

2019/20

# ONDUBEST

## INVESTIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LOS PERFILES DE ONDA EN EL COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES DEL CARTÓN ONDULADO.

Nº Expte: IMDEEA/2019/40

Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

### Breve descripción.

El objetivo de este documento es mostrar el trabajo realizado en el proyecto ONDUBEST e indicar directrices y recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado.

Realizado por:  
AIDIMME



GENERALITAT  
VALENCIANA

**ivACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional  
*Una manera de hacer Europa*

AIDIMME  
2019/20



## Contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3 MATERIALES SELECCIONADOS .....</b>	<b>6</b>
3.1.1 PAPELES ONDULADOS.....	6
3.1.2 PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO.....	7
3.1.3 PAPELES PARA CARAS .....	8
<b>4 PRUEBAS REALIZADAS.....</b>	<b>8</b>
4.1 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PAPELES PARA ONDULAR.....	8
4.2 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PAPELES PARA CARAS .....	13
4.3 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO.....	13
<b>5 RESUMEN DE RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
5.1.1 RESULTADOS DE LOS PAPELES ONDULADOS .....	14
5.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAPELES SEGÚN CEPI CONTAINERBOARD .....	23
5.1.3 RESULTADOS DE LOS PAPELES PARA CARAS.....	24
5.1.4 RESULTADOS DE LAS PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO .....	25
<b>6 CONCLUSIONES .....</b>	<b>26</b>
<b>7 RECOMENDACIONES DE MEJORA Y OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>29</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1. Perfiles de onda del cartón ondulado .....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla 2. Papeles ondulados seleccionados .....</b>	<b>6</b>
<b>Tabla 3. Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal B.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 4. Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal C.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 5. Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal BC.....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla 6. Selección de papeles para caras.....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 7. Clasificación de los papeles para ondular de acuerdo con Cepi Containerboard .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 8. Resultados de los papeles planos en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 9. Resultados de los papeles planos en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa .....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 10. Resultados de los papeles planos en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 11. Resultados de las planchas doble-cara canal B .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 12. Resultados de las planchas doble-cara canal C.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 13. Resultados de las planchas doble-cara canal BC .....</b>	<b>26</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión en corto SCT en varios acondicionamientos .....	14
<b>Figura 2.</b> Comparativa del índice de compresión en corto SCT en varios acondicionamientos ..	15
<b>Figura 3.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT <sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	15
<b>Figura 4.</b> Comparativa del índice de compresión en plano CMT <sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	16
<b>Figura 5.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT <sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	16
<b>Figura 6.</b> Comparativa del índice de compresión de la compresión en plano CMT <sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos.....	17
<b>Figura 7.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT <sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	17
<b>Figura 8.</b> Comparativa del índice de compresión en plano CMT <sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	18
<b>Figura 9.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT <sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	18
<b>Figura 10.</b> Comparativa del índice de compresión en plano CMT <sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	19
<b>Figura 11.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT <sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	19
<b>Figura 12.</b> Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT <sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	20
<b>Figura 13.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT <sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	20
<b>Figura 14.</b> Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT <sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos .....	21
<b>Figura 15.</b> Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT <sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	21
<b>Figura 16.</b> Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT <sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	22
<b>Figura 17.</b> Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT <sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos.....	22
<b>Figura 18.</b> Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT <sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos .....	23

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1.</b> Cartón ondulado simple-cara.....	4
<b>Fotografía 2.</b> Cartón ondulado doble-cara .....	4
<b>Fotografía 3.</b> Cartón ondulado doble-doble .....	5
<b>Fotografía 4.</b> Cartón ondulado triple .....	5
<b>Fotografía 5.</b> Onduladora con rodillos onda B.....	11
<b>Fotografía 6.</b> Onduladora con rodillos onda A/C.....	11
<b>Fotografía 7.</b> Probeta de CMT (perfil de onda A/C).....	12
<b>Fotografía 8.</b> Soporte y peine para onda B (derecha) y onda A/C (izquierda).....	12
<b>Fotografía 9.</b> Soportes para CCT en onda B y onda A/C .....	12

## RESUMEN

Este documento contiene las actividades realizadas en el proyecto *ONDUBEST- Investigación de la influencia de los perfiles de onda en el comportamiento y propiedades del cartón ondulado*.

