



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

**CARACTERIZACION FLUIDODINAMICA DE LOS ENVASES PALETIZABLES DE  
FRUTAS DE EXPORTACION**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PATRICIO OSCAR SERRANO CONTRERAS**

**PROFESOR GUÍA:  
RAMÓN FREDERICK GONZALEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
ALVARO VALENCIA MUSALEM  
MARCELO ELGUETA VERGARA**

**SANTIAGO DE CHILE  
ENERO 2008**

A Luz María, por su amor y comprensión.

A mi Madre, la cual ha esperado durante muchos años.

A mi Profesor Guía por su paciencia, ayuda y consejos en estos años.

## RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto Fondef 2-36 "Mejoramiento del prefrío en la industria de fruta fresca nacional de exportación. Efecto sobre calidad y precios". El comportamiento de un envase frente al flujo de aire es determinante para lograr un enfriamiento rápido de la fruta (lo cual permitiría procesar mayor cantidad de fruta con la misma capacidad instalada). Se investigó la resistencia al flujo de aire de los envases paletizables de fruta. El objetivo fue obtener relaciones de caída de presión en función de la velocidad del aire de enfriamiento, en pallets de cajas de madera y cartón utilizadas para empacar fruta de exportación, uva y Kiwi.

El estudio se estructuró en las siguientes etapas: revisión de antecedentes bibliográficos que presentaran estudios de fenómenos similares, diseño de un ensayo tipo de caída de presión para envases palletizados y desarrollo de ensayos con los envases seleccionados.

Se utilizó como base teórica del fenómeno de caída de presión al interior de los pallet de envases la ecuación o modelo de Ergun, el cual sigue un modelo de la forma  $\Delta P = a V^2 + b V$ . La ecuación de Ergun permite correlacionar la caída de presión con la velocidad del flujo de aire ( $\Delta P - V$ ). Sin embargo, los resultados finales están presentados en la forma de la ecuación de Ramsin, que tiene la forma de  $\Delta P = a V^n$

El trabajo experimental se realizó en la planta de frío del proyecto Fondef 2-36. Se realizó una serie de ensayos de 5 tipos de envases de uva y kiwis. En los ensayos se determinó la pérdida de carga en función del flujo de aire ( $\Delta P - V$ ) para cada tipo de envase, ya sea de madera y cartón, tanto vacío como lleno de fruta (uva o kiwi). Los ensayos consideraron las 2 posiciones posibles que pueden presentar los envases al flujo de aire, lateral (posición B) y frontal (posición A).

El análisis de los resultados permitió determinar cual es el envase y la disposición con respecto al flujo de aire más favorable para el enfriamiento de la fruta, teniendo en consideración la especie de la fruta y el material del envase. En el caso de los envases para uva el más eficiente es envase de car

<b>1</b>	<b>INTRODUCCION.</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES SOBRE ENFRIAMIENTO DE FRUTA EN ENVASES PALETIZABLES.</b>	<b>9</b>
3.1	ENFRIAMIENTO POR FLUJO PARALELO.	11
3.2	ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO.	12
3.3	ENFRIAMIENTO POR CONDUCCIÓN.	14
<b>4</b>	<b>ESTUDIO BIBLIOGRAFICO.</b>	<b>15</b>
4.1	ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	15
4.2	ESTUDIO DE ASPECTOS BÁSICOS DE FLUJO A TRAVÉS DE UN LECHO DE ENVASES.	16
4.2.1	<i>Teoría del arreglo de tubos y Ecuación de Ergun.</i>	17
4.3	OTRAS CORRELACIONES EXISTENTES DE PÉRDIDA DE CARGA V/S VELOCIDAD	24
4.4	FÓRMULAS PARA CORRELACIONAR CAÍDA DE PRESIÓN Y VELOCIDAD.	28
4.4.1	<i>Ecuación de Ramsin o función potencia (Shedd, 1953):</i>	28
4.4.2	<i>Ecuación de Ergun (1952):</i>	28
4.4.3	<i>Ecuación de Leva (1959):</i>	28
4.5	INFLUENCIA DEL ACOMODAMIENTO	30
<b>5</b>	<b>TASA DE AIREACIÓN Y RAZÓN DE AIREACIÓN.</b>	<b>31</b>
5.1	RAZÓN DE AIREACIÓN.	32
<b>6</b>	<b>INSTALACIÓN EXPERIMENTAL</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL.</b>	<b>43</b>
7.1	ENVASES A ESTUDIAR	43
7.2	CLASIFICACIÓN DE LOS ENVASES	44
7.3	TIPO DE EMPAQUE..	48
<b>8</b>	<b>EFFECTO SOBRE EL ENFRIAMIENTO CAJAS DE CARTÓN Y MADERA.</b>	<b>50</b>
8.1	ENFRIAMIENTO DE UVAS EN CAJAS DE MADERA Y CARTÓN	51
8.1.1	<i>Enfriamiento de Uvas en cajas de cartón y madera.</i>	56
8.1.1.1	Enfriamiento en el rango de velocidad 0,55 - 0,56 [m/s].	56
8.1.1.2	Enfriamiento en el rango 0,78 -0,80 [m/s]	57
8.2	ENFRIAMIENTO DE KIWIS EN CAJAS DE MADERA Y CARTÓN	58
8.2.1	<i>Enfriamiento de kiwis en el rango de velocidad 0,64 - 0,65 [m/s]</i>	61
8.2.2	<i>Enfriamiento de kiwis en el rango de velocidad de 0,46 -0,49 [m/s]</i>	62
<b>9</b>	<b>DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE CAÍDA DE PRESIÓN</b>	<b>63</b>
9.1	DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE CARGA.	64
<b>10</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	<b>66</b>

10.1	ENSAYOS DE CAÍDA DE PRESIÓN (DP).	66
10.1.1	<i>Ensayos de Caída de Presión en envases de Uva.</i>	66
10.1.1.1	Envase Uva Madera Ochavados posición A vacío. (VUAUMOA)	67
10.1.1.2	Envase Uva Madera Ochavados posición B vacío. (VAUMOB)	69
10.1.1.3	Envase Uva Cartón posición A vacío. (VAUVACPA)	71
10.1.1.4	Envase Uva Cartón posición B vacío. (VAUVACPB)	73
10.1.1.5	Envase Uva Madera Ochavados posición A cargado. (UVMADPA1)	75
10.1.1.6	Envase Uva Madera Ochavados posición B cargado. (UvamadpB)	77
10.1.1.7	Envase Uva Cartón posición A cargado. (UvacarpA)	79
10.1.1.8	Envase Uva Cartón posición B. (UvacarpB).	81
10.1.2	<i>Ensayos de Caída de Presión en envases de Kiwi.</i>	83
10.1.2.1	Envase Kiwi Madera Esquinero posición B vacío. (Vkiwimeb)	83
10.1.2.2	Envase Kiwi Madera Esquinero posición A vacío. (Vkiwimea)	85
10.1.2.3	Envase Kiwi Cartón Japón posición B vacío. (VakiwiBj)	87
10.1.2.4	Envase Kiwi Cartón Japón posición A vacío. (VakiwiAj)	89
10.1.2.5	Envase Kiwi Madera Esquinero posición B cargado. (KiwibreB2).	91
10.1.2.6	Envase Kiwi Cartón Japón posición B cargado. (Kiwibpcr).	93
10.1.2.7	Envase Kiwi Madera Esquinero posición A. (KiwiAre1).	95
10.1.2.8	Envase Kiwi Cartón Del Curto posición B. (KdcartB).	98
10.1.2.9	Envase Kiwi Cartón Del Curto posición A. (KdcartA).	100
10.1.2.10	Envase Kiwi Cartón Japón posición A. (Kiwiapcr).	103
10.2	CORRELACIONES DP-V.	105
10.2.1	<i>Correlaciones del modelo de Ramsin <math>DP = AV^B</math></i>	105
10.2.2	<i>Correlaciones obtenidas en Envases de Madera Ochavados vacíos y con uva.</i>	106
10.2.3	<i>Correlaciones obtenidas en Envases de Cartón vacíos y con uva.</i>	107
10.2.4	<i>Correlaciones Obtenidas en Envases de Madera Esquinero vacíos y con Kiwis.</i>	108
10.2.5	<i>Correlaciones Obtenidas en Envases de Cartón vacíos y con Kiwis</i>	110
<b>11</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>112</b>
11.1	EFFECTOS DE ENVASES Y EMPAQUES.	112
11.1.1	<i>Par Madera Ochavado – UVA.</i>	113
11.1.2	<i>Par Envase Cartón – UVA.</i>	114
11.1.3	<i>Par Madera Esquinero – KIWI.</i>	115
11.1.4	<i>Par Bandeja Cartón y Caja David del Curto – KIWI.</i>	116
11.1.5	<i>Comparación de envases para Uvas</i>	117
11.1.6	<i>Comparación envases de Kiwis.</i>	120
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>123</b>
<b>13</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>127</b>

## **1 INTRODUCCION.**

En la década de los ochenta, se produjo un fuerte crecimiento de las exportaciones frutícolas. En los años del boom exportador nuestros productos prácticamente no encontraron competencia, por lo cual fue fácil colocarlos en los mercados internacionales y esto produjo altos retornos de divisas. El gran crecimiento que se experimentó en el mercado internacional de la fruta fresca, atrajo la competencia de muchos países productores, lo cual obliga a los productores a entregar un mejor producto y a un menor costo.

Para mejorar la calidad del producto y disminuir el costo, se ha hecho necesario investigar y mejorar los procesos por los cuales se produce y se trata la fruta para su exportación.

El mejoramiento del proceso ha significado, entre otros investigar la cadena de frío, es decir, el prefrío de la fruta, la conservación, el empaque. Una de las iniciativas de investigación en esta línea es el Proyecto Fondef 2-36, en el cual se enmarcó la presente memoria. Se estudia el fenómeno del prefrío y el efecto del envase y empaque en éste.

En el prefrío por aire forzado de fruta palletizada, el tiempo del enfriamiento depende en gran medida de la resistencia que provoca el pallet de fruta, el cual engloba tanto a la fruta como al envase (materiales de empaque: Bolsas, papeles, bandejas, cartón corrugado, absorbedores de humedad, almohadillas, etc.). La potencia de ventilación necesaria depende de la caída de presión en los pallets.

Se investigó el enfriamiento de la fruta y la pérdida de carga que produce el pallet de fruta dentro del túnel de enfriamiento. Esto permitirá mejorar el proceso, tanto en el aspecto de ahorro de energía, del tratamiento y conservación de la fruta, i.e. se pretende disminuir la duración del prefrío, lo cual permite disminuir el costo de energía por pallet y a la vez procesar mayor cantidad de fruta con la capacidad instalada y también asegurar un enfriamiento completo, alcanzando la meta de temperatura.

Para poder entender el fenómeno del prefrío se hace necesario caracterizar fluidodinámicamente el pallet, y esto se hace sobre la base de la caída de presión del flujo de aire a

través del pallet, la cual a su vez depende del caudal de aire que pasa a través de este. Pallets de gran resistencia al paso de aire causarán, para una potencia dada de ventiladores, un caudal bajo de aire, la que hace más lento el proceso de enfriamiento.

Los pallet más resistivos al flujo son los que, para un caudal de aire dado, generan una mayor caída de presión a través del pallet. Es posible obtener curvas características de Caída de Presión versus Velocidad para pallets formados con un envase y producto dado.

Los pallets que presentan características más favorables garantizan una mayor aireación del producto, y por lo tanto, un enfriamiento más rápido y uniforme del contenido.

En la presente memoria se utiliza un método que permite obtener las curvas características de los diferentes pares envase – producto, como contribución al mejoramiento de las operaciones de enfriamiento rápido en la industria frutícola nacional de exportación.

## **2 OBJETIVOS.**

### **2.1 Objetivo General**

El objetivo de la presente memoria es obtener relaciones de caída de presión en función de la velocidad del aire de enfriamiento, en pallets de cajas de madera y cartón utilizadas para empacar fruta de exportación, uva y Kiwi.

La relación DP-V se obtendrá para 2 disposiciones de los pallets; frontal (la cara de menor superficie enfrenta el flujo de aire, posición A); Lateral (la cara de mayor superficie enfrenta el flujo de aire, posición B). Las relaciones obtenidas permitirán determinar cual de las 2 disposiciones utilizadas presenta mejores características de resistencia al flujo de aire.

La información obtenida puede servir de base para el dimensionamiento de los equipos de movimiento de aire en túneles de prefrió.

### **2.2 Objetivos Específicos.**

- Adaptar la instalación experimental existente para el estudio.
- Seleccionar los envases a estudiar.
- Diseñar el test de pérdida de carga.
- Seleccionar un modelo  $\Delta P-V$  para tratamiento de datos.
- Obtener datos experimentales
- Tratar los datos para obtener relaciones  $\Delta P-V$

### **3 ANTECEDENTES SOBRE ENFRIAMIENTO DE FRUTA EN ENVASES PALETIZABLES.**

La fruta fresca es un producto muypreciado en los grandes mercados consumidores, tales como Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón. Las capacidades de producción de estos centros consumidores, no logran satisfacer sus demandas internas, ya que en estos países se consume fruta fresca durante todo el año, por lo cual en invierno deben importar grandes cantidades de fruta de los centros productores del Hemisferio sur, Chile, Sudáfrica, Sur de Australia y Nueva Zelanda.

Para poder llevar la fruta a los centros consumidores con una calidad y condición satisfactoria se hizo necesario desarrollar tecnologías de enfriamiento y refrigeración de fruta fresca. Hay tres métodos principales que utilizan el aire para enfriar la fruta:

- a) Flujo paralelo. El aire es entregado por ventiladores en los costados de la estructura formada por la fruta paletizada, en la cual dos lados de cada pallet esta expuesto al aire, o el aire es lanzado por inyectores desde el techo de la sala en la cual está el pallet de fruta. (Prevalece en cámaras de mantención, por lo cual no se considera en este trabajo).
- b) Aire Forzado. El aire es lanzado directamente a la fruta a través de los intersticios del pallet, lo cual produce un gradiente de presión.
- c) Conducción. Se utiliza este método cuando se lanza el flujo de aire al pallet cubierto, i.e. el pallet está cubierto por una lona y no penetra en los intersticios, el aire frío rodea el pallet y el proceso de transferencia de calor se produce por conducción a través de los envases y los envoltorios de la fruta.

De las definiciones anteriores se puede inferir que, el método de flujo paralelo, es un enfriamiento por convección natural, el método de aire forzado es un enfriamiento por convección forzada y el método de enfriamiento por conducción utiliza la conducción térmica para enfriar el fruto.

En mayor o menor grado cada uno de los métodos de enfriamiento utiliza el proceso de transferencia de calor por conducción para el enfriamiento de la fruta. Los métodos difieren principalmente en la tasa de enfriamiento de la fruta. Hay una estrecha relación entre la tasa de enfriamiento y la accesibilidad del aire frío a la fruta. El mejor proceso es aquel en el cual el aire frío tiene mayor contacto con la fruta, lo cual reduce drásticamente el tiempo de enfriamiento.

Durante el enfriamiento de la fruta además se debe tener mucho cuidado con la humedad relativa del aire, ya que para poder evitar pérdida de humedad en la fruta es necesario mantener tasas altas de humedad relativa, del orden del 90%.

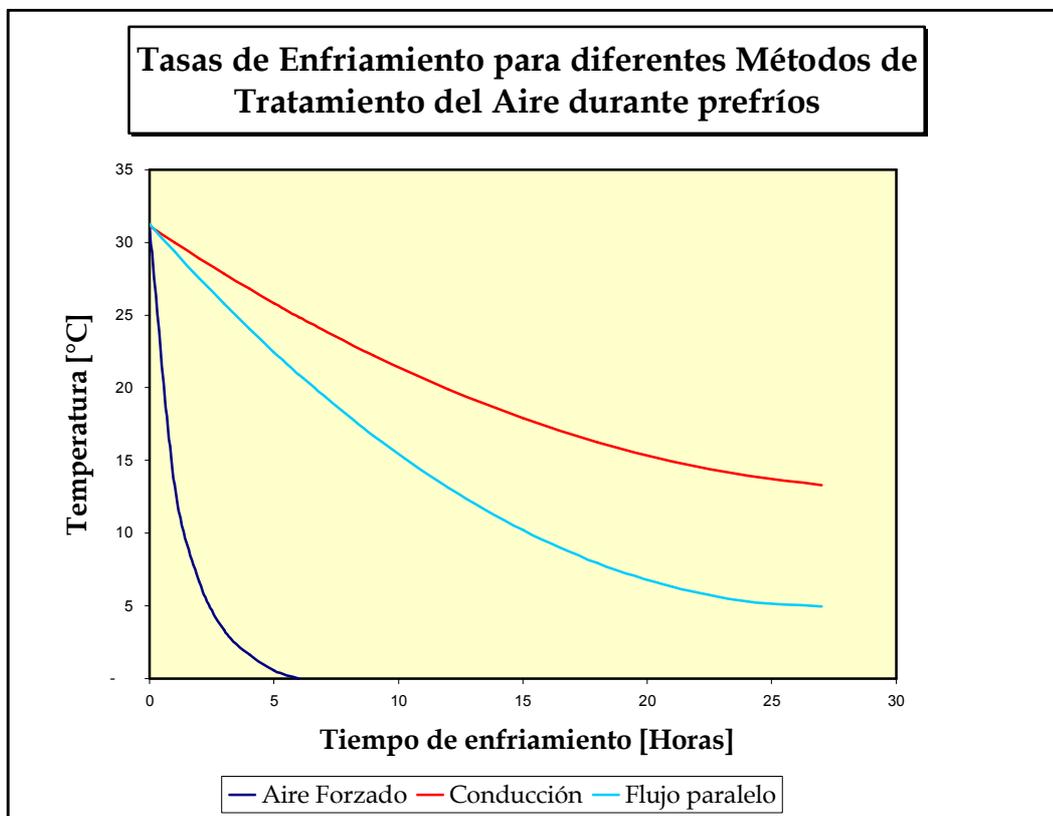


Fig. 1 Efecto del método de enfriamiento utilizado sobre la tasa de disminución de temperatura de la uva de mesa. <sup>1</sup>

### 3.1 Enfriamiento por flujo paralelo.

En el enfriamiento por flujo paralelo el aire utilizado se lanza por medio de ventiladores colocados en el techo de la sala de enfriamiento, el aire frío se mueve alrededor de los pallets de fruta y cruza los canales entre los pallets apilados, en estos canales el aire es recuperado y es llevado a través del búnker refrigerado por los ventiladores, donde el ciclo de enfriamiento comienza otra vez.

Es muy importante que la corriente de aire entre en contacto con la fruta. Las cajas de fruta cualquiera sea su clase y material, presentan calados en las caras de la caja y en algunos casos en los frontales presentan una sección octogonal, lo cual permite la formación de canales en los vértices de la caja, al unir 4 cajas, a través de los cuales el aire penetra al interior del pallet y de las cajas y se acorta el tiempo de enfriamiento y la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del pallet es menor.<sup>2</sup> La carencia de los canales aumenta casi al doble el tiempo requerido para enfriar un pallet, si existen los canales y son bloqueados por el embalaje de la fruta, el tiempo de enfriamiento aumenta aún más, de tres a cuatro veces. Las cajas del exterior de los pallet son enfriadas por el choque del aire que atravesó los canales en régimen turbulento, lo cual obliga al aire a pasar a través del orificio. Una velocidad del aire que permite una buena refrigeración es de aproximadamente de 1,03[m/s].

Las cámaras de enfriamiento más comunes tienen una capacidad de ventilación de 3 a 4 metros cúbicos por segundo de aire por 1000 cajas de uva (una caja de uva tiene aproximadamente 8,2 Kg. netos de uva<sup>3</sup>) Para enfriar 1000 cajas de uva a 22 °C en 24 horas son necesarias 3,5 toneladas de refrigeración. **Una tonelada de refrigeración es la energía que se requiere para congelar una tonelada de agua a 0°C en hielo a la misma temperatura en 24 horas.**

En algunas plantas de enfriamiento se acostumbra, utilizar la cámara tanto para enfriar como para mantener la fruta al mismo tiempo. Esta operación no es lo mejor para la fruta porque, el aire frío moviéndose a gran velocidad, seca a la fruta que ya ha alcanzado la temperatura de almacenamiento. Para poder evitar la pérdida de humedad en las cámaras mixtas (prefrió, conservación) es necesario instalar sistemas que permitan mantener la humedad relativa deseada

(90%).

Para superar las complicaciones, producto de la pérdida de humedad se ha modificado el diseño de las cámaras de enfriamiento y se han creado bahías, cada una de ellas separada por un muro que cruza la cámara. Cada una de las bahías es servida por un ventilador o por un ducto de alimentación, los cuales pueden ser controlados en forma independiente, el aire de cada una de las bahías está semiaislado de las otras. Mientras la temperatura de la fruta esta siendo bajada, las condiciones de alta velocidad del aire pueden ser mantenidas sin afectar las bahías adyacentes.

La tasa de enfriamiento puede ser incrementada en un sistema de flujo paralelo, si el aire es lanzado a los pallets de fruta por inyectores en el techo de la cámara. La tasa de enfriamiento es aumentada ampliamente, porque el aire frío es lanzado por todos los lados del pallet. La instalación de inyectores de aire frío en las cámaras, aumenta la tasa de enfriamiento, pero este sistema es complicado de operar, porque se debe regular los inyectores y al mismo tiempo se debe acomodar y distribuir las pilas de pallets en la cámara

### **3.2 Enfriamiento por aire forzado.**

La factibilidad de utilizar el método de enfriamiento por aire forzado, como un método rápido para remover el calor desde la fruta fue mostrado por primera vez en The Earl Fruit Company en la ciudad de Lodi, California en el año 1954. En la figura N° 2 se muestra el principio del enfriamiento por aire forzado. La tasa de enfriamiento en el sistema de aire forzado es muy superior a la tasa de aireación obtenida con el sistema de flujo paralelo, porque el aire de enfriamiento es lanzado directamente a la fruta dentro del empaque en vez de al empaque de cajas de fruta. Al cruzar el aire el empaque de frutas se produce un gradiente de presión, hay un flujo positivo de aire frío a través del contenedor de fruta desde un lado a otro, lo cual provee un contacto directo con la fruta embalada.

El sistema de enfriamiento por aire forzado es muy fácil de montar y las instalaciones diseñadas originalmente para cualquier otro método rápidamente pueden ser transformadas. En una cámara de enfriamiento se arman muros paralelos de pallets de fruta, las cuales están separadas entre si aproximadamente por un metro; en el pasillo que se forma, en uno de sus

extremos se encuentra un ventilador. El pasillo es cubierto por una lona o cualquier material flexible que impida el pasó de aire. El ventilador provoca una depresión, succiona el aire que se encuentra en el interior del pasillo, formado por los muros de pallets, esto produce un gradiente de presión y el aire cruza a través de los orificios que presentan las cajas de fruta, provocando el enfriamiento de la fruta al interior de los pallets.

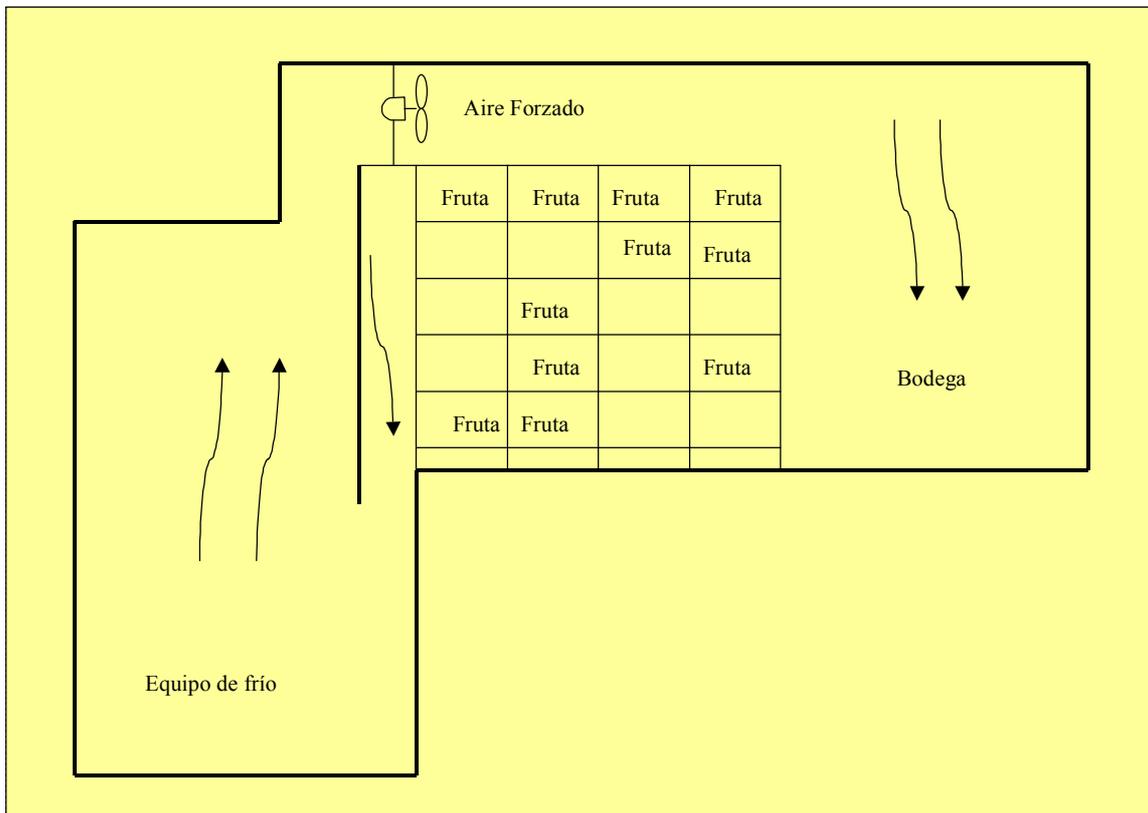


Fig. 2. Diagrama del sistema de enfriamiento por flujo forzado.

Estas unidades o módulos de enfriamiento pueden ser rápidamente amadas con una grúa horquilla, la cual pone los pallets en lugar apropiado y el módulo se cubre con la lona. El enfriamiento dura entre 3 y 9 horas, y terminado este se desmonta la carpa y la cámara puede seguir funcionando como una cámara de flujo paralelo. La lona debe ser removida al terminar el enfriamiento, porque el flujo de aire cruzando a través del pallet produce pérdidas de humedad a la fruta.

Para que el sistema de aire forzado sea eficiente se necesita hacer un monitoreo de varios

factores. La temperatura del aire de la cámara debe ser chequeada frecuentemente para evitar que baje más allá de lo necesario (-1 °C). Los sistemas de aire forzado satisfacen grandes demandas de refrigeración, ya que ellos extraen calor de la fruta a una tasa muchas veces mayor que los sistemas de flujo paralelo.

### **3.3 Enfriamiento por conducción.**

En este método el calor es transferido a través de las tapas y envoltorios de la caja de fruta. En el interior de la caja el calor es transferido por conducción hacia los envoltorios y tapas. De las tapas al exterior el calor se transfiere por convección.

El aire frío circula alrededor de pilas de pallets de fruta, los cuales no poseen ventilación. El enfriamiento por conducción demora alrededor de 2 ó 3 veces más que un enfriamiento por flujo paralelo o por aire forzado, utilizando las mismas instalaciones.

Sin embargo en el enfriamiento por conducción la pérdida de humedad de la fruta es muy pequeña. Alrededor de la fruta se coloca una barrera de vapor de agua, la cual envuelve la fruta lo que permite retener la frescura. El deterioro de la fruta (oxidación) es evitado colocando generadores de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). En el interior de la barrera de vapor se coloca una almohadilla de papel, la cual protege la fruta de los golpes y además absorbe la humedad que condensa en lado interior de la barrera de vapor.

## **4 ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO.**

### **4.1 Antecedentes bibliográficos**

Los antecedentes que se presentan fueron obtenidos de la revisión bibliográfica de libros, memorias y publicaciones, en las cuales se estudia la conservación y manejo de frutas a bajas temperaturas. Se mostraran los antecedentes teóricos del comportamiento de fluidos a través de medios porosos regulares e irregulares, con lo cual se pretende generar una hipótesis de lo que sucede al interior de los pallets de fruta y a partir de esto se procederá a comparar la teoría frente a los resultados obtenidos en los experimentos.

Los pallets de fruta se pueden considerar como un medio poroso. Hay resultados semi - empíricos para la pérdida de carga en medios porosos regulares (estudios de Ergun, por ejemplo, el cual será revisado en este capítulo).

Sin embargo el pallet es un medio poroso altamente irregular. El sólido poroso (fruta) está alojado en recipientes separados (cajas) con envolturas que permiten el ingreso de aire sólo parcialmente. En todos los casos hay una parte del caudal de aire que no entra en contacto directo con la fruta, sino que ingresa por los intersticios de las cajas, barre el empaque por fuera y sale del pallet.

Se tiene en consecuencia que el aire enfrenta una combinación de medios porosos y no porosos, con unidades discretas grandes (cajas y bolsas) en relación con la granulometría del producto.

Esto hace que la aplicabilidad de las relaciones tipo Ergun a este sistema sea, al menos limitada.

## 4.2 Estudio de Aspectos Básicos de Flujo a Través de un lecho de envases.

El flujo a través de un lecho poroso de sólidos granulares o aglomerados de finas partículas, ha sido estudiado principalmente en los sistemas de procesos metalúrgicos. El flujo de fluidos a través de aglomerados porosos no es simple, en especial debido al efecto de las propiedades del aglomerado en el flujo. Pero bajo ciertas condiciones es posible predecir el flujo razonablemente bien.

Si el flujo ocurre en condiciones de baja presión, (si esta es suficientemente baja) la tasa del flujo es proporcional a la caída de presión por unidad de longitud del lecho,  $\Delta P/L$

$$Q = \frac{k_D A \Delta P}{L} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right]$$

donde:  $Q$  = Volumen de flujo por unidad de tiempo (caudal) [ $\text{cm}^3/\text{seg}$ ]  
 $A$  = área transversal [ $\text{cm}^2$ ]  
 $k_D$  = coeficiente de permeabilidad [ $\text{cm}^4/\text{dina-seg}$ ], la cual es una constante que depende del fluido la temperatura y las características del lecho.

La expresión anterior también puede ser presentada como

$$V = \frac{k_D \Delta P}{L}$$

Donde  $P$ , es permeabilidad específica, es constante

$$k_D = \frac{P}{\eta}$$

y donde  $\eta$  es la viscosidad del fluido. Esto permite especificar el lecho solamente y por lo tanto permite el flujo de otros fluidos, o el mismo fluido a otras temperaturas. La unidad de permeabilidad específica es:

$$P = \left( \frac{\text{cm}^4}{\text{dinas}} \right) \left( \frac{\text{dinas}}{\text{cm}^2} \right) = \text{cm}^2$$

donde la unidad de permeabilidad específica, el D'Arcy, está definida como

$$1 \text{ D'Arcy} = 1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$$

#### 4.2.1 Teoría del arreglo de tubos y Ecuación de Ergun<sup>4</sup>.

La ley de D'Arcy es una ley empíricamente observada. Sin embargo existe una aproximación semiteórica a la ley de D'Arcy la cual clarifica el efecto del empaque sobre la permeabilidad específica  $P$ .

La teoría, la cual es conocida como "La teoría del arreglo de tubos", considera el lecho como un arreglo de tubos enredados con una sección transversal desconocida. Se asume que el paquete es uniforme, sin porosidades aisladas, que no hay canalización de flujo y que el diámetro de la columna es mucho más grande que el de las partículas. Veamos la fórmula para flujo laminar.

$$\bar{V} = K_1 \frac{\Delta P R_h^2}{\eta L}$$

$\bar{V}$  = velocidad promedio en el intersticio del lecho

$K_1$  = cte. de proporcionalidad.

$V_0$  = la velocidad superficial o de aproximación.

$$V_0 = \frac{Q}{A} \quad \text{y entonces } V_0 = \bar{V} \omega$$

Entonces

$$V_0 = K_1 \frac{\Delta P R_h^2 \omega}{\eta L}$$

Donde:

$R_h$ : radio hidráulico.

$\omega$  : Fracción Volumétrica de intersticios.

Para poder continuar se hace necesario recordar el concepto de Radio Hidráulico  $R_h$ .

$$R_h = \frac{\text{Sección transversal disponible para el flujo}}{\text{Perimetro mojado}}$$

$$R_h = \frac{A_h}{P_w}$$

Entonces en un lecho de longitud  $L$  se tiene

$$R_h = \frac{\text{volumen disponible para flujo}}{\text{perimetro total mojado}} = \frac{A_h L}{P_w L}$$

$A_h$  es también el volumen de los intersticios en el lecho  
si se normalizan el numerador y el denominador por el volumen del lecho poroso, se obtiene

$$R_h = \frac{(A_h L)/V}{(P_w L)/V} = \frac{\omega}{S}$$

donde  $\omega$ : volumen de intersticios = fracción vacía

$$S = S_0(1-\omega)$$

$S$  es la superficie total del área de partículas por unidad de volumen de partículas.

entonces el Radio Hidráulico queda

$$R_h = \frac{\omega}{S_0(1-\omega)}$$

con esta expresión del Radio Hidráulico,  $V_0$  queda de la siguiente forma

$$V_0 = K_1 \frac{\Delta P}{\eta L S_0^2} \frac{\omega^3}{(1-\omega)^2}$$

y representa la relación de la caída de presión para flujo a través de lecho poroso. Esta expresión es válida para un número de Reynolds bajo (región de flujo Laminar), donde  $K_1^{-1}$ , ha sido encontrado igual a 4,2.

Entonces

$$V_0 = \frac{1}{4.2} \frac{\Delta P}{\eta L S_0^2} \frac{\omega^3}{(1-\omega)^2}$$

se puede ver que esta expresión es una nueva forma de la ecuación d D'Arcy, donde

$$k_D = \frac{\omega^3}{4.2 \eta S_0^2 (1-\omega)^2}$$

$y$

$$P = \frac{\omega^3}{4.2 S_0^2 (1-\omega)^2}$$

Las ecuaciones enfatizan el hecho que  $k_D$  depende de las propiedades tanto del fluido como del sólido, mientras que  $P$  depende solamente de las propiedades de la fase sólida.

De acuerdo al comportamiento del flujo en todos los sistemas de convección forzada, hay una zona de transición de flujo laminar a turbulento. Bajo estas condiciones se debe considerar el

uso de un coeficiente de fricción, el cual puede ser correlacionado solamente como una función de un número de Reynolds. Para lecho de poroso, la expresión modificada por el factor de fricción queda

$$f_c = \frac{\Delta P \omega^3}{L S_0 \rho V_0^2 (1-\omega)}$$

también se utiliza un número de Reynolds modificado para los lechos porosos.

$$Re_c = \frac{\rho V_0}{\eta(1-\omega) S_0}$$

si  $Re \geq 2$  entonces

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{4.2\eta V_0 S_0^2 (1-\omega)^2}{\omega^3} + \frac{0.292\rho V_0^2 S_0 (1-\omega)}{\omega^3} \quad \text{ecuación (1)}$$

donde el segundo termino de la derecha describe la pérdida de carga bajo condiciones de flujo altamente turbulento.

En grupos adimensionales se tiene

$$f_c = \frac{4.2}{Re_c} + 0.292$$

Al aplicar esta expresión a gases, se toma la densidad del gas como el promedio aritmético de las densidades finales. Para grandes pérdidas de carga, sin embargo es mejor aplicar la ecuación (1), expresa gradiente de presión en la forma diferencial, y se integra sobre el espesor del lecho, tomando en cuenta las variaciones en densidad, viscosidad, y velocidad superficial o de aproximación.

