



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**EVALUACIÓN DE CAPACIDADES DE ENVASES DE CARTÓN PARA EL
ENFRIAMIENTO RÁPIDO DE UVAS DE MESA DE EXPORTACIÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

OSCAR PABLO RIVERA CABEZAS

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE DE 2011**



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**EVALUACIÓN DE CAPACIDADES DE ENVASES DE CARTÓN PARA EL
ENFRIAMIENTO RÁPIDO DE UVAS DE MESA DE EXPORTACIÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

OSCAR PABLO RIVERA CABEZAS

**PROFESOR GUÍA:
RAMÓN FREDERICK GONZALEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ROBERTO ROMÁN LATORRE
JOSÉ LUIS PACHECO JURGENS**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE DE 2011**

A mi Padre, que hizo todo esto posible

RESUMEN DE MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MECÁNICO
POR: OSCAR P. RIVERA CABEZAS
FECHA: 13/10/2011
PROF. GUIA: Sr. RAMÓN FREDERICK G.

EVALUACIÓN DE CAPACIDADES DE ENVASES DE CARTÓN PARA EL ENFRIAMIENTO RÁPIDO DE UVAS DE MESA DE EXPORTACIÓN

La industria frutícola chilena es líder en la exportación de fruta fresca, siendo la uva de mesa la especie más exportada. Para su exportación, la uva es sometida a un enfriamiento rápido, el cual consiste en disminuir la temperatura de la uva desde la temperatura ambiente hasta cerca de los 0°C, comúnmente mediante un flujo de aire forzado en un túnel de enfriamiento.

Por iniciativa de la compañía Envases Impresos S.A., surgió la realización del presente trabajo en donde se estudió mediante experimentación, el comportamiento de envases comúnmente usados para la exportación de uvas de mesa en formato 8,2 Kg., estos fueron los modelos Defor MKII, M19 y P84. Sumado a esto, a modo comparativo, se ensayo en dos modelos de cajas de madera tradicional y de madera aglomerada.

En una primera instancia y con el objetivo de que el presente estudio tenga aplicabilidad a la industria exportadora actual, se realizó un levantamiento del nivel tecnológico y prácticas operativas llevadas a cabo por algunas compañías exportadoras de la zona central del país, lo que llevo finalmente a la selección de la compañía exportadora Rio Blanco, la cual facilitó sus instalaciones y prestó todo el apoyo para la realización de los distintos ensayos de enfriamiento.

A partir de los resultados obtenidos de estos ensayos, se logró caracterizar los distintos envases en cuanto a la homogeneidad de temperatura y en cuanto a la rapidez y efectividad del proceso de enfriamiento. Se encontró que la caja de madera tradicional muestra un mejor desempeño en todos estos puntos y la caja de madera aglomerada es la con el desempeño más pobre. Las diferencias entre los distintos envases de cartón fueron muy pequeñas destacándose por poco el modelo M19 sobre la caja Defor MKII y P84.

Por otro lado, un ensayo complementario de caída de presión mostró la gran relación existente entre el porcentaje de ventilación del cabezal de la caja y el tiempo de enfriamiento como también se pudo establecer la caída de presión relacionada al paso de aire a través del espacio entre cajas colindantes.

Finalmente se determina que las buenas prácticas operacionales y un buen monitoreo de temperaturas en el proceso de prefrío podrían aportar a la disminución del tiempo de enfriamiento y al aseguramiento y mejora de calidad del producto en destino.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE GRÁFICOS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivos Generales	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
2 ANTECEDENTES	10
2.1 La uva de mesa	10
2.2 Enfriamiento mediante aire forzado	11
2.3 Curvas de enfriamiento	15
3 NIVEL TECNOLÓGICO DE LA INDUSTRIA FRUTÍCOLA.....	16
4 ESTUDIO EXPERIMENTAL	18
4.1 Ensayo en Túnel real	18
4.1.1 Instalación Experimental	18
4.1.2 Envases a Estudiar	18
P84-1B	20
Defor MKII	21
M19	22
Madera Aglomerada	23
Madera Tradicional	24
4.1.3 Empaque interior	25
4.1.4 Variedad de Uva	25
4.2 Metodología de Ensayo en Túnel Real	26
4.2.1 Realización y repetición de Ensayos.....	26
4.2.2 Termógrafos	26
4.2.3 Posicionamiento de sensores de temperatura de pulpa y ambiente	26
4.2.4 Posicionamiento del pallet de prueba dentro del túnel	29
4.2.5 Procedimiento	30

4.2.6 Obtención de datos de temperaturas.....	32
4.3 Ensayo en Túnel Piloto	32
4.3.1 Instalación experimental de túnel piloto	32
4.3.2 Montaje de ensayo en túnel piloto	33
4.3.3 Procedimiento de ensayo en túnel piloto	35
5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
5.1 Metodología de Análisis de datos	36
5.2 Caja de Madera Aglomerada.....	39
5.3 Caja de Madera Tradicional.....	43
5.4 Caja P84.....	46
5.5 Caja M19.....	48
5.6 Caja Defor MKII	51
5.7 Comparaciones entre cajas	54
6 CONCLUSIÓN	61
7 BIBLIOGRAFÍA	66
8 ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
A: Encuesta aplicada a plantas frigoríficas, parte 1	67
B: Encuesta aplicada a plantas frigoríficas, parte 2.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1 Diagrama del sentido del flujo de aire en túnel californiano	12
Fig. 2. 2 Curvas de temperatura en prefrío unidireccional para uvas.....	13
Fig. 2. 3 Curvas en prefrío para peras con inversión de flujo.....	14
Fig. 2. 4 Curva de enfriamiento	15
Fig.4.1: Racimo de Uva Thompson Seedles.....	25
Fig. 4.2: Termógrafo de pulpa Xsense	26
Fig. 4.3: Vista Superior de dos cajas.....	27
Fig. 4.4: Vista Lateral de dos cajas	27
Fig. 4.5: Vista isométrica de las cajas	27
Fig. 4.6: Vista Isométrica del posicionamiento de cajas con sensores	28
Fig. 4.7: Vista Isométrica de Pallet armado	28

Fig. 4.8: Túnel armado	29
Fig. 4.9: Vista frontal de los pallets	29
Fig. 4.10: Túnel de prefrío armado a su capacidad completa	30
Fig. 4.11: Etiqueta de identificación de caja y pallet de ensayo	31
Fig. 4.12: Sistema de termografía XSENSE	32
Figura 4.13: Vista General de la planta piloto	33
Figura 4.14: Arreglo de cajas dentro del túnel	34
Figura 4.15: Anemómetro de hilo caliente posicionado antes del arreglo de cajas	34
Figura 4.16: Manómetro de presión diferencial conectado antes y después del arreglo de cajas	34
Figura 4.17: Arreglo de cajas posicionado dentro del túnel con sus contornos sellados	34
Fig. 5.1: Diagrama de tabulación de puntos de medición	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5. 1: Evolución de temperatura en prefrío de tres cajas exteriores.....	37
Gráfico 5. 2: Evolución de temperatura de todos los puntos de caja exterior e interior	38
Gráfico 5.2.1: Madera Aglomerada / Caja Exterior / Evolución de temperatura	40
Gráfico 5.2.2: Madera Aglomerada / Caja Interior / Evolución de temperatura	41
Gráfico 5.2.3: Madera Aglomerada / Caja Exterior e Interior / Curvas características.....	42
Gráfico 5.3.1: Madera Tradicional / Caja Exterior / Evolución de temperatura	43
Gráfico 5.3.2: Madera Tradicional / Caja Interior / Evolución de temperatura.....	44
Gráfico 5.3.3: Madera Tradicional / Caja Exterior e Interior / Curvas características	45
Gráfico 5.4.1: Caja P84 / Caja Exterior / Evolución de temperatura	46
Gráfico 5.4.2: Caja P84 / Caja Interior / Evolución de temperatura	47
Gráfico 5.4.3: Caja P84 / Caja Exterior e Interior / Curvas características.....	48
Gráfico 5.5.1: Caja M19 / Caja Exterior / Evolución de temperatura	49
Gráfico 5.5.2: Caja M19 / Caja Interior / Evolución de temperatura	50
Gráfico 5.5.3: Caja M19 / Caja Exterior e Interior / Curvas características	51
Gráfico 5.6.1: Caja Defor MKII / Caja Exterior / Evolución de temperatura	52
Gráfico 5.6.2: Caja Defor MKII / Caja Interior / Evolución de temperatura	53
Gráfico 5.6.3: Caja Defor MKII / Caja Exterior e Interior / Curvas características	53
Gráfico 5.7.1: Tendencia de evolución de temperatura de todas las cajas exteriores	54

Gráfico 5.7.2: Tendencia de evolución de temperatura de todas las cajas interiores.....	55
Gráfico 5.7.3: Tendencia de evolución de temperatura adimensional de cajas exteriores.....	56
Gráfico 5.7.4: Tendencia de evolución de temperatura adimensional de cajas interiores	57
Gráfico 5.7.5: Caída de Presión a través del arreglo de cajas usando material de relleno.....	59
Gráfico 5.7.6: Caída de Presión a través del arreglo de cajas sin usar material de relleno	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Nivel tecnológico y prácticas operativas de plantas frigoríficas	16
Tabla 4.1: Características Caja P84-1B	20
Tabla 4.2: Características Caja Defor MK II	21
Tabla 4.3: Características Caja M19	22
Tabla 4.4: Características Caja Madera Aglomerada	23
Tabla 4.5: Características Caja Madera Tradicional	24
Tabla 4.4: Tabla de seguimiento de cajas para dos pallets.	31
Tabla 5.1: Homogeneidad de Temperatura dentro de las cajas al final del prefrío.	57
Tabla 5.2: Resultados en cuanto a rapidez y efectividad del enfriamiento	58

1 INTRODUCCIÓN

La industria frutícola chilena es líder en la exportación de fruta fresca dentro del hemisferio sur, siendo el tercer sector más importante de la economía nacional inmediatamente después de las exportaciones mineras, de celulosa y papel.

También se la considera una de las áreas más importantes para el crecimiento económico de nuestro país, al generar una fuente importante de empleos e inversiones.

La industria de fruta fresca chilena se caracteriza por tener más de 7.800 productores, 453.000 hectáreas de cultivo y cerca de 518 empresas exportadoras, que envían más de 75 especies de fruta a más de 100 países en todo el mundo. Dentro de estas especies la uva de mesa en sus distintas variedades representa cerca del 55% del total de las exportaciones de fruta fresca. [1]

Prolongar la vida útil de la uva tras la cosecha tiene suma importancia ya que influye directamente en la condición final del producto en su destino y por tanto en su precio de comercialización. El prefrío (o enfriamiento rápido) es el principal proceso de poscosecha, el cual consiste en disminuir la temperatura de la uva desde la temperatura ambiente hasta cerca de los 0 °C, comúnmente mediante un flujo de aire forzado en un túnel de refrigeración. Dentro de los costos de esta parte productiva cerca del 80% se deben a consumo energético el cual está fuertemente ligado a la duración del proceso.

En el prefrío por aire forzado, el tiempo de enfriamiento depende de variados factores entre los cuales el tipo de envase tiene una gran influencia a la hora de intentar disminuir este tiempo. El tamaño, forma, distribución y superficie de sus ventilaciones junto con el diseño o estilo particular de la caja son características que determinarán su desempeño para el enfriamiento rápido dentro de los túneles.

Por iniciativa de la compañía Envases Impresos S.A., dedicada a la producción y comercialización de cajas de cartón corrugado, la cual puso a disposición tanto recursos económicos como logísticos, se logró la realización del presente trabajo en donde se estudiará, mediante experimentación, el comportamiento de los envases más comúnmente usados para la exportación de uvas de mesa. Se buscará identificar las diferencias que determinan un mejor desempeño de estos envases dentro de los túneles de prefrío.

Para esto se recopilarán datos en centrales frutícolas de la región metropolitana y sus alrededores, y se definirá un protocolo de ensayo y procesamiento de datos de manera de obtener resultados que permitan entregar recomendaciones tanto para el uso de envases como para las prácticas operacionales, orientadas a la eficiencia energética, llevadas a cabo por las distintas empresas exportadoras. Los

ensayos se realizarán en centrales frutícolas seleccionadas por su buen nivel tecnológico, para lo cual se aplicará una encuesta que definirá las instalaciones a usar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Generales

El objetivo del presente estudio es la evaluación de las capacidades para el enfriamiento rápido, mediante flujo de aire forzado, de tres envases de cartón comúnmente usados para la exportación de uva de mesa, en formato 8,2 Kg. De esta manera se busca obtener resultados que conduzcan al uso de envases que minimicen el tiempo del proceso de prefrío y criterios que mejoren las prácticas operacionales. Por consiguiente estos resultados podrían aplicarse para un menor uso de recursos energéticos lo que conllevaría a una disminución en los costos operativos de las centrales de embalaje.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir encuesta que permita obtener información práctica para la evaluación de los envases.
- Recopilar información de nivel tecnológico y prácticas operativas de algunas de las principales centrales frutícolas de la región Metropolitana y sus cercanías.
- Definir instalaciones para la realización de los ensayos de manera que representen estándares de tecnología moderna.
- Definir el protocolo de ensayo a realizar para los cinco modelos de cajas seleccionados que permitan evaluar su factibilidad para el enfriamiento rápido
- Definir y aplicar el protocolo de procesamiento de datos de manera de obtener resultados que caractericen los distintos tipos de envases ensayados y permitan su comparación.

2 ANTECEDENTES

En la actualidad Chile es el mayor exportador frutícola del hemisferio sur, representando cerca del 50% del total de las exportaciones de frutas.

Las exportaciones frutícolas datan de los años '30, sin embargo, el desarrollo sostenido de la fruticultura chilena se inicia en la década del '50, gracias a los avances tecnológicos especialmente en el área de refrigeración. El desarrollo acelerado o boom de la fruticultura se produce a fines de los años '70 y principio de los '80, debido a cambios en las políticas económicas del país, basadas en una estrategia de inserción y apertura al comercio exterior y por supuesto a las condiciones naturales de Chile para la producción de frutas de clima templado.

Según el CENSO agrícola 2007 [2], Chile cuenta con una superficie de 453.239 hectáreas plantadas con especies frutales, las que se ubican entre la I y la X Región, con la mayor concentración de superficie y de actividad entre las regiones V y VII. La uva de mesa es la principal especie producida y ocupa la mayor cantidad de superficie con 128.946 hectáreas, equivalentes a un 29% de la tierra cultivada en Chile. Los parronales de uva de mesa se extienden desde la III a la VII Región, un 65% de los cuales se concentran en las regiones VI, VII y Metropolitana.

2.1 La uva de mesa

La uva es una de las frutas más antiguas cultivadas por el hombre y Chile es el mayor productor del hemisferio sur, casi el 30% de la superficie plantada del país con frutas frescas corresponde a uva de mesa [3].

El clima seco del verano chileno ofrece condiciones ideales para la producción de una fruta reconocida internacionalmente por su calidad y sabor, las uvas de Chile están disponibles desde mediados de noviembre hasta agosto y se pueden encontrar en diversas variedades, rojas, blancas o negras.

Desde el momento de la cosecha comienza una carrera por la preservación de la uva (cadena de frío), en donde se intenta asegurar tanto calidad como una buena condición del producto en su destino. Para esto se debe disminuir la temperatura de la fruta rápidamente desde su temperatura de campo hasta los 0 °C con una humedad relativa de entre 90 y 95%. Para lograr esto se ocupan tecnologías de enfriamiento y refrigeración de distintos tipos, siendo la principal el enfriamiento mediante flujo de aire forzado.

2.2 Enfriamiento mediante aire forzado

El enfriamiento por aire forzado es un método ampliamente utilizado por la industria hortofrutícola para bajar la temperatura de frutas y hortalizas cerca de los 0° C. Este se puede realizar de dos maneras, mediante enfriamiento individual y Túnel Californiano (Fig. 2.1), siendo este último el más comúnmente utilizado por las centrales frutícolas exportadoras de uva de mesa.

El proceso consiste en forzar el paso de aire frío por las perforaciones de ventilación en las cajas de frutas previamente palletizadas, enfriando así el contenido de estas. Generalmente se consta de 96 cajas por pallet, las cuales contienen 8,2 Kg de uva cada una, además cada túnel puede enfriar hasta 40 pallets según su tamaño.

Como se muestra en la Fig. 2.1, los pallets de frutas se colocan a ambos lados de un ventilador de extracción, formando dos filas paralelas y dejando un canal abierto en el medio de las dos filas. Se pone una lona, cubriendo el canal central (pasillo) y un ventilador ubicado en el extremo succiona el aire del canal, generando una presión negativa que obliga al aire frío (de -2 a 0 °C aproximadamente) a pasar a través del producto. El aire caliente que es removido se envía hacia los serpentines del evaporador, es reenfriado y regresado al cuarto frío.

El proceso de prefrío puede durar de 10 a 13 horas según el calibre de la uva, su temperatura inicial, el tipo de envase y por supuesto los equipos e instalaciones con las que se cuentan, en particular, potencia de ventiladores, área del evaporador y propiedades físicas del fluido refrigerante entre otros factores [4]. También dependerá de los procedimientos establecidos por la compañía exportadora y sus políticas de calidad.

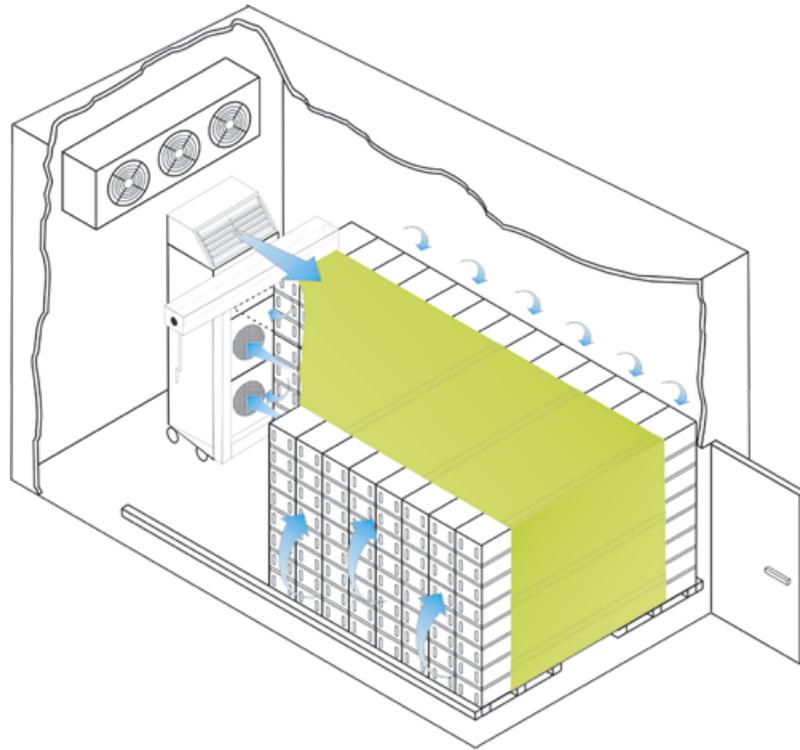


Fig. 2. 1 Diagrama del sentido del flujo de aire en túnel californiano

Para el caso de un enfriamiento individual el proceso es el mismo, la diferencia está en que en este tipo de enfriamiento cada pallet es situado en un ducto de aire independiente mejorando así la efectividad del proceso, sin embargo disminuye la cantidad de pallets que pueden ser enfriados a la vez.