AIDIMME quiere agradecer a las empresas Cartonajes La Plana, S.L.; Cartonajes Bernabeu, S.A.U. y Papelera de La Alquería, S.L. su apoyo y participación en el proyecto, sin la que no hubiera sido posible alcanzar los objetivos marcados en el mismo.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los embalajes de cartón ondulado son ampliamente empleados por prácticamente la totalidad de los sectores industriales para la manipulación, el transporte y el almacenamiento de mercancías. Éstos representan una cuota de mercado de aproximadamente un 35% a nivel mundial frente al resto de materiales empleados en envases y embalajes, con amplias perspectivas de crecimiento dadas la versatilidad y prestaciones del material y su sostenibilidad. De acuerdo con lo indicado por la Asociación Española de Fabricantes de Envases y Embalajes (AFCO), la Comunidad Valenciana es uno de los motores del crecimiento del sector. Se debe tener en cuenta que los principales usuarios son las empresas de la alimentación y de forma destacada las productoras y comercializadoras de frutas y verduras frescas, las empresas químicas en las que se incluye la producción de pinturas y barnices, las empresas del sector cerámico, las empresas suministradoras de piezas para automoción y otros sectores tradicionales como mueble o juguete, todos ellos plenamente implantados en esta Comunidad.

El cartón ondulado no es material uniforme. Se compone de una combinación de papeles planos y papeles ondulados, los cuales presentan diferentes calidades, y también presenta distintas estructuras. Papeles y estructuras se combinan para proporcionar al cartón ondulado sus características y adecuarlo al producto que se desea proteger y transportar.

Las estructuras del cartón ondulado se muestran a continuación:

- Cartón ondulado simple-cara: compuesto por dos papeles, una cara y un papel ondulado



**Fotografía 1.** Cartón ondulado simple-cara

- Cartón ondulado doble-cara: compuesto por tres papeles, de los que dos de ellos que forman las caras y un papel ondulado las separa



**Fotografía 2.** Cartón ondulado doble-cara

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

- Cartón ondulado doble-doble: compuesto por cinco papeles, dos forman las caras del cartón ondulado, a las cuales se unen dos papeles ondulados, separados entre sí por una cara lisa



**Fotografía 3.** Cartón ondulado doble-doble

- Cartón ondulado triple: constituido por siete papeles, dos forman las caras del cartón ondulado, a las cuales se unen tres papeles ondulados, separados entre sí por dos caras lisas.



**Fotografía 4.** Cartón ondulado triple

Las ondas más habituales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Perfiles de onda del cartón ondulado

Perfil del ondulado	Altura (mm)	Paso (mm)	Canales por metro	Coefficiente de ondulación
Onda grande (Canal A)	Aprox. 5	> 8	110 a 116	1,48 a 1,52
Onda pequeña (Canal B)	Aprox. 3	7 a 8	152 a 159	1,33 a 1,36
Onda mediana (Canal C)	Aprox. 4	6 a 7	123 a 137	1,41 a 1,45
Micro-canal (Canal E)	Aprox. 2	< 4	294 a 313	1,23 a 1,30

Los papeles ondulados tienen un papel destacado en las propiedades de resistencia del cartón ondulado y constituyen la materia prima mayoritaria, tal como destaca FEFCO, pero no hay estudios exhaustivos y actualizados que relacionen las prestaciones de los papeles ondulados y el perfil de las ondas con las propiedades finales del cartón ondulado y de los embalajes, teniendo en cuenta también otros factores como la variación del contenido en humedad, ya que el cartón ondulado es un material higroscópico.

Para hallar esas relaciones y elaborar directrices que permitan mejorar y optimizar el cartón ondulado se ha llevado a cabo el proyecto ONDUBEST.

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

## 2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo general del proyecto ONDUBEST era mejorar y optimizar el cartón ondulado destinado a la fabricación de embalajes, mediante el conocimiento de la influencia sobre sus prestaciones de los papeles ondulados y del perfil de las ondas.

Los objetivos específicos fueron:

- La caracterización exhaustiva y actualizada de los papeles para ondular que se emplean en la fabricación de cartón ondulado, considerando también los diferentes perfiles de onda.
- Establecimiento de relaciones entre la resistencia de las planchas de cartón ondulado, las propiedades de los papeles y el perfil de la onda.

## 3 MATERIALES SELECCIONADOS

Seguidamente se muestra un resumen de los materiales seleccionados para la realización de las actividades del proyecto, que fueron papeles componentes (ondulados y caras) y planchas de cartón ondulado.

### 3.1.1 PAPELES ONDULADOS

Los papeles ondulados seleccionados se listan a continuación:

**Tabla 2.** Papeles ondulados seleccionados

Papel	Descripción*
Ondulado 1	MLR 80g -1
Ondulado 2	SQ105g -1
Ondulado 3	SQ145g -1
Ondulado 4	SQ180g -1
Ondulado 5	MLR 80g -2
Ondulado 6	SQ105g -2
Ondulado 7	SQ140g - 1
Ondulado 8	SQ140g - 2
Ondulado 9	SQ150g -1
Ondulado 10	SQ150g -2
Ondulado 11	SQ180g -1
Ondulado 12	SQ190g-1
Ondulado 13	SQ160g -Virgen

\*MLR: Medium ligero reciclado. SQ: Semiquímico

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

### 3.1.2 PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO

Se seleccionaron planchas de cartón ondulado doble-cara canal B y canal C, respectivamente y planchas de cartón ondulado doble-doble canales BC. Las de más interés aparecen seguidamente.

