh}](5)$$

Donde;

Q_c son las cargas por conducción vinculadas a las medias máximas y mínimas exteriores

h_i es la conductancia superficial interior

μ es la amortiguación del elemento igual a $e^{-d} / [\pi / \alpha_{\text{material}} / P]$; donde $e=2,71828$, $-d$ es la profundidad y α es la difusividad térmica del material y P es el espesor del mismo.

T_{θ} es la temperatura superficial

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TERMODINÁMICO.

En una EV de fermentación, el mosto ocupa la totalidad del espacio, dejando un metro de vacío que progresivamente se ocupa de CO₂ hasta 1 atm de presión. Se calcula el efecto del gas en la absorción y radiación de calor. En aquellas EV de acero inoxidable que disponen de camisa de refrigeración, esta se considera en el cálculo como una cámara de agua vertical. La misma suposición se lleva a cabo cuando dicha EV se emplea para la conservación.

En las EV de conservación no se produce gas, dada la inactividad fermentativa. Los vacíos se cubren en su totalidad, sin dejar lugar al aire, ya que puede favorecer la oxidación del vino. El espacio de aire en contacto con la superficie del vino es igual al área superficial de la boca superior de acceso, estimada en todos los casos en 0,80m².

Se obtienen los valores del coeficiente combinado h_i a partir de las teorías de la dinámica de fluidos. La transferencia de calor se define para el medio líquido y gaseoso contenido. Se determina el valor del coeficiente de intercambio exterior por convección, en relación a la exposición y velocidad de los vientos, el valor del coeficiente interior combinado de intercambio de calor en presencia de CO₂ a 1 atm y el mismo coeficiente interior en una cámara vertical llena de agua (camisa refrigerante).

Se estima el valor de los Grados-Día, la temperatura del terreno natural a una profundidad de - 4,00 m, tanto en verano como en invierno y la temperatura del cielo en verano e invierno -día y noche-. La emisividad del cielo en verano e invierno y la radiación emitida por materiales de baja y de alta emisividad también son calculadas.

1.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE MODELIZACIÓN.

(Ver figura 7)

Planilla K: con el estudio de campo se obtienen las propiedades de la EV; materiales constructivos, espesores, dimensiones, acabados superficiales, capacidades y usos. Con esta información se confecciona la ficha de transmitancia térmica (K).

Planilla Q_R y Q_{cal} : A continuación se completan los datos de superficie y ubicación de la envolvente. Se indica si la misma recibe el impacto del sol o de las brisas. Se obtiene la carga de frío (QR) para verano en la FV, FL y CV y las pérdidas de energía térmica en el invierno (Q_{cal}) para la CI.

Planilla de Modelización Térmica (Figura 7): En esta se distinguen los intercambios de energía con el medio por conducción, convección y radiación a través de la envolvente. Los intercambios entre la masa y el medio se diferencian por evaporación y radiación o irradiación. Se clasifican los destinos de la EV, CV, CI, FL o FV.

CONFIABILIDAD DE LA INFORMACIÓN.

La información estadística climática oficial -velocidad del viento, irradiancia solar, temperaturas exteriores de verano e invierno- se complementan con datos medidos con sensores (temperatura interior del mosto y del vino tanto en verano como en invierno) y con información desarrollada analíticamente (en la fermentación: energía generada por litro y por hora, energía absorbida por el mosto y el CO₂, energía perdida por evaporación, energía perdida por irradiación; y en la transferencia de calor en la envolvente: coeficientes combinados, resistencias térmicas, etc.).

VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Se procura minimizar el margen de error lo máximo posible. Los datos estadísticos climáticos son reconocidos en el área disciplinar a nivel nacional (IRAM 11601, 2002) e internacional (ASHRAE, 2007), por tratarse de información procesada por profesionales y equipos afines. Los datos medidos con sensores HOBO U12 T12 son tomados con adecuada precaución y sus registros son diversos y contundentes. Los datos elaborados analíticamente se relacionan con ambas informaciones: la estadística y la relevada *in situ*. Dichos datos se determinan a partir de reconocidos procedimientos de cálculo de transferencia de calor y se hallan referenciados adecuadamente.