Se define un número de Reynolds y factor de fricción en términos de  $S_0$ , el área por unidad volumen de partículas. Si las Partículas en el lecho son esferas de tamaño uniforme,  $S_0$  puede ser fácilmente relacionado al diámetro,  $D_p$ , por

$$S_0 = \frac{\Pi D_p^2}{(\pi D_p^3 / 6)} = \frac{6}{D_p}$$

entonces la ecuación (1) queda

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\eta V_0 (1-\omega)^2}{D_p^2 \omega^3} + \frac{1.75\rho V_0^2 (1-\omega)}{D_p \omega^3}$$

la cual es conocida como la ecuación de Ergun. A partir de esta expresión se define un nuevo factor de fricción.

$$f_E = 6f_c = \frac{D_p \Delta P \omega^3}{L \rho V_0^2 (1-\omega)}$$

y un nuevo número de Reynolds

$$Re_E = 6 Re_c = \frac{D_p \rho V_0}{\eta (1-\omega)}$$

en forma adimensional se tiene

$$f_E = \frac{150}{Re_E} + 1.75$$

Cuándo el lecho contiene una mezcla de partículas de diferentes tamaños, surge la pregunta de como debe ser usado  $D_p$  en las ecuaciones anteriores. Se sugiere utilizar el diámetro medio superficial,  $D_{vs}$ . Para un lecho que contiene una mezcla de partículas esféricas de diferentes tamaños,  $S_0$  puede ser determinada desde la superficie específica de la mezcla,  $S_w$  ( $\text{cm}^2/\text{masa}$  de las partículas). Si el material esta tapado y el diámetro de cada fracción de tamaño,  $D_{pi}$ , es tomado como el promedio aritmético de los agujeros de las mallas o tamices definiendo la correspondiente fracción de masa,  $Df_i$ , entonces

$$S_w = \frac{6}{\rho_P} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \phi_i}{D_{P_i}}$$

Donde  $n$  es el número de mallas usadas y  $\rho_P$  es la densidad del material particulado. El diámetro promedio de las partículas para esta mezcla es llamado el diámetro promedio de la superficie del volumen, y esta definido como

$$\bar{D}_{vs} = \frac{6}{S_W \rho_P}$$

se debe notar que  $S_0 = S_W \rho_P$  entonces

$$S_0 = \frac{6}{\bar{D}_{vs}}$$

La experiencia indica que el lecho tiene partículas no esféricas. En este caso se define un factor de forma  $\lambda$ , el cual no depende del tamaño de la partícula sino que de la forma de la partícula, por esto

$$S_0 = \frac{6\lambda}{D_P}$$

Donde  $D_p$  es una dimensión característica de la partícula, y así sirve para definir  $\lambda$ . Para un cubo o una esfera, la elección más simple para  $D_P$  es la arista o el diámetro respectivamente, y para ambos  $\lambda$  es igual a 1. Para partículas irregulares tapadas,  $D_p$  corresponde a  $D_{vs}$ , en la cual  $D_{pi}$  es el promedio aritmético de los agujeros.

Con estas definiciones la ecuación de Ergun queda:

Partículas de tamaño uniforme

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150\eta V_0 \lambda^2 (1-\omega)^2}{D_P^2 \omega^3} + \frac{1.75\rho V_0^2 \lambda (1-\omega)}{D_P \omega^3}$$

Partículas de tamaño no uniforme

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \eta \cdot V_0 \lambda^2 (1-\omega)^2}{D_{vs}^2 \omega^3} + \frac{1.75 \rho V_0^2 \lambda (1-\omega)}{D_{vs} \omega^3}$$

Los valores de  $\lambda$  son muy difíciles de obtener y por esto las ecuaciones de pérdida de carga utilizan  $D_p$  y no se usan las partículas sin geometría esférica.

Las ecuaciones anteriores se pueden simplificar

$$\frac{\Delta P}{L} = C_1 V_0 + C_2 V_0^2$$

en donde  $C_1$  y  $C_2$  ambos son coeficientes definidos positivos.

### 4.3 OTRAS CORRELACIONES EXISTENTES DE PÉRDIDA DE CARGA V/S VELOCIDAD

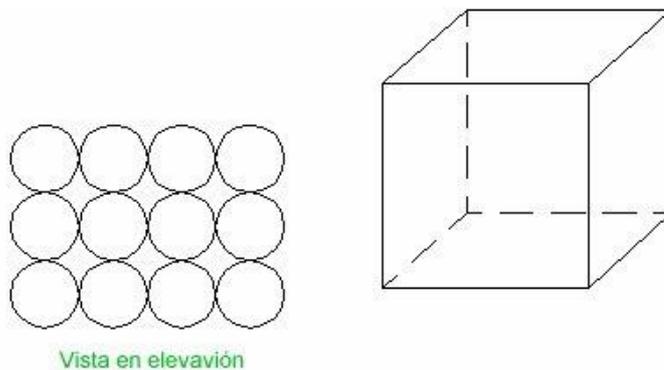
Las ecuaciones anteriores se aplican al flujo en medios porosos regulares. Diferentes investigadores se han preocupado de estudiar la caída de presión a través de apilamientos de fruta en contenedores, lo cual se ha traducido en la obtención de correlaciones empíricas, las que se mostraran dentro de este punto.

Se presentara la terminología básica y las fórmulas obtenidas.

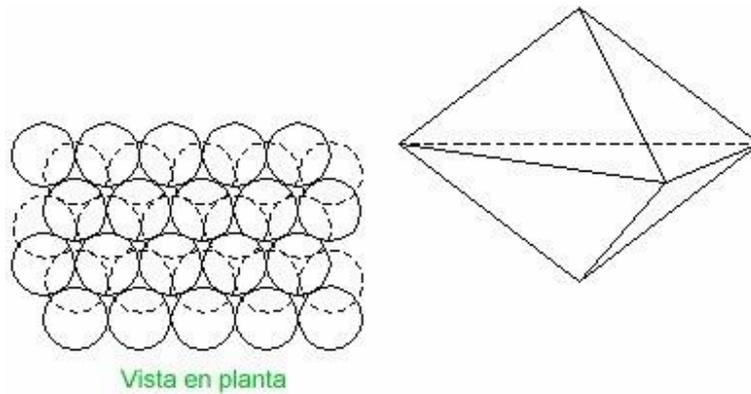
Definición de terminología y parámetros.

1.- Configuración de apilamiento: son los diferentes tipos o maneras de ordenar la fruta. En el caso de elementos casi esféricos como naranjas se pueden observar los siguientes tipos de apilamiento.

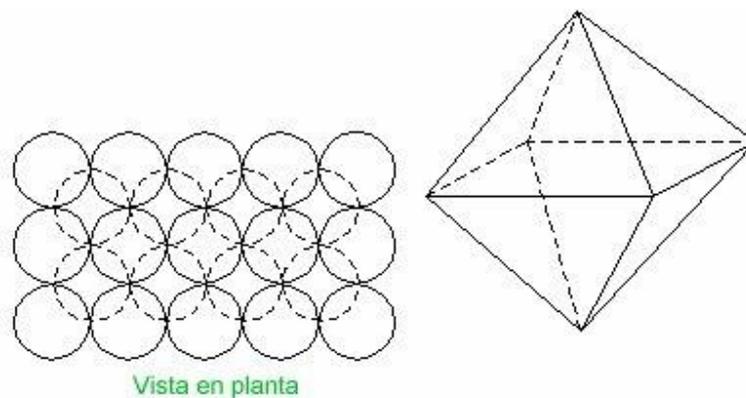
a.- Apilamiento recto (cúbico): la fruta esta dispuesta directamente una sobre la otra, como se indica en la figura.



b.- Apilamiento al tresbolillo (bitetraédrico):



c.- Apilamiento al tresbolillo cuadrado (octaédrico):



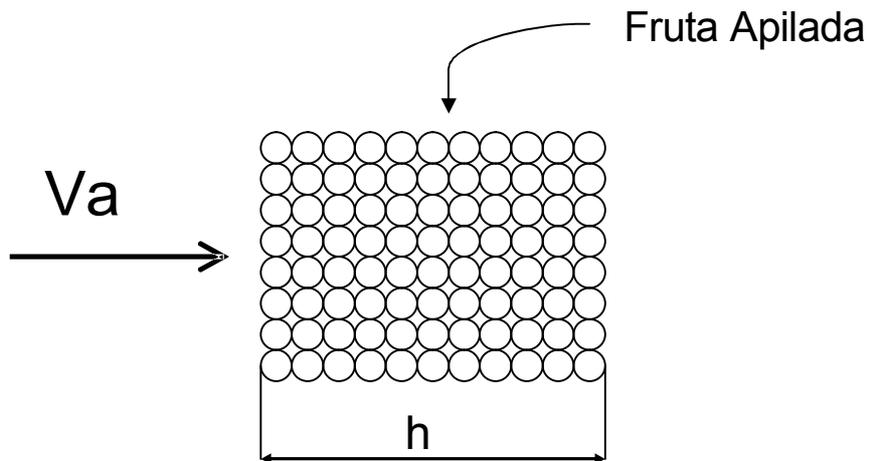
d.- Apilamiento aleatorio. Tal como su nombre lo indica

2.- Orificios de ventilación: aquellos que se ubican en las paredes de los envases o contenedores, en donde se empaca la fruta. Pueden poseer variadas formas geométricas (circulares, cuadrados, rectangulares, etc.).

3.- Porosidad ( $\epsilon$ ): es la fracción relativa de la diferencia entre el volumen total del apilamiento de fruta (volumen fruta más volumen de intersticios) y el volumen ocupado por la fruta, y el volumen total de la fruta apilada. Es decir:

$$\varepsilon = \frac{(\text{volumen total del apilamiento de fruta}) - (\text{volumen ocupado por la fruta})}{(\text{volumen total del apilamiento de fruta})}$$

4.- Profundidad del lecho de fruta (h): distancia rectilínea, que debe atravesar el flujo de aire, a lo largo de la masa de fruta apilada y en la dirección del flujo incidente.



5.- Tamaño de la fruta ( $D_e$ ): dimensión característica. En el caso de elementos esferoides), el diámetro considerado como dimensión característica suele ser el promedio aritmético entre los diámetros medidos sobre su ancho ( $\Phi_1$ ) y alto ( $\Phi_2$ ):

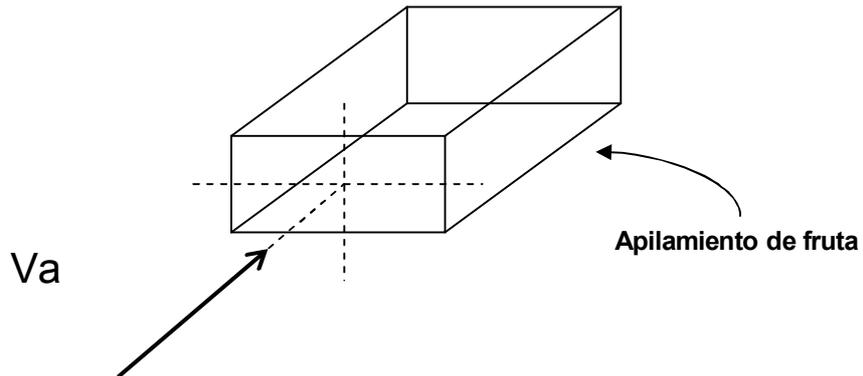
$$D_e = \left( \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2} \right)$$

En el caso de apilar elemento no esféricos se puede utilizar la siguiente aproximación, que permite determinar “el diámetro esférico equivalente”:

$$D_e = \left[ \frac{6 * \Omega_0}{\pi * m} (1 - \varepsilon) \right]^{\frac{1}{3}}$$

en donde  $\Omega_0$  es el volumen total del apilamiento y  $m$  es el número de objetos apilados.

6.- Velocidad de aproximación ( $V_a$ ): es aquella que incide sobre el contenedor de fruta en forma perpendicular a la sección transversal de este.



7.- Tortuosidad: este concepto tiene que ver con lo torcido o sinuoso del camino, que ha de recorrer el aire, a través de los espacios intersticiales existentes en el apilamiento de fruta.

## 4.4 Fórmulas para correlacionar caída de presión y velocidad.

### 4.4.1 Ecuación de Ramsin o función potencia (Shedd, 1953):

$$\frac{\Delta P}{h} = AV_a^B$$

en donde A y B son constantes determinadas por regresiones logarítmicas de los datos experimentales. También, otra forma en que se presenta esta misma ecuación, es en base al caudal medio (Q), es decir:

$$\frac{\Delta P}{h} = A\left(\frac{Q}{S}\right)^B$$

en donde (S) es el área de la sección transversal del contenedor.

### 4.4.2 Ecuación de Ergun (1952):

$$\frac{\Delta P}{\rho V_a^2} = \frac{D_e}{h} \frac{\varepsilon^3}{(1-\varepsilon)} K_1 \frac{(1-\varepsilon)\mu}{\rho V_a D_e} + K_2$$

con  $K_1 = 150$  y  $K_2 = 1.75$ , determinados experimentalmente por Ergun, para objetos esféricos. Otros investigadores (Anderson 1963) han encontrado que  $K_1$  y  $K_2$  no son constantes, sino que funciones de la porosidad ( $\varepsilon$ ) y, de la Tortuosidad y del número de Reynolds, respectivamente.

### 4.4.3 Ecuación de Leva (1959)<sup>5</sup>:

Esta ecuación puede ser aplicada a objetos no esféricos e incluye el efecto de la rugosidad de los objetos en el factor  $f_m$ , su expresión es la siguiente;

$$\frac{\Delta P}{h} = \frac{2f_m \rho V_a^2 (1-\varepsilon)^{3-n}}{D_e \Phi_m^{3-n} \varepsilon^3}$$

- $f_m$  : factor de fricción del flujo, a través del apilamiento.
- $\Phi_m$  : factor de forma de los objetos. Es la razón entre el área de la esfera equivalente al volumen del objeto y el área superficial real del objeto.
- $D_e$  : diámetro esférico equivalente.
- $n$  : exponente usado en esta ecuación, es una función del número de Reynolds.

En esta ecuación, los factores que se calculan empíricamente son  $f_m$  y  $\Phi_m$ .

En forma general, puede enunciarse que la forma de las ecuaciones que correlacionan  $\Delta P$  y  $V_a$ , son representadas de las siguientes dos maneras:

$$\frac{\Delta P}{h} = AV_a^B$$

$$\frac{\Delta P}{h} = MV_a + NV_a^2$$

en que A y B son constantes regresionales y, M y N son constantes dependientes que incluyen el efecto de las propiedades del fluido y del medio poroso.

## 4.5 INFLUENCIA DEL ACOMODAMIENTO<sup>1</sup>

La rapidez de enfriamiento esta directamente relacionada con el caudal de aire frío que pasa a través del pallet, es decir mientras mayor sea el caudal de aire frío, más rápido se enfriara el pallet. Por esto es importante considerar el acomodamiento o posicionamiento de los envases dentro del túnel, ya que las dos posiciones posibles que puede presentar un envase al flujo de aire, presentan diferentes tasas de aireación.

En estudios realizados con anterioridad al proyecto Fondef 2-36 (1996), se pudo detectar diferencias substanciales en el enfriamiento de cajas de uva, al disponer estas en las dos posiciones usadas, llamadas A y B.

En la posición A, el flujo de aire choca con el frontal de la caja, los ochavados forman canales por los cuales penetra el aire y se forman zonas frías en los vértices de las cajas. Al existir estos canales el aire enfría más rápidamente a las frutas cercanas a estos canales.

En la posición B, el flujo de aire choca con el lateral de la caja, en este caso el aire penetra por el intersticio formado entre el lateral rebajado, debido al **ochavado**<sup>2</sup> y la caja superior, lo cual permite que se forme una mayor sección de paso, por la cual el aire frío barre toda la superficie de la caja.

Las investigaciones anteriores indican que con las cajas puestas en posición B se obtienen condiciones más favorables para el flujo a través del pallet, que en la posición A. Esto sugiere que en la posición B debería obtenerse un mejor enfriamiento.

---

<sup>1</sup> Acomodamiento es la disposición con la cual los pallets son ordenados dentro del Túnel. El acomodamiento puede ser en posición A, el flujo de aire choca contra la cara frontal de la caja; posición B el aire choca contra el lateral de la caja

<sup>2</sup> Ochavado son los cortes en las esquinas de las cajas de madera. Al agrupar las cajas de madera cuando se forma un pallet, los cortes en las esquinas de las cajas forman ductos o canales por los cuales fluye el aire de enfriamiento.

## 5 TASA DE AIREACIÓN Y RAZÓN DE AIREACIÓN.

Para poder comparar y estudiar las características fluido - dinámicas de las cajas analizadas se hace necesario definir un par de parámetros que relacionan la geometría de las cajas y el flujo del aire. Estos parámetros son la Tasa de Aireación y la Razón de Aireación Ra.

### Tasa de Aireación<sup>6</sup>.

La Tasa de aireación es un parámetro que permite conocer el flujo de aire entregado por unidad de masa por unidad de tiempo a la fruta. La tasa de aireación es el caudal volumétrico de aire entregado por minuto por la masa del pallet.

$$T_a = 60 \frac{Q_v}{M} \left[ \frac{m^3}{kg \text{ min}} \right]$$

$Q_v$  = Caudal Volumétrico, [m<sup>3</sup>/s]

$M$  = Masa del Pallet, [Kg.]

donde 
$$Q_v = A_{fp} * V_p \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$A_{fp}$  = área frontal del pallet, [m<sup>2</sup> / s]

$V_p$  = velocidad promedio del aire, o velocidad de aproximación al pallet [m /s]

En los reportes de Nelson<sup>7</sup> y de Gaffney y Baird<sup>8</sup> se recomiendan tasas de aireación para una amplia gama de productos que van desde 0,063 [m<sup>3</sup> /kg. min.] (Nelson) a 0,02 [m<sup>3</sup> /kg. min.] (Gaffney y Baird)

## 5.1 Razón de Aireación.

Es la razón entre el área frontal del pallet o el envase y el área de paso del fluido en el pallet o el envase.

$$R_a = \frac{A_F}{A_{fp}}$$

Para poder determinar  $R_a$  es necesario determinar la velocidad promedio del aire en el Ducto (velocidad de aproximación) [ $V_p$ ] y la velocidad en los intersticios [ $V_{fp}$ ]; se promedian las velocidades obtenidas en las mediciones y por la ecuación de continuidad se obtiene:

$$A_F V_p = A_{fp} V_{fp}$$

Donde  $A_F$  es el área de sección transversal del ducto, y  $A_{fp}$  es el área de intersticios del pallet. Conociendo ambas velocidades se determina la razón efectiva de área libre a área frontal,  $Ra$ :

$$Ra = \frac{A_F}{A_{fp}} = \frac{V_{fp}}{V_p}$$

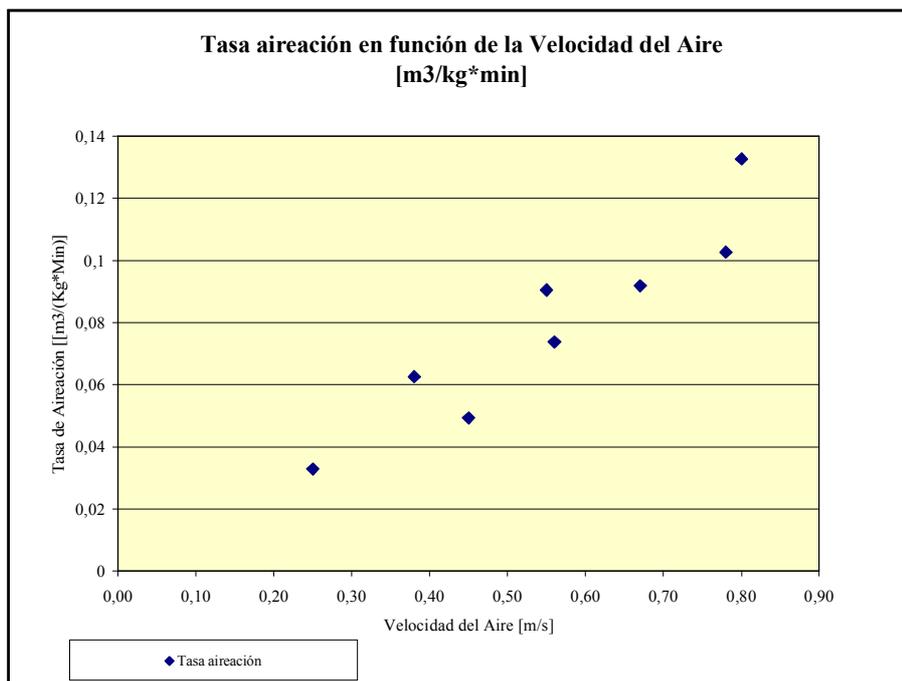
La utilidad de esta medición es que, para cada envase lleno, conociendo  $Ra$  se podría determinar  $V_p$ , la velocidad de aire de aproximación a los pallets en los túneles reales en operación a partir de mediciones de velocidad en los intersticios. Con esto, se puede determinar también la tasa de aireación ( $m^3$  de aire/min kg de fruta), que es un parámetro esencial para evaluar y diagnosticar las condiciones operativas de los túneles de frío reales.

En el cuadro 5.1 que se presenta a continuación, se observa la tasa de aireación de cada una de los experimentos realizados con uvas, durante la campaña experimental del proyecto fondef 2-36 en el otoño de 1995, tanto en envase de madera y cartón en posiciones A y B. La posición A es aquella que presenta la cara frontal (la de menor sección) al flujo de aire, la posición B es aquella que presenta la cara Lateral al flujo de aire (la de mayor sección). De los ocho casos analizados en tres de ellos se encontró que la tasa de aireación es inferior a la recomendada por Nelson<sup>3</sup>, ( UvaCartA08, Uvamada03, UvacartB02) y en los otros cinco casos son superiores a lo

recomendado por Nelson, (Uvamada01, Uvacarta06, UvamadaB06, Uvacarta07, UvamaA04). Los ocho casos presentan una tasa de aireación superior a la recomendada por Gaffney y Baird<sup>4</sup>.

Experimento	Condición	Prom VelAir [m/s]	Tasa aireación [m <sup>3</sup> /kg*min]	Ra	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Prefrio08	Uvacarta08	0,25	0,0329	8,72	0,32
Prefrio03	UvamadaA03	0,38	0,0626	0,54	0,48
Prefrio02	UvacartaB02	0,45	0,0493	7,00	0,49
Prefrio01	UvamadaA01	0,55	0,0905	0,54	0,69
Prefrio06	UvacartaA06	0,56	0,0738	8,72	0,73
Prefrio05	UvamadaB06	0,67	0,0919	12,53	0,70
Prefrio07	UvacartaA07	0,78	0,1027	8,72	1,01
Prefrio04	UvamadaA04	0,80	0,1327	0,54	1,01

**Cuadro 5.1** Tasas de Aireación para envases y pallet de uva.



**Gráfico 5.1** Tasa de Aireación v/s velocidad del aire.

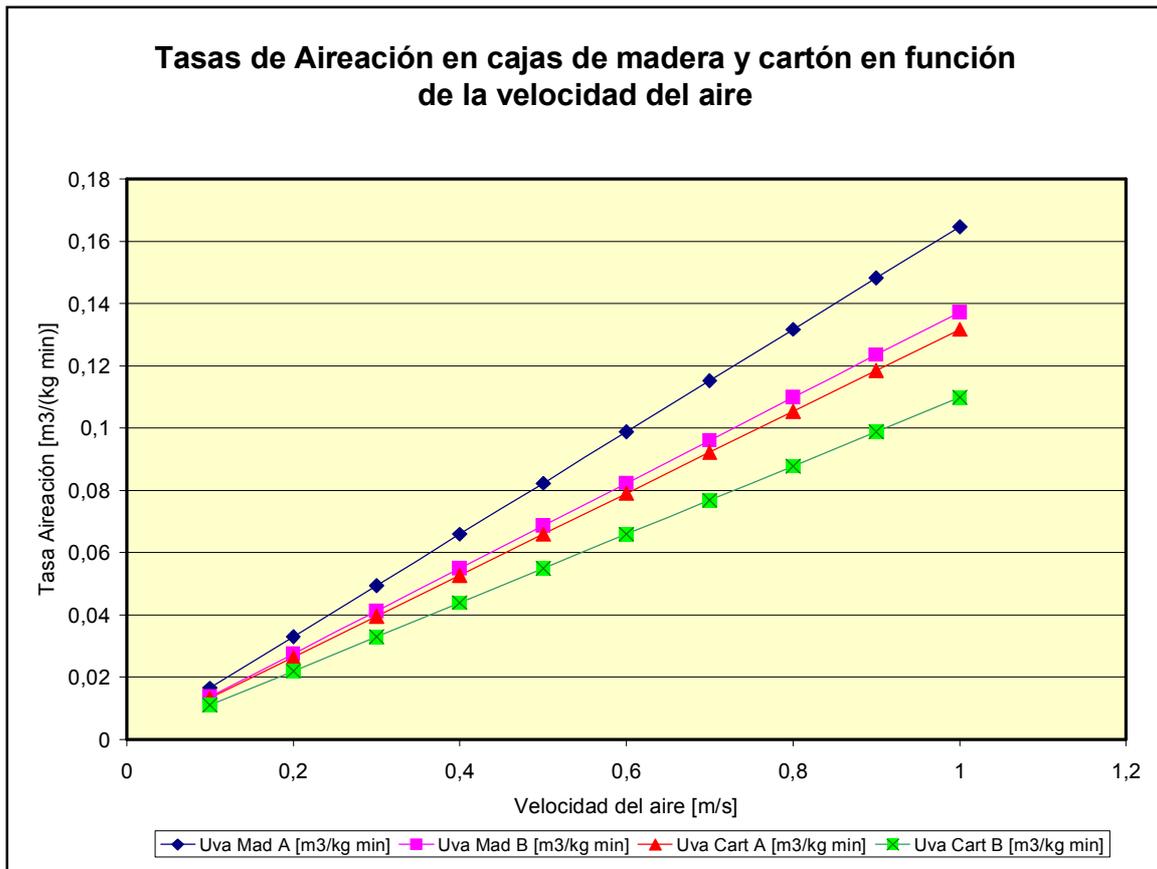
Para poder comprender el cuadro 5.1 es necesario explicar la nomenclatura utilizada para nombrar los experimentos. En la columna “Condición” se indica el nombre dado al experimento: Ej. Uvacarta08 según la nomenclatura utilizada significa lo siguiente, la fruta utilizada es uva, el

material del envase es cartón, la posición del envase es A y la velocidad promedio del aire 0,8 m/seg.

En el cuadro 5.2 se muestran las tasas de aireación de dos tipos de envases de uvas, (madera y Cartón) en posición A y B, los datos presentados, muestran las tasas de aireación calculadas para velocidades entre 0,1 [m/s] hasta 1[m/s]. Se observa que las cajas (pallets) de uva, tanto de madera como de cartón, poseen una mejor tasa de aireación en posición A que en B a una misma velocidad. También se puede observar que las (pallets) cajas de madera poseen una mejor tasa de aireación que las (pallets) cajas de cartón a la misma velocidad.

<b>Vel aire [m/s]</b>	<b>Uva Mad A [m3/kg min]</b>	<b>Uva Mad B [m3/kg min]</b>	<b>Uva Cart A [m3/kg min]</b>	<b>Uva Cart B [m3/kg min]</b>
0,1	0,0165	0,01	0,0132	0,01
0,2	0,0329	0,03	0,0263	0,02
0,3	0,0494	0,04	0,0395	0,03
0,4	0,0659	0,05	0,0527	0,04
0,5	0,0823	0,07	0,0659	0,05
0,6	0,0988	0,08	0,079	0,07
0,7	0,1152	0,10	0,0922	0,08
0,8	0,1317	0,11	0,1054	0,09
0,9	0,1482	0,12	0,1185	0,10
1	0,1646	0,14	0,1317	0,11

**Cuadro 5.2** Tasa de aireación de cajas de madera y cartón para uvas en función de la velocidad del aire.



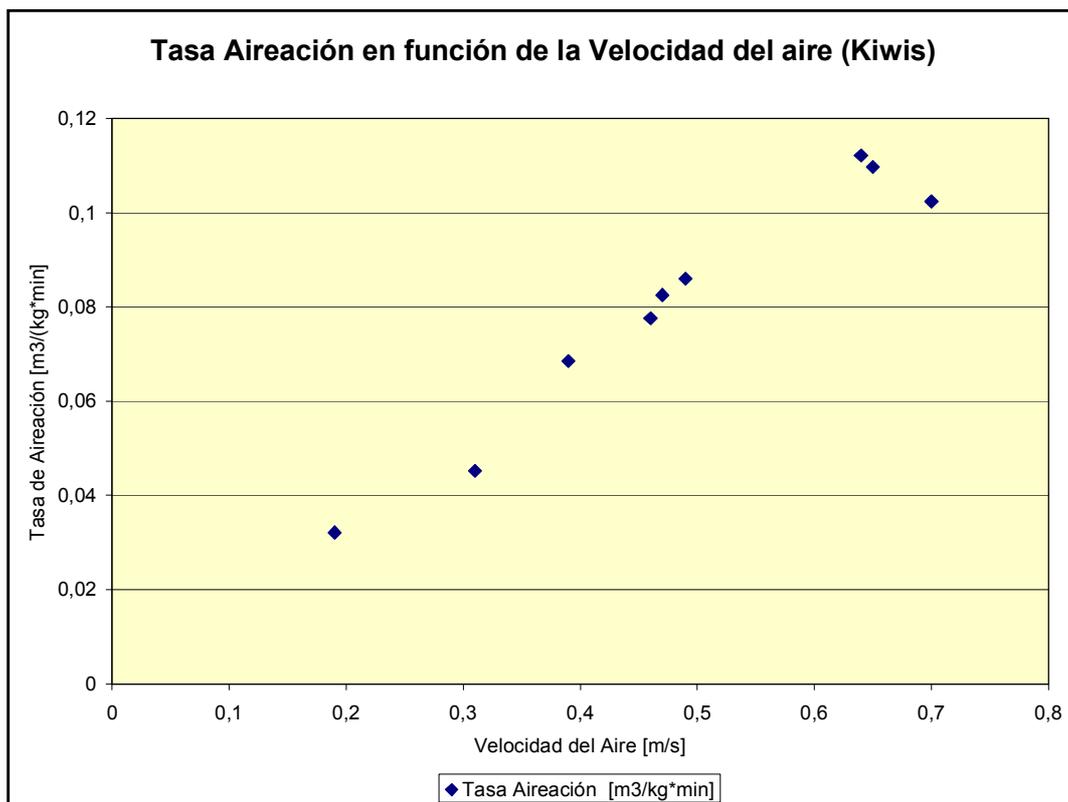
**Grafico 5.2** Tasa de Aireación en cajas de Madera y Cartón (Uva) v/s a diferentes velocidades del aire.

Las Tasas de aireación utilizadas en Chile son superiores a las utilizadas en países como Estados Unidos, debido a que los empaques utilizados en nuestro país son muy resistivos. Una mayor tasa de aireación permite lograr un buen enfriamiento en un tiempo razonable.

A continuación se presentan Tasas de Aireación para envases de Kiwis.

Condición	Tasa Aireación [m <sup>3</sup> /kg*min]	Prom VelAir [m/s]	Ra	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
kiwiaj02	0,0321	0,19	2,72	0,246
kiwibj03	0,0452	0,31	5,83	0,347
kiwia4me	0,0685	0,39	12,31	0,524
kiwiaj04	0,0776	0,46	2,72	0,596
kiwia3me	0,0825	0,47	12,31	0,632
kiwia2me	0,086	0,49	12,31	0,659
kiwia1me	0,1121	0,64	12,31	0,86
kiwiaj06	0,1097	0,65	2,72	0,842
kiwib1me	0,1024	0,7	12,47	0,748
kiwib2me	0,1024	0,7	12,47	0,748

**Cuadro 5.3** Tasas de Aireación para envases y pallet de kiwis



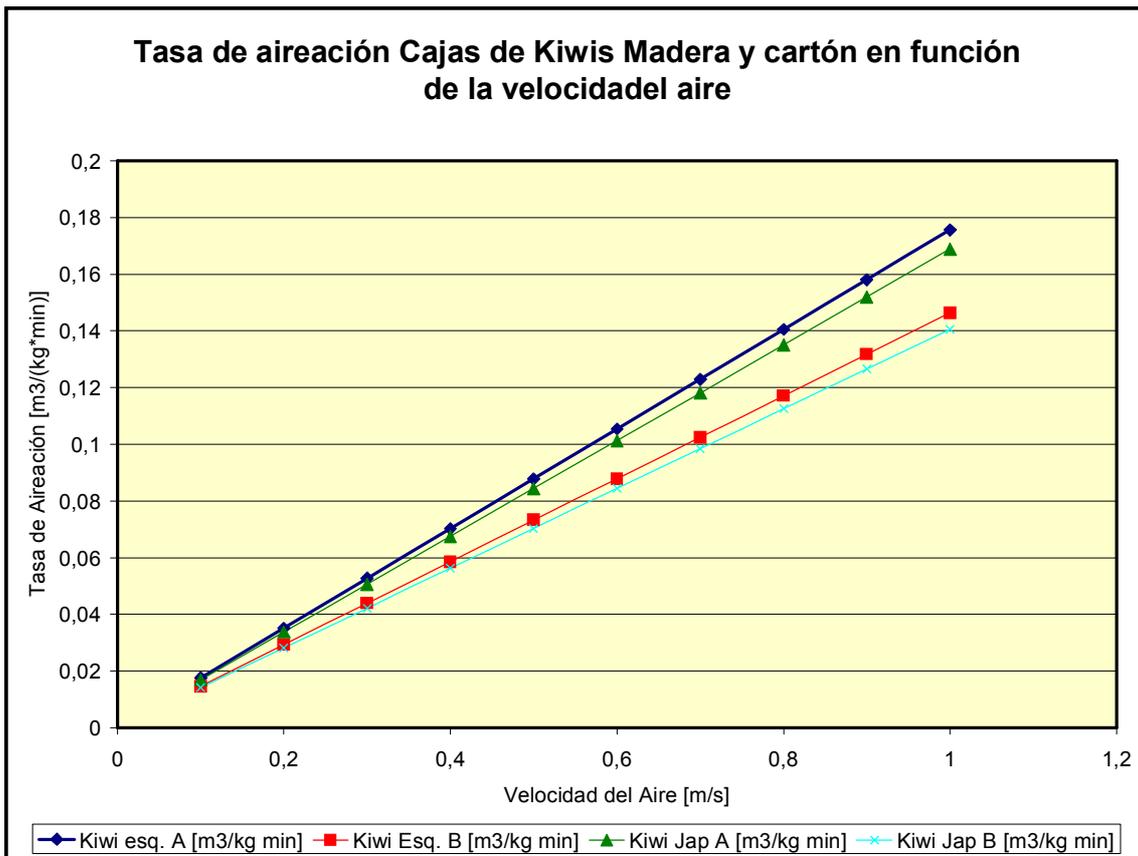
**Gráfico 5.3** Tasa de Aireación en cajas de Madera y Cartón (Uva) v/s velocidad del aire.

En las observaciones realizadas con Kiwis, mostradas en el cuadro 5.3 y en el gráfico 5.3 se determino que la tasa de aireación en todos los casos es superior a la recomendada por Gaffney y en sólo dos casos es inferior a la de Nelson. Como fue señalado anteriormente, en Chile se deben utilizar tasas de aireación superiores a las utilizadas en USA, dado que los empaques utilizados son más resistentes, los protegen y ayudan a conservar la temperatura de la fruta durante la mantención en las cámaras o el viaje a los mercados de destino.

En el cuadro 5.4 se observa que las cajas de kiwi, tanto madera como cartón, en posición A poseen una mejor aireación que en posición B, además se observa que la caja de madera posee una mejor aireación que la caja de cartón a la misma velocidad del aire.

Vel aire [m/s]	Kiwi esq. A [m <sup>3</sup> /kg min]	Kiwi esq. B [m <sup>3</sup> /kg min]	Kiwi Jap A [m <sup>3</sup> /kg min]	Kiwi Jap B [m <sup>3</sup> /kg min]
0,1	0,0176	0,0146	0,0169	0,0141
0,2	0,0351	0,0293	0,0338	0,0281
0,3	0,0527	0,0439	0,0506	0,0422
0,4	0,0702	0,0585	0,0675	0,0563
0,5	0,0878	0,0732	0,0844	0,0703
0,6	0,1054	0,0878	0,1013	0,0844
0,7	0,1229	0,1024	0,1181	0,0984
0,8	0,1405	0,1171	0,135	0,1125
0,9	0,158	0,1317	0,1519	0,1266
1	0,1756	0,1463	0,1688	0,1406

**Cuadro 5.4** Tasa de aireación de cajas (pallets) de madera y cartón para kiwis en función de la velocidad del aire.



**Grafico 5.4** Tasa de Aireación en cajas de Madera y Cartón (Kiwis) v/s a diferentes velocidades del aire.

Del cuadro 5.4 se observa que las cajas (pallets) de kiwi, tanto de madera como de cartón, poseen una mejor tasa de aireación en posición A que en B, a una misma velocidad. También se puede observar que las (pallets) cajas de madera poseen una mejor tasa de aireación que las (pallets) cajas de cartón a la misma velocidad.

## 6 INSTALACIÓN EXPERIMENTAL<sup>9</sup>

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 proyectó 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 tienen 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 m<sup>2</sup> y una sección de retorno de 0,5x1,2 m<sup>2</sup>, 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, una válvula de expansión controlada y un condensador enfriado por aire.