Al enfriar pallets de fruta envasada la incidencia de aire sobre los pallets se realiza por la cara exterior de éstos. Por esta razón se obtiene inevitablemente, al término del proceso, una diferencia de temperatura entre la fruta ubicada cerca de la cara que enfrenta al flujo de aire y la que queda “detrás”, cerca de la salida del aire al pasillo del túnel. Esta diferencia de temperatura no es deseada y puede alcanzar en casos extremos los 10° C. En la Fig. 2.2 se presenta un proceso de prefrío unidireccional para uvas en donde Promedio Temperatura Exterior corresponde al promedio de las temperaturas de la fruta que enfrenta directamente el flujo de aire, mientras que Promedio Temperatura Interior es el promedio de temperaturas de la fruta que está cerca de las caras posteriores del pallet. Para este caso se desarrolla entre estas dos ubicaciones un diferencial de temperatura de 10,3 ° C. Aunque la diferencia es cero al comienzo de la operación de prefrío, ésta aumenta rápidamente durante las primeras tres horas de operación y luego se mantiene prácticamente constante.

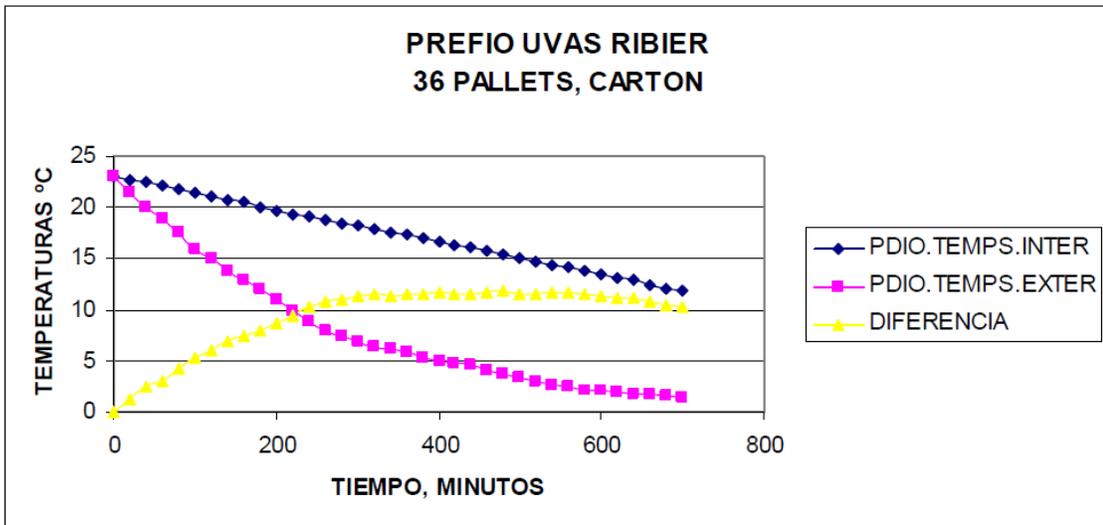


Fig. 2. 2 Curvas de temperatura en prefrío unidireccional para uvas

Una forma de eliminar o disminuir esta diferencia de temperatura, consiste en invertir el flujo de aire, en un determinado momento durante el proceso. Es decir producir un flujo desde el pasillo interior hacia el exterior del pallet. Este efecto puede producirse mediante un diseño adecuado de la carpa que cubre el pasillo del túnel o mediante un cambio de polaridad de los ventiladores.

El siguiente gráfico presenta los resultados experimentales de la inversión del flujo de aire en una carga de peras preenfriada por otro método, a los 220 minutos de operación. Acá se impuso una dirección de flujo desde el interior a exterior del pallet, mediante cambio de polaridad de los motores. La temperatura inicial es bastante baja, sin embargo es posible ver el efecto de la inversión de flujo. [9]

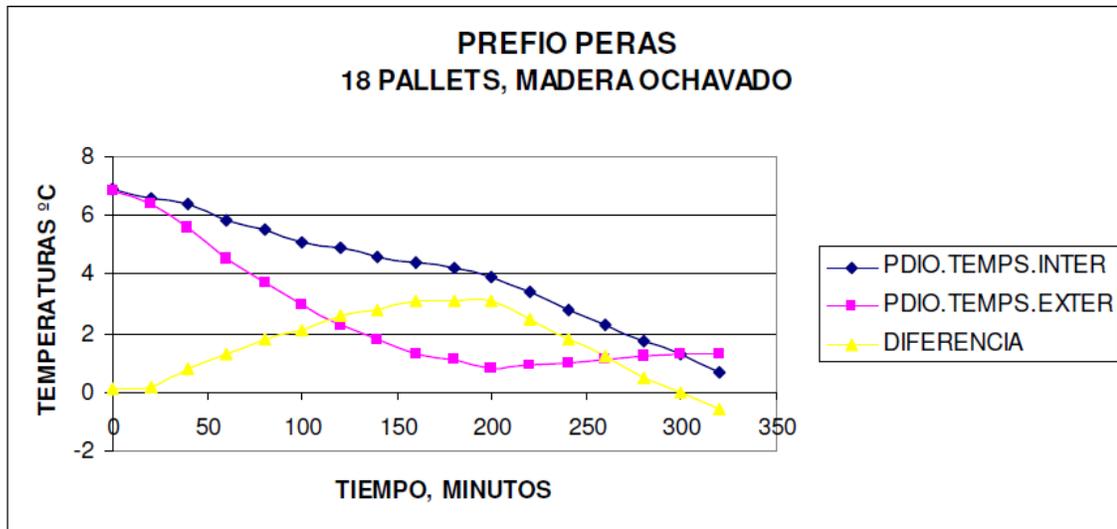


Fig. 2.3 Curvas en prefrio para peras con inversión de flujo

Los registros de temperatura muestran los promedios de temperatura de las pulpas interiores y exteriores, así como la diferencia entre ambos promedios. Antes del cambio de dirección de flujo, las temperaturas interiores caen mucho más lentamente que las exteriores, y su diferencia aumenta como en la figura anterior. Luego de la inversión, a los 200 minutos, las temperaturas exteriores no sólo disminuyen sino que aumentan en el tiempo, debido a que las cajas exteriores están recibiendo aire ya calentado por las cajas interiores. La diferencia entre los promedios de temperaturas internas y externas, que aumentaba rápidamente hasta el momento de invertir el flujo, comienza a disminuir rápidamente. El resultado final de la operación es bueno, ya que todas las zonas de la caja tienen aproximadamente la misma temperatura, a diferencia del caso en que la inversión no se realizó [5].

Esta práctica de invertir el flujo se ha implementado prácticamente en todas las centrales frutícolas, por lo tanto, es importante estudiar el efecto del cambio de dirección durante el enfriamiento, para garantizar una mayor uniformidad de temperatura.

2.3 Curvas de enfriamiento

Para normalizar los tiempos de enfriamiento detectados, se define, en base a la diferencia entre la temperatura inicial y la temperatura objetivo, fracciones de enfriamiento, tales como $1/4$ de enfriamiento, $1/2$ de enfriamiento, $7/8$ de enfriamiento, etc.

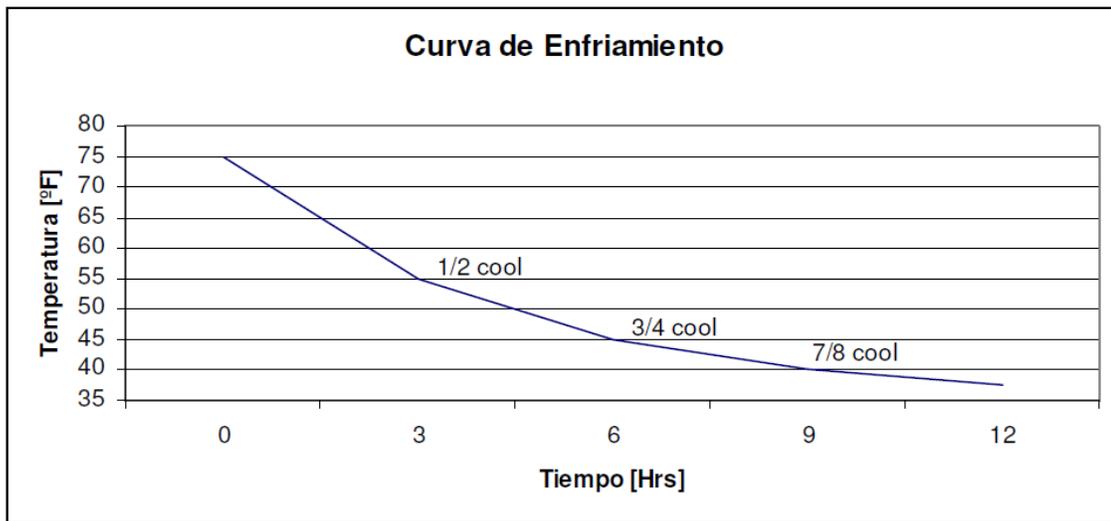


Fig. 2. 4 Curva de enfriamiento

$7/8$ cool corresponde al tiempo para disminuir a $7/8$ la diferencia entre la temperatura inicial y la temperatura objetivo. En la práctica este valor es el tiempo de enfriamiento para el término del proceso. (Para una temperatura inicial de 30°C este tiempo dejaría la fruta en $3,7^{\circ}\text{C}$.)

3 NIVEL TECNOLÓGICO DE LA INDUSTRIA FRUTÍCOLA

Con el objetivo de que el presente estudio tenga aplicabilidad a la industria exportadora actual, se realizó un levantamiento del nivel tecnológico y prácticas operativas llevadas a cabo por algunas compañías exportadoras de la zona central del país. Para esto se diseñó y aplicó una encuesta (Anexo 1) con la finalidad de extraer información relevante. La encuesta fue aplicada en 6 frigoríficos entre la Región Metropolitana y la Sexta Región y los resultados se muestran en la tabla 3.1. Las características de cada frigorífico fueron tabuladas de la siguiente manera:

Tabla 3.1: Nivel tecnológico y prácticas operativas de plantas frigoríficas

Frigorífico	Nº de Túneles	Tipo de Túnel	Capacidad (pallets)	Alimentación	Inversión	Nº de Ventiladores por túnel	Control y registro de Temperatura
1	10	Californiano	44	Central	Compuerta	2	Computarizado y manual
2	10	Californiano	44	Central	Compuerta	2	Computarizado y manual
3	6	Enfriamiento individual	20	Central	Inversión de ventilador	3	Computarizado y manual
4	15	Californiano	20-40	Central	Compuerta	2	Computarizado
5	13	Californiano	17-36	5 Central 8 Individual	Inversión Pallet (5) Compuerta (8)	1 y 2	manual
6	19	Californiano(17) enfriamiento individual (2)	21-40	Central	Inv.Pallet (17) compuerta (2)	2	Computarizado y manual

Pese a que los túneles de enfriamiento individual son capaces de realizar el proceso de prefrío en un menor tiempo ya que trabajan directamente con cada pallet, se pudo observar una tendencia por parte de las compañías exportadoras al uso de túneles del tipo Californiano, estos túneles son en general de construcción más sencilla y a diferencia de los túneles de enfriamiento individual pueden tener una mayor capacidad (pallets) en un menor espacio.

En general todas las plantas contaban con salas de máquinas centrales las cuales no solo alimentaban lo evaporadores de los túneles sino que también los de las distintas cámaras de mantención y antecámaras. Se tiende en general al uso de 2 o 3 salas de máquinas por planta para suplir los requerimientos de todos los equipos. Existían algunos casos en donde contaban con equipos de refrigeración individuales para túneles de carácter móvil los cuales podían ser trasladados sin mayor dificultad entre distintas plantas para modificar sus capacidades según temporada y fruta que se esté trabajando. Para el caso de plantas de mayor tamaño el refrigerante usado es amoniaco, para el caso de equipos de enfriamiento portables el refrigerante usado es freón R-22.

La inversión del flujo, la cual es práctica estándar en todos los frigoríficos, se realiza en general de la manera más sencilla en los túneles californianos, esto es mediante el uso de compuertas y un cambio en el encarpado, proceso que dura entre 30-45 minutos. Hay casos en que la inversión se realiza girando en 180° cada pallet lo que conlleva un mayor tiempo de detención del prefrío y con esto una pérdida de eficiencia en el proceso, especialmente si los pallets deben ser sacados del túnel para ser girados.

Finalmente el control y el registro de temperatura se hacen comúnmente desde una sala de control complementando estas mediciones con una medición manual por parte de un operario. La temperatura obtenida es la temperatura de pulpa de la fruta en distintos pallets, básicamente se busca controlar que la temperatura no descienda demasiado para no dañar la fruta, encontrar el momento ideal para realizar la inversión y determinar el momento para terminar el prefrío. Junto a esto también se realiza un monitoreo de la humedad dentro de los túneles siendo un punto clave para la correcta preservación del producto.

4 ESTUDIO EXPERIMENTAL

En esta sección se describirán los equipos, instalaciones y envases utilizados en las actividades experimentales. El estudio contó con dos instancias de experimentación. La primera fue realizada en un túnel de prefrío real y operativo perteneciente a la empresa exportadora Rio Blanco ubicado en la zona del Valle de Colchagua, la segunda experiencia fue realizada en un túnel de prefrío piloto perteneciente al departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, diseñado para la realización de experimentos de enfriamiento rápido y pérdida de carga en fruta empacada

4.1 Ensayo en Túnel real

4.1.1 Instalación Experimental

La instalación a utilizar es un túnel de tipo Californiano de enfriamiento por aire forzado, este túnel es uno de diez túneles gemelos dentro de una planta frigorífica de la zona central. Este túnel tiene capacidad para 44 pallets en doble estiba y cuenta con dos ventiladores de 6 [KW] de potencia cada uno. Sus dos evaporadores son alimentados desde una sala de máquinas central que alimenta a su vez al resto de los túneles y varias cámaras de mantención.

Sus paredes son de paneles termoaislantes de poliestireno expandido de 10 [cm] de espesor y su puerta principal da a una antecámara refrigerada la cual está diseñada de manera de aislarlo completamente del exterior durante los procesos de prefrío.

La inversión dentro de este túnel se realiza mediante el cerrado de la compuerta central y la apertura de las compuertas laterales. A su vez un equipo de operarios, mediante el uso de poleas, se encarga de cambiar el encarpado desde el pasillo a los costados, en un proceso que dura entre 30 y 45 minutos.

Los experimentos se realizan durante procesos de producción normal de la planta.

4.1.2 Envases a Estudiar

Los envases utilizados para la exportación de uva en formato 8,2 Kg, cuyo principal destino es Estados Unidos, tienen por lo general dimensiones exteriores de 508x406 mm de base y una altura entre 117 y 125 mm que varía según requerimientos del exportador. Estas cajas se palletizan en un arreglo de base 6 sobre tarimas de 48x40" (1220 x 1016 mm). El número de corridas de alto de este arreglo va de 16 a 19

y dependerá de la altura del envase y del tipo de transporte que se utilizará para la exportación (cámara refrigerada o contenedor).

Los envases de cartón que se estudiarán en el presente estudio serán los modelos Defor MK II, P84-1B y M19, junto a esto se ensayará también, a modo de comparación, en dos variedades de envases de madera; madera aglomerada y madera tradicional. Las patentes de fabricación de los envases de cartón antes mencionados pertenecen a compañías internacionales, Carter Holt Harvey Limited para el caso del modelo Defor, Kappa iberoamericana S.A. para el caso del modelo P84 y Envases Impresos S.A. para el modelo M19.

Imágenes y principales características de estos envases se muestran en las tablas a continuación:

Tabla 4.1: Características Caja P84-1B

P84-1B	
 <p>Vista del cabezal</p>	 <p>Vista del lateral</p>
 <p>Vista isométrica</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas apiladas</p>
 <p>Vista del lateral de cajas apiladas</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas colindantes</p>
Dim. Exteriores [mm]	508x406x123
Dim. Interiores [mm]	480x364x116
Volumen int. [L]	20,7
Peso caja [gr]	774
Gramaje cartón [gr/m ²]	1.404
Espesor cartón [mm]	7,05
Resistencia Estándar [lbs]	4.880
Ventilación del Cabezal [%]	10,4

Tabla 4.2: Características Caja Defor MK II

Defor MKII	
 <p>Vista del cabezal</p>	 <p>Vista del lateral</p>
 <p>Vista isométrica</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas apiladas</p>
 <p>Vista del lateral de cajas apiladas</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas colindantes</p>
Dim. Exteriores [mm]	508x406x122
Dim. Interiores [mm]	484x390x118
Volumen int. [L]	22,0
Peso caja [gr]	590
Gramaje cartón [gr/m ²]	1.023
Espesor cartón [mm]	4,3
Resistencia Estándar [lbs]	3.830
Ventilación del Cabezal [%]	11,5

Tabla 4.3: Características Caja M19

M19	
 <p>Vista del cabezal</p>	 <p>Vista del lateral</p>
 <p>Vista isométrica</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas apiladas</p>
 <p>Vista del lateral de cajas apiladas</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas colindantes</p>
Dim. Exteriores [mm]	508x406x123
Dim. Interiores [mm]	480x378x116
Volumen int. [L]	20,9
Peso caja [gr]	705
Gramaje cartón [gr/m ²]	1.224
Armado	Mecanizado
Resistencia Estándar [lbs]	4.550
Ventilación del Cabezal [%]	10,7

Tabla 4.4: Características Caja Madera Aglomerada

Madera Aglomerada	
 <p>Vista del cabezal</p>	 <p>Vista del lateral</p>
 <p>Vista isométrica</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas apiladas</p>
 <p>Vista del lateral de cajas apiladas</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas colindantes</p>
Dim. Exteriores [mm]	505x400x125
Dim. Interiores [mm]	490x387x115
Volumen int. [L]	21,6
Peso caja [gr]	1200
Ventilación del Cabezal [%]	6,2

Tabla 4.5: Características Caja Madera Tradicional

Madera Tradicional	
 <p>Vista del cabezal</p>	 <p>Vista del lateral</p>
 <p>Vista isométrica</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas apiladas</p>
 <p>Vista del lateral de cajas apiladas</p>	 <p>Vista del cabezal de cajas colindantes</p>
Dim. Exteriores [mm]	502x398x124
Dim. Interiores [mm]	496x392x116
Volumen int. [L]	22,2
Peso caja [gr]	950
Ventilación del Cabezal [%]	12,1

4.1.3 Empaque interior

El empaque interior de una caja de uva tiene la finalidad de asegurar la correcta preservación de la fruta hasta llegar a destino, para esto hay una serie de componentes dentro de cada caja los cuales cumplen variadas funciones. Según el tipo de caja y su mercado de destino el empaque interior puede tener algunas variaciones en cuanto al uso de papeles camisa para cubrir la uva o de generadores de anhídrido sulfuroso para la absorción de humedad, sin embargo para el presente estudio se utilizó para todos los envases los siguientes elementos:

- Nueve racimos en bolsas microperforadas independientes ordenados simétricamente en 3 filas dentro de la caja
- Cartón corrugado de 37x47 [cm] en el fondo para absorción de humedad e impactos
- Bolsa camisera 95x60 [cm], 0,9% ventilación, transparente
- Generador de anhídrido sulfuroso sobre la fruta de polipropileno 33x46 [cm]
- Tapa de cartón ensamblada a la caja

4.1.4 Variedad de Uva

Se utilizó la variedad de uva de mesa Thompson Seedless en calibre XL (tamaño de baya sobre 20 [mm] de diámetro)



Fig.4.1: Racimo de Uva Thompson Seedless

4.2 Metodología de Ensayo en Túnel Real

4.2.1 Realización y repetición de Ensayos

Para cada ensayo, vale decir un modelo de caja y de embalaje, se realizarán dos prefríos. En cada prefrío irán 3 pallets con cajas testigo posicionados de la manera descrita más adelante.