Caso	CONDUC. (W/m²K)				FF	K (W/m²K)			
	FL	FV	CV	CI		FL/FV	CV	CI	PROM
1	1,5	0,5	55,1	25,8	1,1	0,6	1,5	1,5	1,2
2	11,0	3,8	27,9	14,1	1,0	1,6	3,8	3,6	3,0
3	4,7	1,6	68,8	53,7	2,1	1,5	2,2	2,2	1,9
4	-1,7	-0,7	62,6	55,5	2,2	0,5	1,3	1,2	1,0
5	10,5	2,6	64,3	18,7	1,5	1,2	2,0	1,9	1,7
6	4,6	1,0	51,2	30,1	1,6	0,8	1,3	1,3	1,1
7	2,2	0,5	38,2	45,6	1,3	1,5	2,4	2,3	2,1
8	5,0	1,2	38,8	43,8	0,9	0,8	1,8	1,8	1,5
9	2,3	4,3	4,3	17,4	1,1	0,7	0,9	0,9	0,8
10	6,8	2,1	77,3	49,9	1,7	0,7	0,6	0,6	0,6
11 y 12	21,5	9,6	45,6	43,8	1,7	2,1	3,7	3,7	3,2

Tabla 2: Porcentajes de energía transmitida por conducción a través de la EV para los diversos usos (izq. FL, FV, CV, CI). Valores de factor de forma (FF) y de transmitancia térmica (K) en cada destino del caso (der.).

2. RESULTADOS.

La transmisión de ET a través de la envolvente varía según el caso, pero, en general, del total de la QT, las cargas por conducción inciden principalmente en las instancias de conservación. En la fermentación, los mayores porcentajes de energía térmica transmitida por conducción inciden sobre la FL. Entre las variables vinculadas a la conducción térmica en la EV se analizan la transmitancia térmica (K), el espesor (e) y el factor de forma (FF; Tabla 2).

El medio en contacto con la EV afecta la resistencia y la diferencia térmica. La temperatura interior se considera igual a la temperatura de confort, mientras que la temperatura exterior varía si el medio es el aire -en verano (33,1 °C), en invierno (noche: 2,7 °C)- o la tierra vegetal -en verano (26,6 °C), en invierno (11,2 °C).

El coeficiente K difiere según se trate de un proceso de FL, de CV o CI. La conductancia superficial interior (h_i) y exterior (h_e) modifica su valor. De esta manera, el valor de h_i que incide sobre K depende del proceso térmico en su interior. Si en la EV se desarrolla una FL, se contempla en la R_{si} la presencia de la cámara de CO_2 . Este factor interfiere en la transferencia térmica, aunque en la práctica se suele promover la disipación de este gas en el descube y mediante trasiegos.

El valor de h_e depende de la velocidad del aire y de la forma de la EV y modifica directamente al valor del coeficiente K.

Las ganancias diurnas y las pérdidas nocturnas en fermentadores con inercia considerable propiciada por el terreno natural (e=1 m), son reducidas pero constantes. La línea de tendencia del progreso térmico es ascendente y

estable. Las variaciones térmicas diurnas y nocturnas son similares. El mosto en FL contenido en una EV prácticamente sin inercia térmica (por ejemplo, metal) requiere frío al instante en que aumenta la temperatura exterior, a partir de las 9:00 de la mañana. Al poco tiempo sucede una variación térmica interior en la masa de mosto-vino. Asimismo, estas EV son altamente sensibles al descenso de temperatura en horas de la noche.

Los porcentajes de energía transmitida por conducción se hacen más evidentes en la CV y en la CI. En las instancias de FL y FV la energía principalmente proviene de \dot{E} .