**Figura 6.1** Vista General de la planta piloto

De acuerdo al tamaño y capacidad de la planta, se estimó que los equipos y componentes

necesarios debían poseer las siguientes características:

**Estructura:** Módulos de perfiles de acero con paneles autosoportantes de poliestireno expandido revestido en ambas caras con láminas de acero prepintado de 100 mm espesor.

**Laminador de Flujo:** es una unidad formada por canales hexagonales de 81 cm<sup>2</sup> de sección y 1,20 m de longitud, cuya finalidad es producir un perfil plano de velocidad en la sección de pruebas, (la sección de prueba tiene dimensiones basales de un pallet (1,2 m x 1,2 m) y una altura de 1,2 m que corresponde a un 60 % de la altura de un pallet industrial, con lo cual el ensayo se puede considerar representativo

**Ventilador:** este equipo es fundamental para la planta, se seleccionó uno centrífugo de 30.000 m<sup>3</sup>/h a 20 HP.



**Figura 6.2** Ventilador

**Maquinaria de Refrigeración:** Esta compuesta por un evaporador de expansión seca de 108 m<sup>2</sup> de superficie de intercambio con una capacidad de 11.945 Kcal./h, un condensador enfriado por aire de 22.000 Kcal./h de capacidad, un compresor abierto de 12.255 Kcal./h a 1450 RPM con una potencia instalada de 10 HP, y una válvula de expansión controlada DANFOSS modelo TQ/PHTQ

+ EKS 65.



**Figura 6.3** Compresor



**Figura 6.4** Condensador



**Figura 6.5** Válvula

**Instrumentación y Adquisición de Datos Experimentales:** Las determinaciones de velocidad temperatura y humedad de flujo se ejecutan con una sonda Trisense con módulos para velocidad (anemómetro de hilo caliente), temperatura y humedad. Las determinaciones de caída de presión se ejecutan con transductores de presión diferencial y/o con manómetros diferenciales. Para la obtención del campo de temperatura en la carga de fruta se emplea un set de 36 termocuplas tipo J cuya señales son almacenadas en tres Data Logger tipo JTEK Cole Palmer Modelos 92800-05.

## **7 ESTUDIO EXPERIMENTAL.**

En este capítulo se describirán los diferentes procedimientos y equipos utilizados, en las actividades experimentales, para este fin se indican las funciones y usos de los equipos.

Para poder determinar la relación existente entre la caída de presión y la velocidad del aire a través de un pallet de fruta, es necesario tener una zona en la cual, se tengan bajo control todas las variables a investigar y correlacionar. Esta zona o volumen de control, es un túnel de enfriamiento de fruta. Este túnel es un aparato en el cual un ventilador impulsa el aire y lo hace circular a través de un pallet de fruta y un evaporador donde el aire es enfriado.

De lo anterior se desprende que la velocidad del aire y su temperatura son controladas dentro del túnel.

### **7.1 ENVASES A ESTUDIAR**

Los envases de frutas están determinados en la actualidad por las medidas de los pallet, y la resistencia mecánica del envase. Esto ha originado una gran variedad de envases y de tamaños. Las dimensiones más comunes en los envases hasta hace algunos años eran 50x40cm, 30x40cm, 30x50cm y su capacidad varia desde 5 Kg. a 8,2 Kg.

El tipo de embalaje a utilizar depende de varios factores a considerar, tales como: el producto a embalar, uva, kiwi, carozos, manzanas, etc.; el país de destino del producto, Japón, USA, Comunidad Europea, Arabia Saudita, etc.; el proceso al cual es sometida la fruta, consideraciones sanitarias de destino, método de empaque y transporte de los pallets, y también precio.

Los factores descritos en el párrafo anterior, condicionan el tamaño del envase, la forma del embalaje, empaque de la fruta y el material del envase. Se utilizan envases de madera y cartón. Para el caso de los envases de madera se encuentran, cajas de madera Ochavadas y cajas de madera Esquineras. Para el caso de los envases de cartón se encuentran envases abiertos, cerrados y también bandejas.

## 7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ENVASES

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo con aquellas frutas a las cuales se les puede aplicar un prefrió, tales como uva y kiwis. Los envases utilizados para embalar la uva y el kiwi, son de madera o cartón, dependiendo del mercado de destino, será el material del envase a utilizar y el tipo de empaque.

Entre los envases más usados se tiene:

Material	Fruta	Capacidad [Kg.]	Dimensiones [mm]
Madera Ochavados	Uva, Kiwi	8,2	300x500x154
madera esquinero	Uva, Kiwi	8,2	300x500x152
Cartón	Uva	8,2	300x500x120
Cartón	Uva, Kiwi	8,2	400x600x100
Cartón	kiwi	3,2	300x500x60

**Cuadro 7.1:** Clasificación de cajas y envases para prefrió de frutas

Tanto las cajas de madera como las de cartón presentan diferentes formas y características. Las de madera pueden ser ochavadas o tipo esquinero, ambos tipos son con tapa. Las cajas de cartón pueden presentar formas tan variadas como cerradas, abiertas o una simple bandeja, en la cual sólo se puede poner una corrida de fruta. A continuación se muestran los envases utilizados.

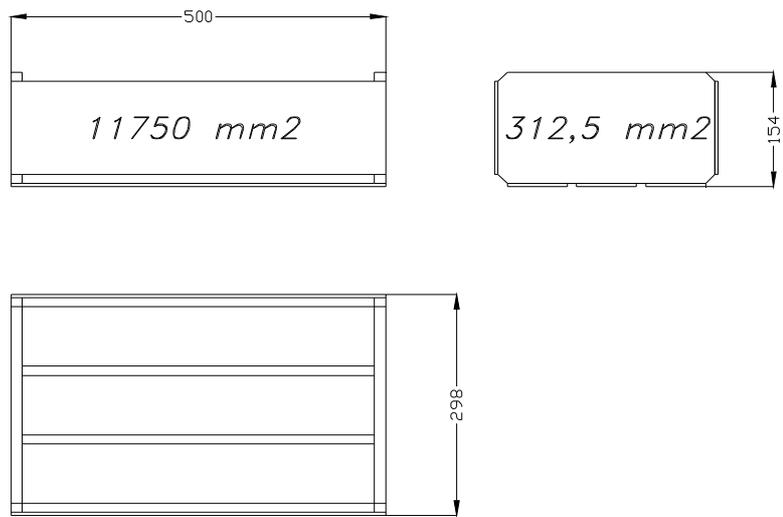


Figura 7.1 Caja Madera Ochavados (Uvas y Kiwis)

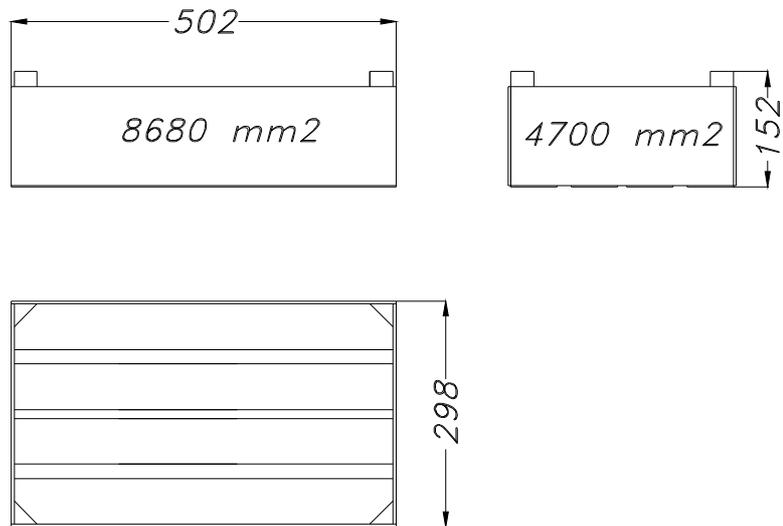


Figura 7.2 Caja Madera Esquinero (uvas y Kiwis)

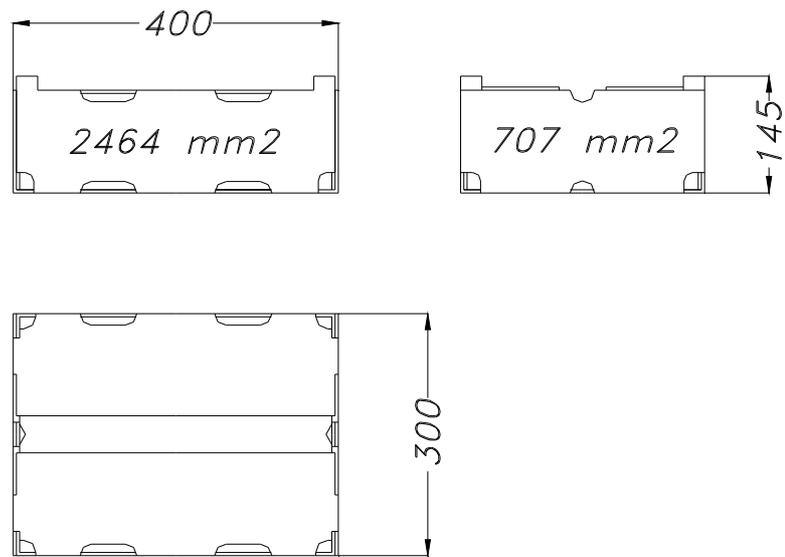


Figura 7.3 Caja Cartón Uva

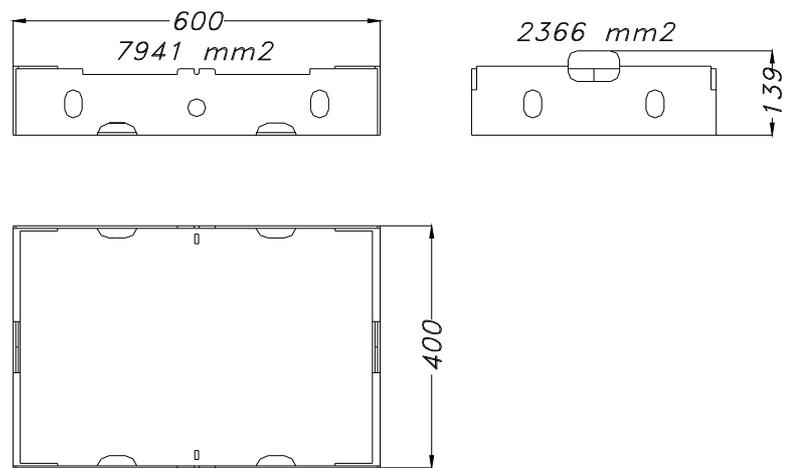


Figura 7.4 Caja Cartón (uva y Kiwis)

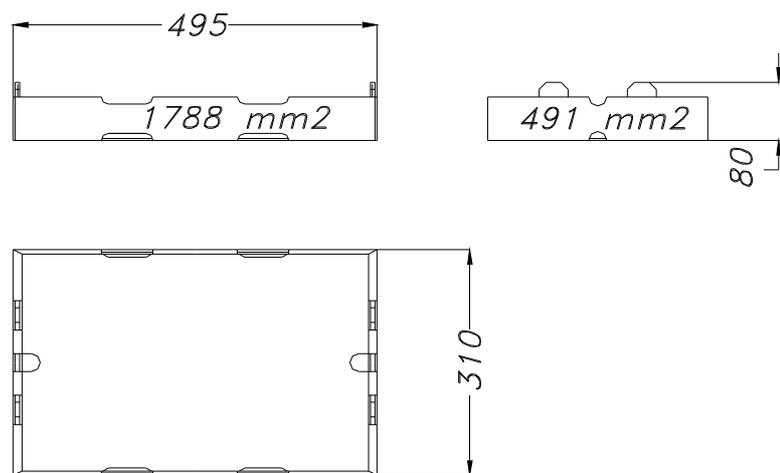


Figura 7.5 Caja cartón Kiwi Japón

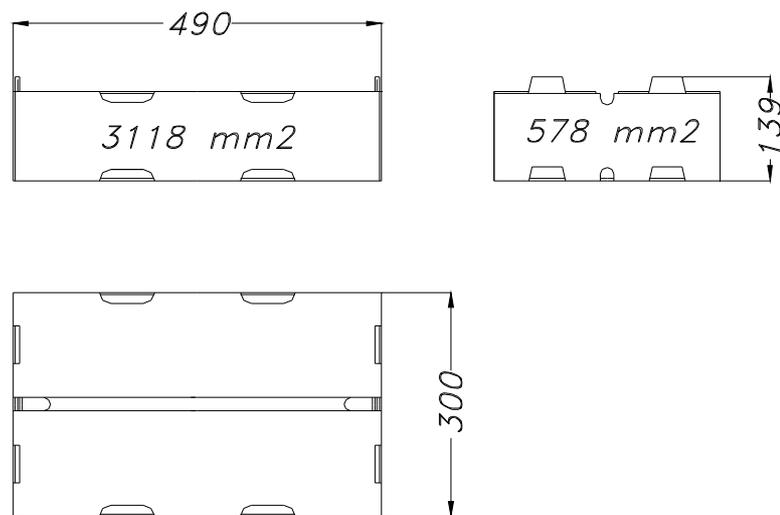


Figura 7.6 Caja Cartón Uva.

### 7.3 TIPO DE EMPAQUE<sup>10</sup>.

El tipo de empaque utilizado depende directamente de la fruta a embalar, del destino del embarque, del tipo de caja y su material. El objetivo del empaque es mejorar la presentación y conservación de la fruta.

A continuación se describen los materiales necesarios y el procedimiento de embalaje de Uva en caja de madera de 8,2 Kg. (el cual es el mismo para la caja madera esquinero y la caja madera con ochavados)

Materiales necesarios:

- Bolsa plástica microperforada de 850x550 mm. de alta densidad, abierta
- Una almohadilla de papel de 500x300 mm. se coloca en el fondo de la caja.
- Tres hojas de papel seda de 450x500 mm. cubriendo los costados y el fondo de la caja.
- Una hoja de papel seda de 450x500 mm. por racimo (se forma un pañal).
- En caso de embalaje polybag los racimos se colocan en paquetes (papel o plástico)
- Generador de Anhídrido Sulfuroso para controlar los microorganismos.
- Cartón corrugado cubriendo el paquete.
- Cierre de la bolsa por traslape con sello autoadhesivo.
- Se clava la tapa de madera

A continuación se describen los materiales necesarios y el procedimiento de empaque de uva en caja de cartón cerrada.

- Se coloca una bolsa plástica microperforada de 750x550 mm de alta densidad en la caja.
- Se coloca una almohadilla de papel de 500x 300 mm.
- Se colocan tres hojas de papel seda de 450x 500 mm. cubriendo totalmente el fondo de la caja y los costados.
- Los racimos se envuelven en una hoja de papel seda de 450x500 mm (embalaje tipo pañal)
- Generador de anhídrido sulfuroso para disminuir la humedad.

- Cierre de la bolsa por traslape, con sello autoadhesivo.

Empaque utilizado por las cajas de kiwi, tanto de madera como de cartón.

Caja de madera Esquinero u Ochavados.

- Se coloca una bolsa plástica microperforada de alta densidad de 500x800 mm. de color verde en el fondo de la caja.
- Se coloca una almohadilla de papel de 300x500 mm.
- Se coloca los frutos a granel.
- Se cubre los frutos con una lámina de cartón corrugado
- Cierre de la bolsa por traslape con sello autoadhesivo.

Caja de cartón tipo bandeja de 3,2 Kg.

- Se coloca bolsa plástica microperforada de 800x500 mm. de alta densidad.
- Se coloca bandeja que contiene la fruta.
- Se cierra la bolsa tipo sobre con autoadhesivos.

Tanto en las cajas de madera, como en las cajas de cartón se presentan diferentes tipos de envases, por ejemplo en la madera se encuentran las cajas tipo esquinero y las cajas con ochavados; en las cajas de cartón se presentan cajas abiertas (sin tapa), cerradas y bandejas, y cada una de estas posee su propia distribución de orificios para el paso del aire; lo mismo sucede con las cajas de madera, en las cuales encontramos diferentes disposiciones para el paso del aire. Estas diferentes disposiciones, como las propiedades térmicas del material del envase provocan que cada uno ellos tengan una curva de enfriamiento característica y además tenga una relación DP-V propia. De lo anterior es posible inferir que el tiempo de enfriamiento dependerá del envase utilizado.

Junto con variar los tamaños y las capacidades de los envases puede variar el embalaje, la uva es empacada tanto en cajas de cartón como en cajas de madera, y dependiendo del tipo de caja, es el tipo de empaque, por ejemplo en las cajas de cartón no es necesario colocar almohadillas, pero en las cajas de madera es indispensable para que la fruta no se dañe.

## **8 EFECTO SOBRE EL ENFRIAMIENTO CAJAS DE CARTÓN Y MADERA.**

El trabajo experimental, se desarrolló en dos líneas paralelas, enfriamiento de fruta palletizada y medición de la pérdida de carga de la fruta palletizada. Los ensayos de preferencia se realizaron con dos tipos de fruta, Uva y Kiwis y para cada uno de ellas se logró conseguir envases de madera y cartón utilizados por las empresas exportadoras de fruta.

Cada uno de los envases fue probado en dos posiciones llamadas A y B, la posición A fue probada en tres rangos de velocidad, la posición B fue probada en el rango de velocidad que dio mejor resultado en posición A.

Para poder conocer la influencia del material de la caja, fue necesario comparar un envase de cartón con un envase de madera, dentro de un mismo rango de velocidad del aire y con la misma posición, sea está A ó B y es de perogrullo decir que con el mismo tipo de fruta.

Con los datos obtenidos se pudo realizar 2 comparaciones para el caso de la uva y 2 comparaciones para el caso de los kiwis.

## 8.1 Enfriamiento de uvas en cajas de madera y cartón

Los ensayos de enfriamiento de uvas se realizaron en diferentes condiciones tales como: velocidad del aire, envase, posición. En el cuadro 8.1.1 se explica el significado de los nombres de los ensayos de prefrió de uva.

Ensayos		Fruta	Envase	Posición	Velocidad promedio del aire [m/s]
Prefrio01	UvamadA01	Uva	Madera Ochavados	Frontal (A)	0,55
Prefrio03	UvamadA03	Uva	Madera Ochavados	Frontal (A)	0,38
Prefrio05	UvamadB05	Uva	Madera Ochavados	Lateral (B)	0,67
Prefrio04	UvamadA04	Uva	Madera Ochavados	Frontal (A)	0,80
Prefrio06	UvacartaA06	Uva	Cartón	Frontal (A)	0,56
Prefrio07	UvacartaA07	Uva	Cartón	Frontal (A)	0,78
Prefrio08	UvacartaA08	Uva	Cartón	Frontal (A)	0,25
Prefrio02	UvacartB02	Uva	Cartón	Lateral (B)	0,45

**Cuadro 8.1.1** Descripción de los ensayos de prefrió Uva

Los resultados obtenidos en los ensayos de enfriamiento con uvas se muestran en el cuadro siguiente

Experimento	Prefri01	Prefri03	Prefri05	Prefri04	Prefri06	Prefri07	Prefri08	Prefri02
Tiempo	UvamadA01	UvamadA03	UvamadB05	UvamadA04	UvacartaA06	UvacartaA07	UvacartaA08	UvacartaB02
0	12,8	13,2	12,5	12,7	9,8	13,7	11,5	17,4
10	10,7	11,8	10,0	12,0	8,3	10,8	9,3	14,3
20	9,5	10,5	8,6	10,5	6,7	9,4	7,9	12,6
30	9,1	9,5	7,9	10,2	6,0	7,9	7,1	11,4
40	8,6	8,9	7,3	9,9	5,3	7,5	6,5	10,7
50	8,0	7,9	6,8	9,7	4,7	6,7	5,2	10,1
60	8,2	7,5	6,4	9,6	4,1	6,2	4,3	9,5
70	7,5	7,1	6,1	9,5	3,7	5,8	3,5	9,1
80	7,5	6,8	5,7	9,3	3,3	5,5	2,8	8,6
90	7,3	6,4	5,4	9,2	3,0	5,2	2,0	8,3
100	6,6	6,2	5,1	9,1	3,0	5,0	1,4	8,1
110	6,2	5,9	4,9	9,0	2,2	4,7	0,8	7,6
120	5,8	5,5	4,4	8,8	2,0	4,7	0,1	7,5
130	5,4	5,2	4,2	8,7	1,8	4,7	-0,3	7,3
140	5,1	4,4	3,9	8,6	1,7	4,6	-0,8	7,2
150	4,9	4,4	3,7	8,5	1,7	4,6		7,2
160	4,6	4,1	3,5	8,3	1,4	4,8		7,0
170	4,4	3,8	3,4	8,1	1,3	5,2		6,9
180	4,2	3,5	3,2	8,1	1,3	5,0		6,6
190	4,0	3,2	3,1	8,0	1,2	5,1		6,4
200	3,8	4,0	2,9	8,0	1,2	5,4		6,3
210	3,6	3,9	2,7	7,8	1,0			
220	3,4	3,1	2,5	7,7				
230	3,2	2,2	2,4	7,6				
240	3,2	1,9	2,3	7,4				
250	3,0	1,6						
260	2,8	1,3						
270	2,7	1,1						
280	2,6							
290	2,5							
300	2,4							

**Cuadro 8.1.2** Ensayos de prefrió Uva en envases de madera y cartón posición Ay B

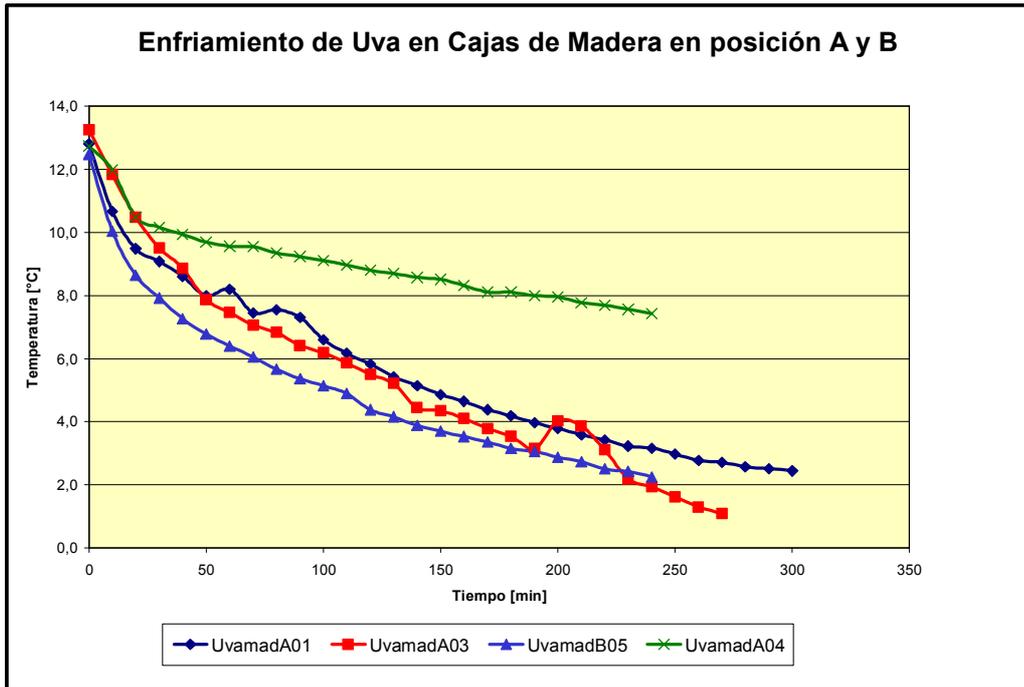


Gráfico 8.1.1 Enfriamiento de Uva en cajas de madera en posición A y B

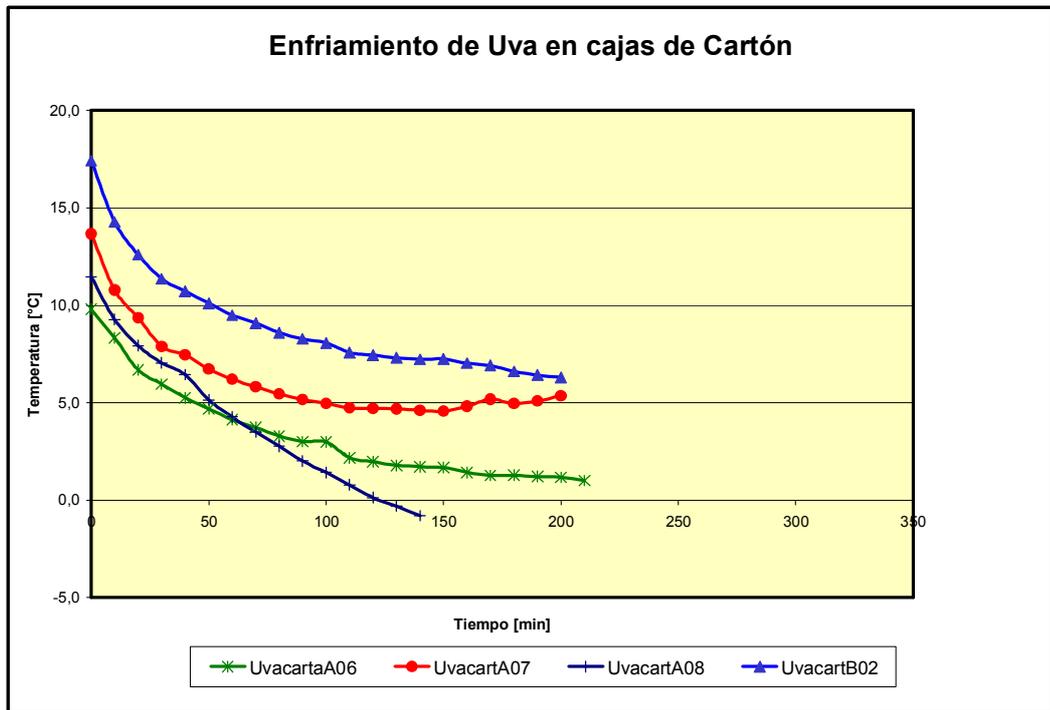


Gráfico 8.1.2 Enfriamiento de Uva en cajas de Cartón en posición A y B

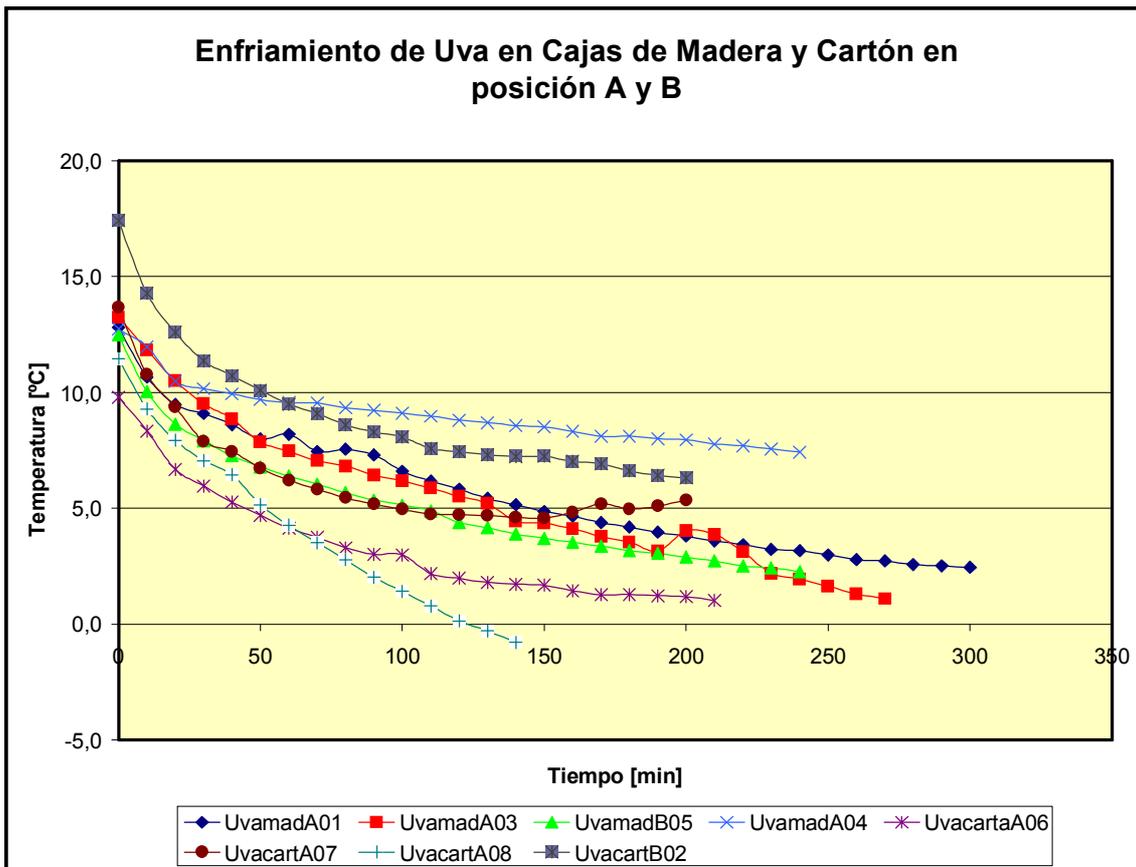


Gráfico 8.1.3 Enfriamiento de Uva en cajas de madera y cartón en posición A y B

Del cuadro N° 8.1.3 que presenta a continuación la lista de ensayos de prefríos de uva en cajas de madera y cartón, es posible ver aquellos experimentos que son comparables. Los experimentos Prefri01 y Prefri06 están en el rango de velocidad promedio 0,55 - 0,56 [m/s], ambos se realizaron en posición A y en cajas de distinto material, madera y cartón, respectivamente. Los experimentos Prefri07 y Prefri04 cumplen las mismas condiciones de la pareja anterior, en el rango de velocidad promedio de 0,78 - 0,80 [m/s].

Experimento	Condición	Rango Vel Air	Prom VelAir [m/s]	Ra	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Prefrio08	UvacartA08	0,21 - 0,26	0,25	8,72	0,36
Prefrio03	UvamadA03	0,34 - 0,47	0,38	0,54	0,55
Prefrio02	UvacartB02	0,32 - 0,55	0,45	7,00	0,65
Prefrio01	UvamadA01	0,49 - 0,59	0,55	0,54	0,79
Prefrio06	UvacartA06	0,46 - 0,61	0,56	8,72	0,81
Prefrio05	UvamadB06	0,6 - 0,71	0,67	12,53	0,96
Prefrio07	UvacartA07	0,62 - 1,0	0,78	8,72	1,12
Prefrio04	UvamadA04	0,78 - 1,05	0,80	0,54	1,15

**Cuadro 8.1.3:** Lista de prefríos de uva en caja de madera y cartón.

A partir del análisis de cada una de las parejas se puede determinar, cual de los envases dentro de las condiciones descritas permite un enfriamiento más rápido.

Con el objeto de poder comparar las curvas de enfriamiento de las diferentes cajas (madera y cartón) a velocidades similares, es necesario normalizar los datos obtenidos en los prefríos ya que las condiciones iniciales de cada uno de los experimentos son diferentes. Con las curvas normalizadas se determina la pendiente de la curva o tasa de enfriamiento. En primer lugar se analizara los envases con uvas y luego los envases con kiwis.

## 8.1.1 Enfriamiento de Uvas en cajas de cartón y madera.

### 8.1.1.1 Enfriamiento en el rango de velocidad 0,55 - 0,56 [m/s].

En el rango de velocidad de 0,55 – 0,56 [m/s] se tiene los ensayos, prefri01 (UvamadA01) y prefri06 (UvacartaA06).

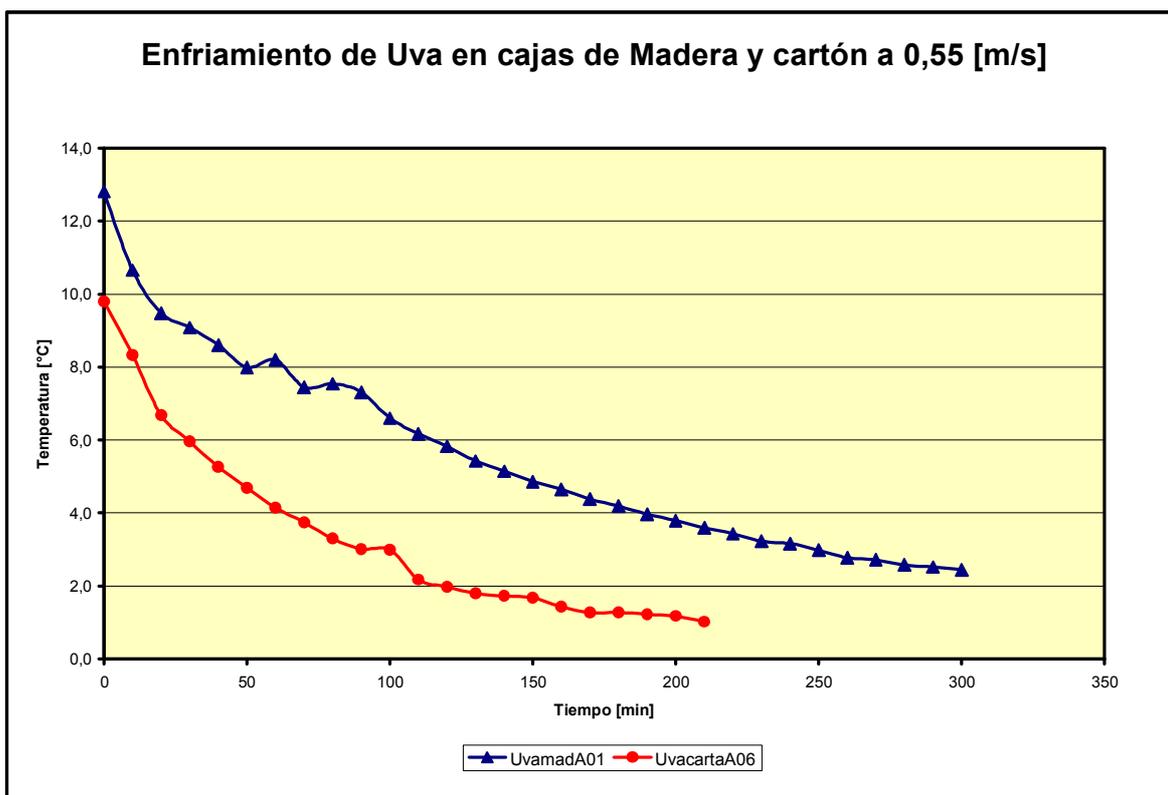
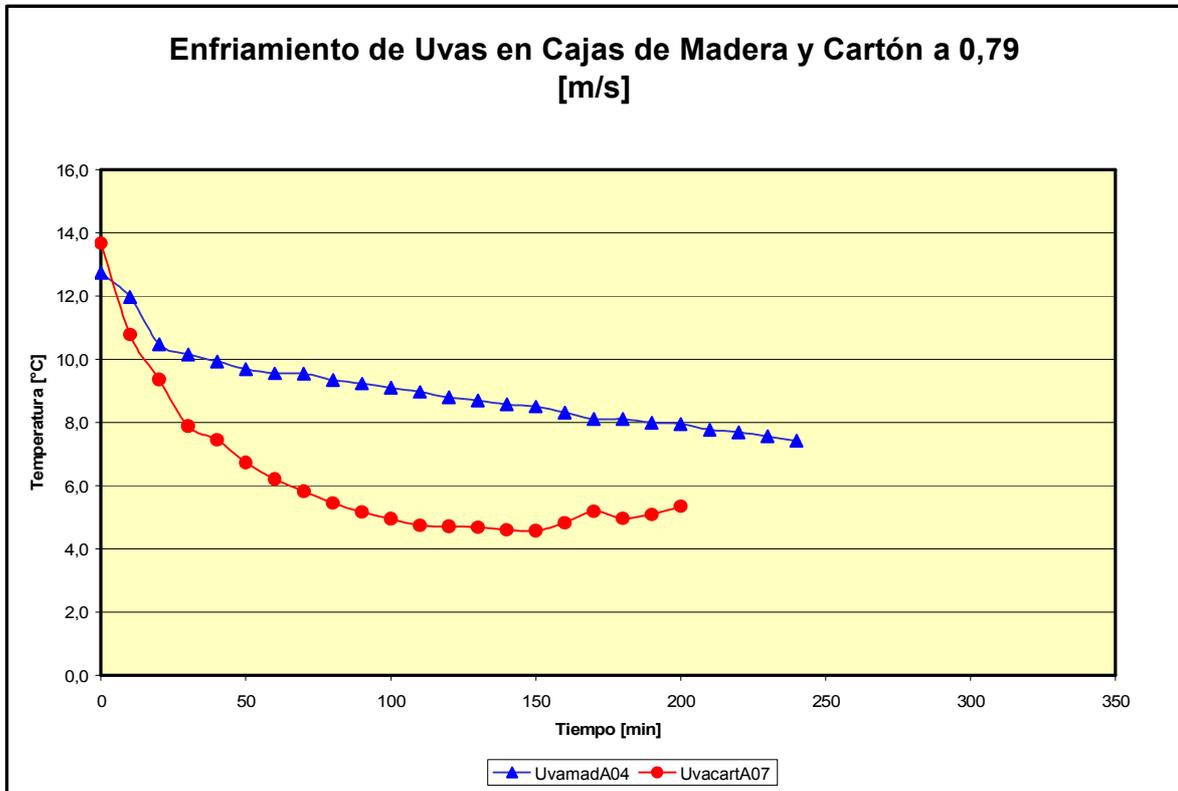


Gráfico 8.1.4 Enfriamiento de Uva en cajas de madera y cartón a 0,55 [m/s]

El gráfico N° 8.1.4 muestra las curvas de enfriamiento de los ensayos UvamadA01 (envase de madera ochavado en posición A) y UvacartaA06 (envase de cartón en posición A) ambos ensayos se realizaron a una velocidad del aire aproximada de 0,55 [m/s]. A partir de la observación se puede concluir que la tasa de enfriamiento de la caja de cartón es mayor que la tasa de enfriamiento de la caja de madera con ochavados, es decir la caja de cartón permite un enfriamiento más rápido.