4.2.2 Termógrafos

Los Termógrafos o sensores de temperatura utilizados fueron el modelo xsense de la compañía israelita StePac. Se utilizaron tanto termógrafos de pulpa como de ambiente. Considerando que se ocuparon 12 termógrafos de pulpa y 2 de ambiente ubicados en dos cajas de un pallet y se ensayó en 3 pallets por proceso de prefrío, el número total de termógrafos por prefrío fue 36 de pulpa y 6 de ambiente.

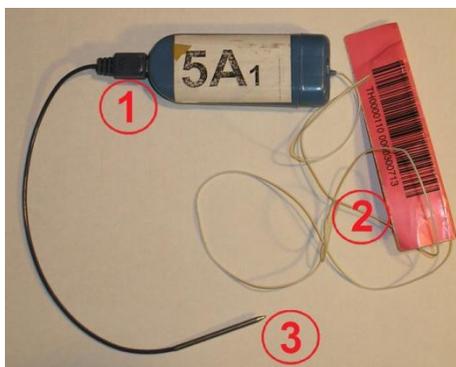


Fig. 4.2: Termógrafo de pulpa Xsense donde; 1: Termógrafo; 2: Antena para el envío de datos; 3: Termocupla de pulpa (va insertada en un grano de uva)

4.2.3 Posicionamiento de sensores de temperatura de pulpa y ambiente

Se posicionaran 6 sensores de temperatura de pulpa en 6 distintos racimos dentro de cada caja según muestra la fig. 4.3 y 4.4. Sumado a esto se posicionarán 2 sensores de temperatura ambiente en los lados exteriores de los cabezales tanto en el sector exterior del pallet como en el sector interior o pasillo según muestran las mismas figuras. Para obtener mediciones válidas las posiciones de los distintos termógrafos deben ser exactamente las mismas para todos los ensayos y vale decir en el centro de cada racimo.

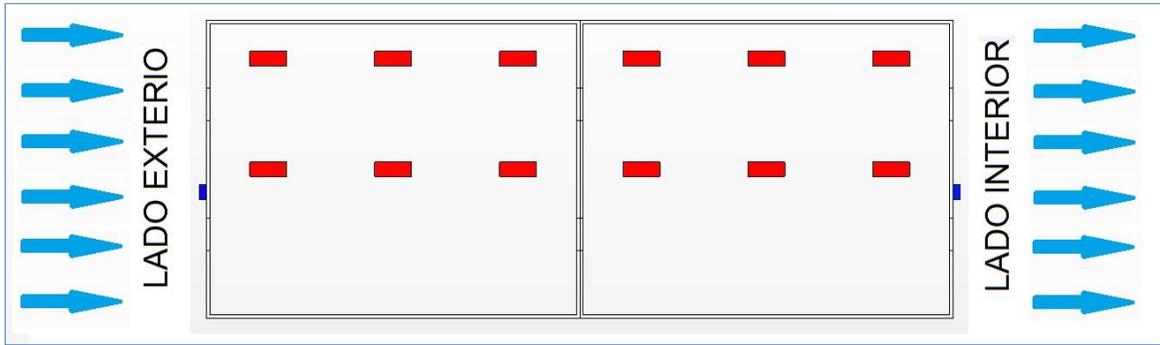


Fig. 4.3: Vista Superior de dos cajas donde los cuadrados rojos representan sensores de pulpa y los azules representan sensores de Tº ambiente.

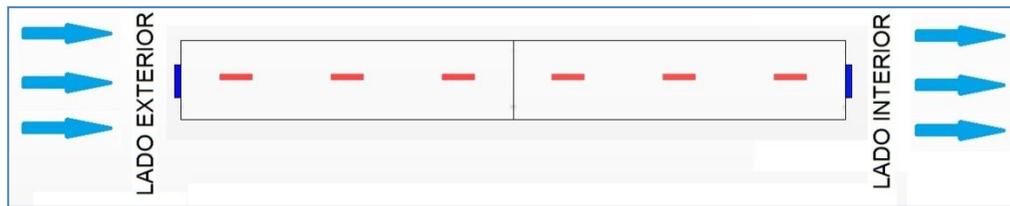


Fig. 4.4: Vista Lateral de dos cajas donde los cuadrados rojos representan sensores de pulpa y los azules representan sensores de Tº ambiente.

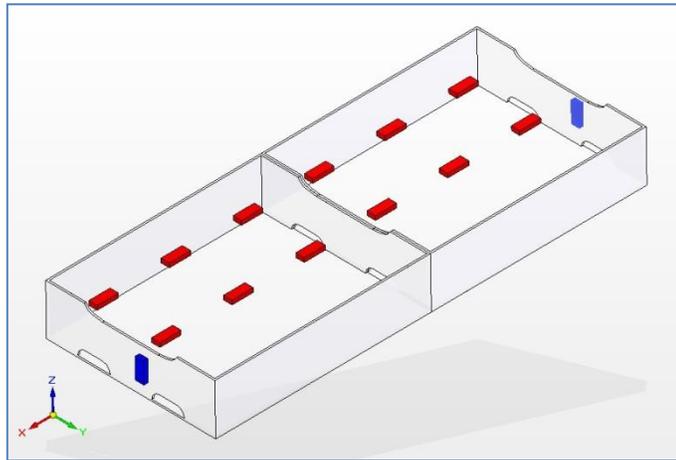


Fig. 4.5: Vista isométrica de las cajas donde los cuadrados rojos representan sensores de pulpa y los azules representan los sensores de Tº ambiente.

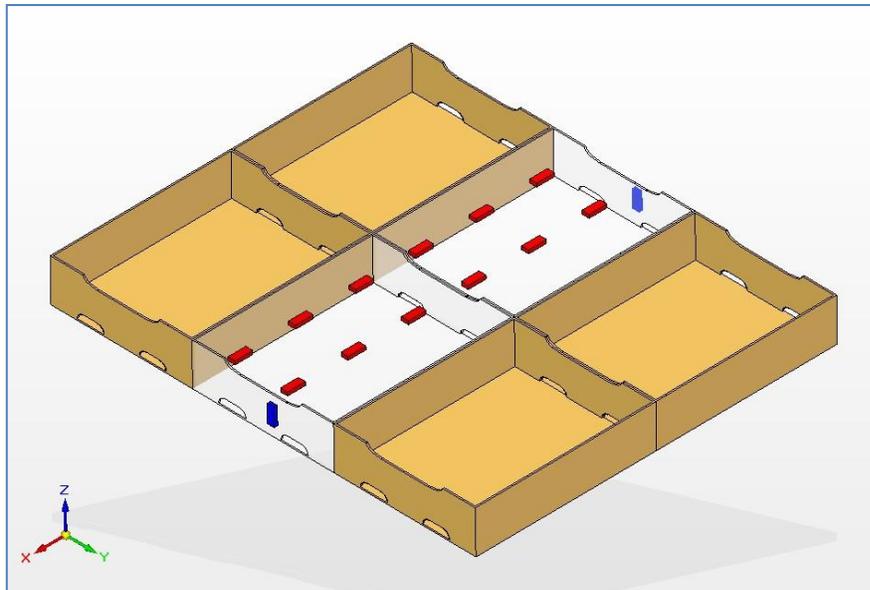


Fig. 4.6: Vista Isométrica del posicionamiento de cajas con sensores en fila 9 del pallet

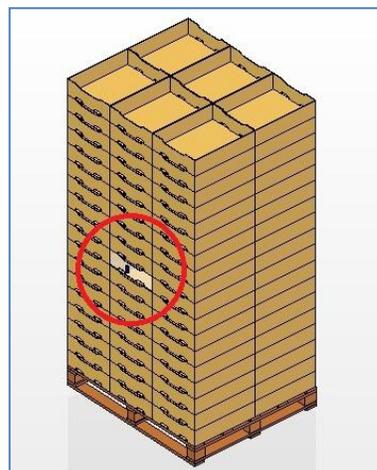


Fig. 4.7: Vista Isométrica de Pallet armado, las cajas testigo se identifican con un círculo rojo en el centro de este.



Fig. 4.8: Túnel armado en donde se muestran los lados interior y exterior antes referidos.

4.2.4 Posicionamiento del pallet de prueba dentro del túnel

De manera de obtener datos en condiciones estándar de operación se descartaron las posiciones de los pallets más cercanas y más lejanas al ventilador. Se seleccionará una posición central la cual se deberá repetir para todos los ensayos. Esta posición podrá ser del cuarto al séptimo pallet de la fila inferior (contados desde el ventilador). Idealmente se debe seleccionar el costado izquierdo o derecho del túnel y no realizar pruebas en distintos costados. (Ver fig. 4.9 y 4.10)



Fig. 4.9: Vista frontal de los pallets, en la fila inferior se destacan en rojo los pallets de pruebas ubicados desde la posición cuarta a séptima.

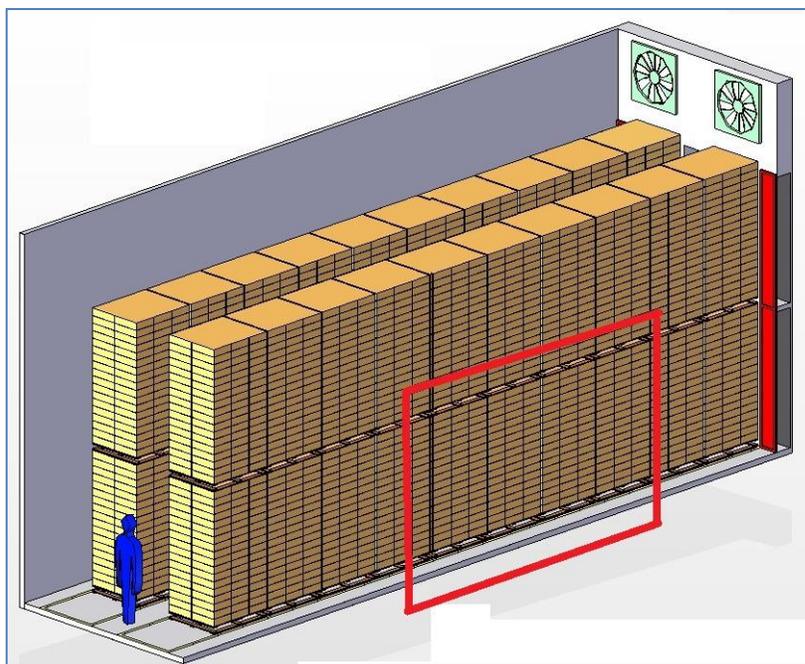


Fig. 4.10: Túnel de prefrío armado a su capacidad completa (40 Pallets), se destaca la posición central de la fila inferior donde deberían ir posicionados los pallets de prueba

4.2.5 Procedimiento

Se extrajeron cajas ya embaladas de la línea de embalaje, se procedió a pesarlas para descartar diferencias significativas de peso en la uva, se introdujeron los sensores en las posiciones descritas en el punto 4.2.3. Se completó la planilla de ensayo (tabla 4.4) de manera de hacer un correcto seguimiento del ensayo y finalmente se tabuló la caja y el pallet de manera clara, utilizando las etiquetas mostradas en la figura 4.11.

Tabla 4.4: Tabla de seguimiento de cajas para dos pallets.

PLANILLA DE ENSAYO																			
ENSAYO Nº	MODELO DE CAJA	TIPO DE EMBALAJE	VAR. DE UVA	PACKING	FECHA Y HORA DE EMBALAJE	FECHA Y HORA DE DESPACHO	FECHA Y HORA DE INGRESO A TÚNEL	FECHA Y HORA DE SALIDA DEL TÚNEL	DURACIÓN DEL PREFRÍO (hh:mm)	HORAS HASTA LA INVERSIÓN (hh:mm)	OTROS								
TUNEL Nº	COSTADO	POSICIÓN DE PALLETS EN TÚNEL	<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>																POSICIÓN DE SENSORES ●1B ●2B ●3B ●4B ●5B ●6B ●1A ●2A ●3A ●4A ●5A ●6A CAJA EXT. CAJA INT.
PALLET 1 (P1)		FOLIO:	CALIBRE:		CAJAS EN PALLET:		PRODUCTO:												
ID. CAJA	FILA EN PALLET (FILA/ALTURA)	PESO CAJA S/UVA [Kg]	Tº DE CAMPO [°c]	PESO CAJA C/UVA [Kg]	HORA DE EMBALAJE	ID. DE TERMÓGRAFOS													
CAJA EXT.						1A	2A	3A	1B	2B	3B								
CAJA INT.						4A	5A	6A	4B	5B	6B								
PALLET 2 (P2)		FOLIO:	CALIBRE:		CAJAS EN PALLET:		PRODUCTO:												
ID. CAJA	FILA EN PALLET (FILA/ALTURA)	PESO CAJA S/UVA [Kg]	Tº DE CAMPO [°c]	PESO CAJA C/UVA [Kg]	HORA DE EMBALAJE	ID. DE TERMÓGRAFOS													
CAJA EXT.						1A	2A	3A	1B	2B	3B								
CAJA INT.						4A	5A	6A	4B	5B	6B								



Fig. 4.11: Etiqueta de identificación de caja y pallet de ensayo

Una vez que se completó el procedimiento de embalaje de los sensores, los pallets de ensayo fueron trasladados desde el lugar de packing hasta el frigorífico donde se ingresaron al túnel de ensayo en la posición descrita en el punto 4.2.4. Con la finalidad de evitar confusiones en la posición de los pallets estos fueron tabulados visiblemente, indicando su posición y número de túnel al cual deben entrar.

4.2.6 Obtención de datos de temperaturas

Los datos registrados por los termógrafos, medidos cada 30 minutos, son almacenados en el dispositivo y enviados de manera inalámbrica a una unidad de comunicación (CU) la cual es la encargada de recibir la información de todos los sensores y subirla por señal GSM (celulares) a un servidor al cual se puede acceder por una página web. La información puede ser descargada en formato Excel para luego ser analizada.



Fig. 4.12: Sistema de termografía XSENSE, se muestran 5 termógrafos y la unidad de comunicación (CU)

4.3 Ensayo en Túnel Piloto

El objetivo de este ensayo es conocer la resistencia al flujo de aire característica de los distintos tipos de embalajes. Los envases y empaques a utilizar serán los mismos utilizados en los ensayos en el túnel real con la diferencia que en vez de uva se utilizará un material de relleno de espuma picada que emulara la geometría de un racimo de uvas.

4.3.1 Instalación experimental de túnel piloto

La instalación experimental es un túnel de enfriamiento en circuito cerrado, diseñado para realizar experimentos de enfriamiento rápido y pérdida de carga en fruta empacada y palletizada.

La instalación consiste en un túnel modular de sección cuadrada, aislada térmicamente. La planta se proyecta en módulos de tamaño manejable, los cuales al unirse forman el túnel. Cada módulo está

formado por una estructura de ángulos de acero, a la cual se fijan paneles de poliestireno expandido. Los módulos tiene un largo igual al ancho de los paneles, 1220 [mm].

La instalación se proyectó como un túnel de viento modular, con una sección principal de 1,2x1,2 [m²] y una sección de retorno de 0,5x1,2 [m²], con una longitud perimetral de 36 [m]. Los principales equipos incorporados son: Un ventilador centrífugo accionado por una planta de potencia de velocidad variable, un sistema de refrigeración (R-22) con evaporador seco ad-hoc, compresor, una válvula de expansión controlada y un condensador enfriado por aire.



Figura 4.13: Vista General de la planta piloto

4.3.2 Montaje de ensayo en túnel piloto

Como muestra la figura 4.14, se posicionará un arreglo de 2x9 cajas en el centro del túnel. La velocidad del aire será controlada mediante un variador de frecuencia y medida justo antes del arreglo de cajas mediante el uso de un anemómetro de hilo caliente, mostrado en la figura 4.15, el cual será insertado en el túnel a través de agujeros especialmente diseñados.

La caída de presión del aire a través del arreglo de cajas será medida usando un manómetro de presión diferencial digital, mostrado en la figura 4.16, el cual se conectará en boquillas diseñadas para este fin.

Finalmente los espacios entre las cajas y las paredes interiores del túnel serán rellenos para evitar el paso de aire usando espuma de poliestireno como se muestra en la figura 4.17.



Figura 4.14: Arreglo de cajas dentro del túnel



Figura 4.15: Anemómetro de hilo caliente posicionado antes del arreglo de cajas



Figura 4.16: Manómetro de presión diferencial conectado antes y después del arreglo de cajas



Figura 4.17: Arreglo de cajas posicionado dentro del túnel con sus contornos sellados

4.3.3 Procedimiento de ensayo en túnel piloto

Para cada modelo de caja se procedió según el montaje descrito en el punto anterior. Una vez posicionadas las cajas y los instrumentos de medición se procedió al encendido del ventilador comenzado con una frecuencia en el variador de 17 [hz] y luego descendiendo de 1 [hz] hasta llegar a 1[hz]. Se seleccionó esta frecuencia ya que es la que permitía obtener velocidades de aire similares a las registradas dentro de un túnel de prefrío real (0,5 a 1 [mps]).

Los datos tanto de diferencia de presión como de velocidad de aire fueron registrados a medida que descendía la frecuencia para su posterior análisis.