2.1. MEDIDAS PASIVAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA EV.

2.1.1. ENTERRAMIENTO O ATERRAPLENAMIENTO DE EV.

El aterraplenamiento o enterramiento consiste en rodear las paredes de las EV en su altura total con tierra. Para la simulación se contempla un espesor semi-infinito de 1m. En verano es conveniente que el terraplén mantenga una temperatura superficial baja, conservándolo a la sombra o humedecido. La aplicación de esta estrategia pasiva depende de cuestiones espaciales y estructurales. En el primer caso, debe existir un lugar físico alrededor de la EV en el cual sea factible rellenar con tierra. En el segundo, no es posible aplicar una cubierta de tierra sobre la losa de las EV, dado que la preexistencia de las mismas está condicionada a una carga estructural definida de antemano. Las excepciones son los casos 1 y 4 (cisternas) y los casos 8 y 9, que no disponen de espacio físico para implementar dicha medida.

DUPLICAR ESPESOR DE LA ENVOLVENTE				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	Q _{EDILICIA}	Q _{EDILICIA} + (Ė - Q _{7mosto})	verano	invierno
Caso 1	0,0	0,0	1,4	1,90
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	46,4	4,3	34,6	59,8
Caso 4	67,6	0,0	-1,0	-0,3
Caso 5	11,0	1,3	3,7	28,2
Caso 6	27,4	-1,5	-21,5	1,5
Caso 7	23,9	1,3	40,9	23,2
Caso 8	18,8	2,4	17,3	19,1
Caso 9	1,4	1,0	2,4	1,1
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	30,8	1,1	9,7	16,8

Tabla 3: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

Las EV subterráneas utilizan el terreno natural como sumidero de calor. Según cálculos propios, en el verano, a - 4m de profundidad la temperatura del terreno alcanza los 26,6°C. Esta temperatura -aproximada a la media anual- se encuentra dentro de los límites de confort para ambas variedades de vinos. Las pérdidas hacia el terreno son relativas a la temperatura de confort. Mientras más bajas las condiciones térmicas de confort, más difícil es recurrir al refrescamiento natural que aporta el terreno, ya que la tendencia es equilibrarse térmicamente a 26,6°C.

Esta medida no es recomendable en el caso de vinificaciones tintas debido a la dificultad que representa extraer los orujos y borras del fondo de la cisterna. Sin embargo, se puede pensar la EV de manera que se encuentre semienterrada, en una bodega de diseño gravitacional. Del 16% de energía térmica que transita por la envolvente, se produce un ahorro del 16,1 % de la QR durante la FL. El enterramiento reduce la totalidad de las ganancias térmicas debidas al intercambio con el aire exterior.

Como puede suponerse, el ahorro en la QT en la FL o FV es menor, alcanzando hasta el 8% de $Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{7mosto})$ en EV con cierta inercia (casos 3, 5, 6, y 7).

(Ver tabla 3)

Como fermentador de variedades blancas, la EV subterránea debe disponer de un filtro extractor de dióxido de carbono y asegurar su hermeticidad para evitar la evaporación del alcohol. También es posible que la EV se encuentre semienterrada, con su tercio superior aislado térmicamente y expuesto al medio externo; procedimiento llevado a cabo gracias extractores o rejillas de ventilación regulables, ubicadas en elementos opuestos y con una de las aberturas al sur, con el objetivo de facilitar la disipación del gas de manera natural.

La mayor pertinencia de esta medida se observa en EV que carecen de inercia y disponen de una elevada conductividad térmica, como los casos 2, 11 y 12. Las variaciones térmicas durante la FL en estas EV optimizadas son semejantes a las del caso 4 sin optimizar. Las temperaturas más estables y variaciones horarias más lentas permiten el mayor control térmico sobre el proceso de FL.

La diferencia en la optimización entre el caso 10 y los casos 11 y 12 radica en la preexistencia de la cámara de agua. En el caso 2 esta mejora es relevante porque sus condiciones originales son desfavorables, al encontrarse la EV expuesta a la radiación solar directa y a mayores intercambios convectivos.

En conservadores anuales, la inercia es una medida de gran optimización, superando en la mayoría de los casos el 50% de ahorro en la QT.