### 8.1.1.2 Enfriamiento en el rango 0,78 -0,80 [m/s]

En el rango de velocidad de 0,78 -0,80 [m/s] se tiene los ensayos, prefri07 (UvacartA07) y prefri04 (UvamadA04).



**Gráfico 8.1.5 Enfriamiento de Uvas en cajas de madera y cartón a 0,79 [m/s]**

El gráfico N° 8.1.5 muestra las curvas de enfriamiento de los ensayos UvamadA04 (envase de madera ochavado en posición A) y UvacartaA07 (envase de cartón en posición A) ambos ensayos se realizaron a una velocidad del aire aproximada de 0,59 [m/s]. A partir de la observación se puede concluir que la tasa de enfriamiento de la caja de cartón es mayor que la tasa de enfriamiento de la caja de madera con ochavados, es decir la caja de cartón permite un enfriamiento más rápido.

De la observación de los gráficos se puede inferir que el enfriamiento de uvas en envases de cartón corrugado resultó ser más rápido que en cajas de madera con ochavados. Este resultado no considera la tasa de aireación ni la pérdida de carga de las cajas, tópicos que serán estudiados más adelante.

## 8.2 Enfriamiento de kiwis en cajas de madera y cartón

Los ensayos de enfriamiento de kiwis se realizaron en diferentes condiciones tales como: velocidad del aire, envase, posición. En el cuadro 8.2.1 se explica el significado de los nombres de los ensayos de prefrío de kiwi.

Ensayos	Fruta	Envase	Posición	Velocidad promedio del aire [m/s]
Kiwiaj02	Kiwi	Cartón Japón	Frontal (A)	0,19
kiwibj03	Kiwi	Cartón Japón	Lateral (B)	0,31
Kiwibj04	Kiwi	Cartón Japón	Frontal (A)	0,46
kiwia4me	Kiwi	Madera esquinero	Frontal (A)	0,39
kiwia3me	Kiwi	Madera esquinero	Frontal (A)	0,47
kiwia2me	Kiwi	Madera esquinero	Frontal (A)	0,49
kiwia1me	Kiwi	Madera esquinero	Frontal (A)	0,64
kiwiaj06	Kiwi	Cartón Japón	Frontal (A)	0,65
kiwib1me	Kiwi	Madera esquinero	Lateral (B)	0,70
kiwib2me	Kiwi	Madera esquinero	Lateral (B)	0,70

Cuadro 8.2.1 Descripción de los ensayos de prefrío Kiwi.

Los resultados obtenidos en los ensayos de enfriamiento con Kiwis se muestran en la tabla siguiente

Tiempo	kiwia1me	kiwia2me	kiwia3me	kiwia4me	kiwib1me	kiwib2me	kiwiaj02	kiwiaj06	kiwiaj04	kiwibj03
0	11,2	11,6	12,1	12,0	10,1	12,8	10,1	12,2	10,4	15,2
10	7,3	9,6	8,6	9,2	7,7	9,2	7,5	9,2	8,0	14,0
20	5,2	6,8	6,4	6,8	5,7	7,6	7,0	7,7	6,1	12,9
30	3,9	4,7	5,2	5,5	4,5	6,4	5,9	6,7	5,2	11,9
40	2,8	4,0	4,3	4,4	3,6	5,1	4,8	5,6	4,5	10,8
50	2,0	2,9	3,5	3,5	2,8	4,8	3,6	4,6	3,8	9,5
60	1,3	2,2	2,7	2,6	2,1	4,3	2,9	3,7	2,9	8,4
70	0,6	1,3	2,1	1,9	1,6	3,8	2,4	2,8	2,2	7,2
80	-0,1	0,7	1,6	1,1	1,1	3,3	1,8	1,9	1,4	6,0
90	-0,6	1,3	1,1	0,6	0,6	2,8	1,2	1,5	0,9	5,0
100	-1,1	2,3	1,0	0,0	0,2	2,8	0,6	0,8	0,3	3,8
110	-1,6	-0,1	0,3	-0,5	-0,3	1,7	0,0	0,2	-0,2	2,6
120	-2,0	-0,7	0,0	-1,0	-0,7	1,2	-0,4	-0,4	-0,9	1,9

Cuadro 8.2.2 Ensayos de prefrío Kiwis en envases de madera y cartón posición A y B

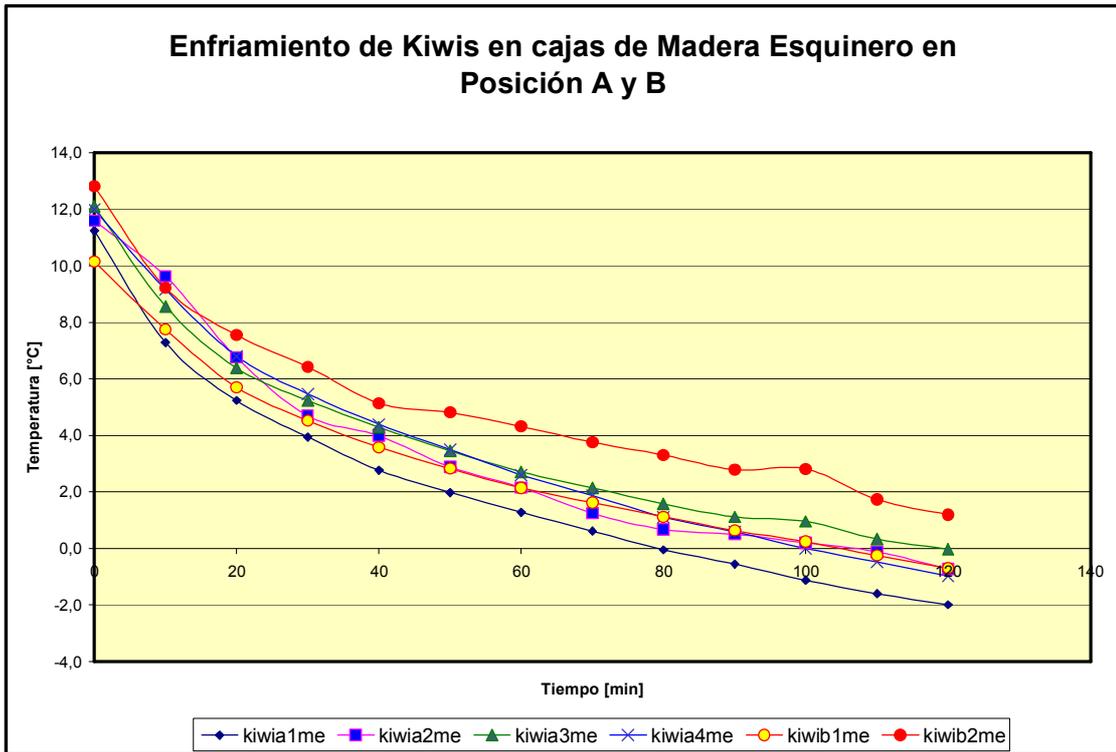


Gráfico 8.2.1 Enfriamiento de Kiwis en cajas de madera esquinero en posición A y B

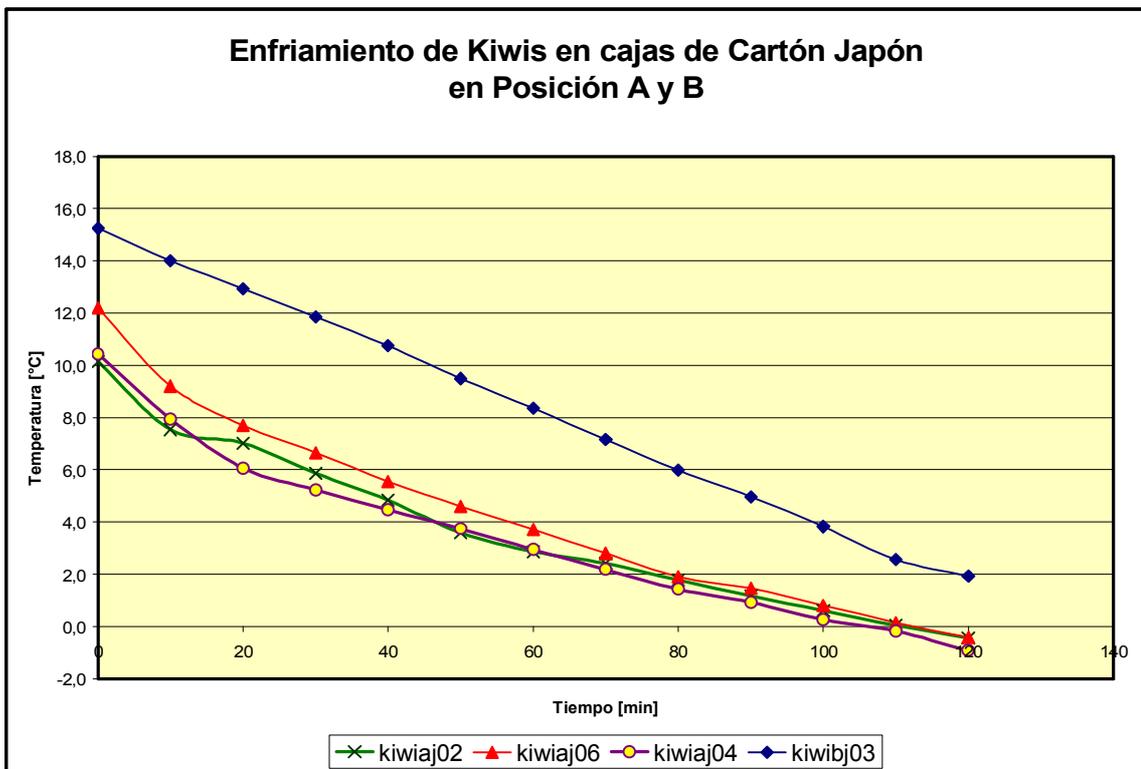


Gráfico 8.2.2 Enfriamiento de Kiwis en cajas de Cartón Japón en posición A y B

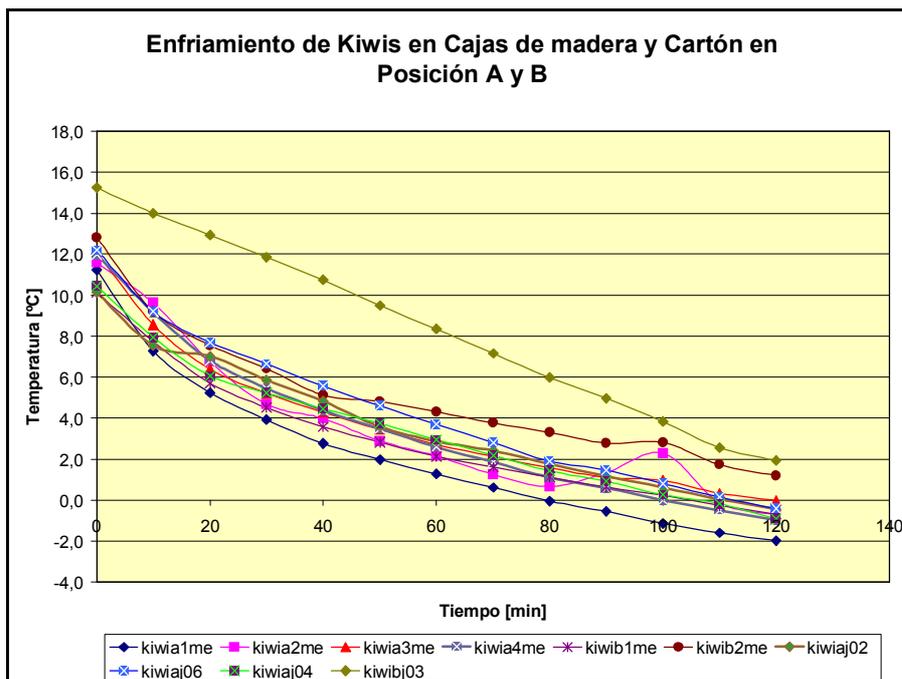


Gráfico 8.2.3 Enfriamiento de Kiwis en cajas de madera y cartón en posición A y B

Del cuadro 8.2.2 que presenta la lista de prefríos de kiwis en cajas de madera y cartón, se ve que experimentos son comparables. Los experimentos kiwia1me y kiwiaj06 están en el rango de velocidad promedio 0,64 - 0,65 [m/s], ambos se realizaron en posición A y en cajas de distinto material, madera y cartón, respectivamente. Los experimentos kiwiaj04, kiwia2me y kiwia3me cumplen las mismas condiciones de la pareja anterior, en el rango de velocidad promedio de 0,46 - 0,49 [m/s].

Condición	Rango VelAir	Vel prom [m/s]	Ra	Caudal
kiwiaj02	0,17-0,25	0,19	2,72	0,274
kiwibj03	0,23-0,42	0,31	5,83	0,446
kiwia4me	0,23-0,45	0,39	12,31	0,562
kiwiaj04	0,36-0,55	0,46	2,72	0,662
kiwia3me	0,41-0,52	0,47	12,31	0,677
kiwia2me	0,41-0,54	0,49	12,31	0,706
kiwia1me	0,56-0,7	0,64	12,31	0,922
kiwiaj06	0,59-0,68	0,65	2,72	0,936
kiwib1me	0,58-0,76	0,7	12,47	1,008
kiwib2me	0,59-0,76	0,7	12,47	1,008

Cuadro 8.2.2: Lista de prefríos de kiwis en caja de madera y cartón

### 8.2.1 Enfriamiento de kiwis en el rango de velocidad 0,64 - 0,65 [m/s]

El gráfico N° 8.2.4 muestra las curvas de enfriamiento de los ensayos Kiwia1me (envase de madera esquinero en posición A) y kiwiaj06 (envase de cartón Japón en posición A) ambos ensayos se realizaron a una velocidad del aire aproximada de 0,65 [m/s]. A partir de la observación del gráfico se puede concluir que la tasa de enfriamiento de la caja de madera esquinero es mayor que la tasa de enfriamiento de la caja de cartón Japón, es decir la caja de madera esquinero permite un enfriamiento más rápido.

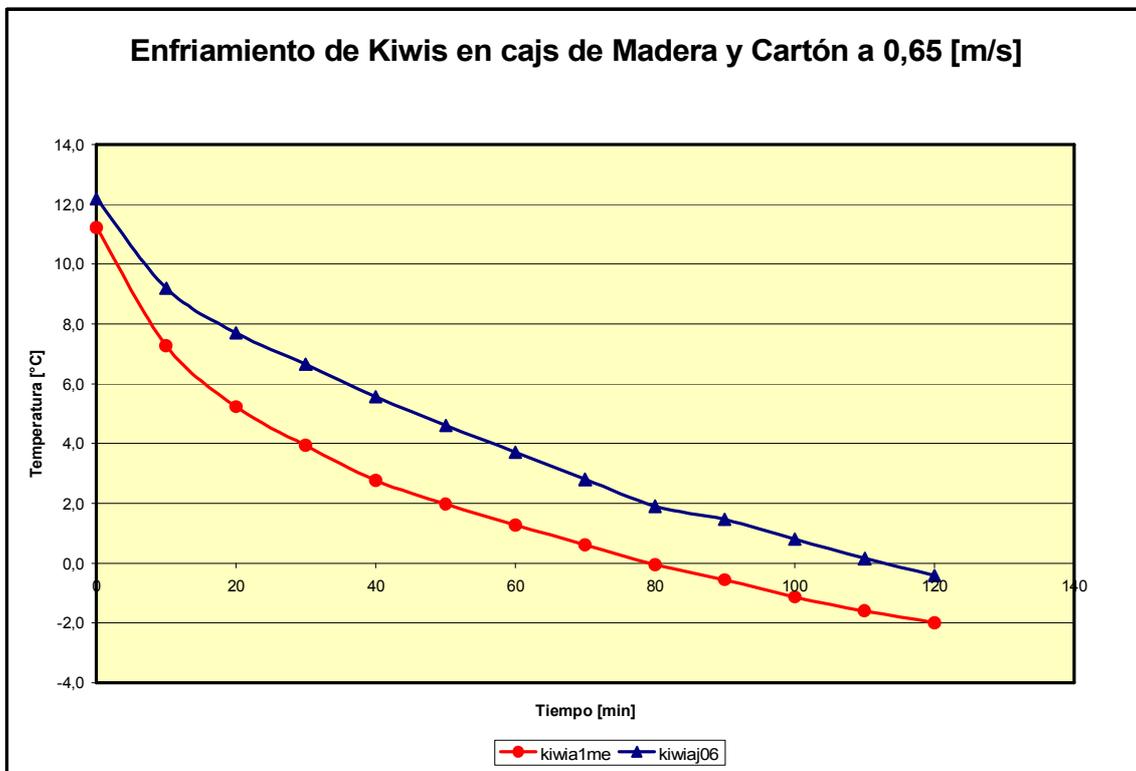


Gráfico 8.2.4 Enfriamiento de kiwis en cajas de madera y cartón a 0,65 [m/s]

### 8.2.2 Enfriamiento de kiwis en el rango de velocidad de 0,46 -0,49 [m/s]

El gráfico N° 8.2.5 muestra las curvas de enfriamiento de los ensayos Kiwiaj04 (envase de cartón Japón en posición A) y kiwia2me (envase de madera esquinero en posición A) y kiwia3me (envase de madera esquinero en posición A). Los 3 ensayos se realizaron a una velocidad del aire aproximada de 0,48 [m/s]. A partir de la observación del gráfico se puede concluir que la tasa de enfriamiento de las cajas de madera esquinero es levemente mayor que la tasa de enfriamiento de la caja de cartón Japón, es decir la caja de madera esquinero permitiría un enfriamiento más rápido.

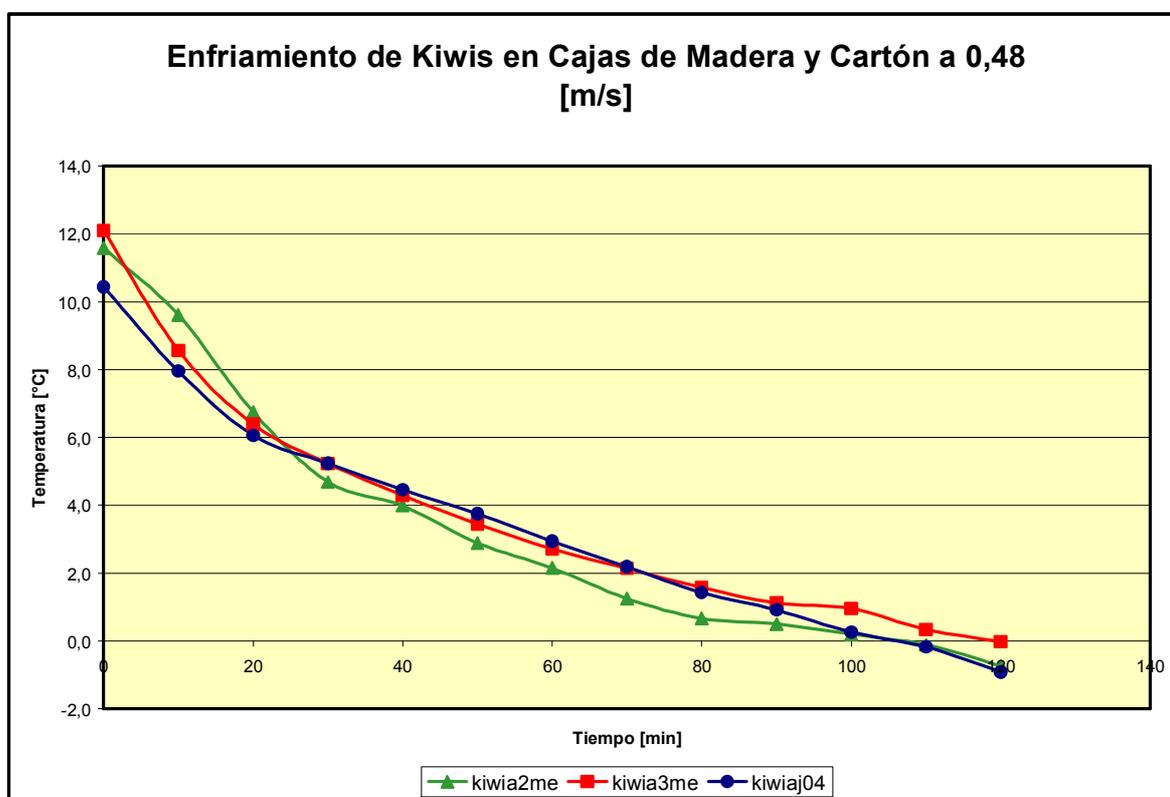


Gráfico 8.2.5 Enfriamiento de kiwis en cajas de madera y cartón a 0,48 [m/s]

De las observación de las curvas mostradas en los gráficos 8.2.2 y 8.2.3 es posible concluir que el enfriamiento de kiwis es más levemente más rápido en cajas de madera tipo esquinero, que en las cajas de cartón utilizadas en las pruebas.

## 9 DISEÑO DE EXPERIMENTOS DE CAÍDA DE PRESIÓN<sup>11</sup>

Interesa conocer la relación entre la Caída de Presión y Velocidad del aire a través de un Pallet de cajas de fruta. El túnel de enfriamiento está construido de tal manera, que es posible controlar el enfriamiento y la velocidad del flujo de aire.

El enfriamiento es regulado mediante una válvula de expansión que posee un controlador de flujo. La velocidad del flujo de aire es controlada, mediante un variador de frecuencia el cual regula la velocidad de giro del motor y del ventilador.

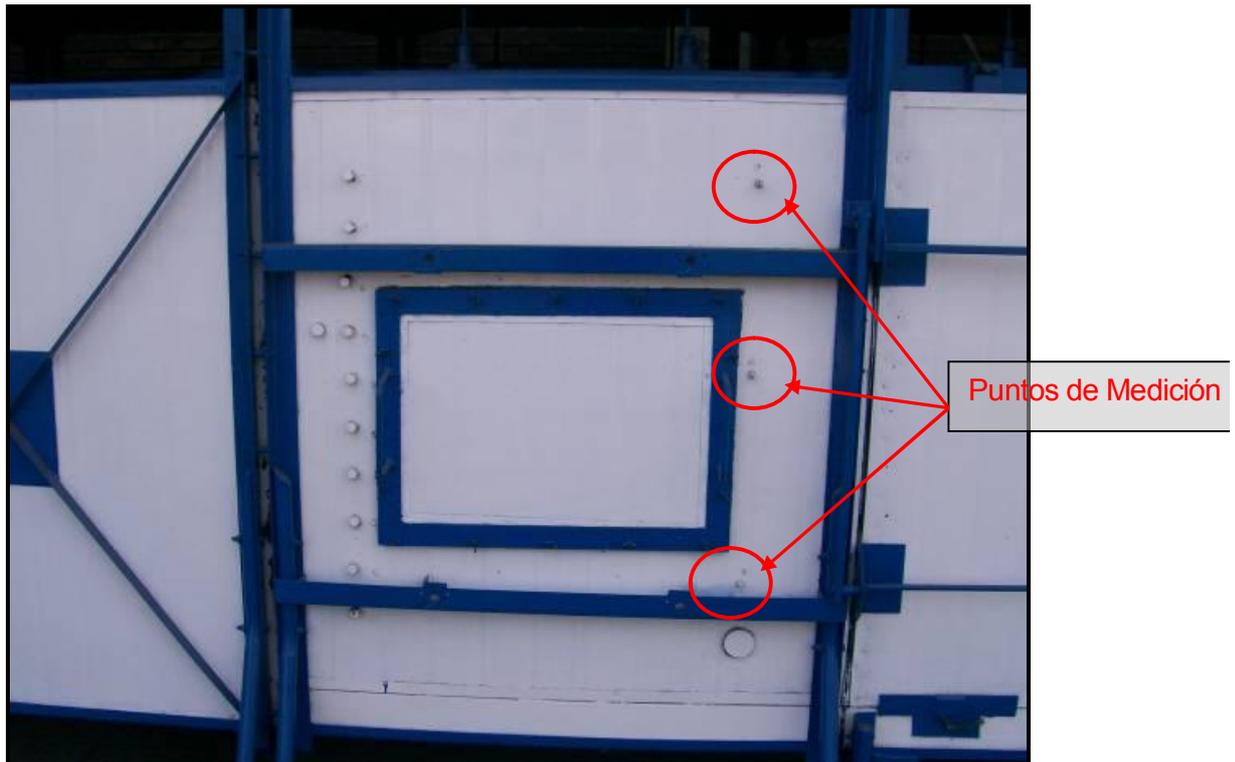
Las variables a medir son la velocidad del aire y la caída de presión a través del pallet de cajas de fruta, para poder obtenerlas se diseñó un experimento tipo. El experimento tipo consiste, en instalar un pallet de cajas de fruta en la sección de prueba del túnel de enfriamiento, siguiendo la disposición que se utiliza en las plantas empacadoras de fruta; este pallet puede enfrentar el flujo de aire en dos posiciones, que han sido llamadas posición A y posición B. La posición A es aquella que presenta la cara frontal (la de menor sección) al flujo de aire, la posición B es aquella que presenta la cara Lateral al flujo de aire (la de mayor sección).

La sección transversal del túnel es de 1,2 x 1,2 metros, la cual determina la cantidad de cajas que es posible poner en el pallet. En el caso que las cajas no se ajusten al ancho del túnel, el espacio sobrante es rellenado con planchas de poliuretano expandido de alta densidad (Plumavit), para asegurar que el aire pase solamente a través del pallet.

Los experimentos se realizaron con cajas de madera ochavadas y tipo esquinero, ambas para 8,2 Kg. y cajas de cartón corrugado, cerradas para 8,2 Kg., envase tipo bandeja para 2,5 Kg. y cajas abiertas para 8,2 Kg.

## 9.1 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE CARGA.

El túnel de enfriamiento posee seis puntos para la medición de la pérdida de carga. Estos puntos se encuentran en las secciones anterior y posterior a la sección de prueba (donde se instala el pallet, ver diagrama de la instalación), en número de tres en cada sección y en tres niveles, que cubren la parte superior, la zona media y la zona inferior del pallet.



La medición de la pérdida de carga se realizó por medio de un manómetro de tubo inclinado o por un manómetro de tubo vertical. La medición se realiza con la sección de prueba cargada; la sección esta cargada con cajas de fruta, ya sea el caso llenas o vacías, la medición se realiza con el ventilador en funcionamiento y se hace variar la velocidad del aire desde una velocidad muy pequeña hasta la mayor velocidad que permita el sistema. Al llegar a la máxima velocidad, se procede a reducir la velocidad de la masa de aire hasta obtener nuevamente la menor velocidad. Los datos obtenidos desde la velocidad inferior a la superior (subida) fue definida como DP1, los datos obtenidos desde la velocidad máxima a la inferior (bajada) fue definida como DP2.

Por la configuración de la planta se debe modificar la frecuencia de la corriente que alimenta al motor y esto hace variar la velocidad de giro del motor que mueve el ventilador centrífugo. A menor velocidad del motor, menor es la velocidad del giro del ventilador y a su vez menor es la velocidad de la masa de aire y si la velocidad del motor es alta, la velocidad de la masa de aire será mayor.

## **10 ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **10.1 ENSAYOS DE CAÍDA DE PRESIÓN (DP).**

Las relaciones de caída de presión  $\Delta P-V$  representan características intrínsecas de resistencia al flujo de aire de los pares envase - producto. Al comparar las características de diferentes combinaciones envase - producto, es posible determinar cual de las combinaciones es más resistiva al flujo de aire, la que produce una mayor  $\Delta P$ .

Los envases más resistivos al flujo son los menos apropiados para realizar un enfriamiento rápido. Los ensayos de caída de presión se realizaron en envases de madera y de cartón, con uvas y kiwis. A continuación se describen los ensayos que se realizaron y se presentan los resultados obtenidos.

#### **10.1.1 Ensayos de Caída de Presión en envases de Uva.**

La caída de presión en envases de uva se realizó en 2 tipos de envases, uno de cartón y el otro de madera con ochavados, las dimensiones de estos envases se presentan en el cuadro N° 7.1 del Capítulo 7

Ambos envases fueron probados en posición A y en posición B, con y sin fruta. A continuación se procede al análisis de los envases.

### 10.1.1.1 Envase Uva Madera Ochavados posición A vacío. (VUAUMOA)

El envase de madera ochavados vacío fue probado, en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,445 [m/s] hasta 1,73 [m/s], tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 68,6 [Pa/m] a 1450,4 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1 [m].

Las curvas de pérdida de carga, se muestra en el gráfico 10.1.1. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1<sup>3</sup>, DP2<sup>4</sup>, Dpprom<sup>5</sup> y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2. Para la obtención de la curva de correlación se utilizaron todos los puntos de la curva Dpprom.

De la curva de correlación que se obtuvo, es posible inferir que la caída de presión del envase de madera con ochavado en posición A vacío, se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico 10.1.1 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +9,22 %. La curva del modelo de correlación obtenida, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente, así como tampoco presenta histéresis. En cambio, de la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que éstas si presentan histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.1. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3852

---

<sup>3</sup> DP1 corresponde a la pérdida de carga obtenida al ir aumentando la velocidad del aire.

<sup>4</sup> DP2 corresponde a la pérdida de carga obtenida al ir disminuyendo la velocidad del aire.

<sup>5</sup> Dpprom es la curva que representa el promedio de las curvas experimentales DP1 y DP2

Vel Aire [m/s]	DP1 [Pa]	DP2 [Pa]	Dp prom [Pa]	Modelo [Pa]
1,730	1450,40	1450,40	1450,40	1173,45
1,770	1352,40	1352,40	1352,40	1239,20
1,665	1195,60	1176,00	1185,80	1071,01
1,650	1058,40	1038,80	1048,60	1048,14
1,570	901,60	862,40	882,00	930,97
1,325	803,60	764,40	784,00	621,13
1,310	666,40	588,00	627,20	604,49
1,240	588,00	499,80	543,90	530,28
1,200	450,80	372,40	411,60	490,39
1,110	392,00	303,80	347,90	407,17
1,020	294,00	245,00	269,50	332,80
0,925	235,20	166,60	200,90	263,58
0,765	176,40	117,60	147,00	167,57
0,645	127,40	78,40	102,90	111,54
0,545	88,20	58,80	73,50	74,63
0,445	68,60	68,60	68,60	46,02

Cuadro N° 10.1.1 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de madera ochavados vacía en pos. A

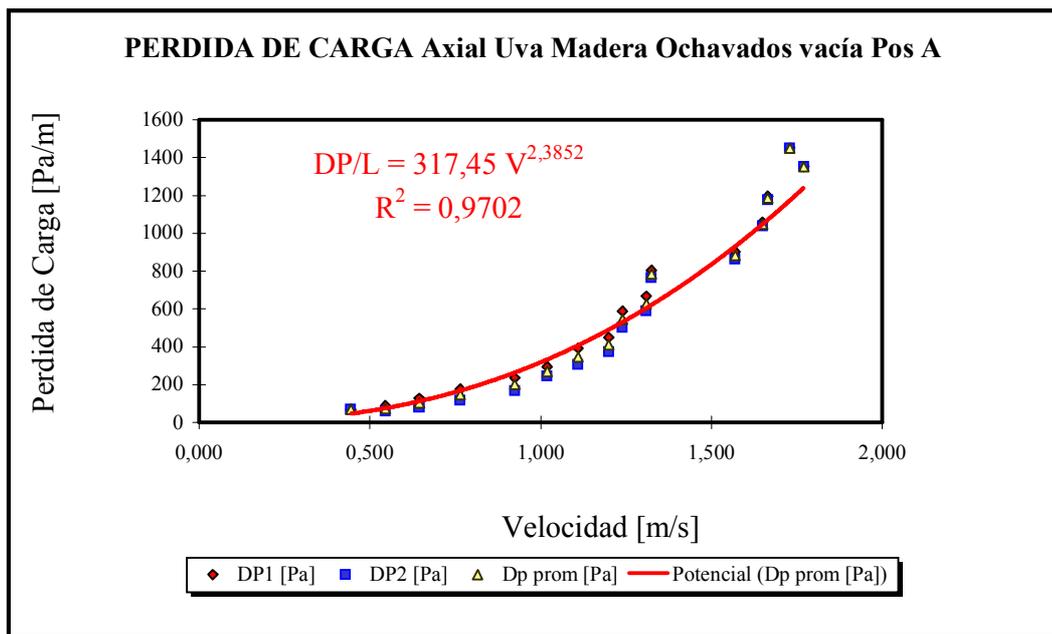


Gráfico N° 10.1.1 Pérdida de Carga para ensayo de caja de madera ochavados vacía en pos .A

### 10.1.1.2 Envase Uva Madera Ochavados posición B vacío. (VAUMOB)

El envase de madera ochavados vacío fue probado, en posición B, en un rango de velocidad que vario desde 0,920 [m/s] hasta 3,795 [m/s] tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 43,56 [Pa/m] hasta 1214,11 [Pa/m]. El Largo del lecho de envases es igual a 0,9 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.2. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación que se obtuvo, es posible inferir que la caída de presión en el envase de madera ochavado en posición B vacío se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.2 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +- 4,12 %. La curva del modelo de correlación obtenida, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente, así como tampoco histéresis. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que éstas si presentan histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.2. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3116.

Vel aire [m/s]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
3,795	1219,56	1208,67	1214,11	1249,98
3,650	1143,33	1110,67	1127,00	1142,33
3,460	1012,67	990,89	1001,78	1009,54
3,190	903,78	849,33	876,56	836,68
3,190	773,11	751,33	762,22	836,68
2,760	675,11	598,89	637,00	598,69
2,685	555,33	500,89	528,11	561,75
2,355	479,11	359,33	419,22	414,85
2,070	381,11	304,89	343,00	307,89
1,925	337,56	250,44	294,00	260,31
1,800	250,44	185,11	217,78	222,89
1,530	206,89	130,67	168,78	153,08
1,440	141,56	76,22	108,89	133,07
1,165	98,00	54,44	76,22	81,53
1,000	87,11	43,56	65,33	57,28
0,920	43,56	43,56	43,56	47,24

Cuadro N° 10.1.2 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de madera ochavados vacía en pos. B

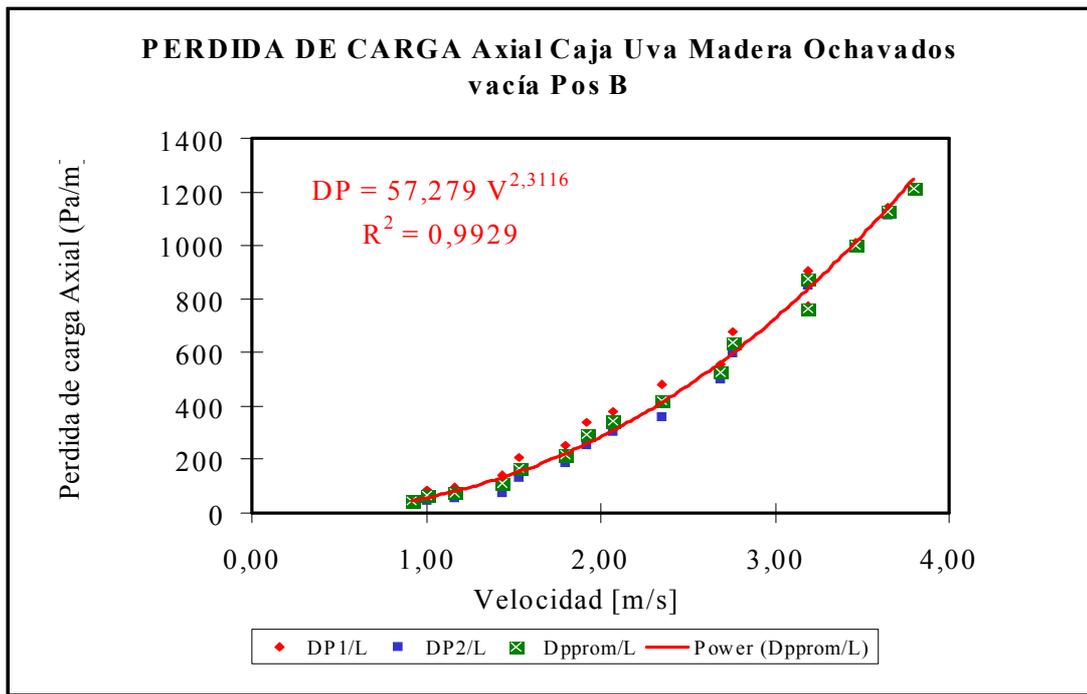


Gráfico N° 10.1.2 Pérdida de Carga para ensayo de caja de madera ochavados vacía en pos .B

### 10.1.1.3 Envase Uva Cartón posición A vacío. (VAUVACPA)

El envase de cartón vacío fue probado, en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,295 [m/s] hasta 1,23[m/s] tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 58,8 [Pa/m] hasta 1470 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1[m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.3. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

Se observa en el gráfico que los puntos que representan a DP1, DP2 y Dpprom, a velocidades superiores a 0,9 [m/s], se dispersan (se alejan) de la curva del modelo de correlación.