**Tabla 3.** Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal B

Plancha de cartón	Papel exterior	Ondulado	Papel interior
Plancha 1B	Bicolor Blanco 115 g/m <sup>2</sup>	Fluting 90 g/m <sup>2</sup>	Fluting 90 g/m <sup>2</sup>
Plancha 2B	Testliner 135 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>
Plancha 3B	Testliner 135 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 105 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>
Plancha 4B	Testliner 135 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Testliner Blanco 135 g/m <sup>2</sup>
Plancha 5B	Testliner Blanco estucado 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Testliner Blanco 135 g/m <sup>2</sup>
Plancha 6B	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>

**Tabla 4.** Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal C

Plancha de cartón	Papel exterior	Ondulado	Papel interior
Plancha 1C	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>
Plancha 2C	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 105 g/m <sup>2</sup>	Testliner 150 g/m <sup>2</sup>
Plancha 3C	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>
Plancha 4C	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 200 g/m <sup>2</sup>
Plancha 5C	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>
Plancha 6C	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>

**Tabla 5.** Selección de planchas de cartón ondulado y su composición. Canal BC

Plancha de cartón	Papel exterior	Ondulado exterior	Medio	Ondulado interior	Papel interior
Plancha 1BC	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 200 g/m <sup>2</sup>
Plancha 2BC	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>
Plancha 3BC	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>
Plancha 4BC	Kraftliner Blanco Estucado 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 200 g/m <sup>2</sup>
Plancha 5BC	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>
Plancha 6BC	Kraftliner Blanco Estucado 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>
Plancha 7BC	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>
Plancha 8BC	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 160 g/m <sup>2</sup>	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>
Plancha 9BC	Testliner Blanco estucado 160 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 105 g/m <sup>2</sup>	MLR 90 g/m <sup>2</sup>	Semiquímico 140 g/m <sup>2</sup>	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

### 3.1.3 PAPELES PARA CARAS

Una vez completada la selección de las planchas de cartón ondulado, se determinó qué papeles para caras serían objeto de estudio.

**Tabla 6.** Selección de papeles para caras

Papel	Descripción
Papel plano 1	Kraftliner 150 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 2	Kraftliner Blanco 160 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 3	Kraftliner Blanco Estucado 160 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 4	Kraftliner 200 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 5	Kraftliner 220 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 6	Testliner 130 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 7	Testliner 135 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 8	Testliner Blanco 135 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 9	Testliner Blanco estucado 160 g/m <sup>2</sup>
Papel plano 10	Bicolor Blanco 115 g/m <sup>2</sup>

## 4 PRUEBAS REALIZADAS

### 4.1 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PAPELES PARA ONDULAR

Seguidamente se muestran las pruebas realizadas sobre los papeles para ondular.

- Determinación de la resistencia a la compresión en corto SCT, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-ISO 9895:2019.  
Las probetas tenían una anchura de 15 mm.  
Direcciones de prueba: máquina y transversal  
Acondicionamientos para la prueba hasta alcanzar el equilibrio:  
23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa  
23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa  
20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa
- Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano, tras ondulación en laboratorio. Onda A, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN ISO 7263-1:2019.  
Las probetas tenían una anchura de 12,7 mm y una longitud suficiente para dar lugar a 10 crestas. La temperatura de ondulación era de 175 °C. El perfil de la onda correspondía a los siguientes parámetros:

Altura de la onda: 4,75 mm

Paso: 8,55 mm

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

- Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano, tras ondulación en laboratorio. Onda B, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-EN ISO 7263-2:2019

Las probetas tenían una anchura de 12,7 mm y una longitud suficiente para dar lugar a 10 crestas. La temperatura de ondulación era de 175 °C. El perfil de la onda correspondía a los siguientes parámetros:

Altura de la onda: 2,50 mm

Paso: 6,45 mm

Acondicionamiento previo a la ondulación: equilibrio a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

Velocidad de los platos en compresión: 12,5 mm/min

Acondicionamientos tras ondulación:

30 minutos a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

30 minutos a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

30 minutos a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

24 horas a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

24 horas a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

24 horas a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

- Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto tras ondulación en laboratorio. Onda A, que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-ISO 16945:2014

Las probetas tenían una anchura de 12,7 mm y una longitud suficiente para dar lugar a 10 crestas. La temperatura de ondulación era de 175 °C. El perfil de la onda correspondía a los siguientes parámetros:

Altura de la onda: 4,75 mm

Paso: 8,55 mm

- Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano, tras ondulación en laboratorio. Onda B, que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-ISO 16945:2014

Las probetas tenían una anchura de 12,7 mm y una longitud suficiente para dar lugar a 10 crestas. La temperatura de ondulación era de 175 °C. El perfil de la onda correspondía a los siguientes parámetros:

Altura de la onda: 2,50 mm

Paso: 6,45 mm

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

Acondicionamiento previo a la ondulación: equilibrio a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

Velocidad de los platos en compresión: 12,5 mm/min

Acondicionamientos tras ondulación:

30 minutos a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

30 minutos a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

30 minutos a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

24 horas a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

24 horas a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

24 horas a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

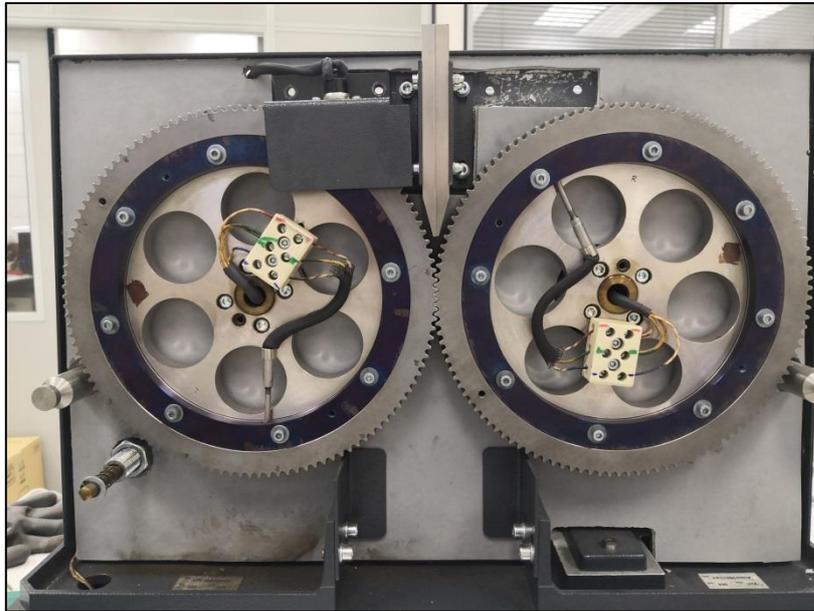
El hecho de utilizar condiciones atmosféricas diferentes a la estándar para acondicionar las probetas es debido a que el cartón ondulado destinado a la fabricación de frutas y verduras es probado en condiciones de 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa. A su vez, las empresas propusieron el acondicionamiento de 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa porque en los países nórdicos proveedores de papel escogen esas condiciones para las pruebas en alta humedad y porque las empresas intuyen que ese último 5% de incremento en la humedad relativa ambiente hace disminuir de forma drástica las propiedades de resistencia del papel.

Si bien las normas de determinación del CMT y CCT establecen 30 minutos como tiempo máximo desde que se realiza la ondulación hasta el momento de aplicación de la fuerza, este periodo se consideró insuficiente para alcanzar el equilibrio con las condiciones atmosféricas en las que sitúan las probetas onduladas. Como interesaba también conocer el comportamiento de los papeles ondulados con un contenido en humedad en equilibrio con las atmósferas de acondicionamiento, se acordó con las empresas dejar también un periodo de 24 horas entre el ondulado y la compresión.

La caracterización de los papeles para ondular se completó con las pruebas básicas, es decir, la evaluación del gramaje según la norma UNE-EN ISO 536:2013 y del espesor según la norma UNE-EN ISO 534:2012 en acondicionamiento hasta equilibrio a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa.

Las fotografías muestran las dos configuraciones de la onduladora y las diferencias entre las probetas.

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

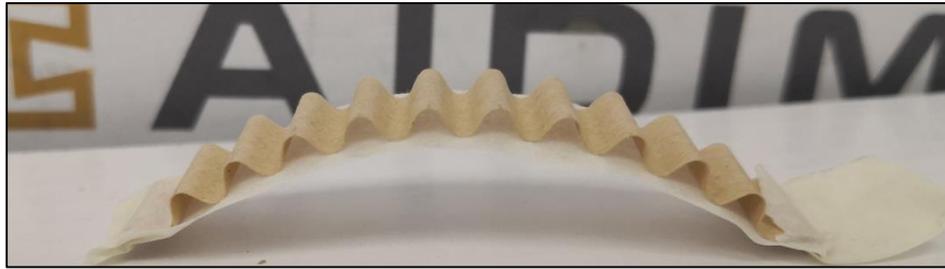


**Fotografía 5.** Onduladora con rodillos onda B



**Fotografía 6.** Onduladora con rodillos onda A/C

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado



**Fotografía 7.** Probeta de CMT (perfil de onda A/C)



**Fotografía 8.** Soporte y peine para onda B (derecha) y onda A/C (izquierda)



**Fotografía 9.** Soportes para CCT en onda B y onda A/C

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

## 4.2 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS PAPELES PARA CARAS

A continuación se muestran las pruebas realizadas sobre los papeles para ondular.