En el invierno, las pérdidas pueden reducirse por la inercia de la tierra hasta un 75,4% (Tabla 3) promedio. Inversamente a la situación de verano, es recomendable que la terminación superficial del terraplén sea inclinada hacia el norte y que esté protegida de las brisas del sur. El acabado oscuro permite una elevación de la temperatura superficial, con lo cual se incrementa el intercambio térmico entre el terreno y la superficie del terraplén. Asimismo, es conveniente una baja emisividad del material para disminuir las pérdidas nocturnas hacia el cielo.

DUPLICAR ESPESOR DE LA ENVOLVENTE				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	$Q_{EDILICIA}$	$Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{?mosto})$	verano	invierno
Caso 1	0,0	0,0	1,4	1,90
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	46,4	4,3	34,6	59,8
Caso 4	67,6	0,0	-1,0	-0,3
Caso 5	11,0	1,3	3,7	28,2
Caso 6	27,4	-1,5	-21,5	1,5
Caso 7	23,9	1,3	40,9	23,2
Caso 8	18,8	2,4	17,3	19,1
Caso 9	1,4	1,0	2,4	1,1
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	30,8	1,1	9,7	16,8

Tabla 3: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

INERCIA DEL CONJUNTO- APILAR EV ENTRE SÍ				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	$Q_{EDILICIA}$	$Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{?mosto})$	verano	invierno
Caso 1	90,2	2,2	88,0	86,3
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	35,7	3,0	34,3	38,1
Caso 4	64,8	-1,8	23,2	56,7
Caso 5	17,5	-2,2	44,8	66,7
Caso 6	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 7	99,2	4,5	91,0	21,8
Caso 8	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 9	68,9	48,5	70,3	26,6
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11 y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	48,5	9,1	58,6	49,4

Tabla 4: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

INERCIA DEL CONJUNTO- ADOSAR EV ENTRE SÍ				
EV	FERMENTACIÓN		CONSERVACIÓN	
	$Q_{EDILICIA}$	$Q_{EDILICIA} + (\dot{E} - Q_{?mosto})$	verano	invierno
Caso 1	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 2	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 3	48,7	4,5	44,5	79,8
Caso 4	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 5	12,6	1,4	6,5	51,2
Caso 6	53,9	1,7	18,4	70,4
Caso 7	18,9	1,0	37,2	88,0
Caso 8	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 9	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 10	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Caso 11y 12	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica
Reducción de la carga térmica [%]	33,5	2,1	26,6	72,4

Tabla 5: Porcentajes de reducción de la QT en la fermentación (der.) y en la conservación en verano e invierno (izq.). En la base de la tabla se presentan los porcentajes medios de optimización del desempeño térmico en cada destino de la EV.

2.2. INCREMENTO DEL ESPESOR DE LOS MUROS EXTERIORES.

La amplitud térmica del clima árido se amortigua mediante la masa térmica, logrando una relativa estabilidad en el interior de la envolvente. Al suponer la duplicación del espesor, se reduce la QT. Los resultados indican que, en general, los incrementos de espesor hasta los 0,60m no producen ahorros significativos en la QT.

En verano, esta medida alcanza ahorros medios del 1,1% en la FL. Habitualmente, los ahorros son mayores en la CI, con un 16,8% medio. En algunas EV la inercia impide la transmisión de calor hacia el exterior, concentrando las cargas dentro del contenedor. En los casos 4 y 6 se produce este efecto, incrementando la carga en el interior, dado que los mismos ya tienen suficiente inercia. En muros en contacto con el ambiente exterior (casos 3, 7 y 8; Tabla 4), el incremento del espesor reduce el valor de K en un 40%. En estas EV se presentan los ahorros más importantes.

En estados de conservación del vino (CV y CI), las envolventes sobre rasantes, que presentan una proporción relevante de superficie expuesta al intercambio térmico con el medio exterior, alcanzan una reducción importante de QT.