De la curva de correlación que se obtuvo, es posible inferir que la caída de presión se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.3 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de un +8,41 %. La curva del modelo de correlación obtenida, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que éstas presenta histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.3. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,4369.

Vel aire[m/s]	DP1/L[Pa/m]	DP2/L[Pa/m]	Dpprom/L[Pa/m]	Modelo[Pa/m]
1,23	1.411,20	1.528,80	1.470,00	1.478,49
1,05	1.254,40	1.411,20	1.332,80	993,84
1,02	1.097,60	1.244,60	1.171,10	936,89
1,01	940,80	1.078,00	1.009,40	903,67
0,92	705,60	940,80	823,20	718,98
0,89	686,00	803,60	744,80	662,88
0,95	568,40	666,40	617,40	787,85
0,84	470,40	548,80	509,60	583,72
0,75	411,60	411,60	411,60	435,70
0,80	362,60	333,20	347,90	518,29
0,66	313,60	235,20	274,40	318,37
0,54	235,20	176,40	205,80	194,43
0,48	156,80	117,60	137,20	145,50
0,43	107,80	78,40	93,10	114,16
0,35	78,40	68,60	73,50	69,13
0,30	58,80	58,80	58,80	45,58

Cuadro N° 10.1.3 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja de cartón uva vacía en pos. A

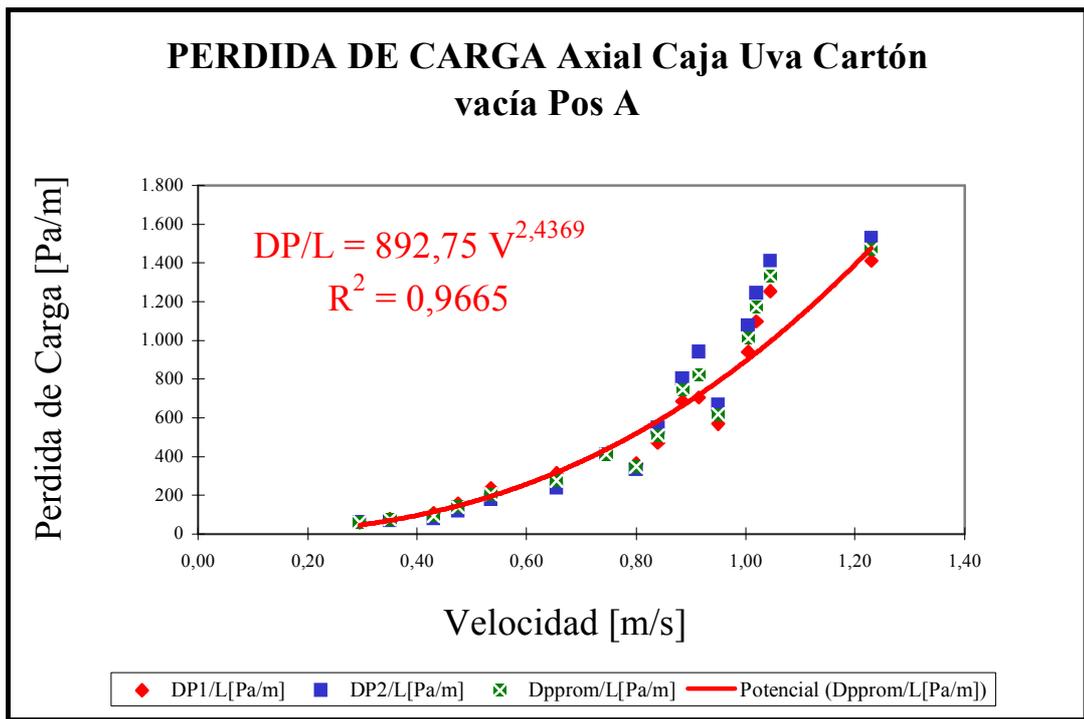


Gráfico N° 10.1.3 Pérdida de Carga para ensayo de caja cartón uva vacía en pos .A

#### 10.1.1.4 Envase Uva Cartón posición B vacío. (VAUVACPB)

El envase de cartón vacío fue probado, en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,43[m/s] hasta 2,16[m/s] tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 65,33 [Pa/m] hasta 1546 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 0,9 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.4. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

Se observa en el gráfico que los puntos que representan a DP1, DP2 y Dpprom, a velocidades superiores a 1,78 [m/s], se dispersan (se alejan) de la curva del modelo de correlación.

De la curva de correlación obtenida, es posible inferir que la caída de presión del envase de cartón en posición B vacío se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.4 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +7,77 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que entre ellas presentan histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.4. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,1807.

Vel aire [m/seg]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
2,16	1.568,00	1.524,44	1.546,22	1.531,46
1,92	1.480,89	1.437,33	1.459,11	1.183,81
1,92	1.328,44	1.284,89	1.306,67	1.190,56
1,81	1.154,22	1.132,44	1.143,33	1.040,54
1,78	1.001,78	958,22	980,00	1.009,37
1,59	849,33	827,56	838,44	783,72
1,44	740,44	620,67	680,56	630,96
1,42	598,89	533,56	566,22	611,94
1,26	500,89	413,78	457,33	471,05
1,17	392,00	359,33	375,67	400,49
1,11	326,67	261,33	294,00	360,41
0,98	239,56	196,00	217,78	271,63
0,84	196,00	130,67	163,33	193,72
0,69	130,67	87,11	108,89	127,80
0,55	98,00	65,33	81,67	77,94
0,43	65,33	65,33	65,33	45,57

Cuadro N° 10.1.4 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja de cartón uva vacía en pos B.

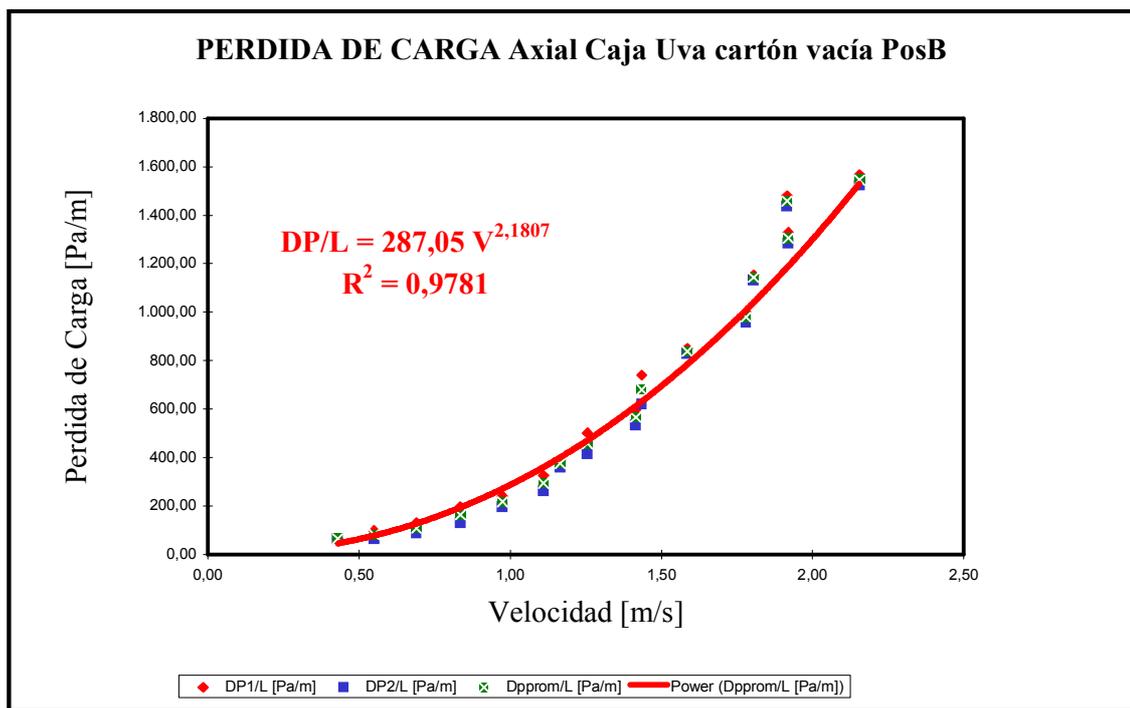


Gráfico N° 10.1.4 Pérdida de carga para ensayo de caja de cartón de uva vacía en pos. B.

### 10.1.1.5 Envase Uva Madera Ochavados posición A cargado. (UVMADPA1)

El envase de madera ochavado con uvas fue probado, en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,13 [m/s] hasta 0,86[m/s], tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 19,6 [Pa/m] hasta 1249,5 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.5. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación obtenida, es posible inferir que la caída de presión del envase de madera ochavado con uva en posición A, se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.5 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de  $\pm 2,16 \%$ . La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambios de pendiente, como así tampoco una histéresis apreciable.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.5. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,1236

Vel aire [m/seg]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
0,86	1264,2	1234,8	1249,5	1198,93
0,83	1127,0	1078,0	1102,5	1105,07
0,76	940,8	921,2	931,0	922,24
0,72	803,6	784,0	793,8	811,73
0,65	646,8	646,8	646,8	661,82
0,59	548,8	509,6	529,2	530,14
0,51	431,2	411,6	421,4	402,45
0,45	333,2	313,6	323,4	305,79
0,42	254,8	235,2	245,0	256,85
0,36	196,0	156,8	176,4	187,79
0,30	127,4	107,8	117,6	129,90
0,24	78,4	78,4	78,4	76,98
0,19	58,8	49,0	53,9	47,90
0,13	19,6	19,6	19,6	20,22

Cuadro N° 10.1.5 Pérdidas de carga obtenidas en ensayos de madera ochavados con uva en pos.

A

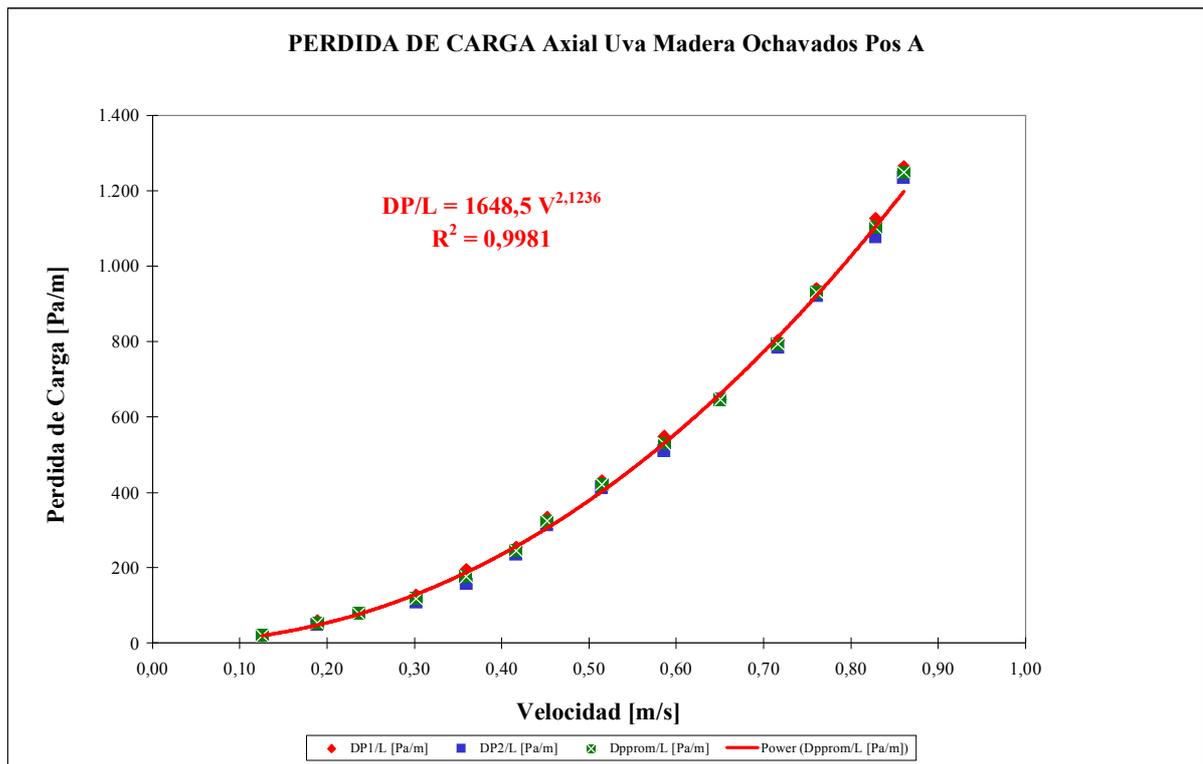


Gráfico N° 10.1.5 Pérdida de carga de ensayo de caja de madera ochavados con uva en pos. A

### 10.1.1.6 Envase Uva Madera Ochavados posición B cargado. (UvamadpB)

El envase de madera ochavado con uvas fue probado, en posición B, en un rango de velocidad que vario desde 0,19 [m/s] hasta 1,49[m/s] tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 49,00 [Pa/m] hasta 1343,42 [Pa/m]. El largo del Lecho de envases es igual a 0,9 [m]

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.6. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación que se obtuvo, es posible inferir que la caída de presión se ajusta aun modelo de potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.6 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +/- 2,91 %. La curva del modelo de correlación obtenida, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que éstas prácticamente no presentan histéresis.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.6. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire esta en un régimen de transición, ya que el exponente de la velocidad esta en el rango entre 1 y 2, más exactamente es 1,6541.

Vel aire [m/seg]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
1,49	1.355,67	1.331,17	1.343,42	1.349,93
1,30	1.110,67	1.094,33	1.102,50	1.077,30
1,19	963,67	947,33	955,50	929,27
1,10	824,83	824,83	824,83	821,61
0,96	702,33	702,33	702,33	656,96
0,88	596,17	588,00	592,08	570,50
0,82	490,00	490,00	490,00	501,97
0,74	392,00	392,00	392,00	427,08
0,62	326,67	318,50	322,58	318,98
0,54	261,33	253,17	257,25	255,01
0,47	196,00	196,00	196,00	202,30
0,41	147,00	138,83	142,92	160,33
0,33	114,33	98,00	106,17	113,45
0,25	81,67	73,50	77,58	70,79
0,19	49,00	49,00	49,00	46,26

Cuadro N° 10.1.6 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de madera con uva en pos. B

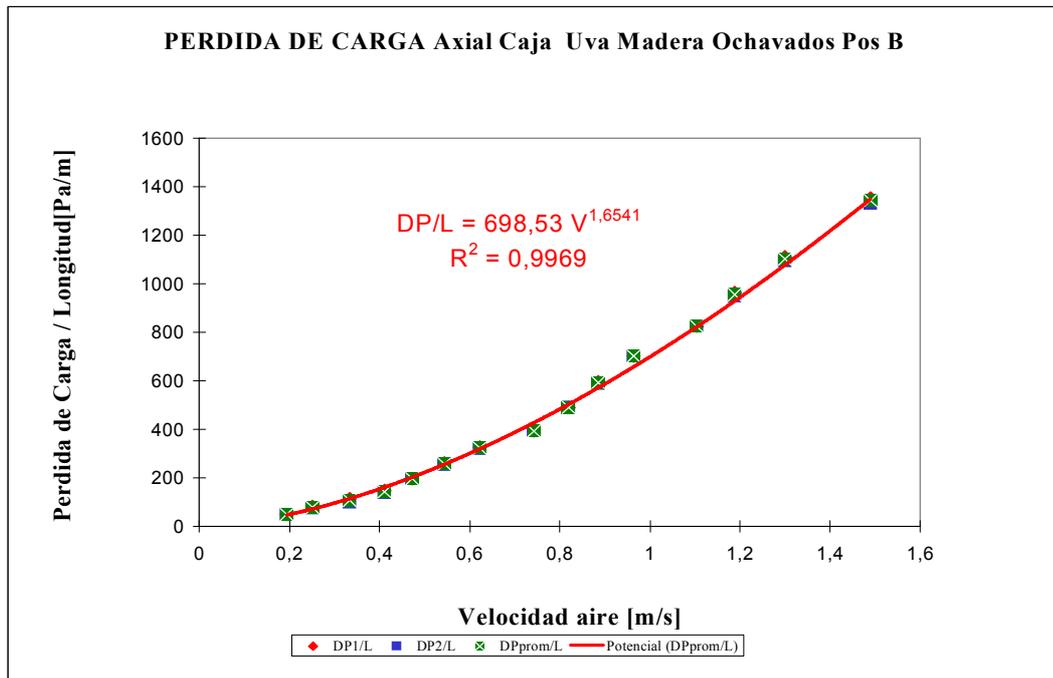


Gráfico N° 10.1.6 Pérdida de carga para ensayo de caja de madera ochavados con uva en pos. B

### 10.1.1.7 Envase Uva Cartón posición A cargado. (UvacarpA)

El envase de cartón con uvas fue probado, en posición A, en un rango de velocidad que va desde 0,16 [m/s] hasta 1,27[m/s], tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 20,0 [Pa/m] hasta 1335,0 [Pa/m]. El largo del lecho d envases es igual a 1 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.7. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

Se observa en el gráfico que los puntos que representan a DP1, DP2 y Dpprom, presentan claramente dos pendientes, a pesar de esto el análisis se realizó considerando todos los datos obtenidos para Dpprom como una única curva.

De la curva de correlación que se obtuvo, es posible inferir que la caída de presión se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.7 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de un  $\pm 12,71\%$ . La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente. Los puntos que forman las curvas DP1, DP2 y Dpprom presentan un quiebre, por lo cual cambia la pendiente de los puntos, es decir tienen comportamientos diferentes a alta y baja velocidad.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.7. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,1236

Vel aire [m/seg]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
1,27	1350,0	1320,0	1335,0	1754,47
1,03	1010,0	1000,0	1005,0	1198,57
0,83	720,0	750,0	735,0	788,32
0,52	480,0	480,0	480,0	326,17
0,39	310,0	280,0	295,0	190,05
0,31	180,0	135,0	157,5	125,00
0,16	30,0	10,0	20,0	34,02

Cuadro N° 10.1.7 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Cartón con uva en pos. A

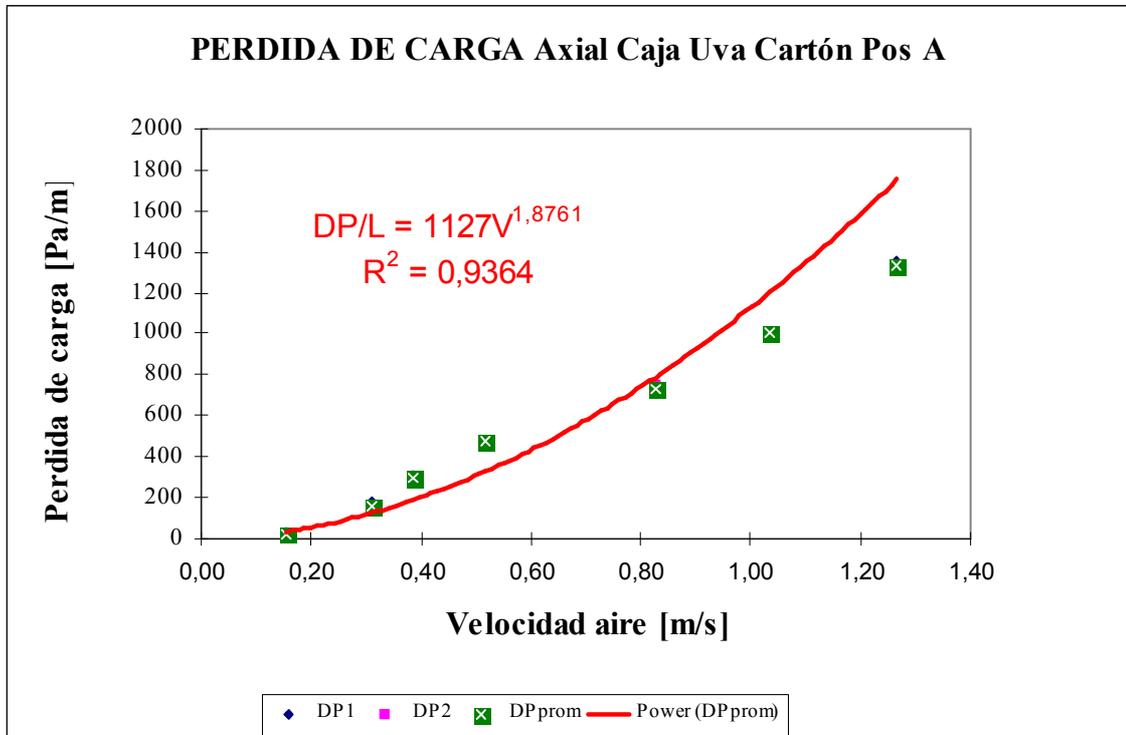


Gráfico 10.1.7 Pérdida de carga para ensayo de caja de Cartón con uva en pos. A

### 10.1.1.8 Envase Uva Cartón posición B. (UvacarpB).

El envase de cartón con uvas fue probado posición B, en un rango de velocidad que vario desde 0,12 [m/s] hasta 0,72 [m/s] tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 174,222 [Pa/m] hasta 2156,44 [Pa/m]. El largo del lecho de envases fue igual a 0,9 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.8. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión del envases de cartón con uvas en posición B, se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.8 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de  $\pm 5,17\%$ . La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco un cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que entre ellas no presentan una histéresis apreciable, lo cual se puede deber a que no hubo ningún tipo de acomodamiento de la fruta frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.8. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire esta en un régimen de transición, ya que el exponente de la velocidad esta en el rango entre 1 y 2, más exactamente es 1,4085.

Velaire [m/s]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	MODELO [Pa/m]
0,72	2.156,00	2.112,44	2.134,22	2.006,65
0,66	1.872,89	1.851,11	1.862,00	1.782,53
0,57	1.655,11	1.633,33	1.644,22	1.435,95
0,52	1.459,11	1.459,11	1.459,11	1.268,85
0,53	1.274,00	1.263,11	1.268,56	1.291,08
0,48	1.088,89	1.088,89	1.088,89	1.124,99
0,46	936,44	936,44	936,44	1.073,94
0,41	794,89	773,11	784,00	916,94
0,32	653,33	642,44	647,89	640,36
0,29	533,56	522,67	528,11	547,87
0,26	435,56	413,78	424,67	466,33
0,21	348,44	326,67	337,56	363,80
0,17	261,33	239,56	250,44	257,83
0,12	196,00	174,22	185,11	153,60

Cuadro N° 10.1.8 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Cartón con uva en pos. B

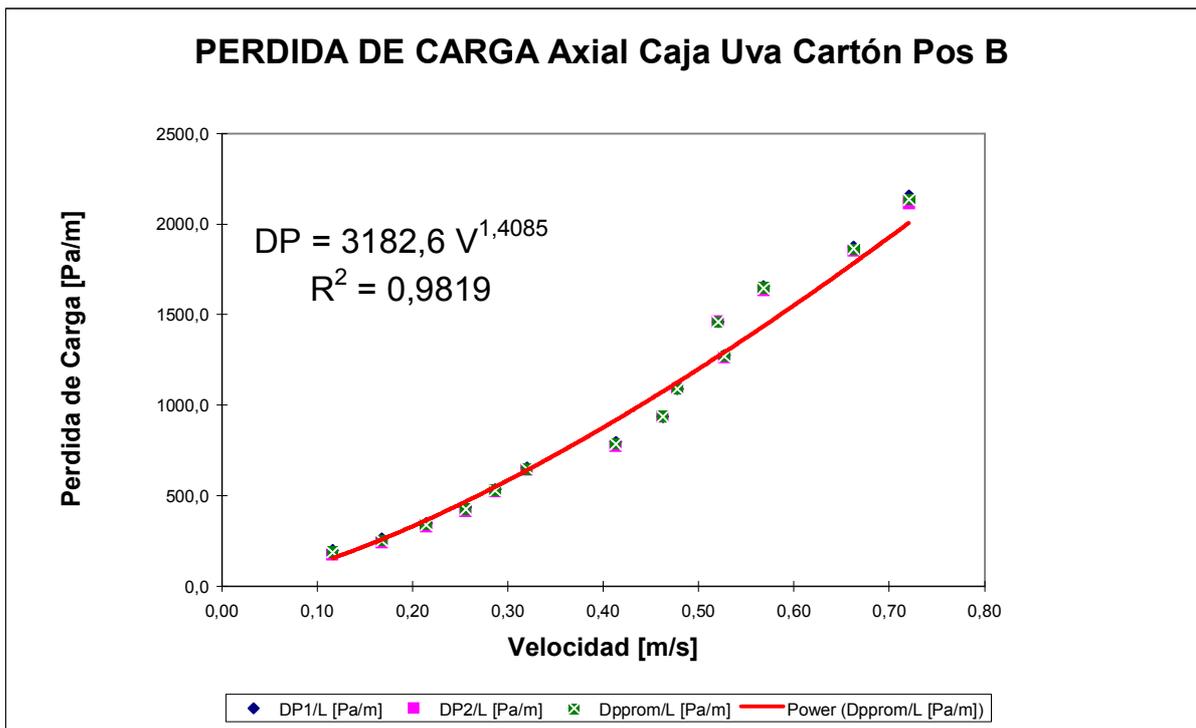


Gráfico 10.1.8 Pérdida de carga para ensayo de caja de Cartón con uva en pos. B

## **10.1.2 Ensayos de Caída de Presión en envases de Kiwi.**

### **10.1.2.1 Envase Kiwi Madera Esquinero posición B vacío. (Vkiwimeb)**

El envase de madera esquinero utilizado para empacar kiwis fue probado, en posición B, en un rango de velocidad que vario desde 0,86 [m/s] hasta 3,155 [m/s], tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 43,56 [Pa/m] hasta 1284,89 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 0,9 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.9. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación obtenida, es posible inferir que la caída de presión del envase de madera esquinero en posición B vacío se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.9 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +6,36 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente, como así tampoco una histéresis apreciable. Los puntos DP1, DP2 y DPProm no presentan un quiebre. De la observación de la curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que entre ellas se presenta histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.9. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3877

Vel. Aire [m/s]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/M]
3,16	1284,89	1263,11	1274,00	1165,14
3,22	1208,67	1176,00	1192,33	1223,27
2,94	1056,22	1045,33	1050,78	980,45
2,81	914,67	892,89	903,78	883,67
2,68	794,89	751,33	773,11	785,67
2,51	696,89	631,56	664,22	671,66
2,40	588,00	522,67	555,33	603,37
1,95	479,11	381,11	430,11	369,34
1,96	392,00	326,67	359,33	371,61
1,72	315,78	239,56	277,67	271,81
1,71	250,44	196,00	223,22	269,92
1,48	196,00	130,67	163,33	189,64
1,24	152,44	87,11	119,78	125,31
1,02	119,78	65,33	92,56	77,69
0,90	87,11	54,44	70,78	57,53
0,86	43,56	43,56	43,56	52,30

Cuadro N° 10.1.9 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Madera Esquinero vacía en pos. B

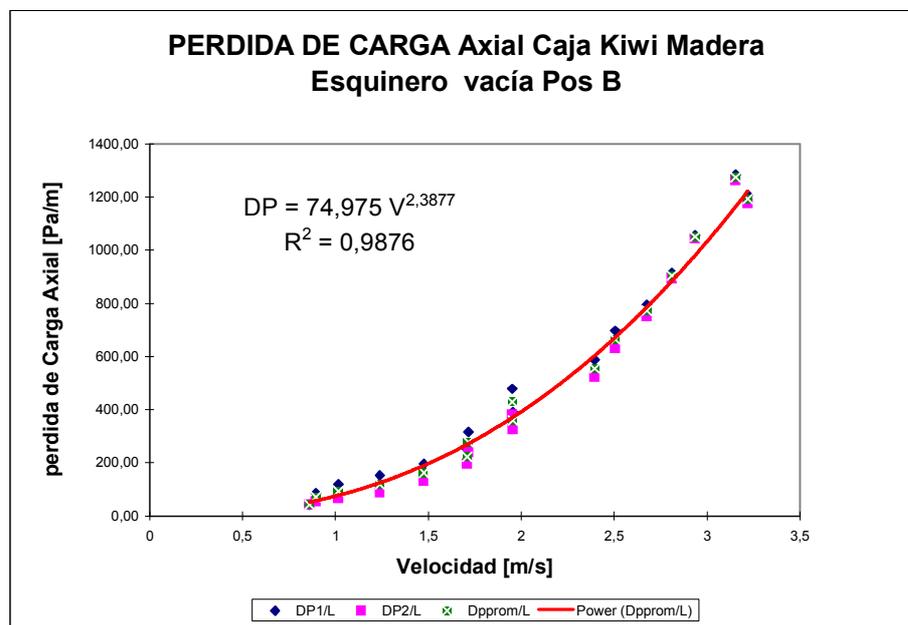


Gráfico 10.1.9 Pérdida de carga para ensayo de caja de Madera Esquinero Vacía en pos. B

### 10.1.2.2 Envase Kiwi Madera Esquinero posición A vacío. (Vkiwimea)

El envase de madera esquinero, usado para empacar kivilis, fue probado en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,93 [m/s] hasta 4,375[m/s], tanto en subida como en bajada. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 39,2[Pa/m] hasta 940,8 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1[m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.10. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación obtenida, es posible inferir que la caída de presión del envase se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.10 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +4,7 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que entre ellas presentan histéresis.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el Cuadro N° 10.1.10. A partir de los parámetros del modelo, se posible inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,1792.

Vel aire [m/s]	DP1 [Pa]	DP2 [Pa]	DP PROM [Pa]	Modelo [Pa]
4,38	940,80	940,80	940,80	954,26
4,07	823,20	862,40	842,80	813,04
4,00	744,80	764,40	754,60	782,84
3,64	646,80	666,40	656,60	639,14
3,36	578,20	568,40	573,30	536,84
3,16	470,40	460,60	465,50	468,02
2,95	401,80	372,40	387,10	402,79
2,58	343,00	274,40	308,70	301,89
2,35	264,60	235,20	249,90	246,31
2,12	215,60	176,40	196,00	195,78
1,92	186,20	137,20	161,70	157,67
1,68	127,40	88,20	107,80	117,77
1,45	107,80	78,40	93,10	85,36
1,31	88,20	19,60	53,90	68,93
1,03	58,80	19,60	39,20	40,38
0,93	39,20	39,20	39,20	32,67

Cuadro N° 10.1.10 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Madera Esquinero Vacía pos. A

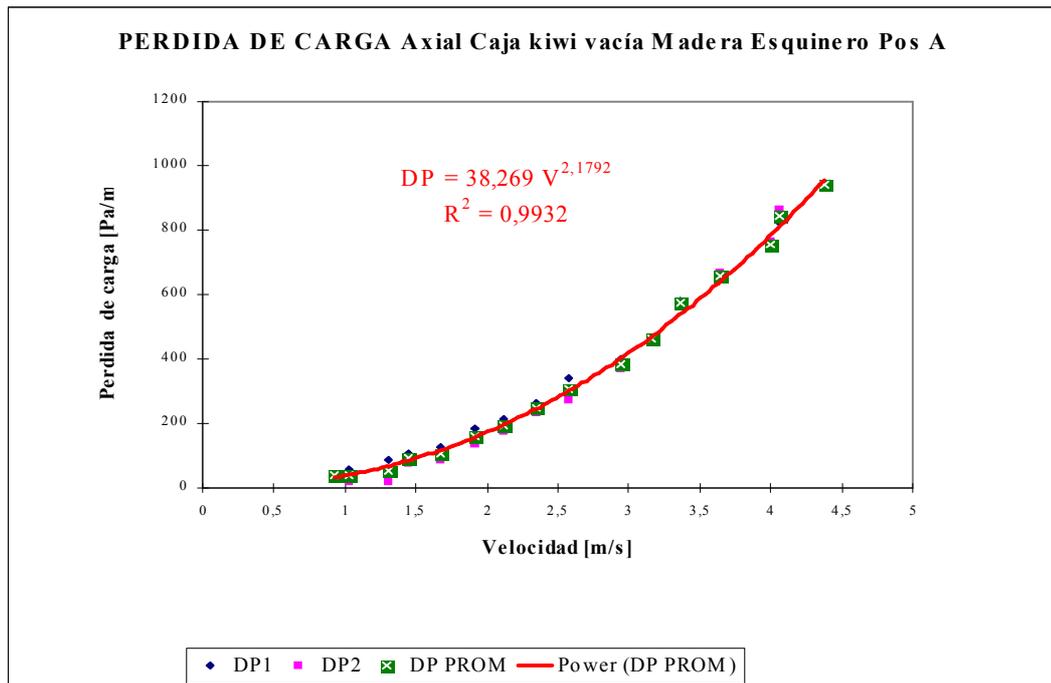


Gráfico 10.1.10 Pérdida de carga para ensayo de caja de Madera Esquinero Vacía en pos. A

### 10.1.2.3 Envase Kiwi Cartón Japón posición B vacío. (VakiwiBj)

El envase de cartón Japón (bandeja), usado para empaçar kiwi, fue probado en posición B, en un rango de velocidad que vario desde 1,06 [m/s] hasta 5,69 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 8,17 [Pa/m] hasta 653,33 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1,2[m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.11. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

Se observa en el gráfico que los puntos que representa a DP1, DP2 y Dpprom, a una velocidad superior a 4,8 [m/s], se dispersan (se alejan) de la curva del modelo de correlación.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión del envase de cartón Japón (bandeja) en posición B vacía se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.11 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +8,09 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que a velocidades inferiores a 2,06[m/s] se presenta una leve histéresis, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.11. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3908.