El ensayo se repitió para todos los modelos de cajas con y sin material de relleno.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Metodología de Análisis de datos

Durante cada prefrío se realizaron ensayos en tres pallets distintos, cada uno de estos pallets contenía dos cajas denominadas caja exterior y caja interior, vale decir que por cada prefrío se ensayaron 3 cajas exteriores y 3 cajas interiores, en donde cada una de estas cajas contenía 6 puntos de medición distintos, tabulados como se muestra en la Fig. 5.1.

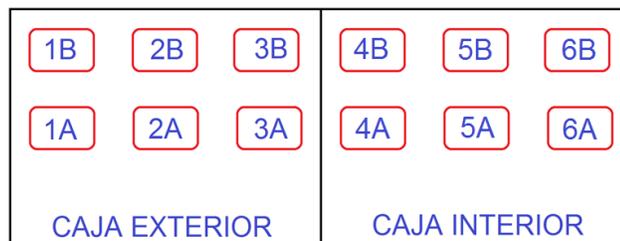


Fig. 5.1: Diagrama de tabulación de puntos de medición

Dado que para todas las cajas, tanto exteriores como interiores, se presentaron condiciones de ensayos idénticas, se realizó una regresión polinomial a partir de todos los datos obtenidos para un mismo punto de medición. De esta manera se obtuvo una única curva de enfriamiento para cada punto de medición la cual representa la tendencia de la evolución de temperatura de este punto a lo largo de todo el prefrío como se muestra en el Gráfico 5.1.

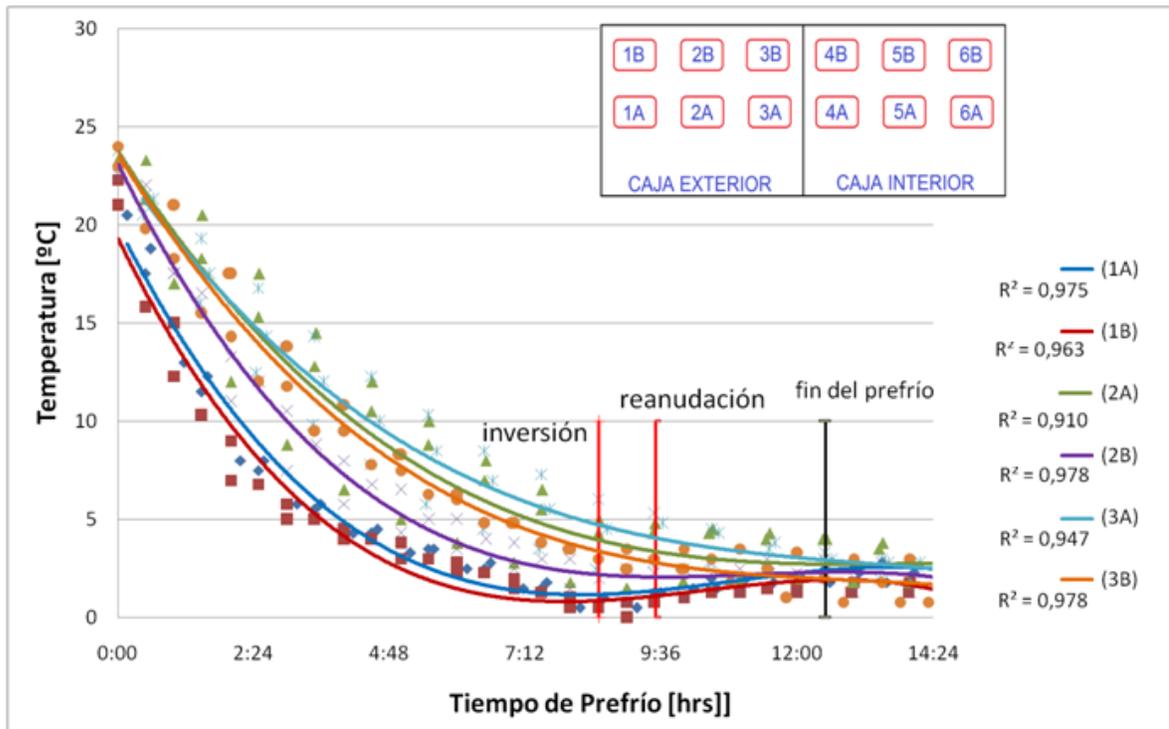


Gráfico 5. 1: Evolución de temperatura en prefrió de tres cajas exteriores con sus respectivas curvas de tendencia

Para la regresión polinomial se seleccionó un grado 3 ya que mostró un aumento significativo en el coeficiente de correlación R^2 con respecto al grado 2. A su vez, el polinomio de grado 4 no mostraba una mejoría considerable en R^2 con respecto al grado 3 y por otro lado produjo curvas cuyas curvaturas locales eran de carácter no físico. Se pudo observar que prácticamente para todos los puntos de medición de las cajas exteriores e interiores los R^2 presentan valores superior a 0.9 lo que hace factible realizar el análisis de las curvas de ajuste de datos.

De forma homóloga al procedimiento anterior, se utilizan esta vez todos los datos obtenidos tanto para las cajas exteriores como interiores de manera de obtener una curva característica de la evolución de la temperatura de la caja exterior e interior para cada modelo de caja ensayado como se observa en el Gráfico 5.2.

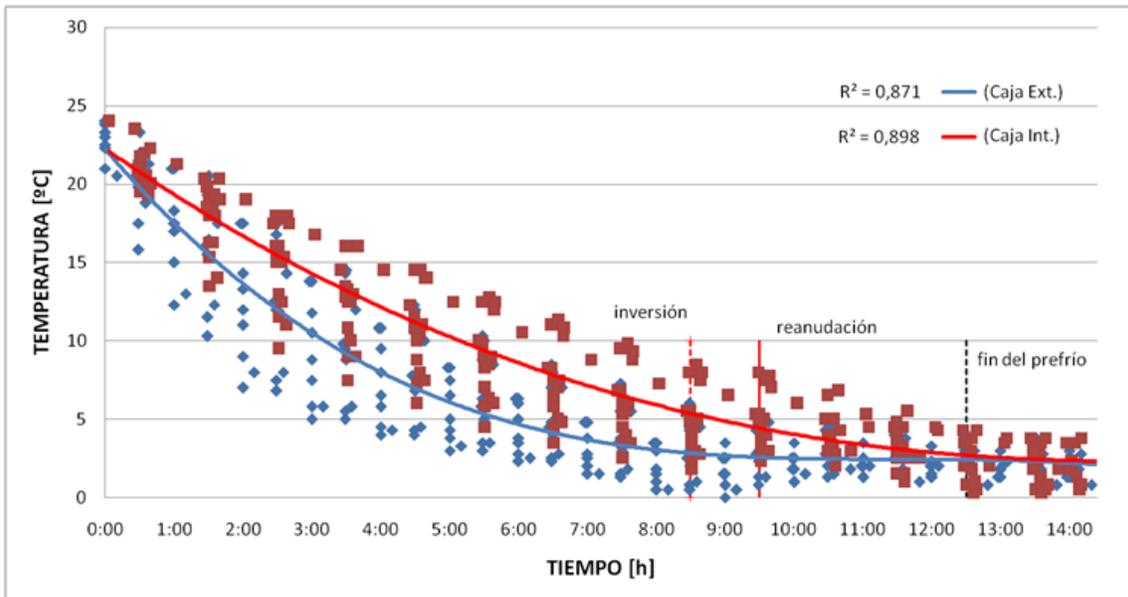


Gráfico 5. 2: Evolución de temperatura de todos los puntos de caja exterior e interior con sus respectivas curvas características.

Para proceder a la comparación de las curvas características obtenidas mediante el procedimiento anterior, para cada caja se deberá hacer un adimensionamiento de la temperatura, esto es debido a las diferencias existentes en las temperaturas iniciales. El adimensionamiento se utiliza de manera de disminuir el número de parámetros involucrados, en este caso se desea eliminar la influencia de la temperatura inicial y así poder realizar una correcta comparación. Así la temperatura adimensional estará definida por la eq. 5.1 en donde $T(t)$ esta dado por la ecuación de la curva obtenida de la regresión polinomial característica para cada caja, T_0 es la temperatura al inicio del prefrío, T_f es la temperatura objetivo para el final del prefrío (0°C para todos los casos).

$$\theta(t) = \frac{T(t) - T_f}{T_0 - T_f} \quad \text{Eq. 5.1}$$

5.2 Caja de Madera Aglomerada

En el **Gráfico 5.2.1** se muestra la tendencia de la evolución de la temperatura de distintos puntos de la caja exterior del modelo “Madera Aglomerada”. Se puede observar que hasta antes de la inversión los puntos de medición que presentan un descenso de temperatura más acelerado son los puntos 1B y 1A debido a que son los primeros en enfrentar el flujo de aire frío. Como se puede observar en la **Tabla 4.4**, en particular el diseño de este modelo de caja permite el paso del aire entre cajas debido a que sus cabezales no quedan del todo unidos y además posee una gran ventilación lateral lo que favorece a que la temperatura en los puntos de medición de los costados de la caja (2B y 3B) descienda más rápidamente que la de los puntos del centro 2A y 3A. Por otro lado se puede observar que después de la inversión la temperatura en los puntos 1A y 1B sube aproximadamente 1°C debido a la incidencia del aire frío que fue calentado al pasar por toda la fruta que se encuentra antes de estos puntos. En los puntos 2A, 2B, 3A y 3B la inversión provoca una pequeña disminución en la velocidad de enfriamiento, no obstante el principal objetivo de la inversión es emparejar las temperaturas de la caja exterior con la interior y es por eso que no se puede observar una influencia significativa de la inversión en la caja exterior.

La convergencia de las curvas de enfriamiento de todos los puntos marca el final del prefrío. Para este modelo de caja se produce transcurridas las 12 horas y 30 minutos desde el comienzo del prefrío y se puede observar que la diferencia de temperatura entre los puntos de medición de la caja es de 0,9°C con una mínima de 2,1°C del punto 1B y una máxima de 3°C del punto 3A.

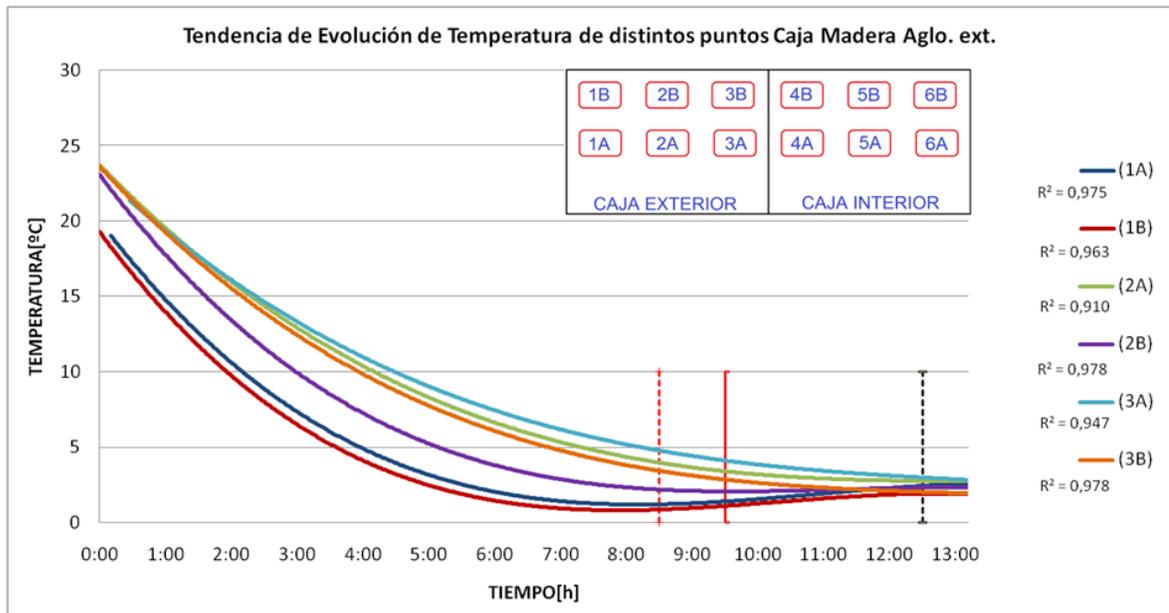


Gráfico 5.2.1: Madera Aglomerada / Caja Exterior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

El **Gráfico 5.2.2** muestra la tendencia de la evolución de la temperatura esta vez para los distintos puntos de medición de la caja interior, se puede observar que antes de la inversión los puntos que muestran un enfriamiento más rápido son los puntos 4A, 4B por ser los primeros en recibir el frente de aire frío y los punto 5B y 6B por recibir directamente el aire frío que se cuela por el espacio entre los cabezales de la caja y luego por sus ventilaciones laterales. Los puntos que presentan un enfriamiento más complicado antes de la inversión serían los puntos 5A y 6A. Estas son las posiciones con más difícil acceso para el aire frío y a esto se suma que el aire que les llega viene ya calentado por toda la fruta que antecede a estos puntos.

Después de la inversión se puede observar que la temperatura de los puntos 6A y 6B continúa con un descenso acelerado a diferencia de los otros puntos en donde el enfriamiento se estabiliza. Esto sucede ya que ahora estos puntos pasan a ser los que enfrentan el aire frío más directamente. Aquí se puede observar que la inversión cumple con su finalidad de homogeneizar la temperatura dentro de las cajas ya que de no realizarse este proceso la temperatura de los puntos más complicados de enfriar quedaría muy elevada. A diferencia de lo que sucede en la caja exterior, en la caja interior las curvas de enfriamiento no convergen de manera tan clara debido al rápido descenso de temperatura de los puntos 6A y 6B sin embargo podría decirse que el final del prefrío se presenta cuando las curvas de enfriamiento de todos los otros puntos convergen. Esto sucede a partir de las 12 horas y 50 minutos aproximadamente. Se puede observar que al final del prefrío la dispersión de la temperatura de todos los puntos de la caja es de 2,5°C con una mínima de 1,5°C del punto 6B y una máxima de 4°C del punto 5A.

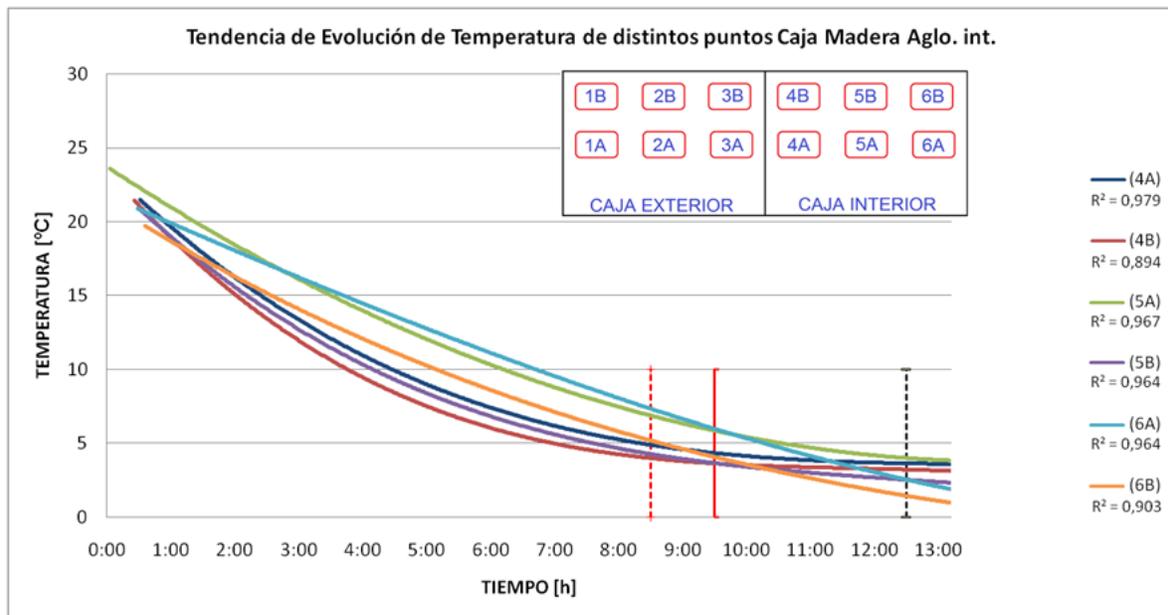


Gráfico 5.2.2: Madera Aglomerada / Caja Interior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

Finalmente en el **Gráfico5.2.3** se muestran las curvas características de enfriamiento tanto para la caja exterior como interior. Se puede observar aquí que la curva de la caja exterior va por debajo de la curva de la caja interior debido a que esta enfrenta en un principio el frente de aire frío directamente. A partir del momento de la inversión las curvas tienden a converger en su temperatura mínima la que es en este caso 2,5°C para la caja exterior y 2,7°C para la caja interior alcanzados a las 10 y 13 horas desde el comienzo del prefrío respectivamente. El tiempo para finalización del prefrío sería para este modelo de caja a partir de las 13 horas.

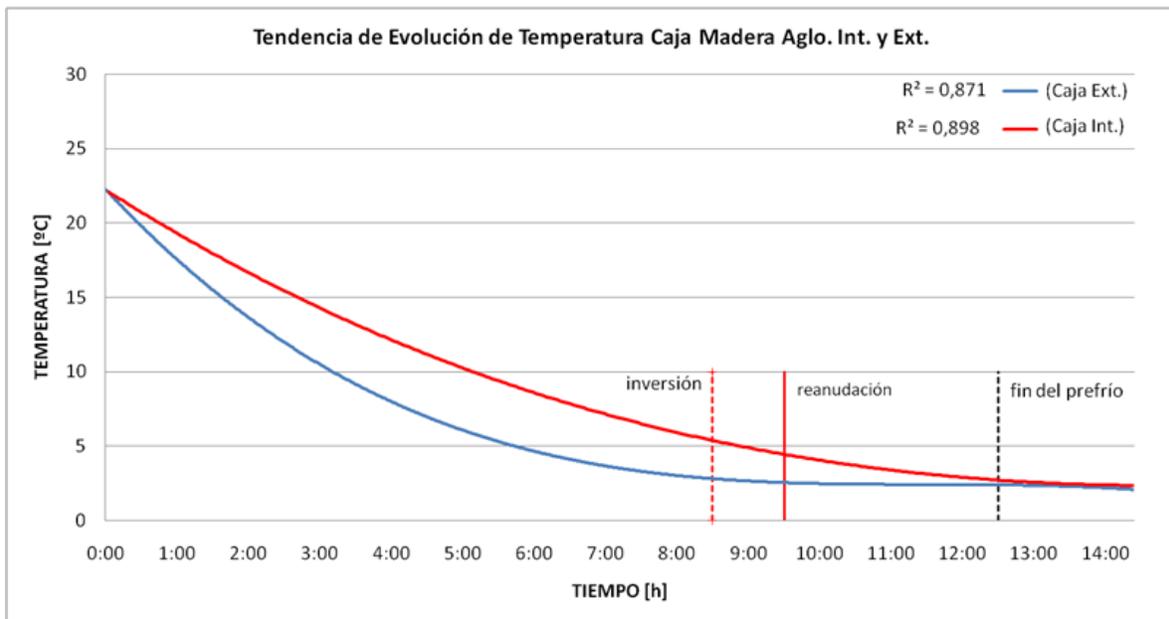


Gráfico 5.2.3: Madera Aglomerada / Caja Exterior e Interior / Curvas características de evolución de temperatura

5.3 Caja de Madera Tradicional

La tendencia de la evolución de la temperatura en distintos puntos de medición de la caja exterior del tipo de “Madera Tradicional” es mostrada a continuación en el **Gráfico 5.3.1**. Se puede observar que al igual que en el modelo de caja anterior, antes de la inversión los puntos que presentan el descenso de temperatura más vertiginoso son los puntos 1A y 1B. Luego los puntos 2A y 2B se enfrían a velocidades similares siendo un poco más rápido el punto 2B debido a las grandes ventilaciones laterales que existen en este modelo de caja. (Ver **Tabla 4.5**). Finalmente el punto que presenta el enfriamiento más lento es el punto 3A, seguido muy de cerca por el punto 3B el cual recibe aire frío desde el lateral que mejora su velocidad de enfriamiento. La inversión tiene poca incidencia en esta caja donde vemos que las temperaturas de los puntos 1A y 1B aumentan solo en 0,3°C luego de la inversión.