Para caracterizarlos, al igual que se hizo con los papeles para ondular, se partió de las propiedades básicas como gramaje (UNE-EN ISO 536:2013) y espesor (UNE-EN ISO 534:2012), que se determinaron a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa.

- Determinación de la resistencia a la compresión en corto SCT, siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-ISO 9895:2019.  
Las probetas tenían una anchura de 15 mm.  
Direcciones de prueba: máquina y transversal  
Acondicionamientos para la prueba hasta alcanzar el equilibrio:
  - 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa
  - 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa
  - 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa
- Determinación de la resistencia al estallido, según el procedimiento descrito en la norma UNE-EN ISO 2759:2014.  
Acondicionamientos para la prueba hasta alcanzar el equilibrio:
  - 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa
  - 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa
  - 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

## 4.3 PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO

Se determinó el gramaje (UNE-EN ISO 536:2013) y el espesor (UNE-ISO 3034:2016) en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa y determinación de contenido en humedad de equilibrio en cada uno de los acondicionamientos, según lo indicado en la norma UNE-EN ISO 287:2018.

Las pruebas de resistencia seleccionadas fueron las siguientes:

- Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto ECT según UNE-EN ISO 3037:2013  
Dimensiones de la probeta: 25 mm x 100 mm  
Velocidad de los platos: 12,5 mm/min  
Acondicionamientos para la prueba hasta alcanzar el equilibrio:
  - 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa
  - 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa
  - 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

- Determinación de la resistencia a la perforación según UNE-ISO 3036:2013  
Dimensiones de la probeta: 175 mm x 175 mm  
Velocidad de los platos: 12,5 mm/min  
Acondicionamientos para la prueba hasta alcanzar el equilibrio:  
23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa  
23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa  
20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

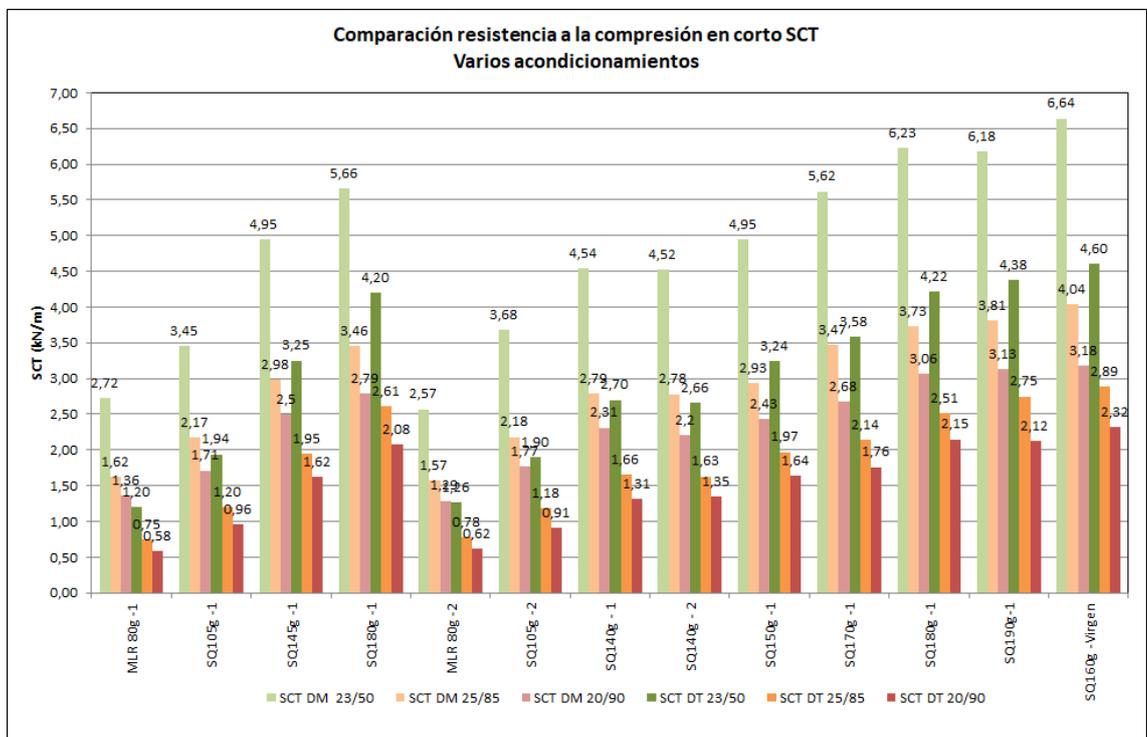
## 5 RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos en la caracterización de los papeles componentes y de las planchas de cartón ondulado.