Vel.aire [m]	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo
5,69	653,33	653,33	653,33	901,13
4,80	571,67	571,67	571,67	598,54
4,41	490,00	498,17	494,08	488,67
3,76	424,67	424,67	424,67	334,68
3,96	351,17	359,33	355,25	378,82
3,54	294,00	294,00	294,00	288,77
3,18	228,67	236,83	232,75	224,22
2,76	179,67	187,83	183,75	159,11
2,52	130,67	147,00	138,83	128,57
2,36	114,33	114,33	114,33	109,35
2,06	73,50	89,83	81,67	78,95
1,69	49,00	65,33	57,17	49,12
1,53	24,50	49,00	36,75	38,69
1,26	16,33	32,67	24,50	24,28
1,06	8,17	16,33	12,25	16,22

Cuadro N° 10.1.11 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Cartón Japón (bandeja)  
Vacía pos. B

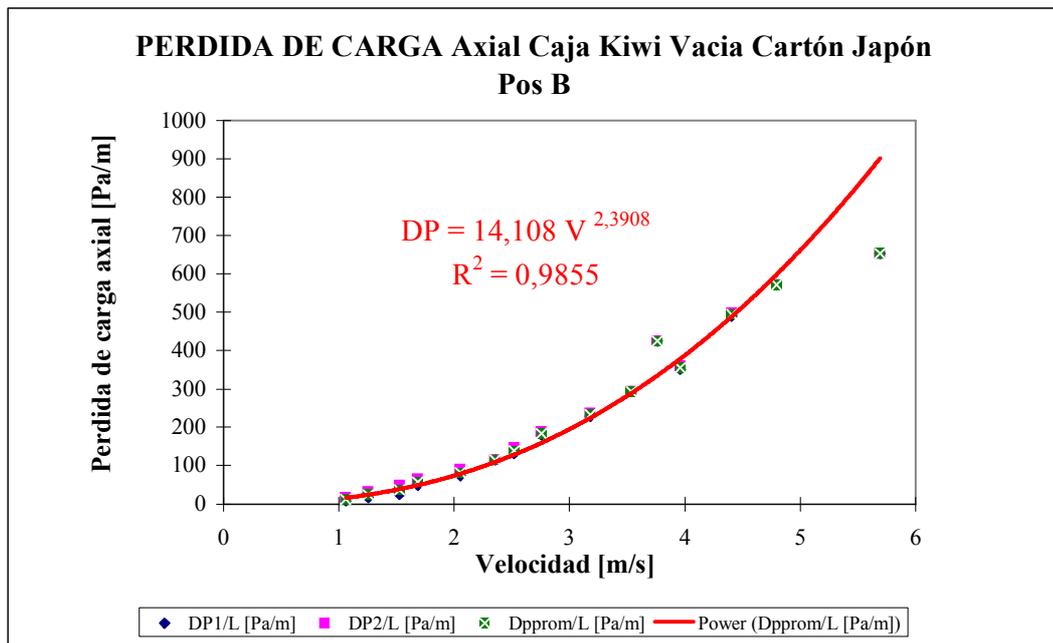


Gráfico 10.1.11 Pérdida de carga para ensayo de caja de Cartón Japón (Bandeja) Vacía en pos. B

#### 10.1.2.4 Envase Kiwi Cartón Japón posición A vacío. (VakiwiAj)

El envase de cartón Japón (bandeja), usado para empaçar kiwi, fue probado en posición A, en un rango de velocidad que vario desde 0,88 [m/s] hasta 4,39 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 19,60 [Pa/m] hasta 1097,60 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1[m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.12. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2. Para la obtención de la curva de correlación se utilizaron todos los puntos de la curva Dpprom.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión del envase de cartón Japón (bandeja) en posición A se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.12 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +7,22 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco un cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que presentan una histéresis muy pequeña, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.12. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3838.

Vel. aire [m/s]	DP1 [Pa/m]	DP2 [Pa/m]	Dpprom [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
4,22	1.097,60	1.078,00	1.087,80	1.189,20
4,39	1.019,20	1.019,20	1.019,20	1.306,60
3,87	901,60	882,00	891,80	967,44
3,70	784,00	764,40	774,20	869,19
3,36	666,40	656,60	661,50	688,31
2,86	568,40	558,60	563,50	470,46
2,92	470,40	460,60	465,50	492,31
2,44	372,40	372,40	372,40	320,61
2,13	303,80	284,20	294,00	233,04
1,98	245,00	215,60	230,30	195,81
1,75	196,00	176,40	186,20	145,88
1,52	137,20	117,60	127,40	104,26
1,43	98,00	78,40	88,20	90,14
1,14	68,60	49,00	58,80	52,52
1,07	39,20	29,40	34,30	45,15
0,88	19,60	19,60	19,60	27,95

Cuadro N° 10.1.12 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Cartón Japón (bandeja) Vacía pos. A

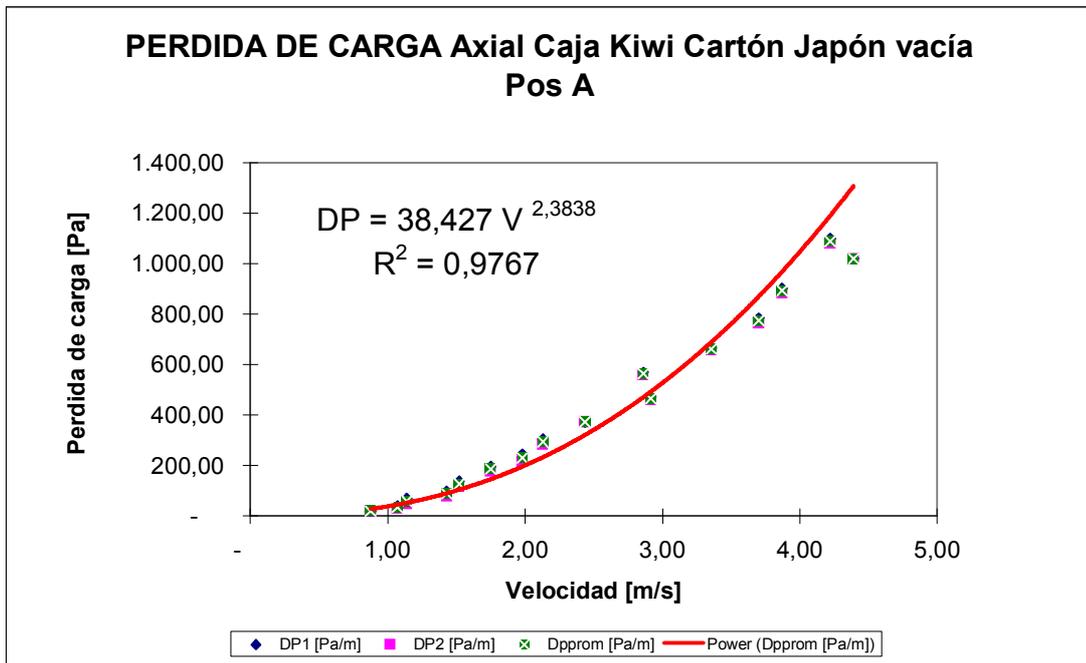


Gráfico 10.1.12 Pérdida de carga para ensayo de caja de Cartón Japón (Bandeja) Vacía en pos. A

#### **10.1.2.5 Envase Kiwi Madera Esquinero posición B cargado. (KiwibreB2).**

El envase de madera esquinero, usado para empaquetar Kiwi, fue probado en posición B, en un rango de velocidad que varió desde 0,47 [m/s] hasta 2,17 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 49,0 [Pa/m] hasta 1306,67 [Pa/m]. El largo del lecho de envases es igual a 1,2 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.13. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión del envase de madera esquinero vacío en posición B, se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.13 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de un  $\pm 2,98\%$ . La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco un cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que presentan una leve histéresis apreciable, lo cual se debería al efecto del acomodamiento de los envases frente al flujo de aire.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.13. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,1589.

Vel aire	DP1/L [Pa/m]	DP2/L [Pa/m]	Dpprom/L [Pa/m]	Modelo [Pa/m]
2,17	1.306,67	1.282,17	1.294,42	1.369,71
2,07	1.208,67	1.176,00	1.192,33	1.243,25
1,89	1.078,00	1.045,33	1.061,67	1.021,56
1,79	947,33	914,67	931,00	902,97
1,62	800,33	784,00	792,17	727,50
1,49	686,00	669,67	677,83	606,95
1,39	571,67	563,50	567,58	526,22
1,35	473,67	457,33	465,50	490,13
1,19	375,67	367,50	371,58	376,28
1,11	310,33	294,00	302,17	323,79
1,01	245,00	236,83	240,92	261,27
0,92	196,00	179,67	187,83	215,89
0,75	147,00	130,67	138,83	138,89
0,63	98,00	98,00	98,00	93,70
0,51	65,33	65,33	65,33	59,14
0,47	49,00	49,00	49,00	50,64

Cuadro N° 10.1.13 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Madera Esquinero Kiwi cargado pos. B

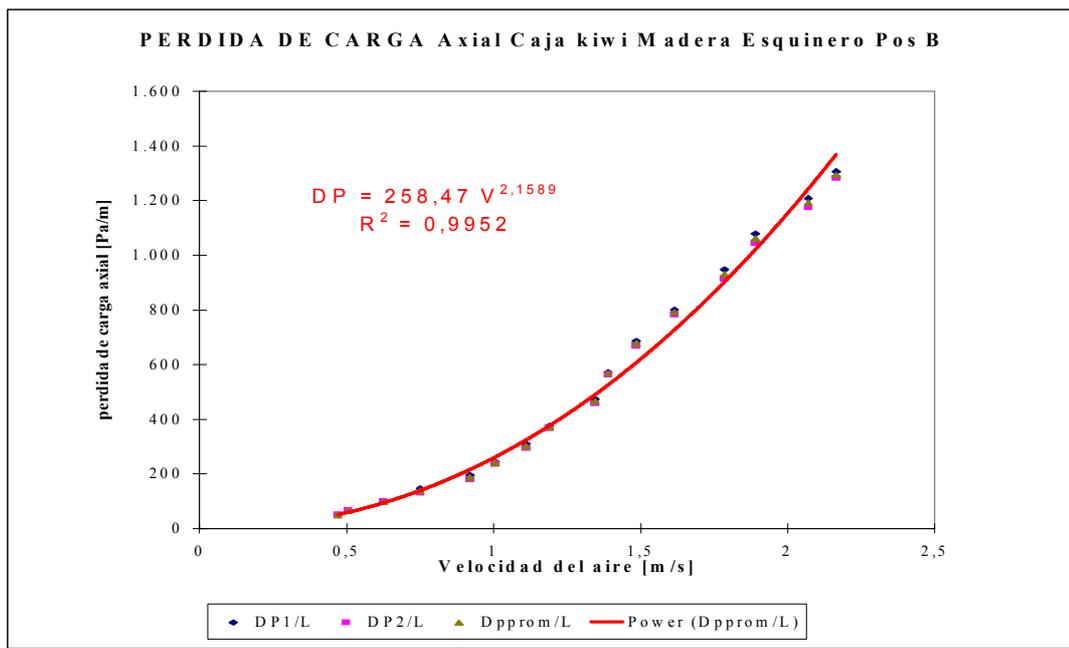


Gráfico 10.1.13 Pérdida de carga para ensayo de caja de Madera Esquinero Kiwi cargado en pos. B

### 10.1.2.6 Envase Kiwi Cartón Japón posición B cargado. (Kiwibpcr).

El envase de Cartón Japón (bandeja), usado para empacar Kiwi destinado a Japón, fue probado cargado con kiwis en posición B, en un rango de velocidad que vario desde 0,48 [m/s] hasta 2,37 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 51,17[Pa/m] hasta 1225,00 [Pa/m]. El largo del lecho de envases era igual a 1,2 [m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.14. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos.

Se observa en el grafico que los puntos que representan a DP1, DP2, y Dpprom, a una velocidad superior a 2,04 [m/s], se alejan de la curva del modelo de correlación.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.14 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +6,02%. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco un cambio en su pendiente. De la observación de las curvas DP1 y DP2 es posible apreciar que prácticamente no presentan histéresis.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.14. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,0151.

Velaire [m/s]	DP1/L[Pa/m]	DP2/L[Pa/m]	Dpprom/L[Pa/m]	Modelo[Pa/m]
2,37	1.225,00	1.208,67	1.216,83	1.102,23
2,26	1.127,00	1.110,67	1.118,83	1.001,36
2,07	1.020,83	1.004,50	1.012,67	838,61
2,04	890,17	882,00	886,08	814,24
1,99	751,33	751,33	751,33	778,36
1,80	653,33	653,33	653,33	632,31
1,69	555,33	539,00	547,17	556,65
1,60	465,50	449,17	457,33	501,52
1,40	375,67	359,33	367,50	380,45
1,35	318,50	302,17	310,33	353,47
1,21	253,17	236,83	245,00	283,24
1,11	204,17	187,83	196,00	240,05
0,96	155,17	138,83	147,00	179,16
0,73	114,33	98,00	106,17	103,17
0,60	81,67	65,33	73,50	69,49
0,48	57,17	57,17	57,17	44,32

Cuadro N° 10.1.14 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja de Cartón Japón (bandeja) con Kiwi pos. B

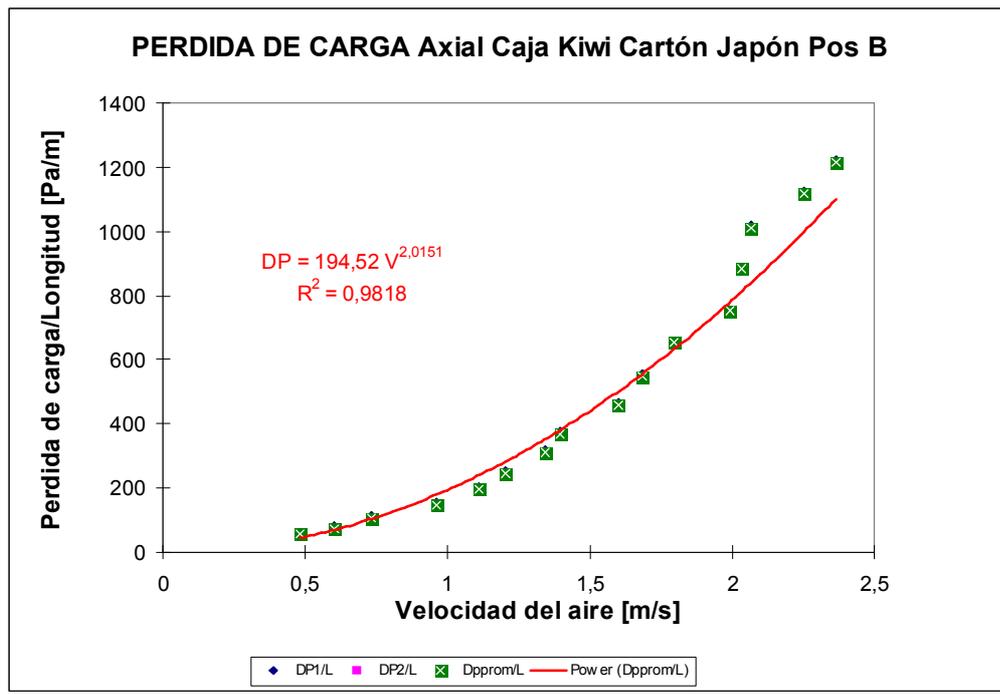


Gráfico 10.14 Pérdida de carga para ensayo de caja de Cartón Japón (bandeja) con Kiwi en pos. B

### 10.1.2.7 Envase Kiwi Madera Esquinero posición A. (KiwiAre1).

El envase de Madera Esquinero, usado para empacar Kiwi, fue probado en posición A con una carga de Kiwis, en un rango de velocidad que vario desde 0,05[m/s] hasta 1,82[m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 78,4[Pa] hasta 1607,2 [Pa]. Al hacer un análisis de regresión para las curvas de pérdida de carga en el rango señalado, se obtuvo una curva de regresión con un  $R^2$  igual a 0,8045 y un coeficiente para V igual a 0,8942, es decir un coeficiente que representa un régimen laminar.

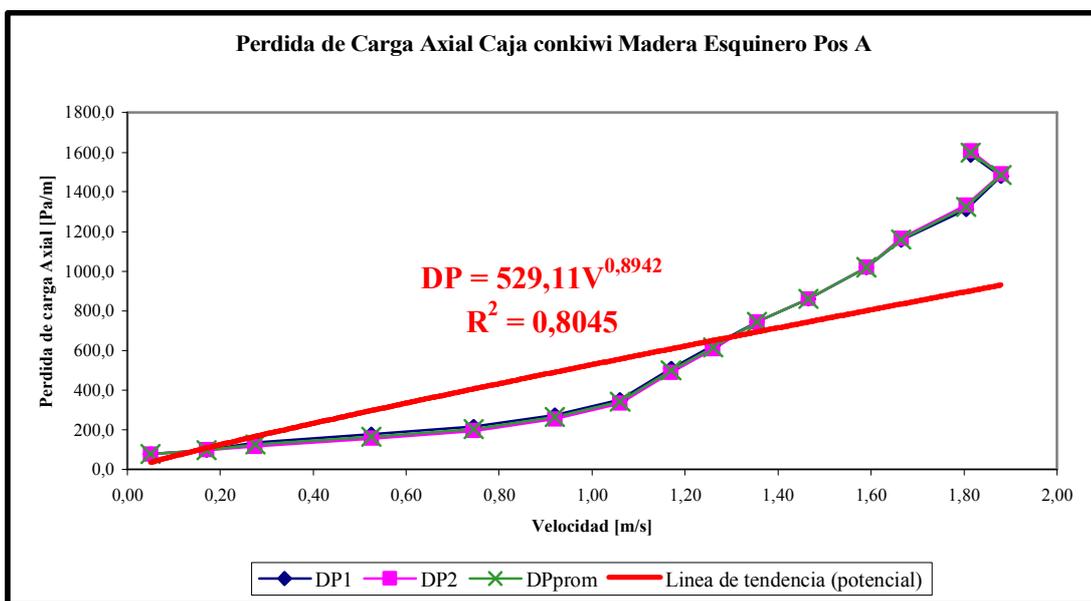


Gráfico N° 10.1.15 Pérdida de carga para ensayo de caja de madera esquinero Kiwi en pos. A.

Al analizar la curva obtenida de los datos experimentales que representan la pérdida de carga del pallet de cajas de Madera Esquinero en posición A cargado con Kiwis, se observa que la curva presenta un fuerte cambio de pendiente, cuando la velocidad del flujo de aire es aproximadamente 1,1[m/s]. Por lo anterior se analizaran los datos obtenidos experimentalmente en dos rangos de velocidad (alta y baja velocidad). El rango de baja velocidad se fijó entre 0,05[m/s] a 1,06[m/s], el rango de alta velocidad se fijó entre 1,17[m/s] hasta 1,82[m/s].

## Baja Velocidad.

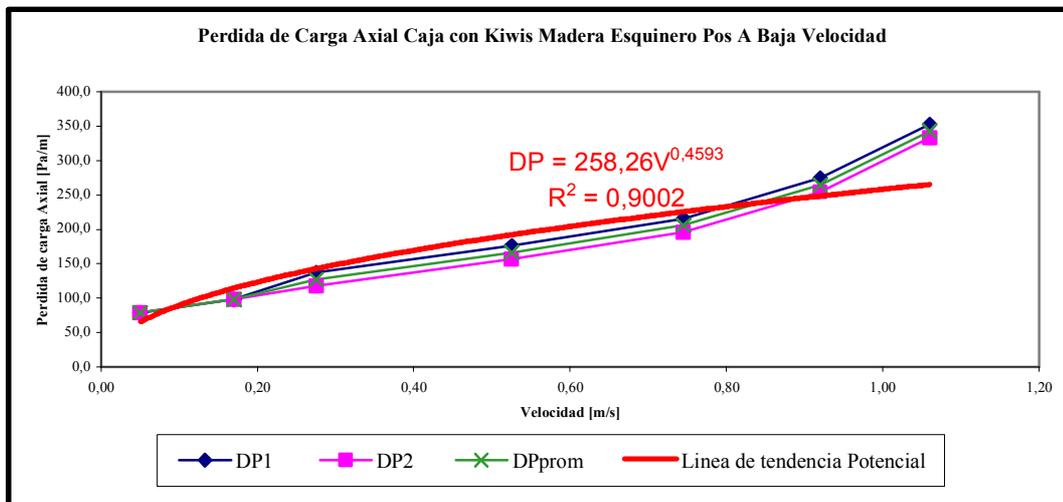


Gráfico N° 10.1.16 Pérdida de carga para ensayo de caja de madera esquinero Kivi en pos A Baja Velocidad.

La curva de correlación (línea de tendencia Potencial) no representa de la mejor forma las curvas de pérdida de carga obtenidas experimentalmente. El  $R^2$  de la curva es igual a 0,9002, el cual es mayor que el obtenido por la regresión de todos los puntos obtenidos experimentalmente, pero es inferior a los obtenidos por todos los otros ensayos.

## Alta velocidad.

El análisis en “alta velocidad” se realizó para el rango de velocidad que varió desde 1,17 [m/s] hasta 1,82 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 490,0 [Pa] hasta 1607,20 [Pa].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.7. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.17 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los

puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +2,49 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambio en su pendiente, como así tampoco una histéresis apreciable.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.15. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,3288.

Vel aire [m/s]	DP1 [Pa]	DP2 [Pa]	Dpprom [Pa]	Modelo [Pa]
1,82	1.587,60	1.607,20	1.597,40	1.424,74
1,88	1.479,80	1.489,60	1.484,70	1.546,40
1,81	1.313,20	1.332,80	1.323,00	1.406,53
1,67	1.156,40	1.166,20	1.161,30	1.165,45
1,59	1.019,20	1.019,20	1.019,20	1.046,83
1,47	862,40	862,40	862,40	865,10
1,36	744,80	744,80	744,80	721,31
1,26	627,20	607,60	617,40	608,99
1,17	509,60	490,00	499,80	512,45

Cuadro N° 10.1.15 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja con Kivi Madera esquinero pos A. en alta velocidad.

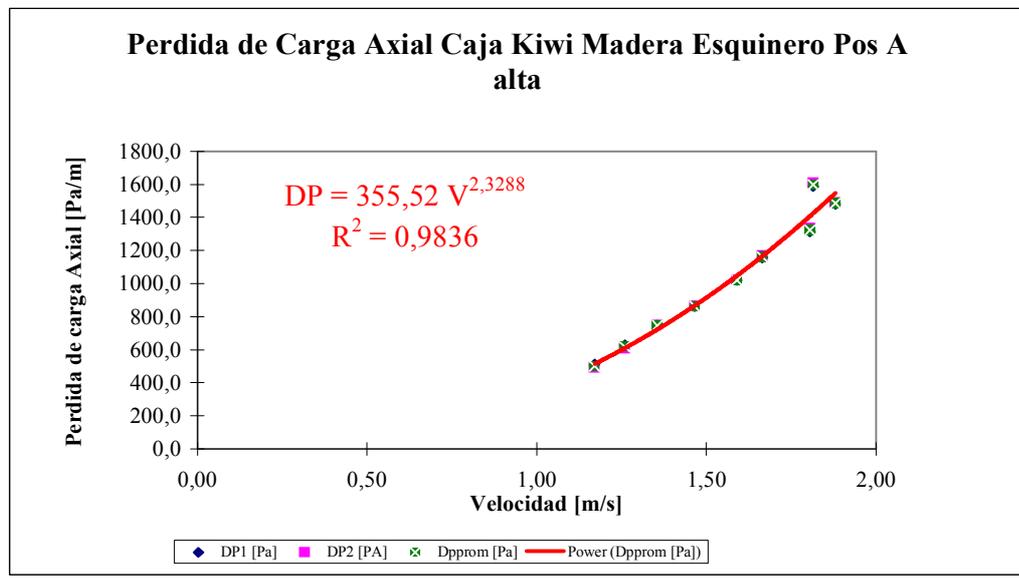


Gráfico 10.1.17 Pérdida de carga para ensayo de caja madera esquinero Kivi en pos A. en alta velocidad.

### 10.1.2.8 Envase Kiwi Cartón Del Curto posición B. (KdcartB).

El envase de Cartón utilizado por la compañía Del Curto, es usado para empacar Kiwi, fue probado en posición B cargado, en un rango de velocidad que vario desde 1,29 [m/s] hasta 1,94 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 490,0 [Pa] hasta 1385,83 [Pa]. El largo del lecho de envases es igual a 1,2 [m]

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.18. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2. Para la obtención de la curva de correlación no se consideraron los puntos obtenidos a velocidades menores a 1,29 [m/s].

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión del envase de cartón utilizado por la empresa Del Curto se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.18 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de +0,64 %. La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco cambios en su pendiente.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.16. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente es 2,5139.

Vel Aire [m/s]	DP1/L[Pa/m]	DP2/L[Pa/m]	Dpprom/L[Pa/m]	Modelo[Pa/m]
1,94	1.385,83	1.306,67	1.346,25	1.347,21
1,85	1.225,00	1.208,67	1.216,83	1.195,19
1,77	1.086,17	1.078,00	1.082,08	1.076,78
1,70	947,33	939,17	943,25	972,91
1,58	816,67	808,50	812,58	802,96
1,49	702,33	694,17	698,25	692,55
1,40	588,00	579,83	583,92	591,83
1,29	490,00	481,83	485,92	481,42

Cuadro N° 10.1.16 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja cartón del Curto con Kivi pos. B en alta velocidad.

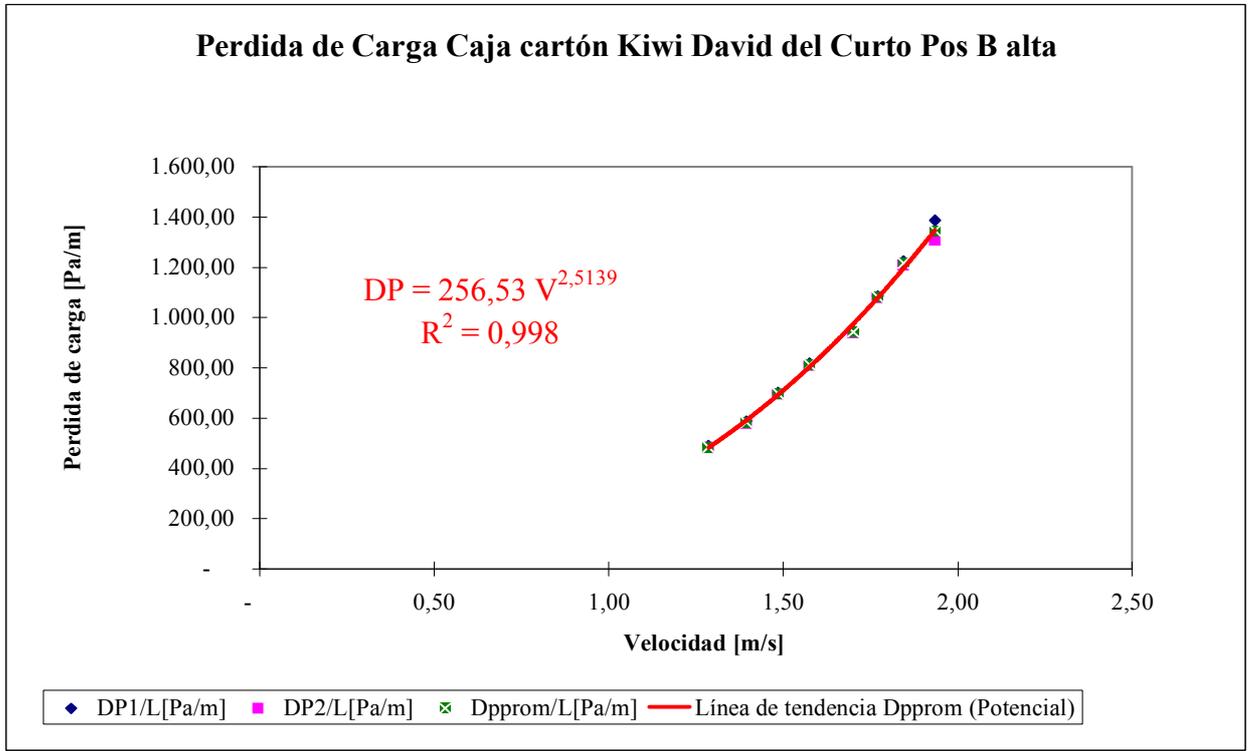


Gráfico N° 10.1.18 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja de cartón del Curto con Kiwi pos. B en alta velocidad.

### 10.1.2.9 Envase Kiwi Cartón Del Curto posición A. (KdcartA).

El envase de Cartón utilizado por la compañía Del Curto, usado para empacar Kiwi, fue probado en posición A cargado, en un rango de velocidad que vario desde 0,10 [m/s] hasta 1,19 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga en el rango de 49,0 [Pa] hasta 1241,33 [Pa]. Al hacer un análisis de regresión para las curvas de pérdida de carga en el rango señalado, se obtuvo una curva de regresión con un  $R^2$  igual a 0,9281 y un coeficiente para la Velocidad igual a 1,2009, es decir un coeficiente que representa un régimen laminar.

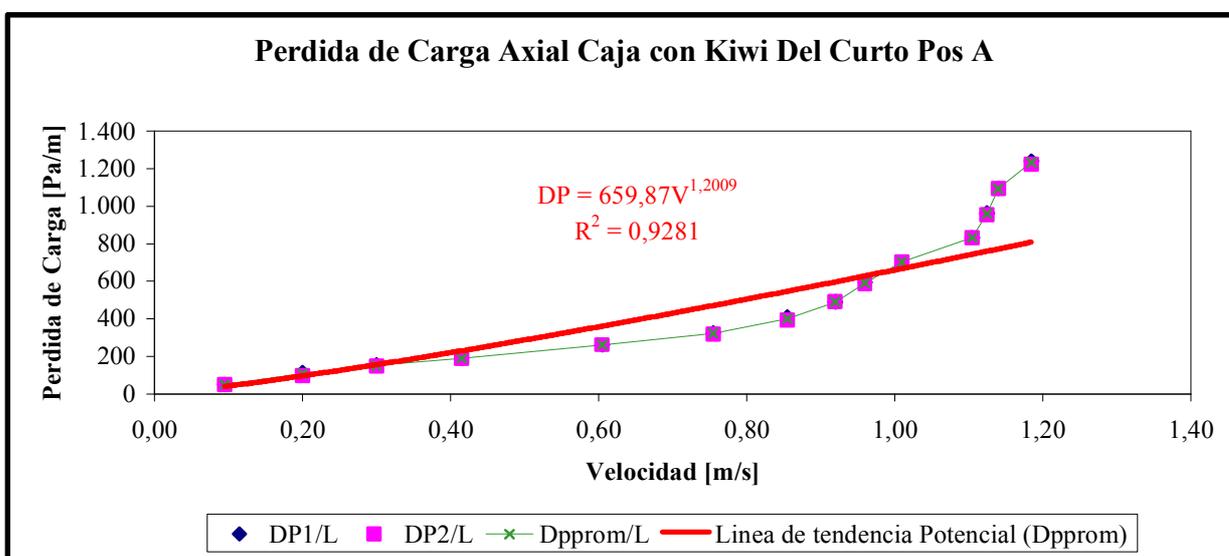


Gráfico N° 10.1.19 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja cartón del Curto con Kiwi pos. A.

Al analizar la curva obtenida de los datos experimentales que representan la pérdida de carga del pallet de cajas de cartón utilizada por la empresa Del Curto en posición A cargado con Kivis, se observa que la curva presenta un cambio de pendiente, cuando la velocidad del aire es aproximadamente 0,8[m/s]. Por lo anterior se analizaran los datos obtenidos experimentalmente en dos rangos de velocidad (alta y baja velocidad). El rango de baja velocidad se fijó entre 0,1[m/s] a 0,8[m/s], el rango de alta velocidad se fijó entre 0,86[m/s] hasta 1,19[m/s].

## Baja Velocidad

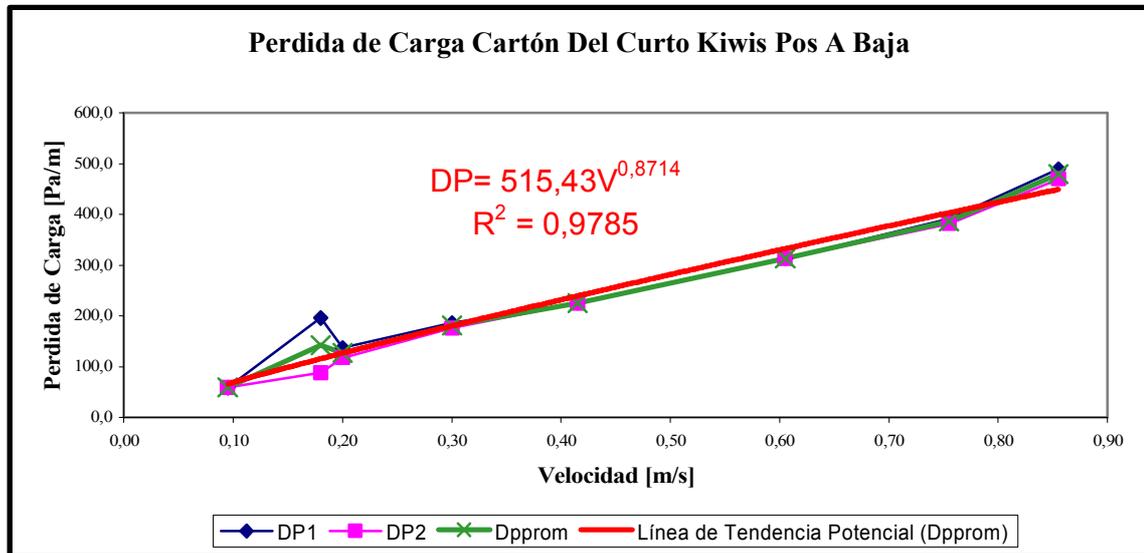


Gráfico N° 10.1.20 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja cartón del Curto con Kiwi pos. A. en baja velocidad.

La curva de correlación (línea de tendencia Potencial) no representa de la mejor forma las curvas de pérdida de carga obtenidas experimentalmente. El  $R^2$  de la curva es igual a 0,9785 el cual es bastante bueno. Los parámetros obtenidos para la regresión ( $y=aV^x$ )  $x=0,8714$ , nos indican que el flujo de aire a baja velocidad se comporta en forma laminar, lo cual no es lo más adecuado para lograr un mejor enfriamiento de la fruta.

## Alta Velocidad.

El análisis en “alta velocidad” se realizó para el rango de velocidad que varió desde 0,86 [m/s] hasta 1,19 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 392,0 [Pa/m] hasta 1241,33 [Pa/m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.21. Del gráfico es posible apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2.

De la curva de correlación obtenida es posible inferir que la caída de presión se ajusta a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.21 corresponde a la correlación de los puntos de  $Dpprom$ . La dispersión promedio de los puntos de  $Dpprom$  con respecto al modelo es de  $\pm 2,26\%$ . La curva del modelo de correlación, no presenta quiebres, ni tampoco en su pendiente, como así tampoco una histéresis apreciable.

Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.17. A partir de los parámetros del modelo, se puede inferir que el flujo de aire es extremadamente turbulento, ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la tercera potencia, más exactamente es 3,3568.

Vel Aire[m/s]	DP1/L[Pa/m]	DP2/L[Pa/m]	Dpprom/L[Pa/m]	Modelo[Pa/m]
1,19	1.241,33	1.225,00	1.233,17	1.175,95
1,14	1.094,33	1.094,33	1.094,33	1.032,64
1,13	963,67	955,50	959,58	987,74
1,11	833,00	833,00	833,00	930,02
1,01	702,33	702,33	702,33	687,76
0,96	596,17	588,00	592,08	579,99
0,92	490,00	490,00	490,00	502,78
0,86	408,33	392,00	400,17	393,15

Cuadro N° 10.1.17 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de caja cartón del Curto con Kiwi pos A. en alta velocidad.

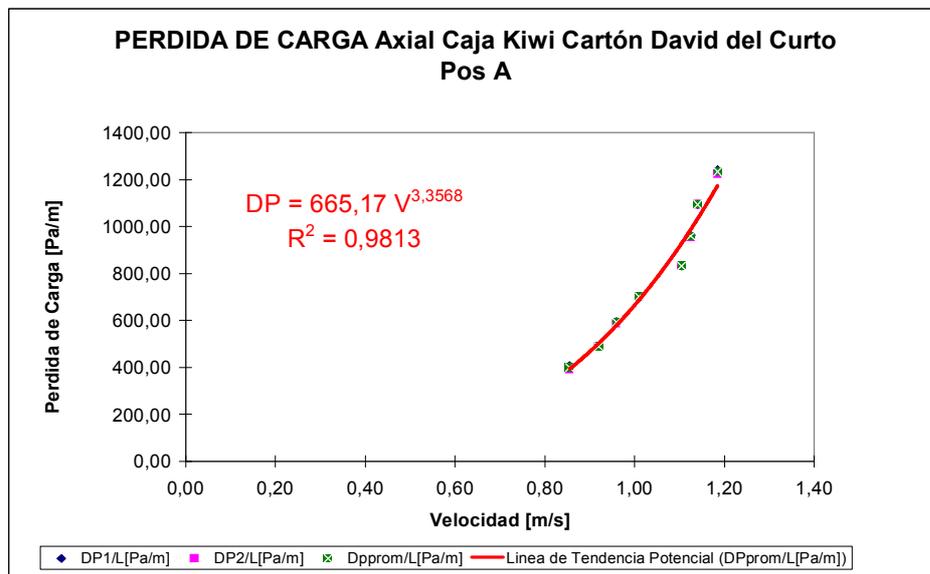


Gráfico N° 10.1.21 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de caja cartón del Curto con Kiwi pos. A. en alta velocidad.