Para este modelo de caja las curvas de evolución de temperatura convergen a su mínimo luego de aproximadamente 9 horas de prefrío. Se puede notar una gran homogeneidad de temperatura hacia el final del proceso de enfriamiento con una mínima de 0°C alcanzada tanto por el punto 1A como el 1B y una máxima de 0,7°C en el punto 2A.

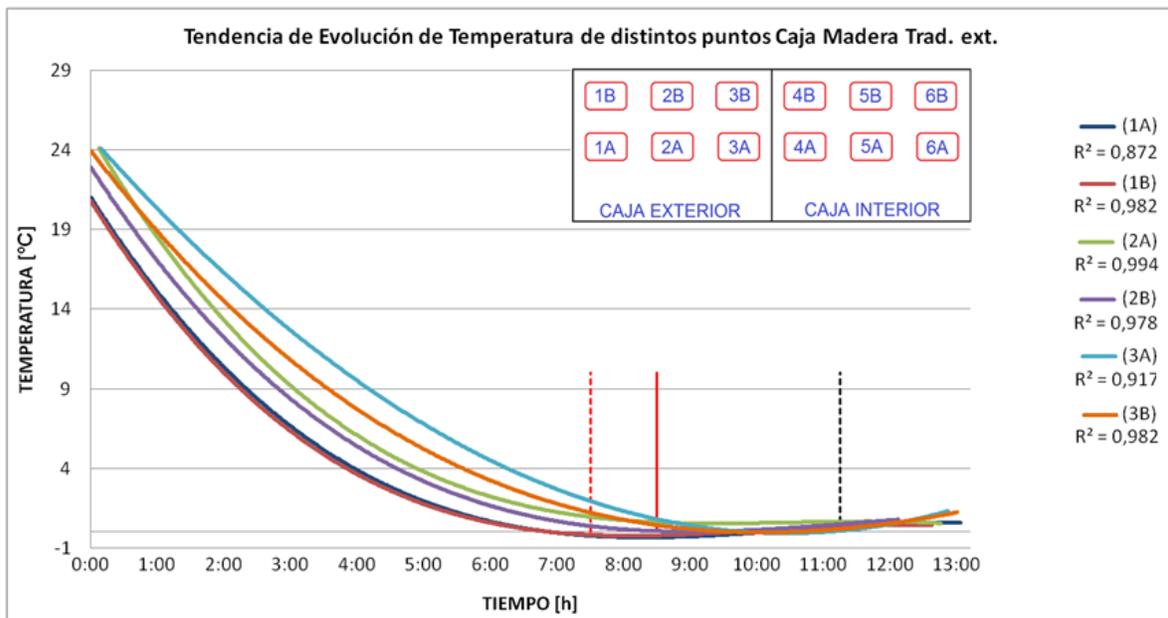


Gráfico 5.3.1: Madera Tradicional / Caja Exterior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

El **Gráfico 5.3.2** muestra la evolución de temperatura de los puntos de medición de la caja interior del tipo Madera Tradicional. Se puede ver que los puntos 6A y 6B comienzan el enfriamiento a temperaturas más bajas, debido a que al ser los puntos posicionados más hacia el exterior de la caja estos son

enfriados por el aire recibido durante el transporte y también enfriados en las antecámaras cuando se encuentran a la espera del inicio del proceso de prefrío. Pese a esto, antes de la inversión, se puede observar una mayor velocidad de enfriamiento en los 4A, 4B y 5B, debido a que son los primeros puntos en recibir el frente de aire frío, ya sea el que viene a través de la caja exterior o el que se cuela por los laterales de la caja. Los puntos que se enfrían más lentamente antes de la inversión son los puntos 5A, 6A y 6B, sin embargo luego de la inversión, estos últimos dos, al recibir directamente el aire frío, aceleran su enfriamiento llegando incluso a temperaturas bajo los 0°C, no así el punto 5A el cual homogeniza su temperatura con el resto de los puntos de la caja.

Los puntos 4A, 4B, 5A y 5B convergen a su temperatura mínima cerca de las 10 horas y 50 minutos el cual es el momento propicio para finalizar el prefrío. La temperatura mínima al final del prefrío es de -0,1°C alcanzada por el punto 6B, y de 1,1°C en el resto de los puntos.

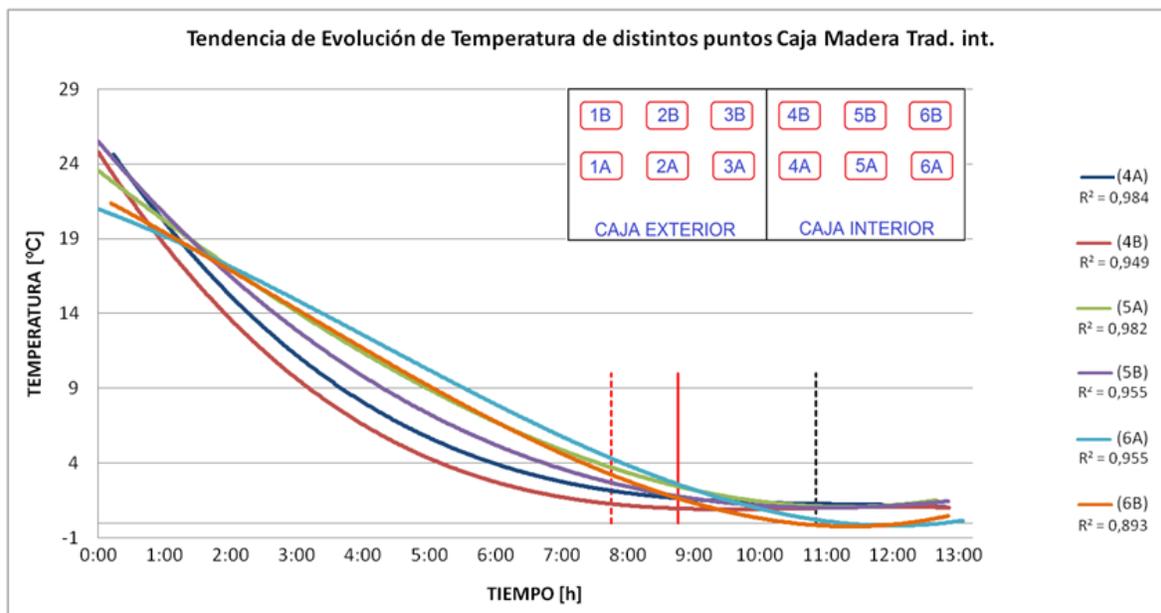


Gráfico 5.3.2: Madera Tradicional / Caja Interior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

Las curvas características mostradas en el **Grafico 5.3.3** muestran que el momento propicio para la finalización del prefrío es cerca de las 10 horas con 50 minutos. En este punto la temperatura de la caja interior es de 0,7°C y la de la caja exterior de 0,2°C, acercándose bastante a la temperatura objetivo de 0°C para ambas cajas.

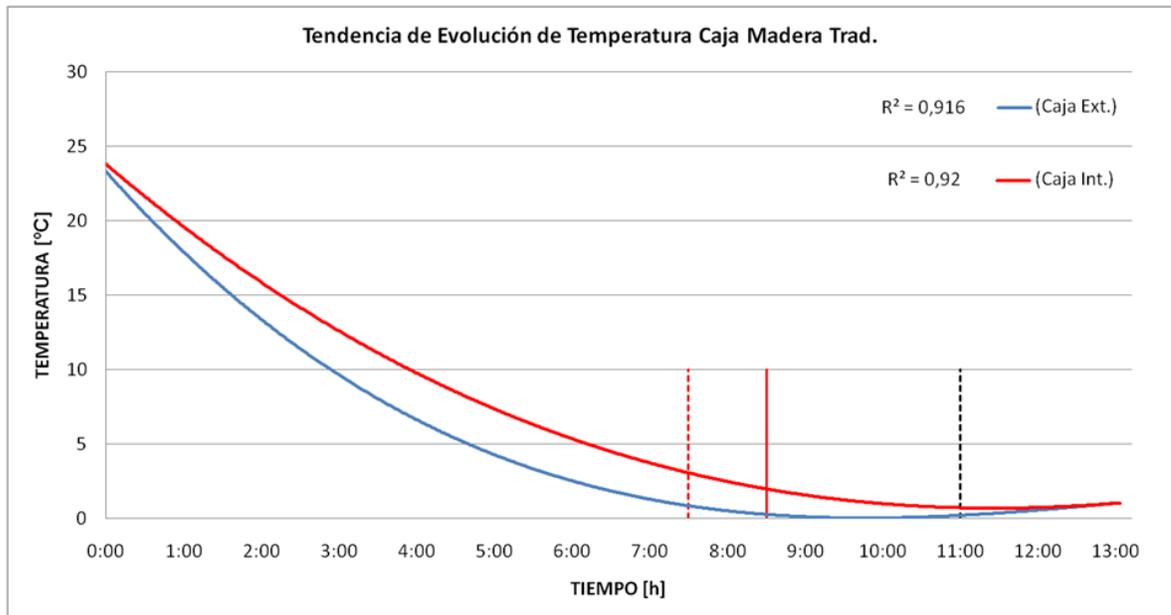


Gráfico 5.3.3: Madera Tradicional / Caja Exterior e Interior / Curvas características de evolución de temperatura

5.4 Caja P84

En el capítulo anterior, en la **Tabla 4.1** se puede observar la geometría y diseño de la caja P84. Se puede notar que posee grandes ventilaciones en sus laterales las que aportan a la circulación de aire entre cajas contiguas. Sumado a esto existen cuatro agujeros de ventilación en su cabezal que permiten el paso del aire frío hacia el interior de la caja. Como era de esperarse, en el **Gráfico 5.4.1** se puede observar que los puntos que poseen el enfriamiento más veloz son los puntos 1A y 1B, alcanzando su mínima temperatura de $-0,9^{\circ}\text{C}$ transcurridas las 6 horas con 30 minutos de prefrío. El punto que los sigue es el 2A y finalmente con un comportamiento similar entre ellos están los puntos 2B, 3A y 3B. Estos últimos se encuentran en una posición central dentro del arreglo de cajas por lo que es más difícil para el aire frío alcanzarlos. Luego de la inversión vemos que la convergencia de las curvas se produce cerca de las 10 horas de prefrío, aquí los puntos centrales y difíciles de enfriar alcanzan su mínima temperatura mientras que los puntos 1A y 1B elevan su temperatura hasta aproximadamente 2°C .

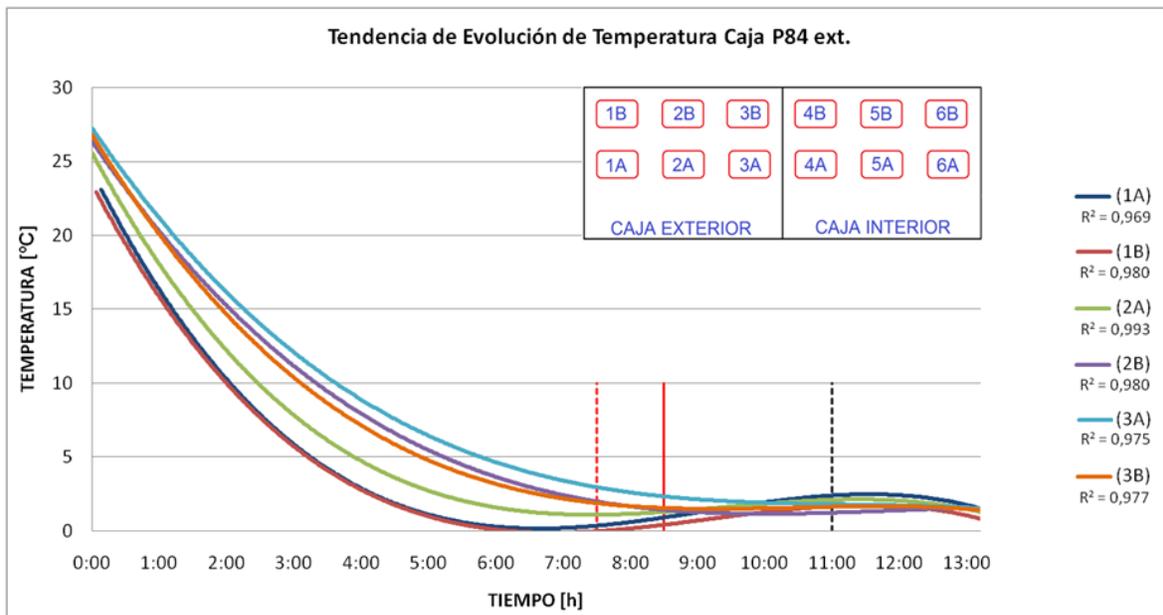


Gráfico 5.4.1: Caja P84 / Caja Exterior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

En el **Gráfico 5.4.2** donde se muestra la evolución de temperatura de la caja interior del modelo P84, se puede observar que antes de la inversión, los puntos que presentan el enfriamiento más lento son los puntos 5A, 6A y 6B. Por otro lado, los puntos 4A, 4B y 5B antes de la inversión presentan un enfriamiento más veloz, comparable al de algunos puntos de la caja exterior, sin embargo, este descenso de temperatura se detiene al momento de la inversión, no así el de los puntos 5A, 6A y 6B que continúan con su descenso hasta cerca de los 1°C .

Se puede observar, como en los casos anteriores, que la inversión tiene una mayor influencia en la caja interior, esta permite que los puntos más exteriores logren acercarse más a la temperatura objetivo, sin embargo no tiene un aporte significativo en los puntos más centrales, vale decir los puntos 4A, 4B y 5B. Para esta caja se observa que la temperatura mínima es de 0,2°C en el punto 6B y la máxima de 2,5°C en el punto 4A.

No se presenta una buena homogeneidad de temperatura en la caja interior, debido principalmente a la dificultad para enfriar los puntos centrales que finalizan el prefrío con temperaturas cercanas a los 2°C.

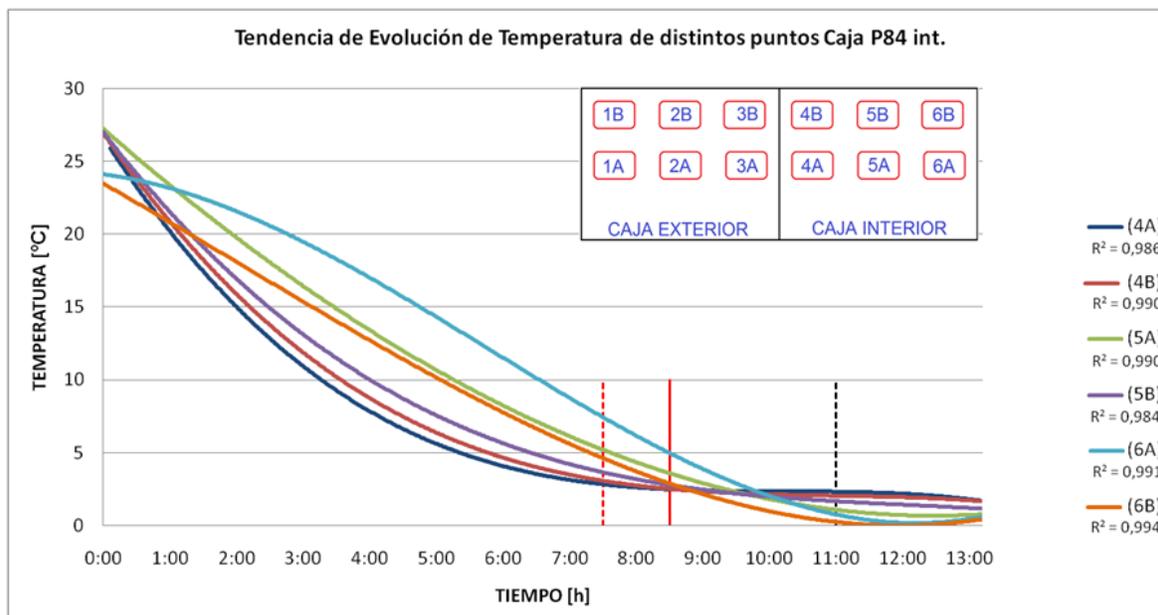


Gráfico 5.4.2: Caja P84 / Caja Interior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

Finalmente el **Gráfico 5.4.3** muestra las curvas características obtenidas para este modelo de caja. Se observa aquí que la convergencia de las dos curvas se produce pasado las 10 horas con 30 minutos, sin embargo final del prefrío se produce cerca de las 11:00, esto debido a que la temperatura en los puntos 6A y 6B de la caja interior aún sigue descendiendo.

Se puede destacar también el acelerado descenso de temperatura en la caja exterior en comparación a la interior, esto se puede atribuir a la dificultad que tiene el aire frío para pasar desde una caja a otra. A diferencia de las cajas analizadas en los puntos **5.2** y **5.3**, este modelo de caja no permite el paso de aire frío entre cajas colindantes o por sobre la fruta, lo que obliga al aire a pasar a través de la uva en la caja exterior antes de pasar a la caja interior.

Finalmente las temperaturas mínimas alcanzadas por ambas curvas es de 1,2°C producidas a las 8 horas de prefrío para la caja exterior y a las 11 horas 20 minutos para la caja interior.