### 5.1.1 RESULTADOS DE LOS PAPELES ONDULADOS

A continuación se muestra los resultados obtenidos, por comparativa con los obtenidos en condiciones estándar, cuando las pruebas de compresión en corto (SCT), compresión en plano tras ondulación (CMT) y aplastamiento sobre el canto (CCT) se llevan a cabo en acondicionamiento a 23°C de temperatura y 85% de humedad relativa y 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa.

*Resultados de resistencia a la compresión en corto SCT en acondicionamientos especiales*



**Figura 1.** Comparativa de la resistencia a la compresión en corto SCT en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

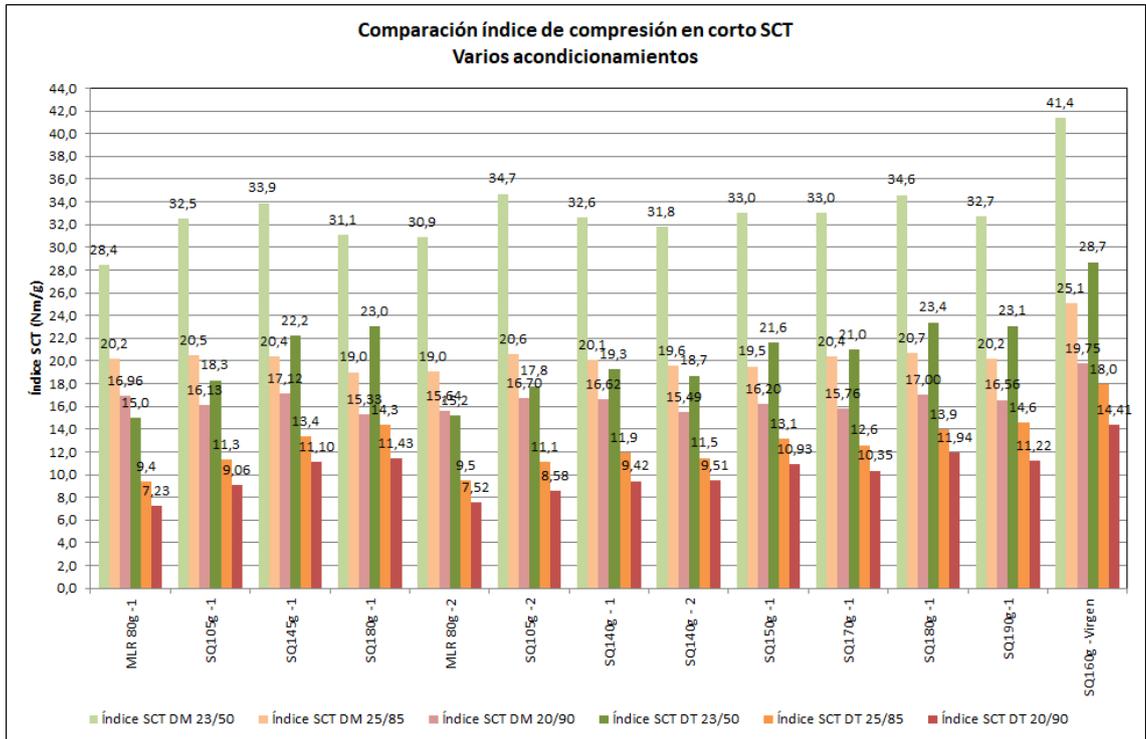


Figura 2. Comparativa del índice de compresión en corto SCT en varios acondicionamientos

Resultados de resistencia a la compresión en plano CMT en acondicionamientos especiales Onda B