(Ver tabla 4)

2.3. APILAMIENTO DE PILETAS.

(Ver tabla 5)

Siempre que estas no sean metálicas, la superposición de contenedores incrementa la resistencia térmica de las envolventes. Las EV apiladas deben tener el mismo destino e igual temperatura de confort tanto en la FL como en la CV o CI. La tasa de transferencia térmica entre los elementos de las envolventes colindantes (cubierta-piso) es igual a cero. De lo contrario, si una EV de fermentación colindara con una de conservación, esta última presentaría una variación térmica debida al calor transmitido por la EV de fermentación. Cuando una EV se apila sobre la cubierta de otra, no solamente se reduce el intercambio por conducción, sino también el intercambio por radiación y por convección.

La menor incidencia de esta medida en la QT se observa en la FL. Si bien los porcentajes de energía que transitan por la EV ($Q_{EDILICIA}$) son relevantes, en la totalidad de la carga dicha energía representa una minoría. Los estados de CV y CI son los más beneficiados con esta optimización, reduciendo al menos la mitad de las pérdidas y/o ganancias. Por supuesto que en la EV cuya superficie de cubierta es relevante (caso 1), es notoria la disminución de la QT, mientras que en cubiertas reducidas (caso 4) esta medida es menos eficaz.

2.4. ADOSAMIENTO DE PILETAS.

En la mayoría de los casos es posible adicionar una piletta, excepto en volúmenes curvos. Esta medida es efectiva en piletas cuyas paredes tienen gran superficie en relación al total y que están en contacto con el medio exterior. En la FL, los ahorros medios alcanzan el 2,1% (Tabla 6), mientras que en la conservación esta medida resulta muy beneficiosa. En el invierno la reducción promedio de la carga de frío es un 45,8% mayor que en verano. Esto se debe a que en el periodo estival las mayores cargas corresponden a las ganancias por radiación y convección, dado que la temperatura superficial de la envolvente adquiere temperaturas elevadas, las cuales aceleran la velocidad de tales intercambios.

CONCLUSIONES.

Verificando la confiabilidad de los instrumentos utilizados en este análisis semi-empírico y experimental, se lleva a cabo una comparación entre los porcentajes de reducción de la QT que ofrece cada medida de optimización de la EV. Se toma la variable $Q_{EDILICIA}$ para determinar la incidencia de cada medida en los diversos destinos de las EV (FL, CV y CI). La relevancia en la reducción de la carga a través de la cubierta tiene relación con la proporción de este elemento en el total de la superficie de envolvente expuesta al medio. Esto explica los elevados porcentajes de reducción en la CI para los Casos 1 y 5 (Tabla 5).

Se observa en la Figura 8 que las mayores optimizaciones provienen de apilar las EV, principalmente durante la CI. Este efecto tiene relación con la consecuente disminución de las pérdidas nocturnas por enfriamiento radiativo hacia el cielo diáfano de San Juan. En segundo lugar, entre las medidas pasivas más eficaces, el enterramiento de los muros de la EV promueve importantes reducciones en la QT, destacándose el caso de la FL y de la CV. En verano esta estrategia es altamente beneficiosa, dada la temperatura del terreno natural (26,6°C), - 4,5 K menor que la temperatura media exterior del aire. Asimismo, tanto esta medida como el adosamiento y el apilamiento de la EV constituyen estrategias que reducen las QT que inciden por efecto de la velocidad de las brisas sobre la superficie de la envolvente expuesta. Las QT también se reducen en estos casos debido a la menor temperatura superficial del elemento optimizado (pared o cubierta), la cual se estima en los rangos de temperatura de confort