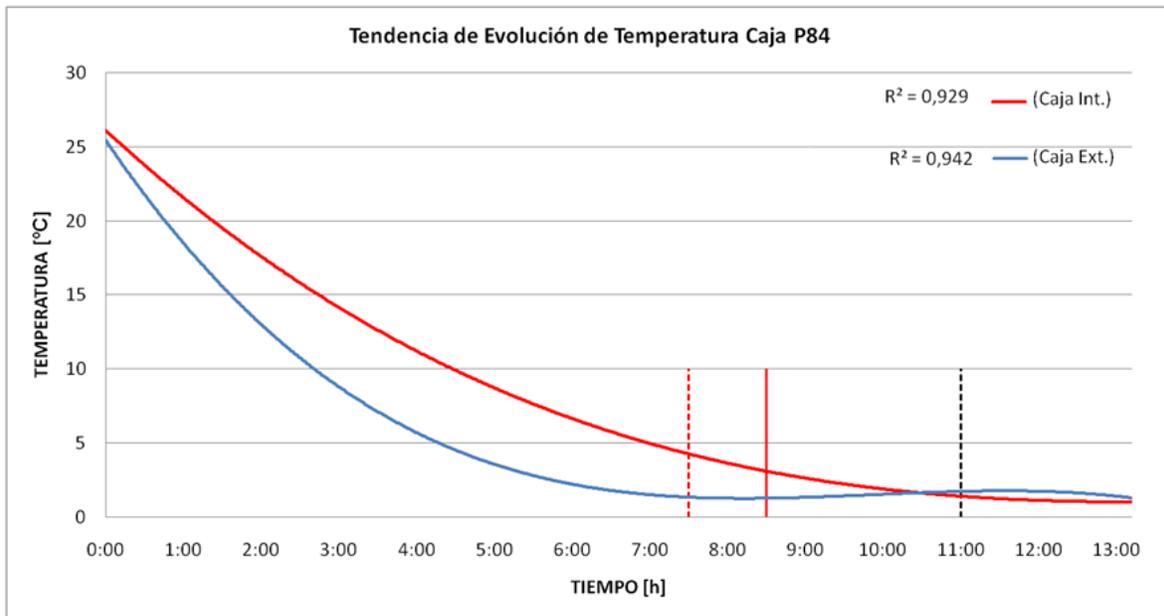


Gráfico 5.4.3: Caja P84 / Caja Exterior e Interior / Curvas características de evolución de temperatura

5.5 Caja M19

Las tendencias de evolución de temperatura para la caja exterior del modelo M19 se muestran a continuación en el **Gráfico 5.5.1**. Se puede observar un comportamiento bastante similar al mostrado por la caja P84 la cual tiene una geometría y diseño muy parecido. La diferencia que existe en el comportamiento de estos dos modelos de cajas está en el orden de enfriamiento de los distintos puntos. Las caja P84 al tener sus laterales mas ventilados permite que los puntos de los costados se enfrían más velozmente, a diferencia de la caja M19 donde no sucede esto.

Por otro lado, los primero puntos en enfrenar el aire frío son los puntos 1A y 1B, los cuales alcanzan su mínima temperatura de $-0,2^{\circ}\text{C}$ cerca de las 6 horas de prefrío, antes de la inversión. Luego de la inversión, la temperatura en estos puntos sube cerca de 2°C mientras que la del resto de los puntos se estabiliza en sus mínimas respectivas.

Se puede observar que al final de prefrío hay una buena homogeneidad en las temperaturas, siendo las mas elevadas las de los puntos 1A y 1B, los cuales fueron sometidos al aire calentado por la fruta proveniente desde la caja interior.

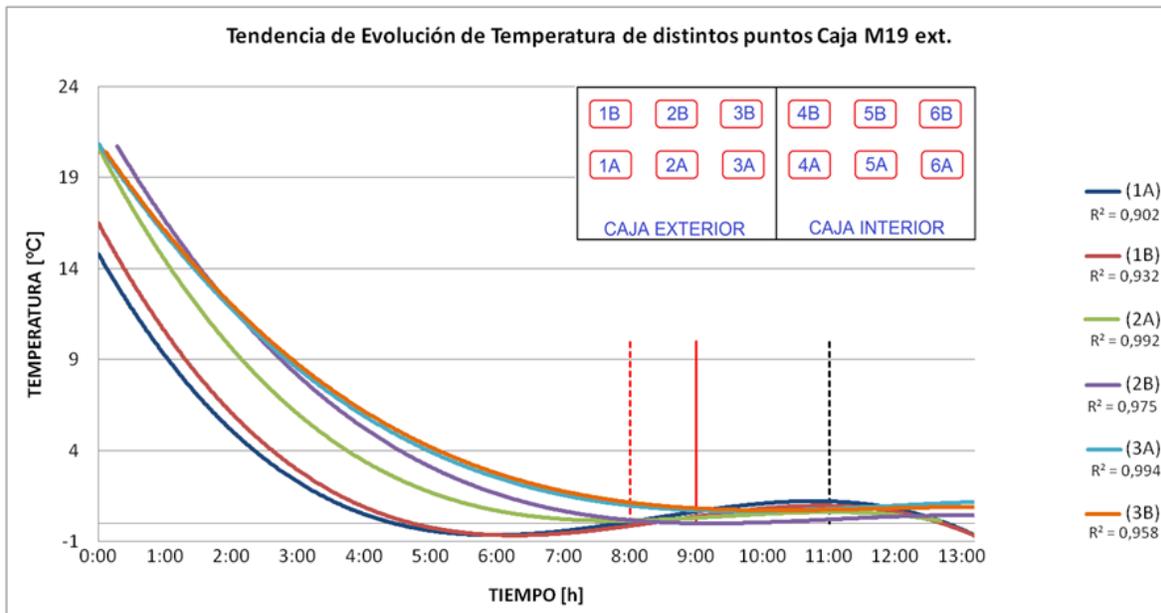


Gráfico 5.5.1: Caja M19 / Caja Exterior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

En el **Gráfico 5.5.2**, donde se ve la evolución de la temperatura de los distintos puntos de la caja interior del modelo M19, se puede observar un rápido descenso de temperatura en los puntos 4A y 4B antes de la inversión. Estos puntos son los primero en recibir el aire frío proveniente desde la caja exterior por lo que muestran un enfriamiento más veloz en comparación a los otros puntos de la caja. Luego de la inversión los puntos 5A, 5B, 6A y 6B aceleran su enfriamiento hasta que sus curvas de enfriamiento convergen con la de los puntos 4A y 4B cerca de las 11 horas de prefrío. Aquí la temperatura de los distintos puntos se encuentra entre los 0,4°C y 1,4°C dando muestra de una muy buena homogeneidad de temperaturas.

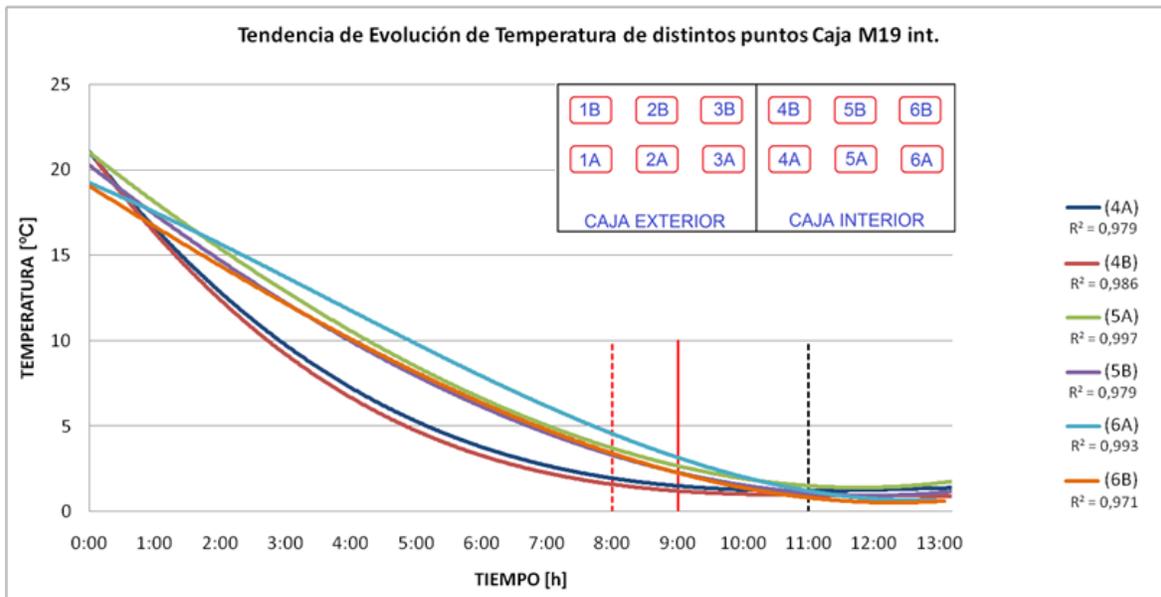


Gráfico 5.5.2: Caja M19 / Caja Interior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

Se puede observar en el **Gráfico 5.5.3** las curvas características de las cajas exterior e interior del modelo M19, se puede notar que la curva exterior alcanza su mínima temperatura cerca de las 8 horas de prefrío, mientras que la caja interior alcanza su mínima transcurridas las 11 horas, momento que coincide con el final del proceso de prefrío.

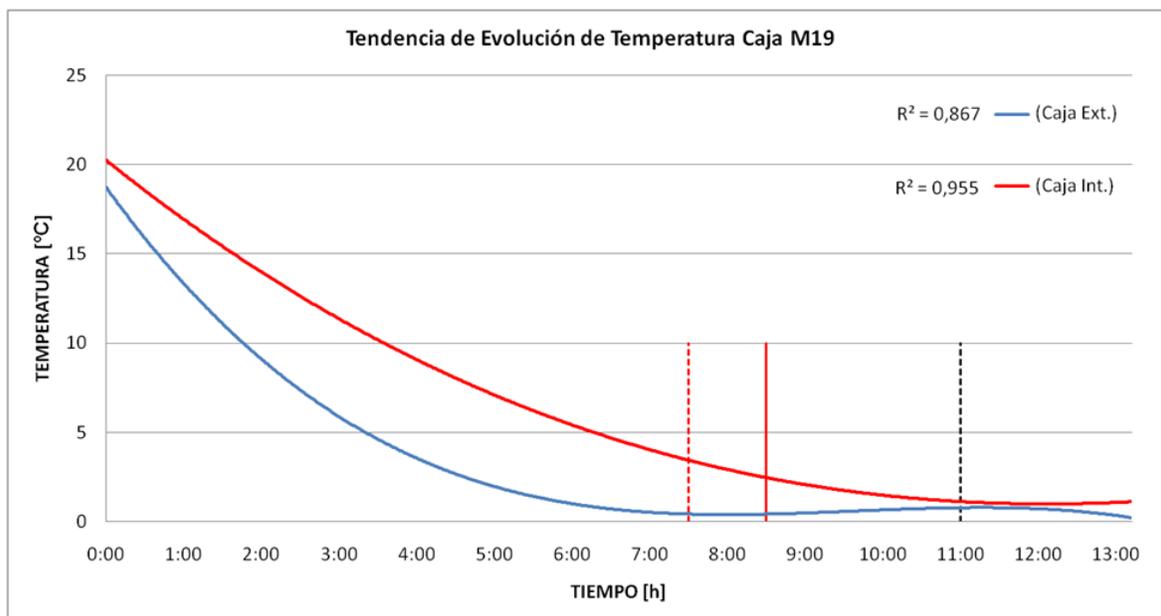


Gráfico 5.5.3: Caja M19 / Caja Exterior e Interior / Curvas características de evolución de temperatura

5.6 Caja Defor MKII

En el **Gráfico 5.6.1** es mostrada la tendencia de la evolución de la temperatura para la caja exterior del modelo Defor MKII. Se puede observar que al igual que con los modelos de cajas antes analizados, los puntos 1A y 1B son los que presentan el enfriamiento más veloz, luego les sigue el punto 2B y finalmente muy de cerca el resto de los puntos. Como sucedió con el modelo de caja de madera aglomerada, el punto 2B enfrió más rápido que los otros debido a que, como se observa en la **Tabla 4.2**, la geometría de la caja Defor MKII permite el paso de aire frío entre caja colindante, lo que permite un mayor acceso de aire frío a los puntos de los costados. Sin embargo para este modelo de caja el fenómeno no es tan marcado como para la caja de madera aglomerada debido a las pequeñas ventilaciones laterales con las que cuenta, habiendo una muy pequeña diferencia entre las velocidades de enfriamiento de los puntos 2A, 2B, 3A y 3B.

Por otro lado, se puede observar que los puntos 1A y 1B alcanzan la temperatura objetivo de 0°C cerca de las 7 horas de prefrío mientras que el resto de los puntos nunca la alcanzan, no obstante logran temperaturas cerca de 1°C después de la inversión.

La convergencia de las curvas de enfriamiento de todos los puntos de la caja exterior se produce transcurridas las 10 horas de prefrío en donde tanto para el punto 1A como para el 1B se produce un pequeño aumento de temperatura debido básicamente al proceso de inversión.

En particular este modelo de caja es la que presenta la mayor homogeneidad de temperatura en su caja exterior, con una temperatura mínima de 0,8°C y una máxima de 1,1°C.

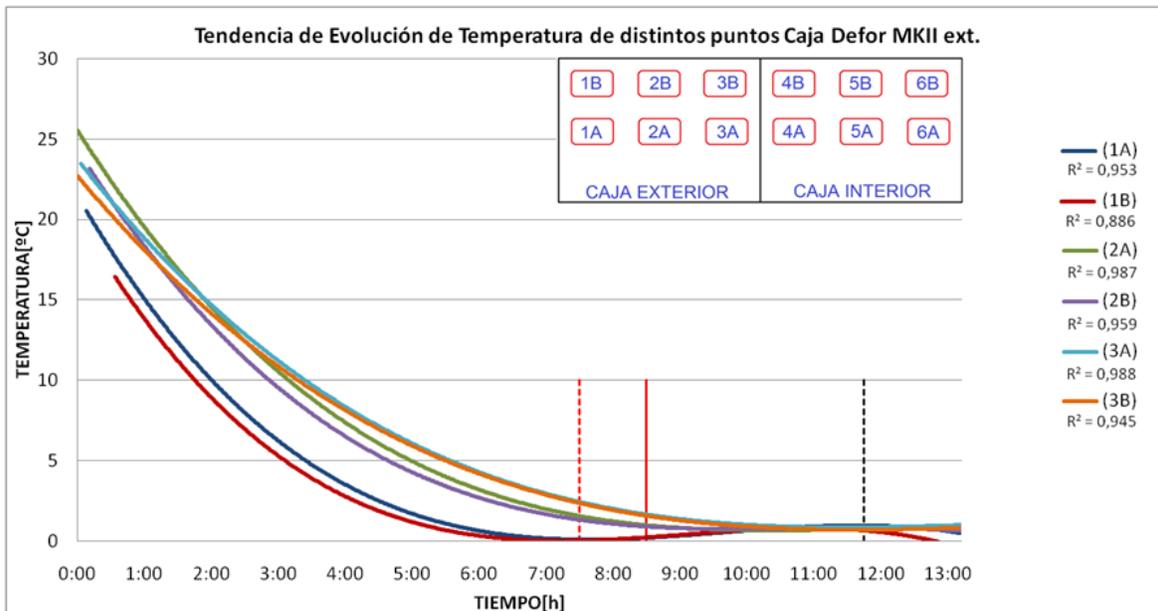


Gráfico 5.6.1: Caja Defor MKII / Caja Exterior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición.

En el **Gráfico 5.6.2**, donde se muestra la evolución del enfriamiento para la caja interior, se puede observar que hasta antes de la inversión el enfriamiento en los puntos 6A, 6B y 5B es notoriamente más lento que el del resto de los puntos. En los puntos 6A y 6B esto se produce por la dificultad que tiene el aire frío para alcanzar estas posiciones y debido a que el aire que les llega viene ya calentado por la fruta de la caja exterior. Por otro lado, el aire que circula entre cajas colindantes, no logra aportar al enfriamiento del punto 5B debido a las pequeñas ventilaciones laterales de este modelo de caja lo que provoca su lenta velocidad de enfriamiento, antes de la inversión, en comparación a la de los otros puntos.

Se puede observar que la convergencia de las curvas de enfriamiento de todos los puntos se produce cerca de las 11 horas como 40 minutos con una temperatura mínima de 1,1°C en el punto 4B y una máxima de 2,2°C en el punto 6B. Esto muestra una gran diferencia entre el comportamiento de la caja exterior e interior, habiendo más de 1 hora de diferencia entre los puntos de convergencia de todas sus curvas. Se podría relacionar esto a la dificultad que tiene el aire frío para pasar de una caja a otra o al aire frío que se cuela entre cajas colindantes el cual no hace aporte al enfriamiento.

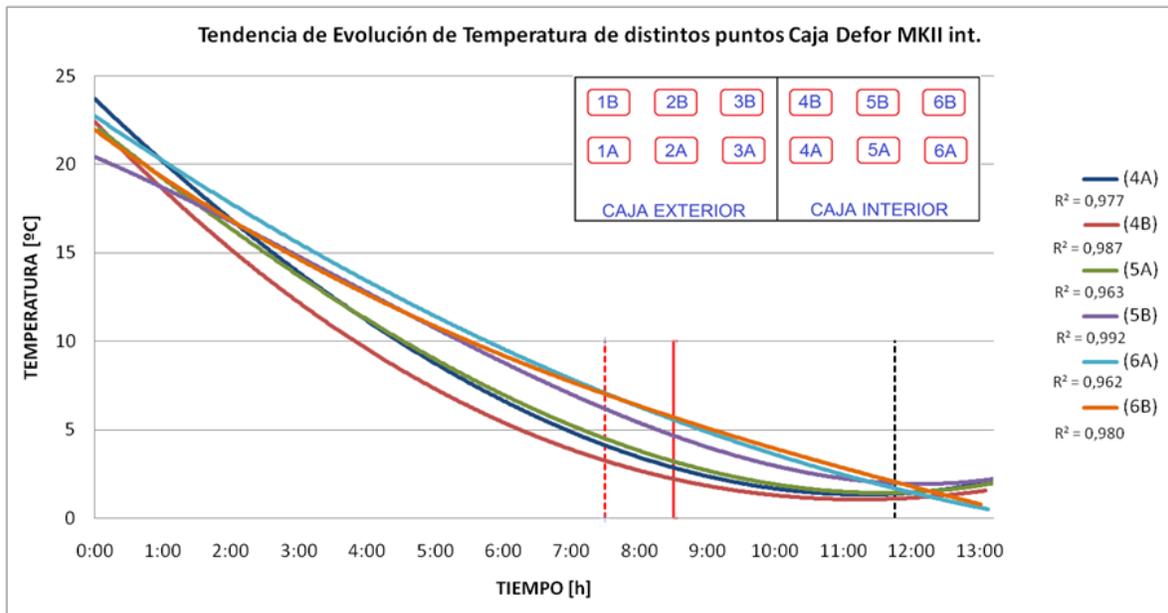


Gráfico 5.6.2: Caja Defor MKII / Caja Interior / Evolución de temperatura distintos puntos de medición

Finalmente las curvas características de la caja exterior e interior del modelo Defor MKII son mostradas en el **Gráfico 5.6.3**. El punto de convergencia de las dos curvas se produce cerca de las 11 horas de prefrío. En este punto es donde ambas curvas alcanzan sus mínimas temperaturas de 0,9°C para la caja exterior y de 1,7°C para la interior, punto el cual coincide con el final de prefrío.