### 10.1.2.10 Envase Kiwi Cartón Japón posición A. (Kiwiapcr).

El envase de Cartón, usado para empacar Kiwi destinado a Japón, fue probado en posición A, en un rango de velocidad que va desde 0,84 [m/s] hasta 1,14 [m/s]. Para el rango de velocidad indicado se obtuvieron pérdidas de carga que están en el rango de 705,6 [Pa/m] hasta 1568 [Pa/m].

La curva de pérdida de carga, se muestra en el gráfico N° 10.1.22 En el gráfico se pueden apreciar los puntos correspondientes a las curvas DP1, DP2, Dpprom y la curva que representa la correlación a la cual se ajustan los puntos. Los puntos DP1 y DP2 fueron obtenidos experimentalmente, los puntos Dpprom corresponden al promedio de DP1 y DP2.

La caída de presión se ajustan a un modelo potencial de Ramsin de la forma  $DP/L = aV^b$ . El modelo que se muestra en el gráfico N° 10.1.22 corresponde a la correlación de los puntos de Dpprom. La dispersión promedio de los puntos de Dpprom con respecto al modelo es de un 7,09%. Se utilizaron los datos obtenidos superiores 0,84 [m/s], dado que la curva presentaba un quiebre en la pendiente y el rango inferior a 0,84 [m/s] no permitía caracterizar apropiadamente el envase. Las curvas no presentan una histéresis apreciable. En el rango de velocidad mostrado el flujo de aire es turbulento ya que el exponente de la velocidad es proporcional a la segunda potencia, más exactamente 2,4407. Los puntos DP1, DP2 y DPProm presentan un quiebre. Los parámetros del modelo de correlación se presentan en el cuadro N° 10.1.18.

Vel aire [m/s]	DP1 [Pa/m]	DP2 [Pa/m]	Modelo [Pa/m]	Dpprom [Pa/m]
1,14	1548,40	1587,60	1560,25	1568,00
1,11	1450,40	1450,40	1461,93	1450,40
1,07	1372,00	1293,60	1336,67	1332,80
0,98	1117,20	1127,00	1078,68	1122,10
0,96	980,00	980,00	1025,74	980,00
0,86	833,00	833,00	784,22	833,00
0,84	705,60	705,60	740,45	705,60

Cuadro N° 10.1.18 Pérdidas de carga obtenidas en ensayo de Bandeja cartón (Japón) con Kiwi pos A.

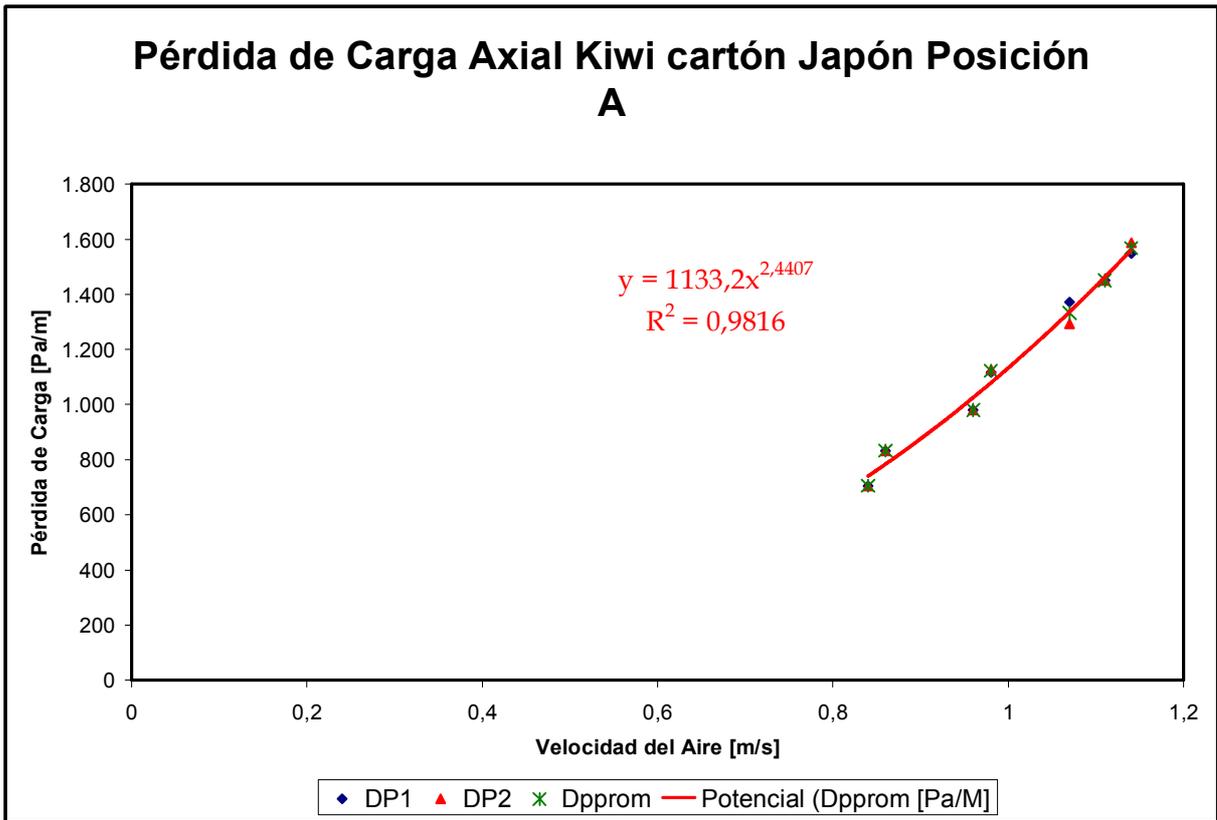


Gráfico N° 10.1.22 Pérdidas de Carga obtenidas en ensayo de Bandeja cartón (Japón) con Kiwi pos A.

## 10.2 CORRELACIONES DP-V.

### 10.2.1 Correlaciones del modelo de Ramsin $DP = AV^B$

En los ensayos realizados se obtuvieron correlaciones para la caída de presión en función de la velocidad “DP-V” para 5 tipos de envases;

- Caja de madera ochavados (con uva y vacíos, en posición A y B);
- Caja de cartón para uvas (con uva y vacía, en posición A y B);
- Caja de madera esquinero (con kiwis y vacía, posición A y B);
- Caja de cartón para Kiwis (bandeja usada para el envío a Japón, con kiwis y vacía, en posición A y B);
- Caja de cartón 8,2 Kg. (ensayada sólo con Kiwis en posición A y B).

Las correlaciones obtenidas en los ensayos se ajustan a un modelo potencial de Ramsin  $DP = AV^B$ , las cuales se muestran en los siguientes cuadros y gráficos. El análisis y comparaciones de las correlaciones se presentan en las conclusiones.

En el modelo de Ramsin  $DP = AV^B$  se espera que el exponente B no sobrepase el valor 2, en la mayoría de los casos el exponente es mayor que 2. Esto puede deberse a errores experimentales que se reflejan en la variación de los exponentes. La precisión con la cual la Ecuación de Correlación predice los datos experimentales varía entre 0,5% y 12%. Esta es la principal dificultad para considerar estas curvas como comparables. Las principales fuentes de error están en el sellado de los contornos del pallet, lo cual influye en la precisión global de la correlación y en el rango de variables (el cual es determinado por la potencia del ventilador). En aquellos ensayos en los cuales el rango de velocidad fue estrecho, esto hizo difícil obtener una buena correlación, debido a que el tamaño de la muestra de datos fue pequeño. En el caso, en el cual se obtuvo un exponente superior a 3, el ensayo se desarrolló en un rango muy estrecho de velocidades como para obtener un exponente confiable.

A continuación se presentan las correlaciones obtenidas. En primer lugar se presentan las correlaciones obtenidas en envases de madera ochavados utilizados para el empaque de uvas.

### 10.2.2 Correlaciones obtenidas en Envases de Madera Ochavados vacíos y con uva.

El cuadro 10.2.1 muestra los parámetros obtenidos para las correlaciones de los resultados empíricos. Las correlaciones obtenidas de los ensayos son de la forma  $DP = a V^b$ .

Código	Ensayo	Constante	Exponente	R <sup>2</sup>
VAUMOA	Uva Madera Ochavados Pos A Vacío	31,45	2,39	0,970
VAUMOB	Uva Madera Ochavados Pos B Vacío	57,28	2,31	0,993
UVMADPA1	Uva Madera Ochavados Pos A Cargado	1.648,50	2,12	0,998
UVMADPB	Uva Madera Ochavados Pos B Cargado	698,53	1,65	0,997

Cuadro N° 10.2.1 Ensayos en envases de Madera Ochavados.

La comparación de las características DP-V entre los envases de madera ochavados vacíos y con fruta, muestra que en el caso de los envases con fruta se produce una leve reducción del exponente y un gran aumento de la constante (o prefactor), este comportamiento es típico de una pérdida de carga singular. Esto es posible explicarlo en el hecho que los envases con fruta generan una mayor pérdida de carga que los envases vacíos. Esto se aprecia claramente en el siguiente gráfico.

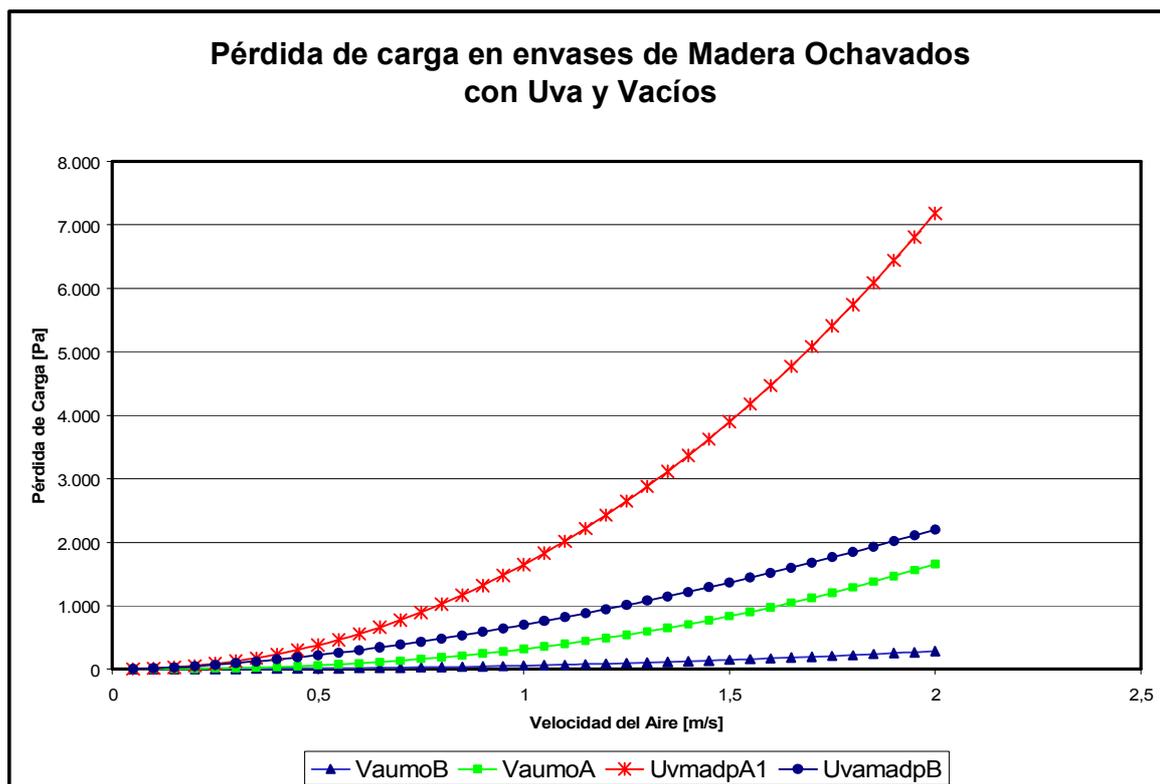


Gráfico N° 10.2.1 Pérdida de carga en envases de Madera Ochavados con uva y vacíos

### 10.2.3 Correlaciones obtenidas en Envases de Cartón vacíos y con uva.

El cuadro 10.2.2 muestra los parámetros obtenidos para las correlaciones de los resultados empíricos. Las correlaciones obtenidas de los ensayos son de la forma  $DP = a V^b$ .

Código	Ensayo	Constante	Exponente	R <sup>2</sup>
VAUVACPA	Uva Cartón Pos A Vacío	892,75	2,44	0,967
VAUVACPB	Uva Cartón Pos B Vacío	287,05	2,18	0,978
UVACARPA	Uva Cartón Pos A Cargado	1.127,00	1,88	0,936
UVACARPB	Uva Cartón Pos B Cargado	3.182,60	1,41	0,982

Cuadro N° 10.2.2 Ensayos en caja de cartón para uvas.

La comparación de las características DP-V entre los envases de Cartón (utilizados para empacar uva) vacíos y con fruta, muestra que en el caso de los envases con fruta se produce una leve reducción del exponente y un gran aumento de la constante (o prefactor). Esto es posible explicarlo en el hecho que los envases con fruta generan una mayor pérdida de carga que los envases vacíos. Esto se aprecia claramente en el siguiente grafico.

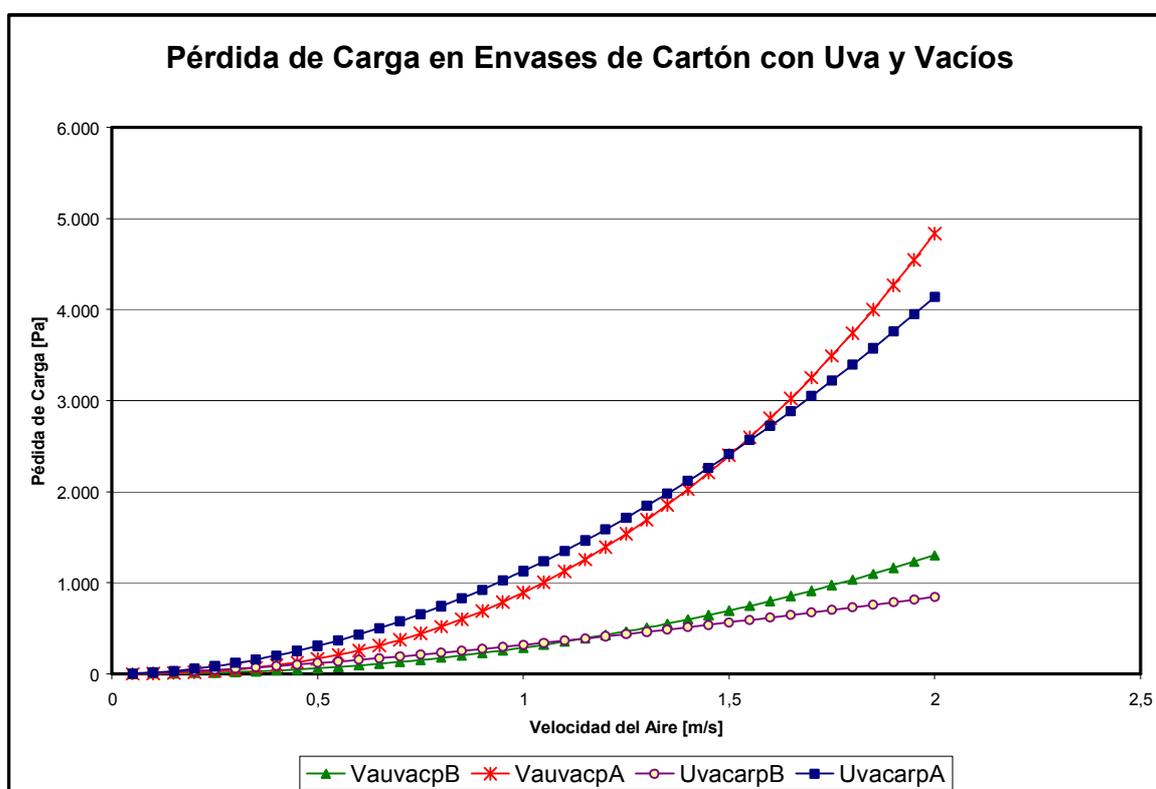


Gráfico N° 10.2.2 Pérdida de carga en envases de Cartón para uva con uva y vacíos.

#### 10.2.4 Correlaciones Obtenidas en Envases de Madera Esquinero vacíos y con Kiwis.

El cuadro 10.2.3 muestra los parámetros obtenidos para las correlaciones de los resultados empíricos. Las correlaciones obtenidas de los ensayos son de la forma  $DP = a V^b$ .

Código	Ensayo	Constante	Exponente	R <sup>2</sup>
VKIWIMEB	Kiwi Madera Esquinero Pos B Vacío	74,98	2,39	0,988
VKIWIMEA	Kiwi Madera Esquinero Pos A Vacío	38,27	2,18	0,993
KIWIBREB2	Kiwi Madera Esquinero Pos B Cargado	258,47	2,16	0,995
KIWIARE1	Kiwi Madera Esquinero Pos A Cargado	355,52	2,33	0,984

Cuadro N° 10.2.3 Ensayos en caja Madera esquinero Vacíos y con Kiwis

La comparación de las características DP-V entre los envases de madera esquinero (utilizados para empacar kiwis) vacíos y con fruta, muestra que en el caso de los envases con fruta en posición B se produce una reducción del exponente y un gran aumento de la constante (o prefactor). Para los ensayos en posición A, en el ensayo con fruta se produce un aumento del exponente y también un aumento de la constante. Esto es posible explicarlo en el hecho que los envases con fruta generan una mayor pérdida de carga que los envases vacíos. Esto se aprecia claramente en el siguiente gráfico.

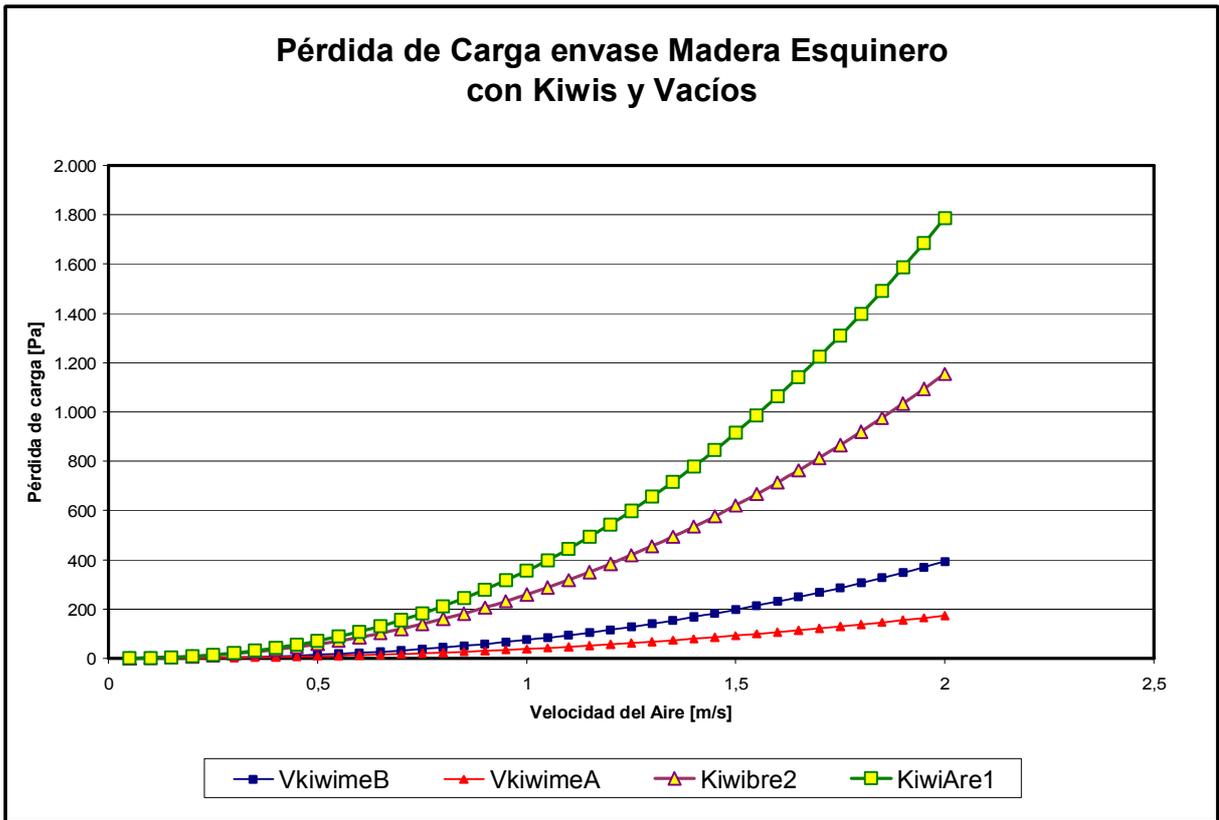


Gráfico N° 10.2.3 Pérdida de carga en envases Madera Esquinero con fruta y vacíos.

### 10.2.5 Correlaciones Obtenidas en Envases de Cartón vacíos y con Kiwis

El cuadro 10.2.4 muestra los parámetros obtenidos para las correlaciones de los resultados empíricos. Las correlaciones obtenidas de los ensayos son de la forma  $DP = a V^b$ .

Código	Ensayo	Constante	Exponente	R <sup>2</sup>
KIWIAPCR	Kiwi cartón Japón Pos A Cargado	1.133,20	2,44	0,982
VAKIWIBJ	Kiwi Cartón Japón Pos B Vacío	14,11	2,39	0,986
VAKIWIAJ	Kiwi Cartón Japón Pos A Vacío	38,43	2,38	0,977
KIWIBPCR	Kiwi Cartón Japón Pos B Cargado	194,52	2,02	0,982
KDCARTB	Kiwi Carton Del Curto Pos B	256,53	2,51	0,998
KDCARTA	Kiwi Cartón Del Curto Pos A	665,17	3,36	0,981

Cuadro N° 10.2.4 Ensayos en caja cartón Japón y del Curto, vacíos y con Kiwis.

La comparación de las características DP-V entre los envases de cartón, bandeja Japón (utilizados para empacar kiwis) vacíos y con fruta, muestra que en el caso de los envases con fruta en posición A se produce un aumento significativo de la constante y el exponente se mantiene relativamente constante. En el caso de los envases en posición B el prefactor o constante aumenta y el exponente se reduce. Esto es posible explicarlo en el hecho que los envases con fruta generan una mayor pérdida de carga que los envases vacíos.

Los envases del Curto fueron utilizados solamente con fruta. Es posible apreciar que el envase en posición A presenta una mayor pérdida de carga que en posición B. En el siguiente gráfico es posible apreciar lo anteriormente señalado.

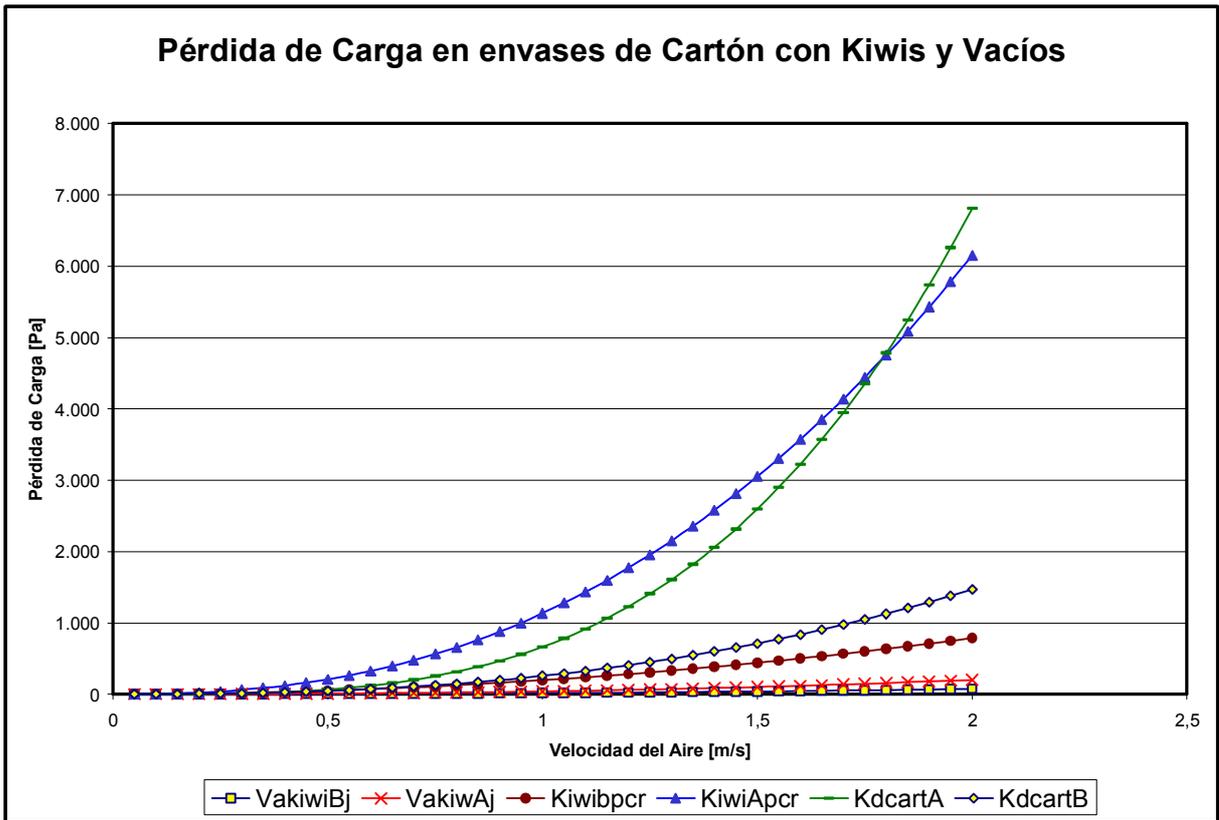


Gráfico N° 10.2.4 Pérdida de carga en envases cartón (Bandeja Japón y del Curto) con Kiwis y vacíos.

## 11 ANALISIS DE RESULTADOS.

### 11.1 EFECTOS DE ENVASES Y EMPAQUES.

Como se vio en el punto 10.2 para cada uno de los envases utilizados se obtuvo una correlación DP-V. Estas correlaciones permiten inferir cuales cajas se comportan mejor frente a un flujo de aire, i.e. cual es el envase menos resistivo frente a un flujo de aire a una determinada velocidad de aproximación. La resistividad del envase al flujo de aire depende de cómo el envase enfrenta al flujo de aire, i.e., en que posición, flujo longitudinal (posición A), flujo transversal (posición B).

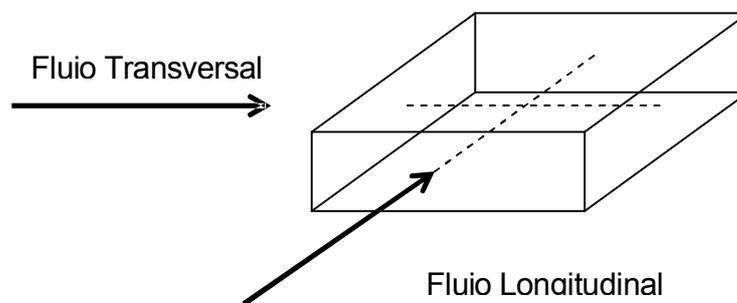


Fig. 11.1

La mayor o menor resistencia de un envase frente a un flujo de aire (i.e. una mayor o menor pérdida de carga) depende de las características intrínsecas del par envase-producto debido a las específicas singularidades a las que el flujo es sometido. Las características del par envase-producto dependen de la geometría del envase, del empaque utilizado y de la geometría de la fruta; formas regulares Naranjas, manzanas, carozos, kiwis; formas irregulares uvas, cerezas, frutillas.

La importancia de poder determinar el efecto de los envases y empaques utilizados en el embalaje de la fruta de exportación, permite determinar cuál de estos pares envase-producto permite un mejor y más rápido enfriamiento de la fruta embalada.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los pares envase-producto utilizados.

### 11.1.1 Par Madera Ochavado – UVA.

Del gráfico se aprecia que el envase de madera ochavado vacío en posición A (flujo longitudinal) tiene una pérdida de carga ligeramente mayor que en posición B (flujo transversal). En el caso de los envases con producto y embalaje completo, la caja en posición B (Flujo transversal) presenta una menor resistencia al flujo de aire, i.e. tiene una pérdida de carga menor. De lo anterior se puede inferir que el enfriamiento más eficiente se obtendría al colocar los pallets de uva en posición B (flujo transversal).

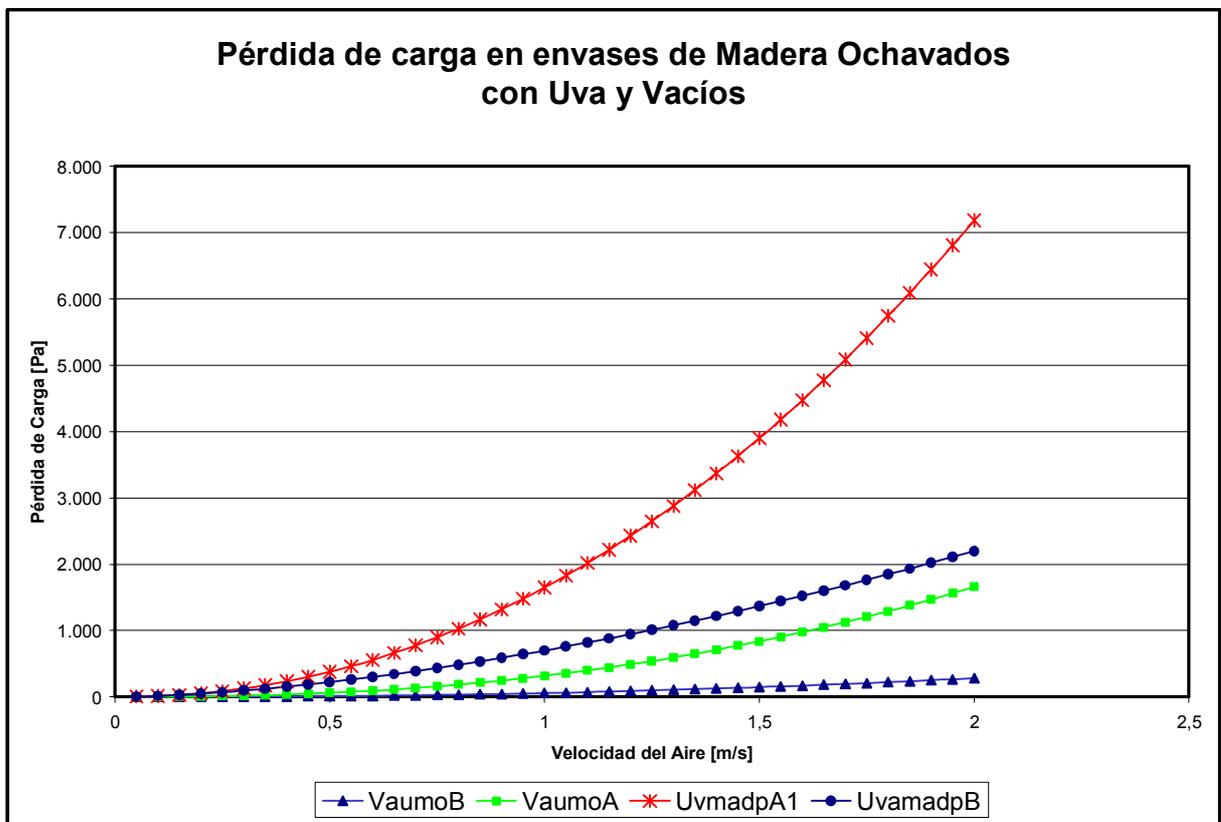


Gráfico Nº 11.1 Pérdida de carga en envases de Madera Ochavados

### 11.1.2 Par Envase Cartón – UVA.

Del gráfico se aprecia que el envase de cartón para uvas vacío en posición B (flujo transversal) tiene una pérdida de carga menor que en posición A (flujo longitudinal). En el caso de los envases con producto y embalaje completo, la caja en posición A (Flujo longitudinal) presenta una mayor resistencia al flujo de aire, i.e. tiene una pérdida de carga mayor. De lo anterior se puede inferir que el enfriamiento más eficiente se obtendría al colocar los pallets de uva en posición B (flujo longitudinal).

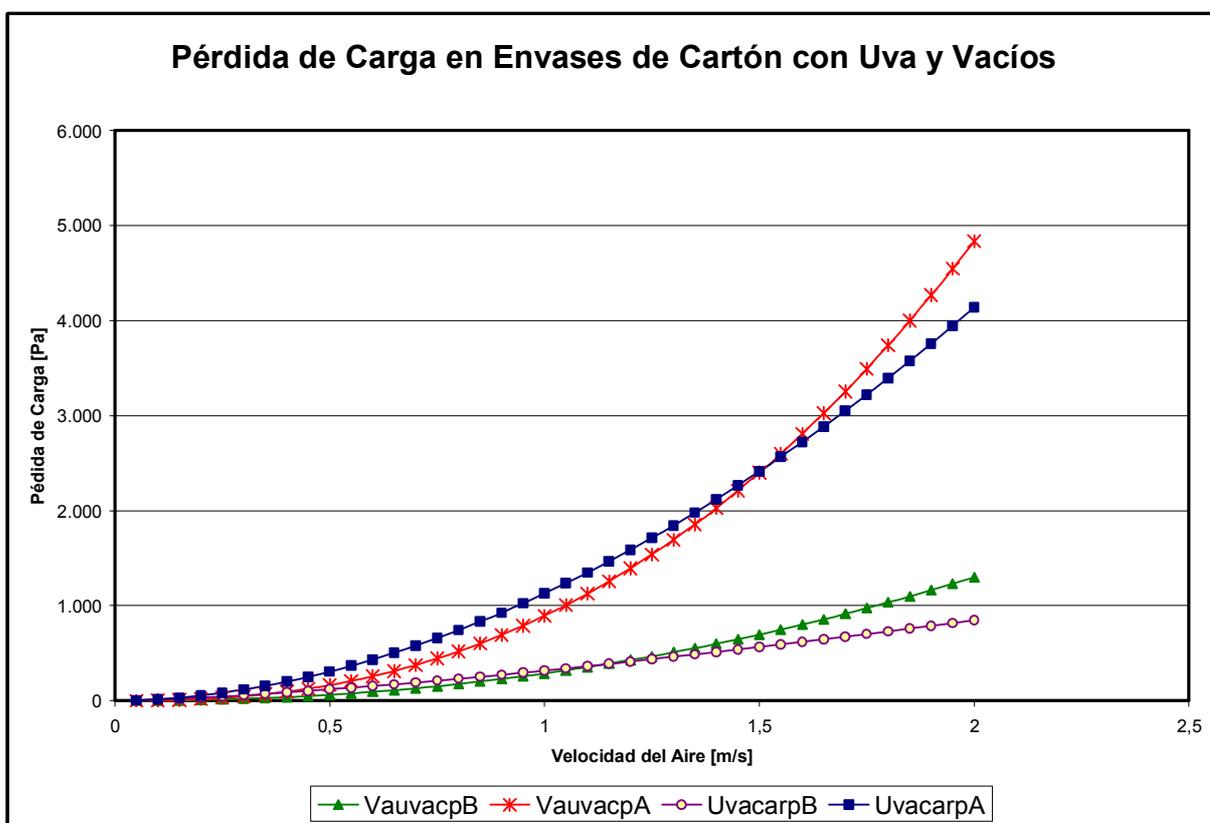


Gráfico N° 11.2 Pérdida de carga en envases de Cartón para uvas.

### 11.1.3 Par Madera Esquinero – KIWI.

Del gráfico se aprecia que el envase de Madera Esquinero vacío en posición A (flujo longitudinal) tiene una pérdida de carga menor que en posición B (flujo transversal). En el caso de los envases con producto y embalaje completo, la caja en posición B (Flujo transversal) presenta una menor resistencia al flujo de aire, i.e. tiene una pérdida de carga menor. De lo anterior se puede inferir que el enfriamiento más eficiente se obtendría al colocar los pallets de Kiwis en posición B (flujo transversal).