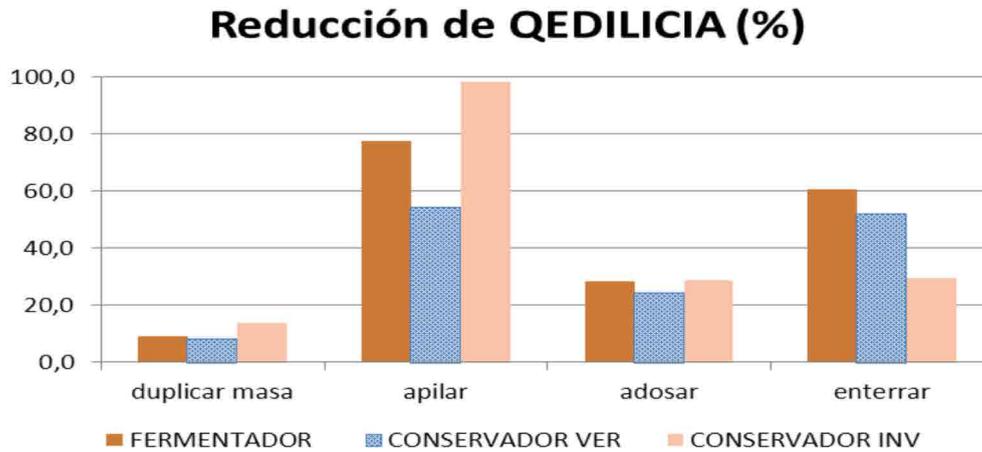


Figura 8: Porcentajes de reducción de $Q_{EDILICIA}$ en la fermentación y en la conservación en verano e invierno, mediante las optimizaciones modelizadas sobre los casos.

definidos para cada instancia.

Estas reducciones importantes de la QT en los procesos térmicos considerados (FL; CV; CI) indican que las configuraciones de bodegas con EV aglomeradas reducen significativamente la carga térmica asociada a la temperatura de confort del vino, especialmente en las instancias de conservación, en las cuales no existe generación de energía exotérmica. Tal configuración de las EV incrementa lo que puede llamarse *inercia del conjunto*, promoviendo una mayor resistencia térmica ante las variaciones climáticas del ambiente exterior.

(Ver Figura 8)

La inercia del conjunto no solamente se vale de la envolvente (muros, cubierta y piso), sino también del mosto-vino alojado en las EV. Este factor se define como la inercia del contenido y, ya que el vino comparte propiedades físicas con el agua, esta sustancia se caracteriza también por su gran inercia térmica. En una aglomeración de EV con gran contenido, se comprueba mediante el seguimiento con HOBBO que la variación térmica del vino es retardada hasta en una estación, notándose que el mismo tiende a alcanzar la temperatura media de invierno casi al llegar la primavera cuando la temperatura del aire comienza a ascender.

LISTADO DE ABREVIATURAS

EV	Envolvente de vinificación
DE	Demanda energética
FV	Fermentación violenta o rápida
FL	Fermentación lenta
CV	Conservación del vino en período cálido o verano
CI	Conservación del vino en período frío o invierno
M	Muestra

LISTADO DE SÍMBOLOS

QR	Carga de refrigeración
$Q_{EDILICIA}$	Carga de refrigeración transmitida por la envolvente
Q_r	Carga originada por efecto de la radiación solar
K	Coefficiente de transmitancia térmica
\dot{E}	Energía exotérmica, producida por la fermentación alcohólica
ΔT	Variación térmica horaria
h_e	Coefficiente superficial de intercambio térmico en el exterior de la EV
h_i	Coefficiente superficial de intercambio térmico en el interior de la EV

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Handbook Fundamentals*. Nueva York, Estados Unidos, 2007.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. *IRAM 11603: Clasificación bioambiental de la República Argentina*. Buenos Aires, 1996.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. *IRAM 11601: Aislamiento Térmico de edificios, métodos de cálculo*. Buenos Aires, 2002.

OREGLIA, Francisco. Cualidades de las levaduras e influencia del medio. En: *Enología Teórico-práctica*. Buenos Aires: Ediciones Instituto Seliciano de Artes Gráficas de Buenos Aires, 1978, pp.185-204.

PAPPARELLI, Alberto y DE ROSA, Carlos. *Arquitectura y Clima en Zonas Áridas*. San Juan, Argentina: Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan, 1998.

RAMOS SANZ, Alba y BLASCO LUCAS, Irene. Condiciones Higrotérmicas de Fermentación de Vinos comunes y finos de variedades blancas y tintas. *Revista AVERMA*, 2011, vol. 15, pp. 17-26.