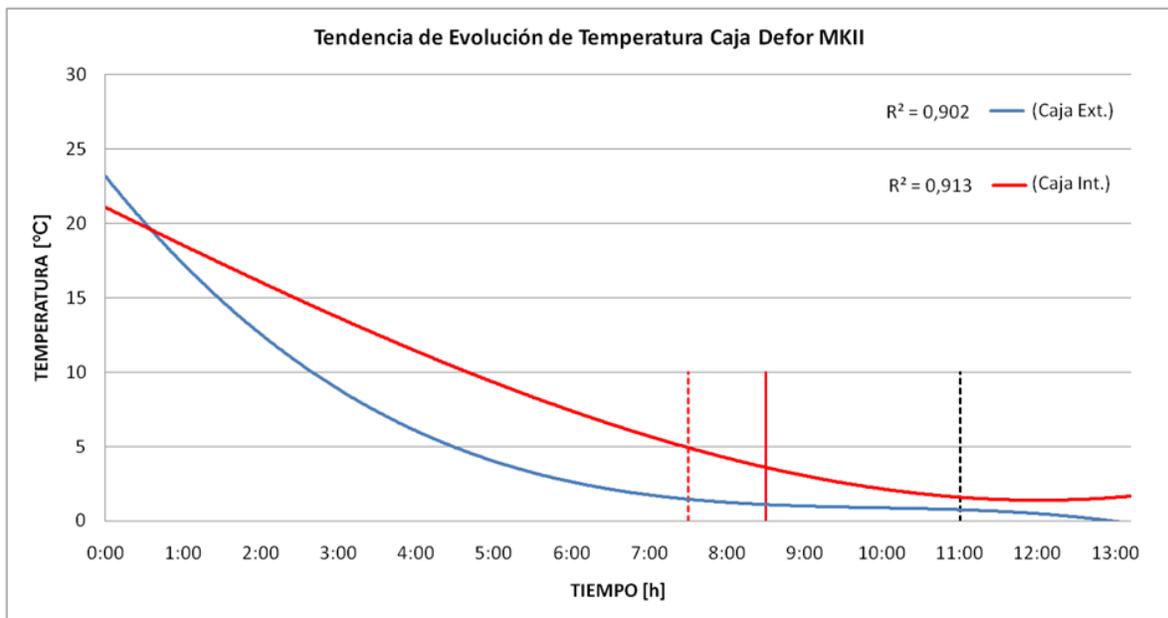


Gráfico 5.6.3: Caja Defor MKII / Caja Exterior e Interior / Curvas características de evolución de temperatura

5.7 Comparaciones entre cajas

En el **Gráficos 5.7.1** y el **Gráfico 5.7.2** se muestran las curvas características de todos los modelos de caja ensayados tanto para cajas exteriores como interiores, estos gráficos muestran las ecuaciones de las curvas obtenidas a partir de los datos recopilados de los ensayos en los túneles de prefrío. Se puede observar que esta curvas comienzan sus enfriamiento a temperaturas distintas debido a factores tales como la temperatura ambiente a la hora de inicio de los ensayos, el lugar en donde esperaban para comenzar el proceso de prefrío (al aire libre, antecámara o el mismo túnel de prefrío) o la hora en la que fueron transportados desde el lugar de packing ya que se enfrían por el aire que reciben durante su transporte por carretera.

Para poder comparar estas curvas se hizo un adimensionamiento de la temperatura que dio como resultado el **Gráfico 5.7.3** y el **Gráfico 5.7.4**.

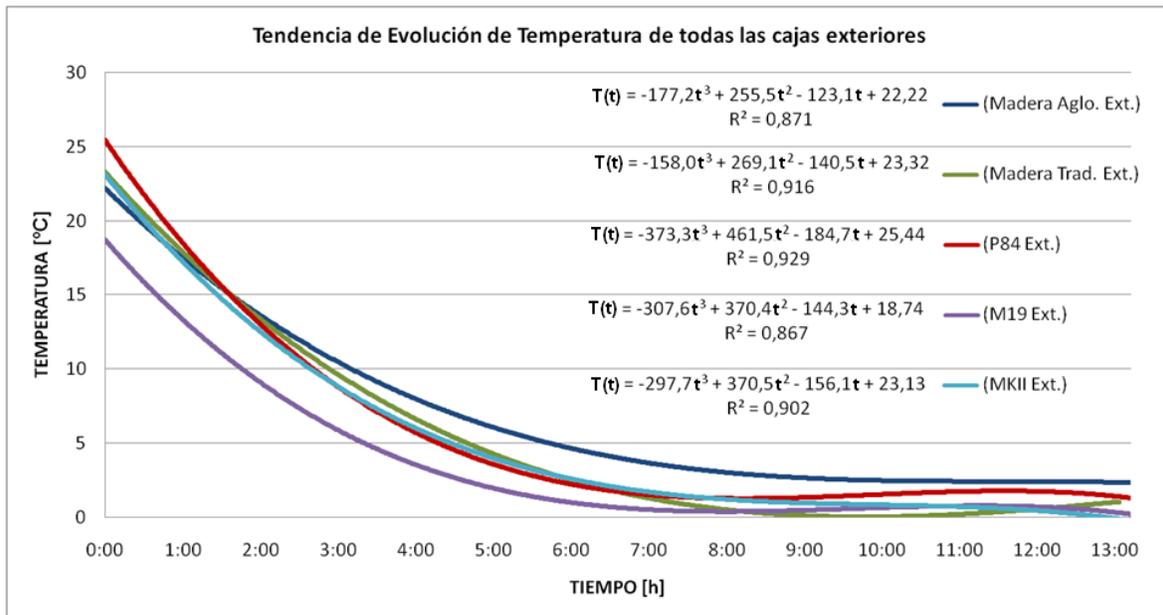


Gráfico 5.7.1: Tendencia de evolución de temperatura de todas las cajas exteriores

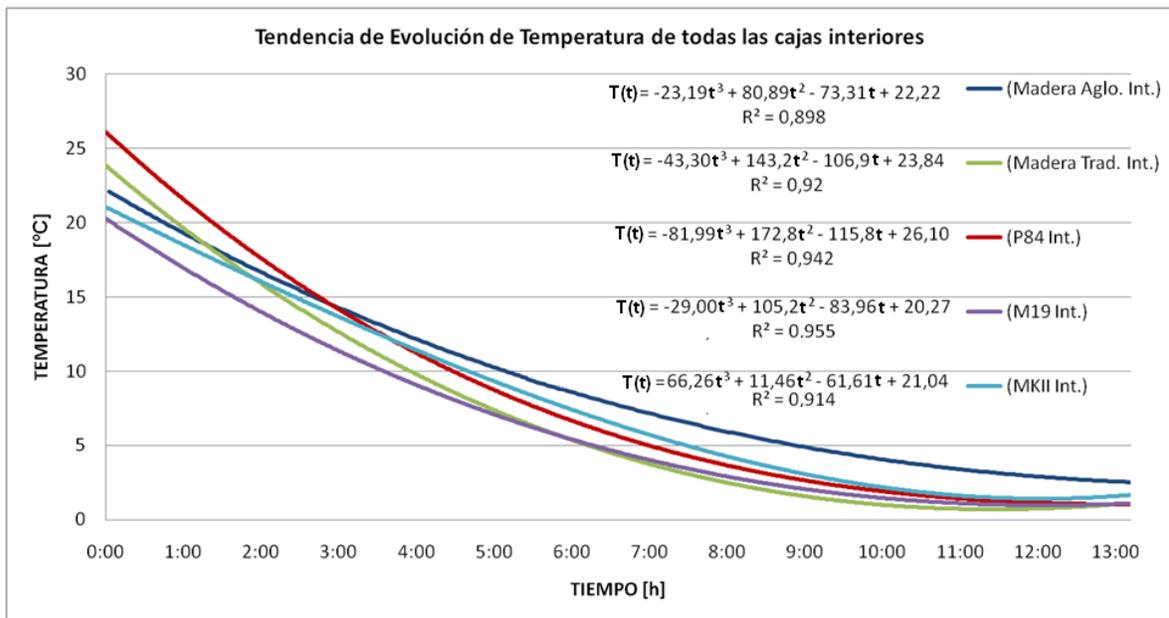


Gráfico 5.7.2: Tendencia de evolución de temperatura de todas las cajas interiores

En el **Gráfico 5.7.3** se muestra la comparación de las curvas características de todos los modelos de cajas exteriores. Se puede notar que la caja modelo M19 es la que presenta el enfriamiento más rápido, alcanzando su mínima transcurridas las 7 horas con 20 minutos. Luego las cajas P84 y Defor alcanzan sus mínimas 20 minutos después y finalmente las curvas de las cajas de madera tradicional y madera aglomerada alcanzan sus mínimas después de 9 horas y 30 minutos, y 10 horas y 30 minutos respectivamente.

En el **Gráfico 5.7.1** se pudo notar que solo la caja de madera Tradicional alcanzó la temperatura objetivo de 0°C mientras que las cajas de cartón se mantuvieron entre 1 y 2°C. En este sentido, pese que la caja de madera tradicional tardó más tiempo en alcanzar su mínima temperatura, fue la única eficaz en el enfriamiento.

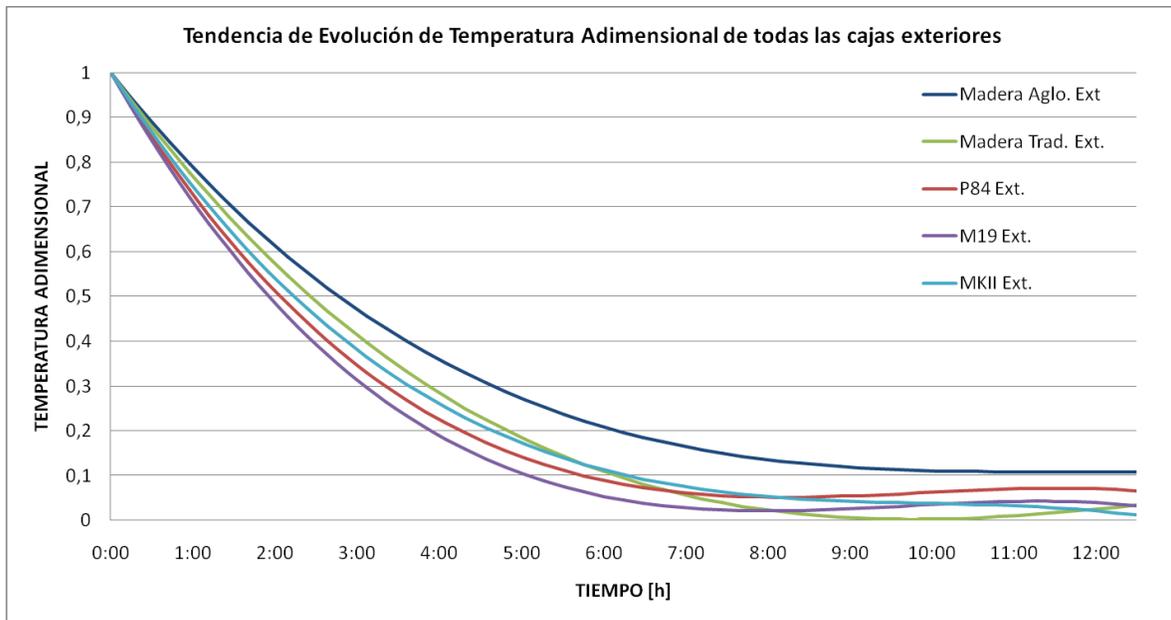


Gráfico 5.7.3: Tendencia de evolución de temperatura adimensional de todas las cajas exteriores

El **Gráfico 5.7.4** muestra la evolución de temperatura adimensional de las cajas interiores, se puede observar que nuevamente la caja de madera tradicional es la que presenta temperaturas más bajas al final de proceso de prefrío. En cuanto a las cajas de cartón, las cajas P84 y M19 muestran comportamiento similares, alcanzando sus mínimas transcurridas 11 horas de prefrío. La caja Defor alcanza su mínima en este mismo instante, sin embargo termina el proceso con una temperatura mayor que la de las otras cajas de cartón. La caja de madera aglomerada, al igual que para la caja exterior, se queda atrás en cuanto a la rapidez del enfriamiento y a la efectividad de este.

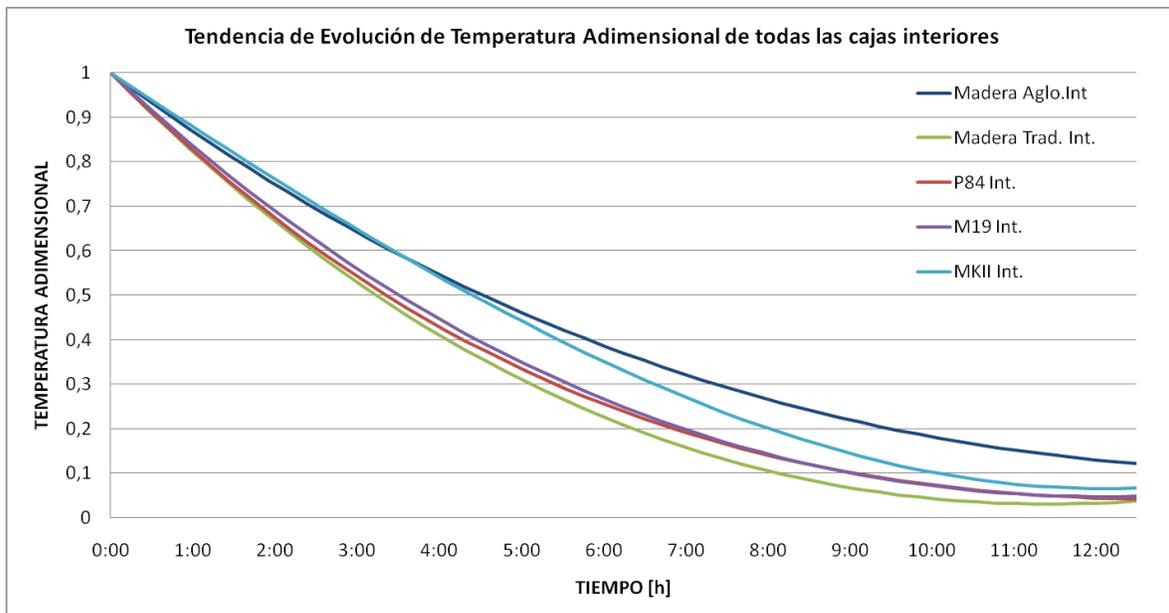


Gráfico 5.7.4: Tendencia de evolución de temperatura adimensional de todas las cajas interiores

En las siguientes tablas se resumen los resultados generales del comportamiento y desempeño de las distintas cajas ensayadas dentro del proceso de prefrío.

La **Tabla 5.1** es obtenida a partir de los gráficos de tendencia de evolución de temperatura de distintos puntos tanto para cajas exteriores como interiores. Esta tabla muestra las temperaturas mínimas y máximas presente dentro de las cajas al final del proceso de prefrío. De aquí se puede obtener una caracterización en cuanto a la homogeneidad de la temperatura al final del proceso.

Tabla 5.1: Resultados en cuanto a homogeneidad de Temperatura dentro de las cajas al final del prefrío.

	T° min. dentro de la caja al final del prefrío [°C]		T°max. dentro de la caja al final del prefrío [°C]		ΔT° dentro de la caja al final del prefrío [°C]	
	Caja Ext.	Caja Int.	Caja Ext.	Caja Int.	Caja Ext.	Caja Int.
Mad. Aglo.	2,1	1,5	3	4	0,9	2,5
Mad. Trad.	0	-0,1	0,7	1,1	0,7	1,2
P84	1,2	0,2	2,4	2,5	1,2	2,3
M19	0,3	0,4	1,2	1,4	0,9	1
MKII	0,8	1,1	1,1	2,2	0,3	1,1

Se puede observar que para las cajas exteriores, las menores diferencias de temperaturas se produjeron en la caja Defor MKII, sin embargo la temperatura más baja en cajas exteriores se registró en la caja de madera tradicional, seguida de la caja M19.

En cuanto a las cajas interiores, la menor diferencia de temperatura al final del prefrío la presentó la caja M19 la cual tuvo una temperatura mínima de 0,4°C solo superada por la caja de madera tradicional la cual tuvo una mínima de -0,1°C.

En la **Tabla 5.2** se muestran resultados obtenidos a partir de las curvas características de cada modelo de caja. Se muestra la temperatura mínima que alcanza cada curva, las horas transcurridas hasta alcanzar esta temperatura y finalmente las horas transcurridas hasta que las curvas de caja exterior e interior converjan, considerándose este instante como el final de prefrío.

Tabla 5.2: Resultados en cuanto a rapidez y efectividad del enfriamiento

	Tº min. de curva característica [°C]		Horas hasta alcanzar Tºmin de curvas características [h]		Horas hasta la convergencia de curvas caract. Int. y Ext. (fin del prefrío) [h]
	Caja Ext.	Caja Int.	Caja Ext.	Caja Int.	
Mad. Aglo.	2,5	2,7	10:00	13:00	13:00
Mad. Trad.	0	0,7	9:00	10:50	10:50
P84	1,2	1,2	8:00	11:20	11:20
M19	0,5	1,1	8:00	11:00	11:00
MKII	0,9	1,7	8:30	11:10	11:10

Se puede observar que para todos los modelos de cajas, el tiempo transcurrido hasta el final del prefrío bordea las 11 horas, con excepción de la caja de madera aglomerada la cual muestra un tiempo de 13 horas hasta el final de prefrío.

Las diferencias más significativas se pueden observar en cuanto a la efectividad del enfriamiento, en donde la caja de madera tradicional es la que se acerca más a la temperatura objetivo de 0°C, mostrando 0°C en su caja exterior y 0,7°C en su caja interior. En este mismo aspecto la caja de cartón que mostro el mejor desempeño fue la caja modelo M19, la cual presentó 0,5°C en su caja exterior y 1,1°C en su caja interior transcurridas las 11 horas de prefrío.