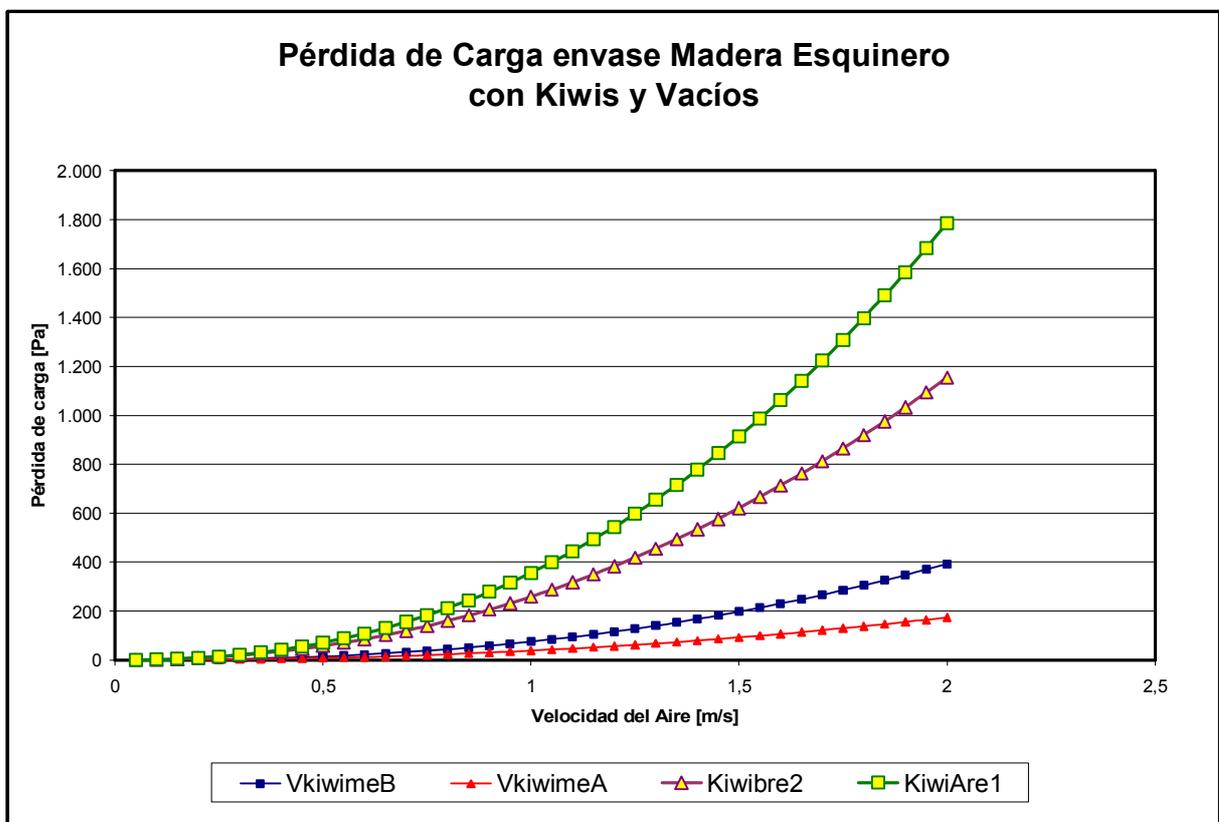


Gráfico N° 11.3 Pérdida de carga en envases de Madera Esquinero.

#### 11.1.4 Par Bandeja Cartón y Caja David del Curto – KIWI.

Del gráfico se aprecia que el Bandeja Cartón vacío en posición B (flujo transversal) tiene una pérdida de carga ligeramente menor que en posición A (flujo longitudinal). En el caso de las bandejas con Kiwis, la bandeja en posición B (Flujo transversal) presenta una menor resistencia al flujo de aire, i.e. tiene una pérdida de carga menor. De lo anterior se puede inferir que el enfriamiento más eficiente se obtendría al colocar los pallets de bandejas de Kiwis en posición B (flujo transversal).

Las cajas David del Curto no fueron ensayadas vacías, es por esto que sólo se tienen las curvas para los ensayos con kiwis. La caja en posición B (flujo transversal presenta una menor pérdida de carga, por lo cual se puede inferir que el enfriamiento más eficiente se obtendría al colocar los pallets de cajas en posición B (flujo transversal).

Si comparamos los dos envases de cartón para kiwis ensayados se puede inferir que la bandeja de cartón en posición B (flujo transversal) es ligeramente más eficiente que la caja de cartón del Curto en posición B (flujo transversal).

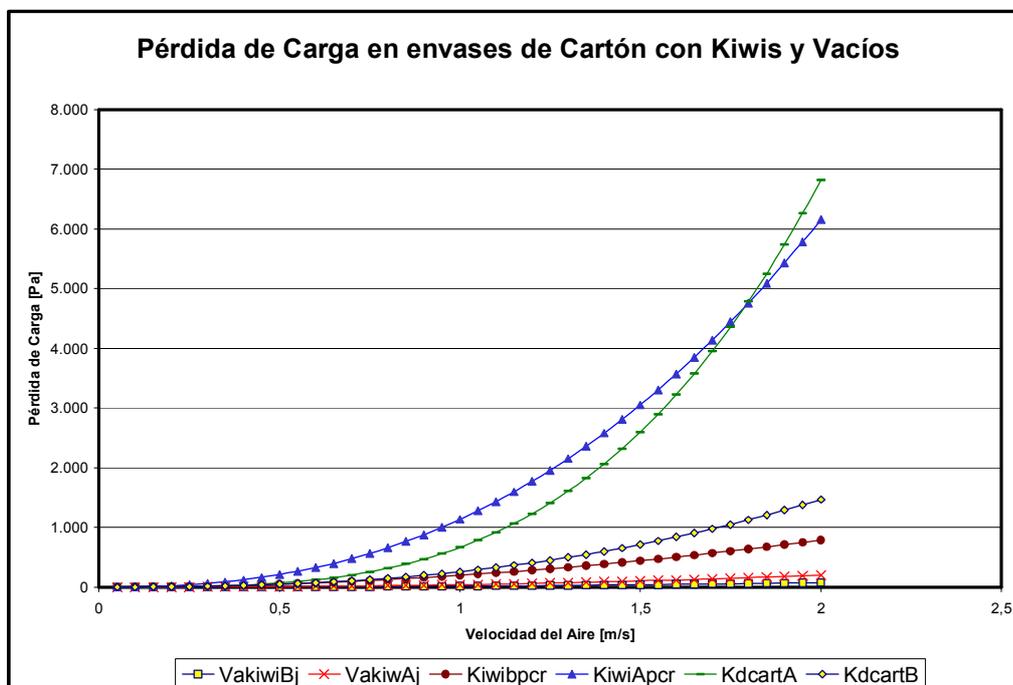


Gráfico N° 11.4 Pérdida de carga en envases de Cartón para Kiwis.

### 11.1.5 Comparación de envases para Uvas

En los ensayos de Uvas se utilizaron 2 pares envase – producto; Madera Ochavados – Uva red globe, Envase cartón – Uva Red globe. Ya se ha descrito como se comportaron los pares envase producto en función de la dirección del flujo de aire. Ahora se comparara los envases, madera ochavado versus envase cartón.

En vacío las dos posiciones (flujo longitudinal y flujo transversal) del envase madera ochavado son menos resistivas (tienen menor pérdida de carga) que el envase de cartón en las dos posiciones ensayadas.

Para los envases con la fruta y sus elementos de embalaje completos, la situación es un poco diferente; el envase de cartón en posición B (flujo transversal) presenta la menor resistencia al flujo de aire (menor pérdida de carga), el siguiente envase con menor resistencia al flujo de aire es el envase de madera ochavado en posición B (flujo transversal). El envase de madera ochavado en posición A (flujo longitudinal) tiene una resistividad mayor que el envase de cartón en posición A, a su vez el envase de cartón en posición B tiene una resistividad al flujo de aire menor que la del envase de madera ochavado en posición B. El envase de madera con uvas en posición A es el que tiene la mayor resistividad al flujo de aire, i.e., tiene la mayor pérdida de carga y por lo cual el proceso de enfriamiento sería el menos eficiente en esta posición.

De lo anterior es posible inferir que el envase para uvas más eficiente en un enfriamiento, considerando la pérdida de carga, es el envase de cartón en posición B (ver gráfico 11.7).

En el capítulo 8 se analizó el efecto del enfriamiento en función del tiempo y los resultados obtenidos indican que el envase en el cual se enfría más rápido la uva es el envase de cartón en posición A y el siguiente es el envase de madera en posición B. En aquellos caso que se comparo los envases a igual velocidad del aire el enfriamiento fue más rápido en el envase de cartón (gráfico 8.1.2).

Comparando los resultados obtenidos para caída de presión  $\Delta P-V$  y enfriamiento en función de la velocidad del aire  $Temp.-V$ , se puede inferir que los resultados difieren, ya que para  $\Delta P-V$  el

envase menos resistivo es la caja de cartón en posición B y en el caso del enfriamiento en función de la velocidad el mejor envase es el de cartón en posición A.

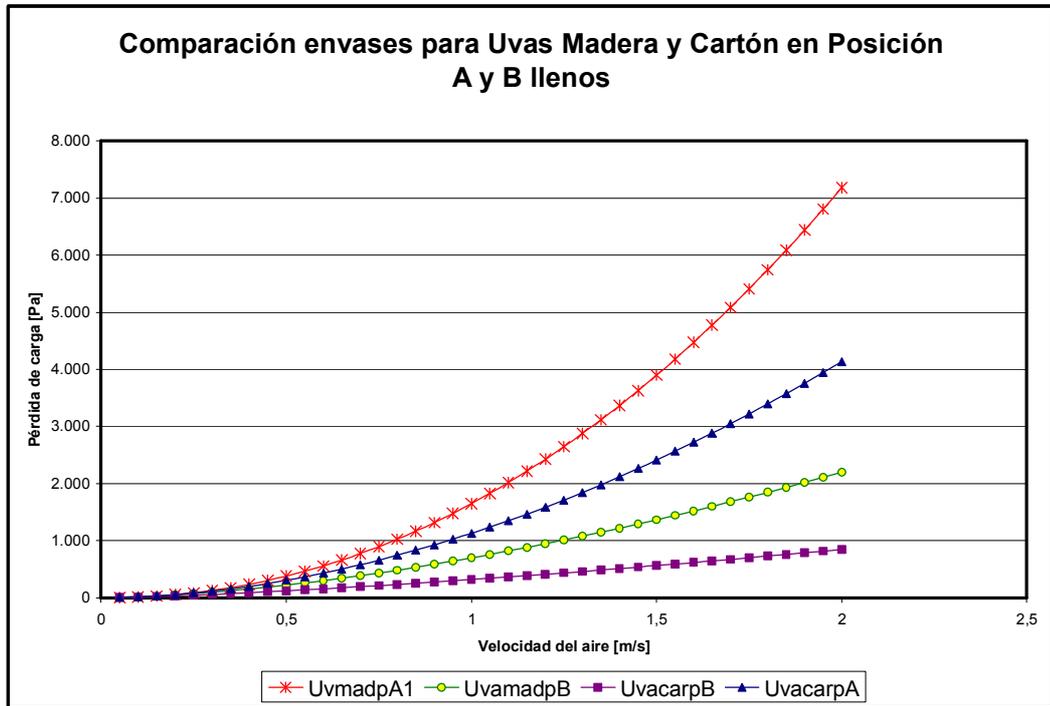


Gráfico N° 11.5 Pérdida de carga en envases para Uvas Madera y Cartón en pos A y B llenos

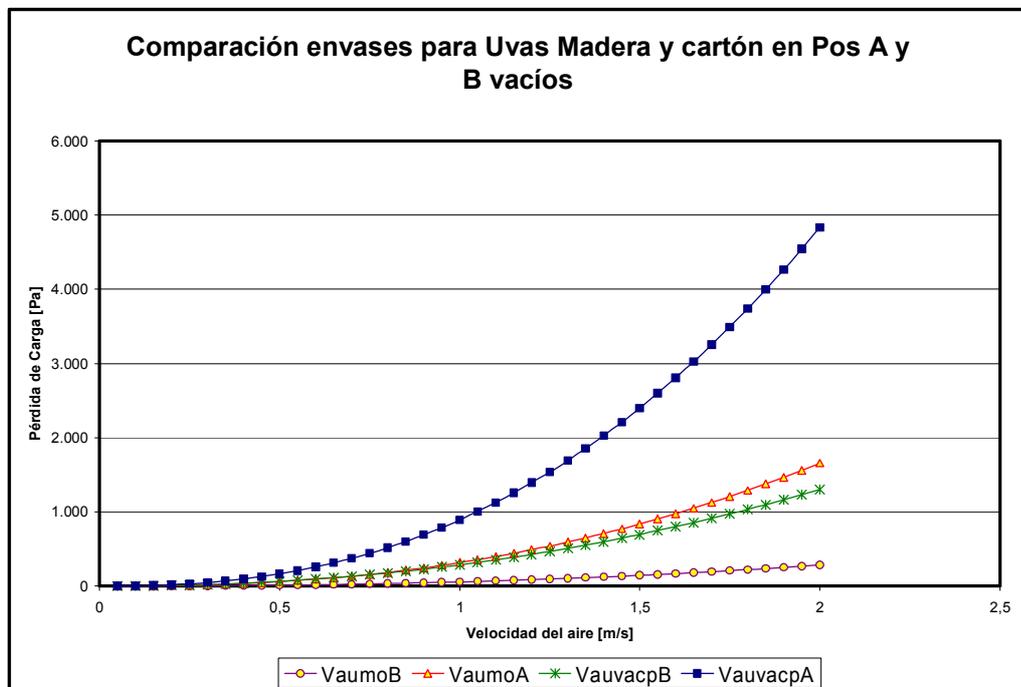


Gráfico N° 11.6 Pérdida de carga en envases para Uvas Madera y Cartón en pos A y B vacíos

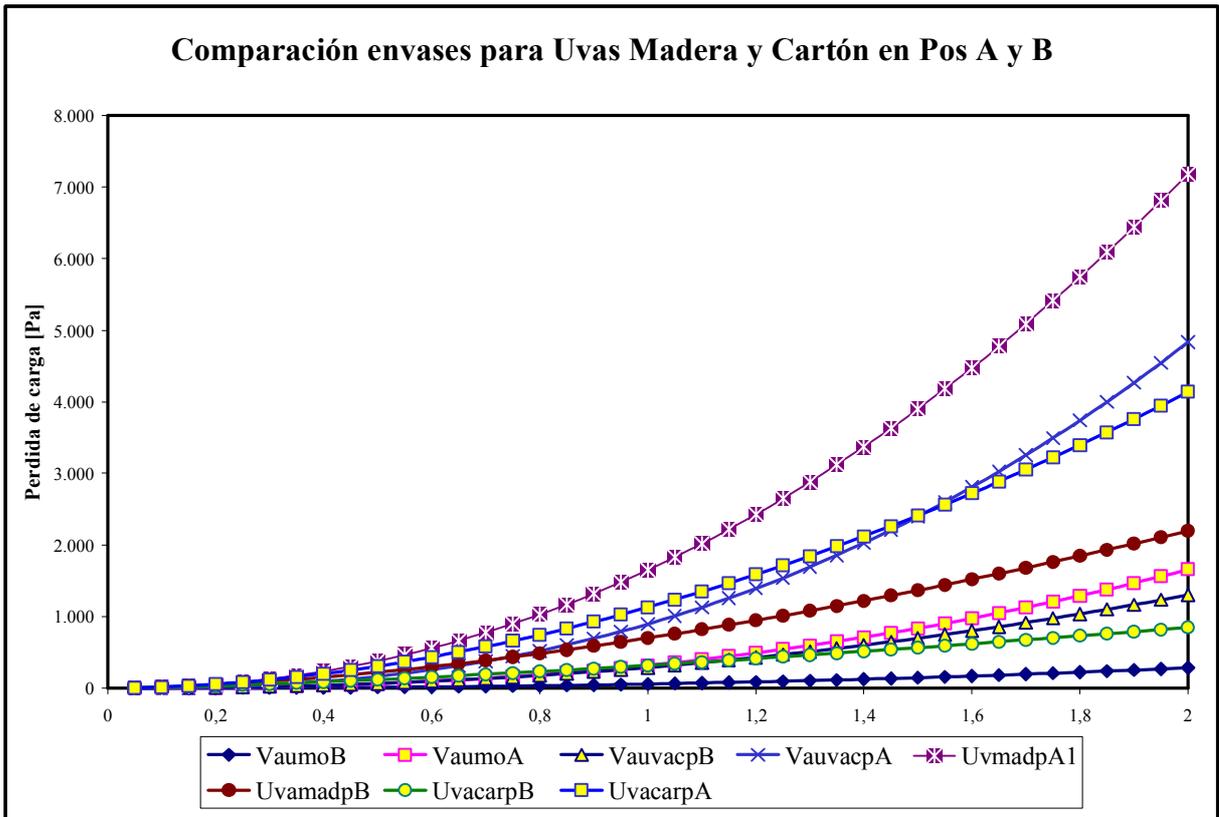


Gráfico N° 11.7 Pérdida de carga en envases para Uvas Madera y Cartón en pos A y B

### 11.1.6 Comparación envases de Kiwis.

En los ensayos de Kiwis se utilizaron 3 pares envase – producto; Madera Esquinero – Kiwis, Bandeja de cartón – Kiwis, Cartón del Curto – Kiwis. Ya se ha descrito como se comportaron los pares envase producto en función de la dirección del flujo de aire, ahora se comparara los 3 envases entre sí, y en función de las correlaciones obtenidas se podrá determinar cual de los envases es el menos resistivo. Cabe hacer notar que la caja de cartón del Curto no fue ensayada vacía, por lo cual no se puede inferir sobre la caja en esa condición.

En vacío los envases Madera esquinero en posición A y la bandeja de cartón en posición A se comportan prácticamente igual, en un rango medio de pérdida de carga. La bandeja de cartón para kiwis en posición B es la que tiene la menor pérdida de carga y el envase de madera esquinero en posición B es el que tiene la mayor pérdida de carga..

Para los envases con fruta se observa, que la bandeja de cartón en posición B ( flujo transversal) es la que presenta la menor resistividad al flujo de aire (menor pérdida de carga), en cambio la bandeja de cartón en posición A (flujo longitudinal) tiene una gran resistividad al flujo de aire (i.e. tiene una, pérdida de carga muy grande). La caja del Curto tiene un comportamiento similar, la caja en posición B tiene una baja resistividad al flujo de aire, en cambio en posición A la resistividad aumenta potencialmente.

El envase de madera esquinero se comporta muy diferente a los otros dos casos en estudio. El par madera esquinero – kiwi tiene una menor pérdida de carga en posición B (flujo transversal) pero al contrario de los otros envases el comportamiento del par madera esquinero - kiwi en posición A (flujo longitudinal) es sólo levemente inferior. De lo anterior es posible inferir que el envase para kiwis más eficiente en un enfriamiento es la bandeja de cartón en posición B, seguido por el envase de madera esquinero en Posición B.

En el capítulo 8 se analizo el efecto del enfriamiento en función del tiempo y los resultados obtenidos indican que el envase en el cual se enfría más rápido los kiwis es el envase de madera esquinero en posición A y el siguiente mejor par es el envase de madera esquinero en posición B. En el caso que se comparo los envases de madera y cartón a igual velocidad del aire el enfriamiento fue

más rápido en el envase de madera esquinero posición A v/s la bandeja de cartón en posición A (gráfico 8.2.4).

Comparando los resultados obtenidos para caída de presión  $\Delta P-V$  y enfriamiento en función de la velocidad del aire Temp.-V, se puede inferir que los resultados difieren, ya que para  $\Delta P-V$  el envase menos resistivo es la caja de bandeja de cartón en posición B y en el caso del enfriamiento en función de la velocidad el mejor envase es el envase de madera esquinero en posición A.

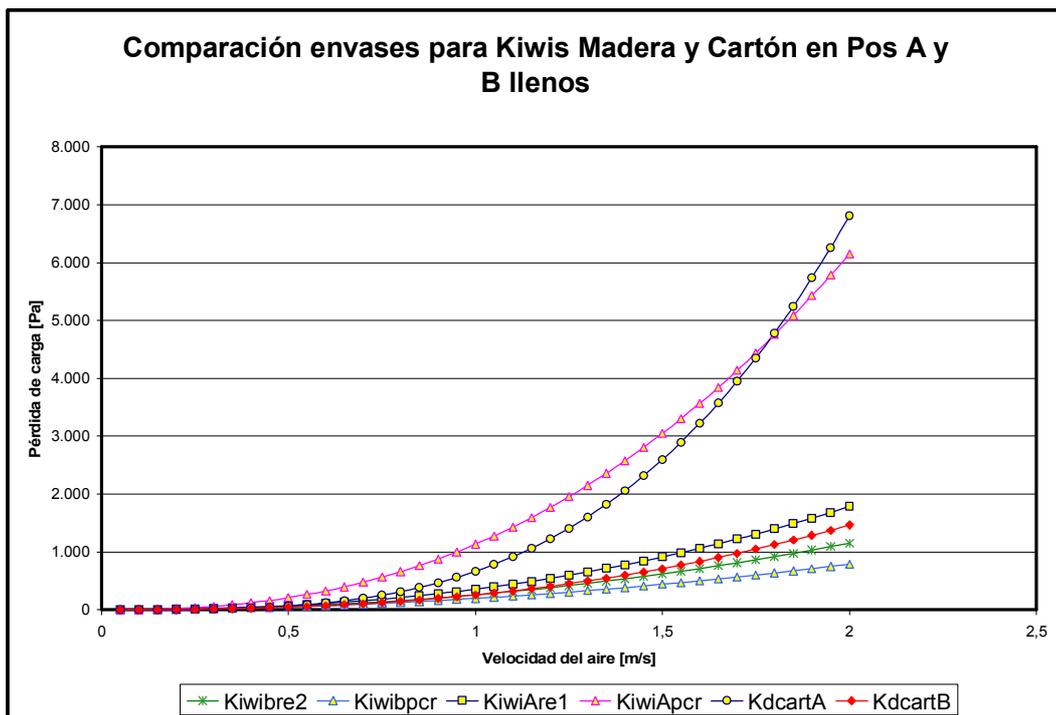


Gráfico N° 11.8 Pérdida de carga en envases para Kiwis Madera y Cartón en pos A y B llenos

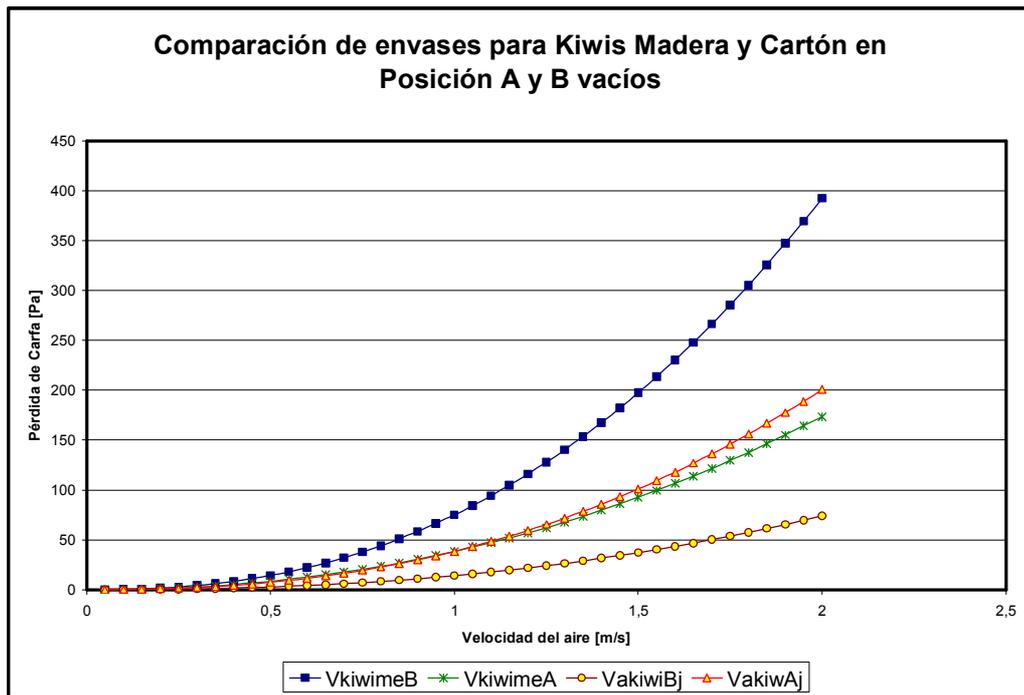


Gráfico N° 11.9 Pérdida de carga en envases para Kiwis Madera y Cartón en pos A y B vacíos

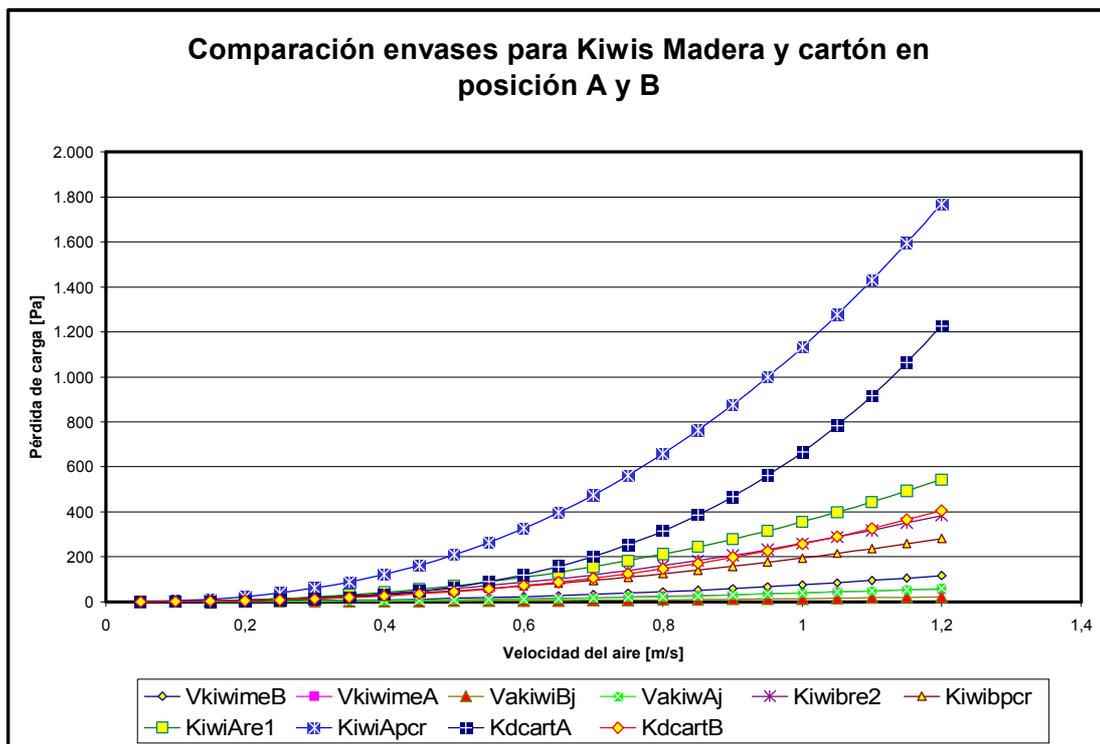


Gráfico N° 11.10 Pérdida de carga en envases para Kiwis Madera y Cartón en pos A y B

## **12 CONCLUSIONES.**

El trabajo experimental contempló la realización de ensayos de DP-V (pérdida de carga en función de la velocidad) en envases utilizados en frutas de exportación (uvas y kiwis). Los envases utilizados fueron cajas de madera y cartón, los cuales se muestran en el capítulo 7. Los envases utilizados fueron probados en diferentes condiciones, vacíos, con fruta y además en diferentes posiciones, frontal (posición A), lateral (posición B).

Los ensayos se realizaron en un túnel de frío, el cual simula las condiciones existentes en las cámaras de frío utilizadas en los diferentes packings de la región central de Chile.

En el interior del túnel de frío se habilitó una sección de pruebas. En el interior de la sección de pruebas se instala el pallet de prueba con los envases en estudio.

En cada uno de los ensayos realizados, el pallet de prueba con los envases en estudio fue sometido al flujo de aire producido por un ventilador centrífugo. El ventilador centrífugo es controlado por un variador de frecuencia lo que permite modificar la velocidad del ventilador y con ello la velocidad del flujo de aire. El flujo de aire es enfriado al pasar a través de un evaporador. Luego el flujo de aire enfriado pasa por un laminador de flujo. El paso del flujo de aire por el laminador, permite que el flujo de aire enfrente sin turbulencias el pallet de prueba e ingrese a través de los intersticios que tienen los envases que forman el pallet.

La pérdida de carga que se produce en la sección de pruebas (pallet de envases), se mide por medio de un transductor de presión el cual está conectado a la pared del túnel antes y después de la sección de pruebas. La pérdida de carga se mide para un rango de velocidades del flujo de aire, el cual varía para cada uno de los ensayos.

### **Características del Túnel de frío utilizado en los ensayos.**

La instalación experimental utilizada es un túnel de enfriamiento en circuito cerrado, diseñado para realizar experimentos de enfriamiento rápido y caída de presión (pérdida de carga) en fruta empacada y paletizada.

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 esta formado por una estructura de ángulos de acero, a la cual se fijan paneles de poliestireno expandido. Los módulos tienen 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 1,2 [m] x 1,2[m] y una sección de retorno de 0,5 [m] x 1,2[m], 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, una válvula de expansión controlada y un condensador enfriado por aire.

De acuerdo al tamaño y capacidad de la planta, se estimó que los equipos y componentes necesarios debían poseer las siguientes características:

**Estructura:** Módulos de perfiles de acero con paneles auto soportantes de poliestireno expandido revestido en ambas caras con láminas de acero prepintado de 100 [mm] de espesor.

**Laminador de Flujo:** es una unidad formada por canales hexagonales de 81 cm<sup>2</sup> se sección y 1,20 m de longitud, cuya finalidad es producir un perfil plano de velocidad en la sección de pruebas, (la sección de prueba tiene dimensiones basales de un pallet (1,2 [m] x1,2 [m]) y una altura de 1,2 [m] que corresponde a un 60 % de la altura de un pallet industrial, con lo cual el ensayo se puede considerar representativo

**Ventilador:** este equipo es fundamental para la planta, se seleccionó un ventilador centrífugo de 30.000 [m<sup>3</sup>/hr] a 20 [HP].

**Maquinaria de Refrigeración:** Esta compuesta por un evaporador de expansión seca de 108 m<sup>2</sup> de superficie de intercambio con una capacidad de 11.945 [Kcal./hr], un condensador enfriado por aire de 22.000 [Kcal./h] de capacidad, un compresor abierto de 12.255 [Kcal./h] a 1450 RPM con una potencia instalada de 10 HP, y una válvula de expansión controlada DANFOSS modelo TQ/PHTQ + EKS 65.

**Instrumentación y Adquisición de Datos Experimentales.** Las determinaciones de velocidad temperatura y humedad de flujo se ejecutaron con una sonda Trisense, con módulos para velocidad (anemómetro de hilo caliente), temperatura y humedad. Las determinaciones de caída de presión se ejecutan con transductores depresión diferencial y/o con manómetros diferenciales. Para la obtención del campo de temperatura en la carga de fruta se emplea un set de 36 termocuplas tipo J cuyas

señales son almacenadas en tres Data Logger tipo JTEK Cole Palmer Modelos 92800-05.

### **Desarrollo y resultados de los ensayos.**

En los ensayos realizados, se obtuvieron curvas DP-V (pérdida de carga en función de la velocidad) para los ensayos de los envases de madera y cartón utilizados para empacar frutas de exportación. Los envases fueron probados con fruta y vacíos, y en dos posiciones; con el flujo longitudinal al envase (posición A), con el flujo transversal al envase (posición B).

Los ensayos realizados permitieron medir experimentalmente las pérdidas de carga para los pares envase-producto en estudio. Cada uno de los ensayos se realizó bajo los parámetros específicos de operación que cada uno de los ensayos permitió con las instalaciones descritas. Por lo anterior los resultados experimentales no son comparables a priori, fue necesario determinar las correlaciones que mejor representasen a cada uno de los pares envase-producto. El grado de precisión de los resultados resultó aceptable para propósitos de caracterización de un envase y para comparación entre envases. También se estudió la relación que tiene la condición de envases más ó menos resistivos con el área de perforaciones del envase.

Las correlaciones obtenidas para las pérdidas de carga (DP-V) se ajustaron en general a un modelo cuadrático, por lo cual no se adaptan a los modelos de Ergun ni al de Darcy (polinomios de la forma  $aX + bX^2$ ). La razón por la cual las correlaciones no se ajustan a los modelos señalados se debe a que el flujo en el interior de los pallets es turbulento, incluso a bajas velocidades de aproximación. Esto se debe a que el área de los intersticios (sección transversal) es pequeña, por lo cual la velocidad del flujo de aire luego de pasar los intersticios aumenta.

La metodología experimental utilizada puede considerarse como estándar para la prueba de envases destinados al prefrío de frutas de exportación. Con posterioridad a los ensayos descritos en esta memoria, esta metodología ha sido usada repetidas veces a pedido de productores de envases que necesitan evaluar el comportamiento de sus envases en un prefrío de fruta.

En el capítulo 11 se muestran las gráficas que representan las correlaciones obtenidas y las diferentes combinaciones de envases, frutas y posición. Además se indica cuales son las mejores configuraciones para los enfriamientos.

En general las curvas DP-V no se presentan como una única curva en todos los casos. Hay casos en los cuales la dispersión de los resultados es importante. En general los ensayos realizados

producen valores de  $R^2$  en un rango entre 0,936 y 0,99.

Aparte de los errores sistemáticos, generalmente causado por el sellado insuficiente del entorno del pallet, hay otras causas de error en las correlaciones obtenidas, tal como, el rango estrecho de velocidad, el cual causa imprecisión en la determinación del exponente.

En las correlaciones obtenidas y mostradas en el capítulo 11, es posible ver que los exponentes obtenidos en las correlaciones son más cercano a 2 mientras mayor sea  $R^2$ . La mayoría de los exponentes se ubican en el rango 1,6 a 2,4. Los envases vacíos presentan exponentes en un rango entre 2,18 a 2,39, esto es tanto para envases para uvas como kiwis, madera ó cartón. Los envases con fruta presentan exponentes en un rango entre 1,41 a 2,51 (un caso particular se sale del rango y tiene un exponente de 3,36), esto sugiere que el exponente es esencialmente  $2 \pm 0,4$ . Cuando los exponentes salen de éstos rangos, es posible suponer la existencia de errores sistemáticos más importantes.

Por otra parte las correlaciones expresan los datos con bandas de error estrechas. Esto significa que aún cuando el exponente no es representativo de un rango de velocidades más amplio, lo es en el rango en que se varió la velocidad. Esto sugiere que las expresiones obtenidas (correlaciones) se pueden usar para comparar las características de diferentes envases con el mismo producto.

Lo anterior ratifica que el método utilizado resulta apropiado para caracterizar la resistencia al flujo de aire de diversos pares de envases / productos. Con los datos empíricos generados se tiene información que puede usarse para el dimensionamiento (o elección) de ventiladores en túneles de prefrío.

Los resultados obtenidos en la presente memoria han permitido desarrollar una metodología que determina cuales envases y productos, y las combinaciones de los pares envase / producto presentan mayor resistencia al flujo de aire frío y cual es la mejor posición del envase para enfrentar el flujo de aire.

## 13 BIBLIOGRAFÍA.

- <sup>1</sup> K.E Nelson, "Harvesting and handling California table grapes por market", page 44 University of California, Agricultural Experiment Station, 1985
- <sup>2</sup> Richardson, Nelson, and Meredith 1971 extractado Harvesting and handling California tables grapes for market por Klayton E. Nelson University of California, Davis
- <sup>3</sup> Ryall and Harvey 1959 extractado Harvesting and handling California tables grapes for market por Klayton E. Nelson University of California, Dav
- <sup>4</sup> Ergun S, "Fluid flow through packed columns", Chemical Engineering Progress 1952, Vol. 48, pages 89-94
- <sup>5</sup> M. Leva, Tower Packings and Packed Tower Design, U.S. Stoneware Co., Akron, Ohio, (1953).
- <sup>6</sup> 6 Frederick R. Nuñez L. "Evaluación del comportamiento de envases en enfriamiento rápido" Proyecto Fondef 2-36, Catalogo de envases de exportación, Intec Chile 1997, páginas 146-159
- <sup>7</sup> K.E.Nelson,"Harvesting and handling California table grapes for market", University of California, Agricultural ExperimentStation, 1985
- <sup>8</sup> J.J. Gaffney, C.D. Baird, "Factors affecting the costs of forced - air cooling of fruits and vegetables", 9ASHRAE Journal, Vol. 33, 1991.
- <sup>9</sup> Escalera Ramirez, Andrés, "Diseño, Construcción y Pruebas de una instalación piloto para enfriamiento de fruta fresca de exportación", Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1997
- <sup>10</sup> Departamento Control de Calidad Nafsa Ltda. "Norma de calidad y embalaje uva de mesa" Temporada 1994-1995
- <sup>11</sup> Frederick R, Elgueta M, Valencia A, "Experimentación de Terreno" proyecto Fondef 2-36 Temporada 94/95