Se puede observar que a su vez el final de prefrío coincide con el instante en que la curva de enfriamiento de las cajas interiores alcanzan su mínima lo cual se produce luego del proceso de inversión, en donde esta caja comienza a recibir el flujo de aire frío directamente.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los ensayos en el túnel de enfriamiento piloto. Se ensayaron todos los modelos de cajas señalados con y sin material de relleno.

El **Gráfico 5.7.5** muestra la diferencia de presión a medida que la velocidad del flujo de aire se incrementa. Se puede observar que no existe una diferencia significativa en el ΔP de los distintos modelos de cajas, esto es debido a que el material de relleno le pone una gran resistencia al paso del aire a través de las cajas. Entre la mayor y la menor pendiente obtenidas hay tan solo un 9,1% de diferencia.

Por otro lado, si se considera que para el aire es muy difícil pasar a través del material de relleno, este buscara pasar por los espacios libres. Coincidentemente las cajas que para las mismas velocidades de aire presentan una menor diferencia de presión son aquellas que al ser apiladas dejan espacios entre cajas colindantes, es decir, las cajas Defor MKII y la caja de madera aglomerada.

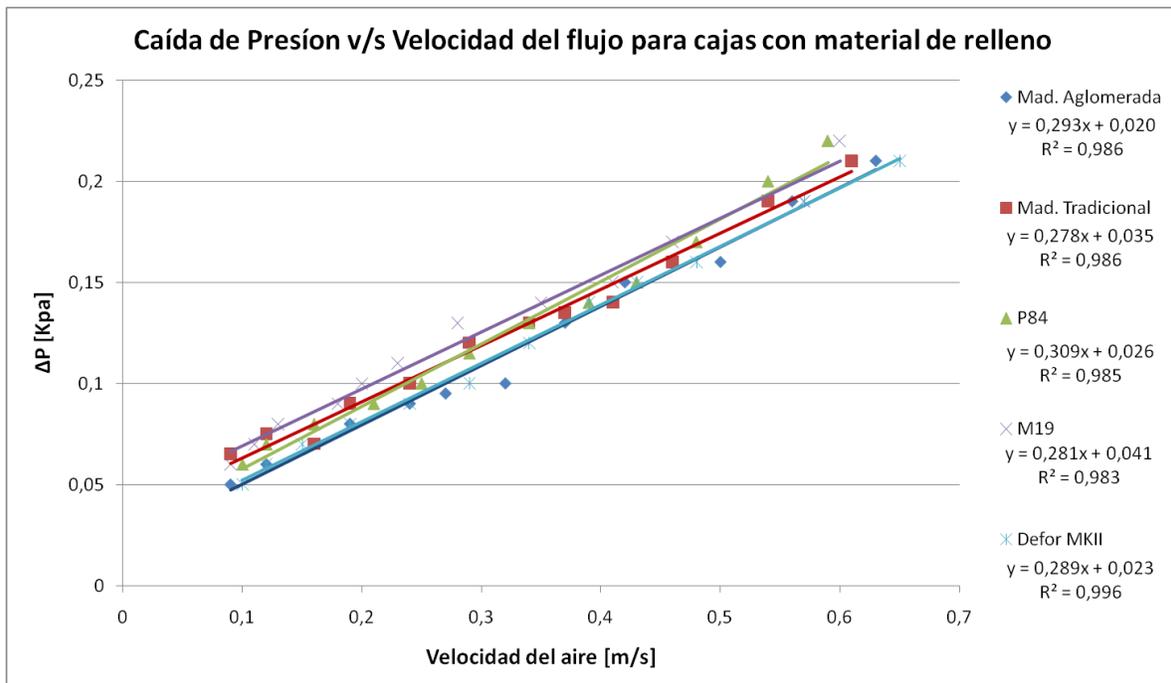


Gráfico 5.7.5: Caída de Presión a través del arreglo de cajas usando material de relleno

El **Gráfico 5.7.6** muestra los resultados del mismo ensayo anterior solo que esta vez sin la utilización de material de relleno, es decir, utilizando las cajas vacías. En esta ocasión el aire puede circular libremente por todas las superficies ventiladas de las cajas y se puede observar inmediatamente que las velocidades del flujo de aire aumentan y también las diferencias entre las distintas cajas. Esta vez los mayores ΔP están dados por la caja de madera aglomerada debido a que es la caja con menor superficie de ventilación en su cabezal (ver **Tabla 4.4**), le siguen las cajas P84 y M19 con una comportamiento similar entre ellas y finalmente las que presentan la menor resistencia al paso del aire son las caja Defor MKII y la de madera tradicional. Pese a que estas últimas dos cajas presentan resistencias similares, la caja de madera tradicional tiene un desempeño superior en el proceso prefrío ya que sus áreas ventiladas están posicionadas de manera que el aire frío incide directamente sobre la fruta y a diferencia de la caja Defor MKII, esta no permite el paso de aire entre cajas colindantes.

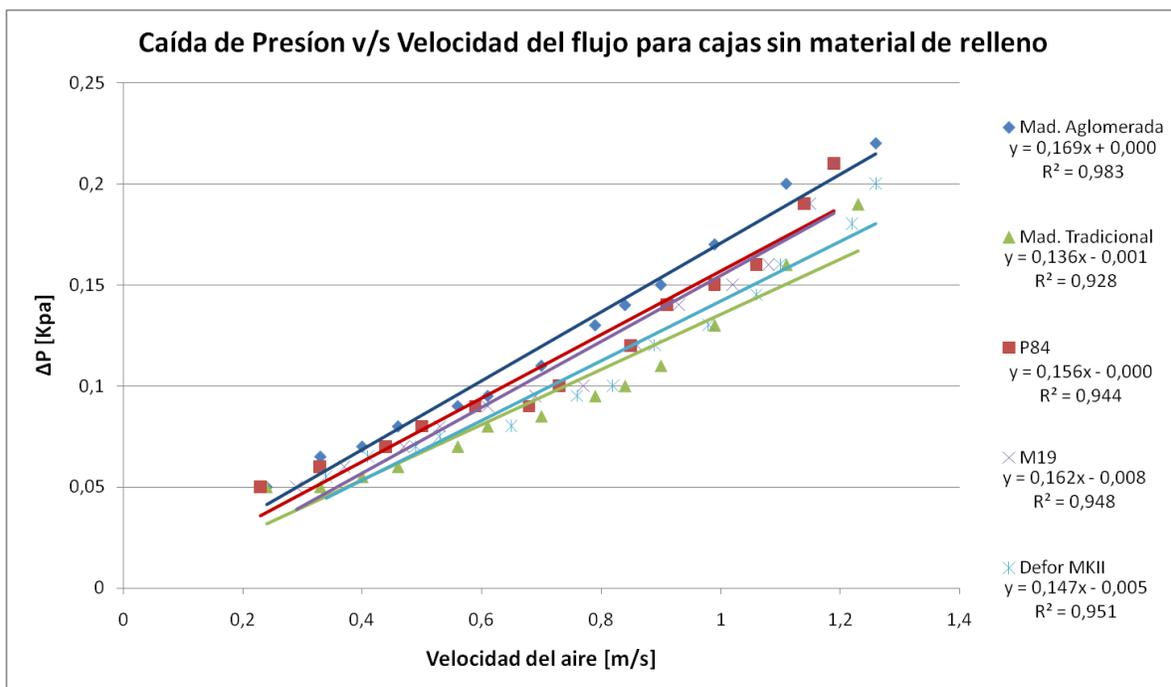


Gráfico 5.7.6: Caída de Presión a través del arreglo de cajas sin usar material de relleno

6 CONCLUSIÓN

El objetivo general del presente trabajo experimental fue la caracterización de distintos envases de cartón corrugado según sus capacidades para el enfriamiento rápido de la uva de su interior, mediante el uso de túneles de aire forzado.

Con el objetivo de que el presente estudio tenga aplicabilidad a la industria exportadora actual, se realizó un levantamiento del nivel tecnológico y prácticas operativas llevadas a cabo por algunas compañías exportadoras de la zona central del país. Para esto se diseñó y aplicó una encuesta con la finalidad de extraer información relevante. La encuesta fue aplicada en 6 frigoríficos de 4 compañías exportadoras entre la Región Metropolitana y la Sexta Región. Estas encuestas presentaron resultados en cuanto a los tipos de túneles utilizados, sus capacidades en pallets, los equipos de enfriamiento utilizados y el control y registro de temperatura utilizados, entre otras cosas. Se pudo determinar que los túneles del tipo californiano con capacidades para entre 20 y 40 pallets alimentados desde salas de máquinas centrales son los preferidos por las compañías exportadoras debido a que son de construcción sencillas y tienen capacidad para enfriar un mayor número de pallets por prefrío y tanto el estibado del túnel como el proceso de inversión se realizan de manera más fácil y en un menor tiempo.

Dada la información recopilada, se determinó adecuado para los ensayos, un túnel de tipo Californiano de enfriamiento por aire forzado, este túnel es uno de diez túneles gemelos dentro de una planta frigorífica de la zona central perteneciente a la compañía Exportadora Rio Blanco. Este túnel tiene capacidad para 44 pallets en doble estiba y cuenta con dos ventiladores de 6 [KW] de potencia cada uno. El refrigerante usado en esta planta es el amoniaco en donde sus dos evaporadores son alimentados desde una sala de máquinas central que alimenta a su vez al resto de los túneles y varias cámaras de mantención. Sus paredes son de paneles termoaislantes de poliestireno expandido y su puerta principal da a una antecámara refrigerada la cual está diseñada de manera de aislarlo completamente del exterior durante los procesos de prefrío.

La inversión del flujo dentro de este túnel se realiza mediante el cerrado de la compuerta central y la apertura de las compuertas laterales. A su vez un equipo de operarios, mediante el uso de poleas, se encarga de cambiar el encarpado desde el pasillo a los costados, en un proceso que dura entre 30 y 45 minutos.

Para la realización de las pruebas en el túnel se diseñó un protocolo de ensayo de manera de obtener datos del comportamiento de los distintos modelos de cajas en igualdad de condiciones. Se tomaron en cuenta factores como la posición de los termógrafos dentro de las cajas, la posición de las cajas dentro del pallet y la posición del pallet dentro del túnel de enfriamiento. A su vez el túnel de ensayo fue llenado en su totalidad con el mismo modelo de caja para todos los ensayos. Estos ensayos fueron realizados durante procesos de producción normal de la planta por lo que las prácticas operacionales realizadas durante los ensayos fueron las mismas que se realizan regularmente en condiciones normales de operación.

Se realizaron ensayos para cinco modelos de cajas distintos, dos de los cuales fueron a modo comparativo en cajas de madera y tres en cajas de cartón corrugado. Los modelos utilizados fueron; madera aglomerada, madera tradicional, P84, M19 y Defor MKII. Todas estas cajas fueron diseñadas para 8,2 Kg de uvas, de medidas aproximadas de sus bases de 500X400 [mm]. La uva utilizada para los ensayos fue de la variedad Thompson Seedless.

Los ensayos tanto en el túnel de prefrío real como en el túnel de enfriamiento piloto se realizaron desde la última semana de Enero de 2011 hasta la tercera semana de Marzo del mismo año, siguiendo la temporada de cosecha de la uva Thompson Seedless.

Para el análisis de los resultados de los ensayos se diseñó un protocolo de análisis el cual fue aplicado para todos los distintos modelos de cajas. Este análisis entregó curvas bastantes explicativas de lo que es el proceso de enfriamiento, mostrando el comportamiento de puntos dentro de la caja, que en estudios anteriores, no habían sido analizados. Este es el primer estudio en que la distribución de temperatura durante el enfriamiento es explorada con 6 sensores en una sola caja, y con observación simultánea de las temperaturas en dos cajas ubicadas en forma consecutiva respecto a la dirección del flujo. Con esta metodología se obtiene una mejor descripción del grado de uniformidad del enfriamiento.

Ensayos de enfriamiento

A partir de los resultados obtenidos de estos ensayos, se logró caracterizar los distintos envases en cuanto a la homogeneidad de temperatura al final del proceso de prefrío y en cuanto a la rapidez y efectividad del enfriamiento, se pudo concluir lo siguiente:

En cuanto a homogeneidad de temperatura al final del prefrío se pudo observar que para las cajas exteriores, las menores diferencias de temperaturas se produjeron en la caja Defor MKII, sin embargo la

temperatura más baja en cajas exteriores se registró en la caja de madera tradicional, seguida de la caja M19.

En cuanto a las cajas interiores, la menor diferencia de temperatura al final del prefrío la presentó la caja M19 la cual tuvo una temperatura mínima de 0,4°C solo superada por la caja de madera tradicional la cual tuvo una mínima de -0,1°C.

Pese a que la homogeneidad de temperatura dentro de la caja al final del prefrío es un factor muy importante, la efectividad del proceso de enfriamiento tiene mayor relevancia. Alcanzar los 0°C permitirá que la uva se conserve correctamente hasta llegar a su destino. En este aspecto la caja de madera tradicional es la que muestra el mejor comportamiento. Ésta es la que se acerca más a la temperatura objetivo de 0°C, dando exactamente 0°C en su caja exterior y 0,7°C en su caja interior. En este mismo aspecto la caja de cartón que mostró el mejor desempeño fue la caja modelo M19, la cual presentó 0,5°C en su caja exterior y 1,1°C en su caja interior. Las cajas P84 y Defor MKII se comportaron de manera muy similar a la M19 llegando a temperatura ligeramente superiores al final del prefrío. Las temperaturas más altas las presentó la caja de madera aglomerada, probablemente debido a la poca ventilación en su cabezal y a los espacios entre cajas colindantes que permiten que el aire frío pase por los costados y no a través de la fruta.

En cuanto a la rapidez del enfriamiento se pudo observar que para todas las cajas de cartón el proceso de prefrío terminó después de aproximadamente 11 horas, siendo el proceso algo mas rápido para la caja M19, aunque solo por algunos minutos. Como era de esperarse nuevamente la caja que presentó el mejor comportamiento de todas fue la caja de madera tradicional, en donde el proceso de prefrío finalizó algo antes de las 11 horas.

En general la caja de madera tradicional tuvo el mejor comportamiento en todos los aspectos y la caja de madera aglomerada la que presentó las características menos deseadas. Las cajas de cartón tuvieron en general un comportamiento intermedio y bastante similar entre sí, destacándose por escaso margen la caja M19 que superó a sus pares en cuanto a homogeneidad de temperatura al final del prefrío, efectividad y rapidez del enfriamiento.

Ensayos de caída de presión en túnel piloto

Aunque no se usó una disposición similar a la usada en la industria (cajas interiores y exteriores) los resultados permiten inferir lo siguiente:

Con las cajas vacías se observa que la caja más resistente al flujo de aire es la de madera aglomerada. La menos resistente es, en cambio, la de madera tradicional. En situación intermedia están las cajas de cartón en donde el modelo M19 es la más resistente, seguida de la caja P84 y Defor MKII.

Con material de relleno la caja de madera aglomerada resulta ser la menos resistente, quedando las cajas M19 y P84 como las más resistentes, y la caja de madera tradicional aparece en una posición intermedia. La diferencia entre las curvas es pequeña, sin embargo, mucho menor a la que se observa con los envases vacíos.

La diferencia de comportamiento entre los envases llenos y vacíos se debe básicamente a la disposición las áreas ventiladas. Debido a que el material de relleno produce una gran resistencia al paso del aire por el interior del envase, las cajas cuyo diseño permite el paso de aire entre cajas colindantes, es decir por fuera de la caja, serán las que presentan una menor resistencia cuando se utilizan las cajas llenas. Éstas son las cajas de madera aglomerada y la caja Defor MKII. Esta buena ventilación no garantiza que el mayor flujo de aire a través de los envases sea efectivo en el enfriamiento de la fruta.

Por otro lado cuando se presentan las cajas vacías la menor resistencia se muestra en las cajas con mayor ventilación en sus cabezales, es decir, en la caja de madera tradicional y a su vez la caja menos ventilada es la que produce mayor resistencia, es decir, la caja de madera aglomerada.

Se logró desarrollar en el presente estudio una metodología para el ensayo de distintos tipos de envases para exportación de uvas de mesa. Allí se describió tanto equipos utilizados como los procedimientos realizados. Los resultados obtenidos para los distintos modelos de cajas ensayados pueden llevar a un mejor entendimiento del comportamiento de estos envases en el proceso de prefrío y eventualmente ayudar a mejorar el diseño de estos. Pese a que el envase juega un rol importante en el desempeño de los envases dentro del túnel de enfriamiento se destaca la importancia de las correctas prácticas operacionales tales como el buen estibado de los túneles o el correcto mantenimiento de equipos.

Los resultados de los ensayos fueron representativos de la realidad de la industria ya que se realizaron durante procesos de producción normal de una planta frigorífica. La extensión en duración de los procesos de prefríos, las detenciones para la inversión o incluso la mezcla de distintos envases dentro de un mismo túnel de enfriamiento, pese a que son factores indeseables para la experimentación, contribuyeron a que los resultados del estudio sean muy representativos de la realidad.

Se recomienda para posteriores estudios la utilización de instalaciones especialmente diseñadas para el estudio de enfriamiento, en donde no existan factores externos que puedan perjudicar en alguna forma las mediciones.

7 BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://www.asoex.cl>, ingreso mediante Envases Impresos S.A.

[2] <http://www.censoagropecuario.cl>

[3] <http://www.chileanfreshfruit.com>

[4] Octavio Garcés, Evaluación del nivel tecnológico y operativo de las instalaciones de prefrío de fruta en Chile, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, 2002.

[5] Matías Vidal, Enfriamiento de un sólido por flujo forzado con cambio cíclico de dirección. Aplicación a pallets de uvas, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, 2008.

[6] Patricio Serrano Contreras, Caracterización fluidodinámica de los envases paletizables de frutas de exportación, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, 2008

[7] Exportadora Rio Blanco, Comportamiento de distintas cajas de uva de mesa en el prefrío, ensayo de postcosecha, 2010

[8] Hugh W. Fraser P. Eng, TunnelForced – Air Coolers, 2002

[9] Ramon Frederick, "Túneles de enfriamiento rápido por aire forzado: Mejoramiento de su operación", Agroeconómico, Nº 58, Septiembre 2000. páginas 42-45.

Anexo A: Encuesta aplicada a plantas frigoríficas, parte 1

INFORMACIÓN GENERAL						
Nombre empresa:						
Ubicación:						
Contacto:		Teléfono:				
Exportadores (Sí/No):						
Año de inicio de actividades (Frigorífico):						
Periodo de Operación:						
Especies Trabajadas:	Uvas	Pomáceas	Carozos	Kiwis	Todas	
Otras Especies:						
CAPACIDAD FRIGORÍFICA GENERAL						
N° de Cámaras		Tipo		Cap.		
N° de Túneles		Tipo		Cap.		
Antecámaras		Tipo				
OBSERVACIONES						