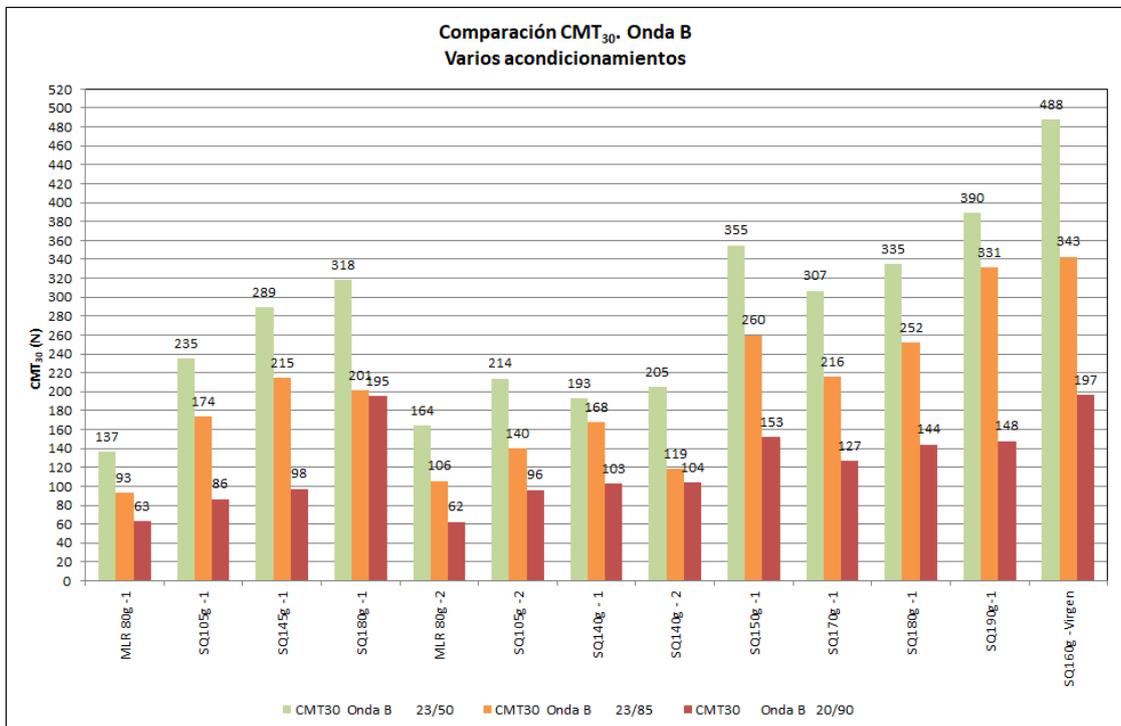


Figura 3. Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT<sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

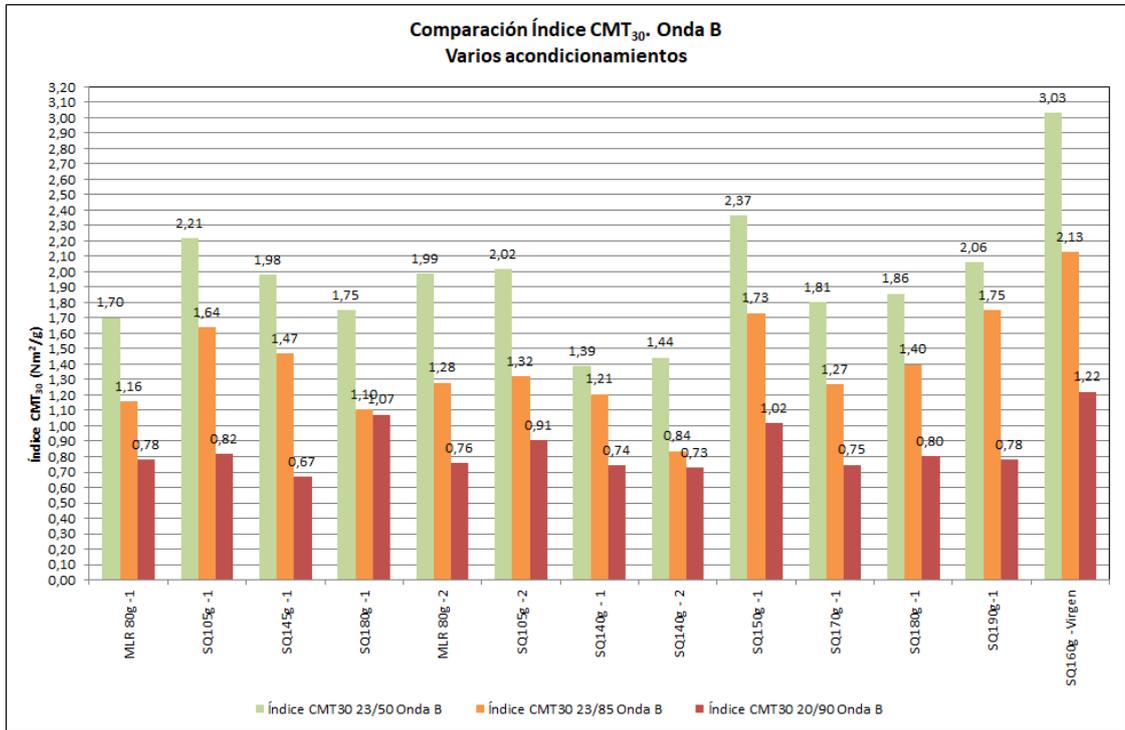


Figura 4. Comparativa del índice de compresión en plano CMT<sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos

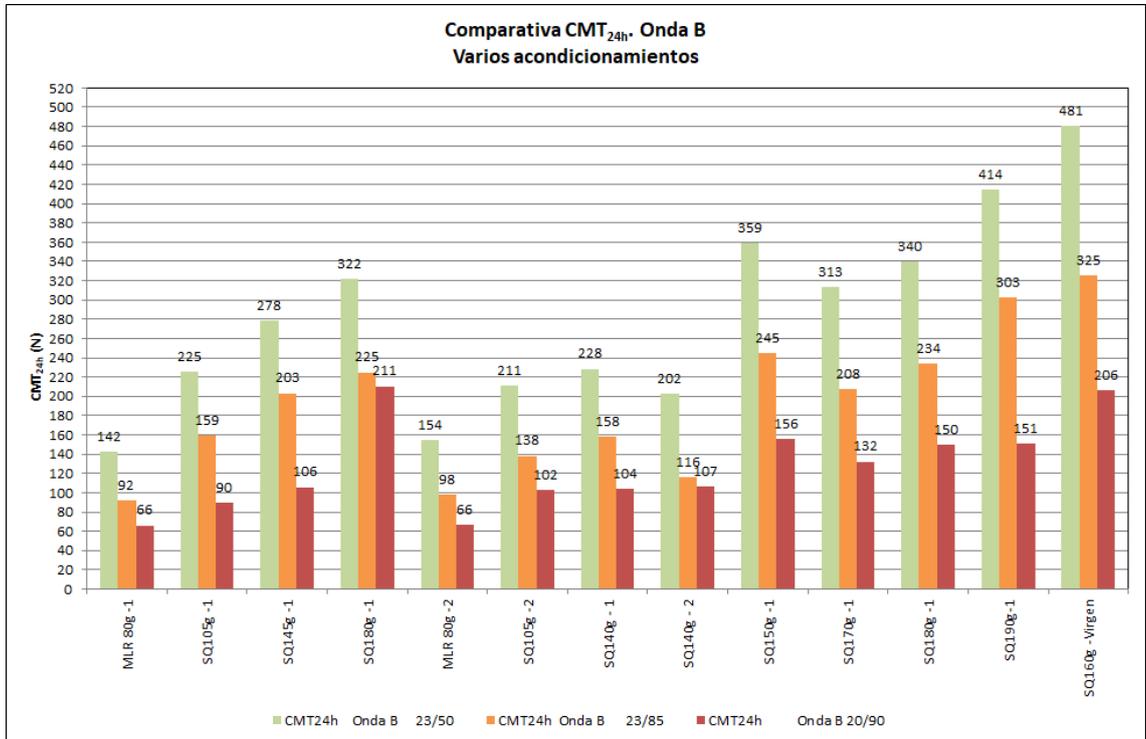
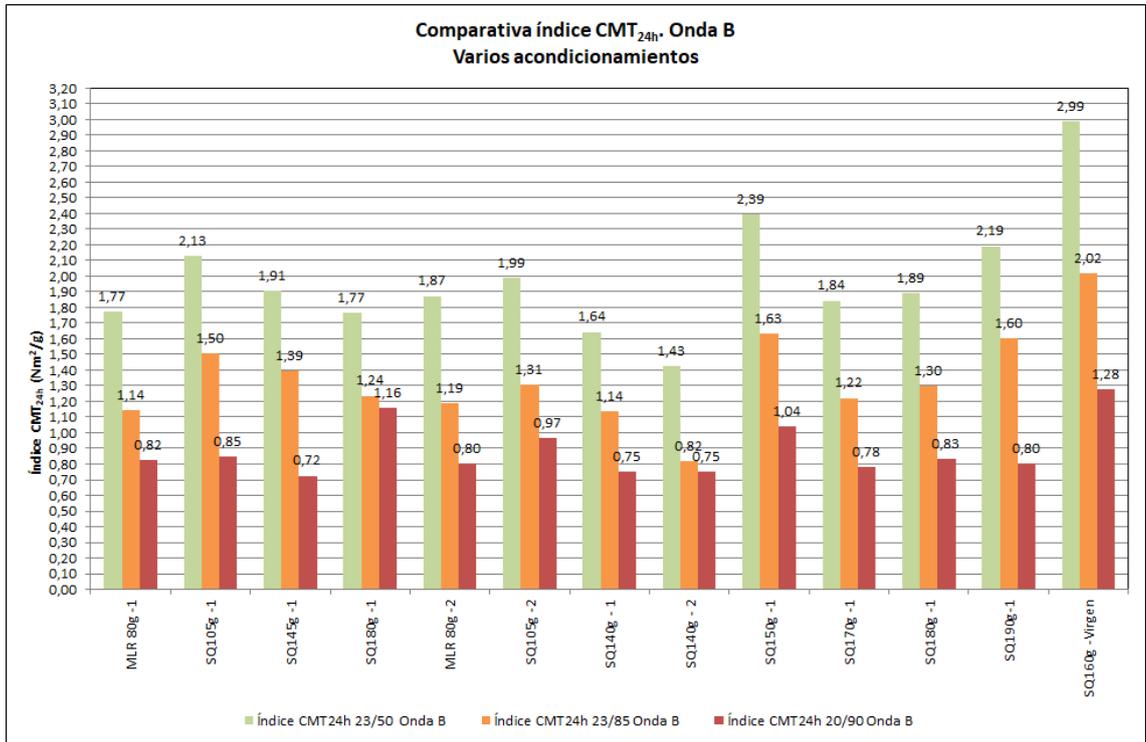


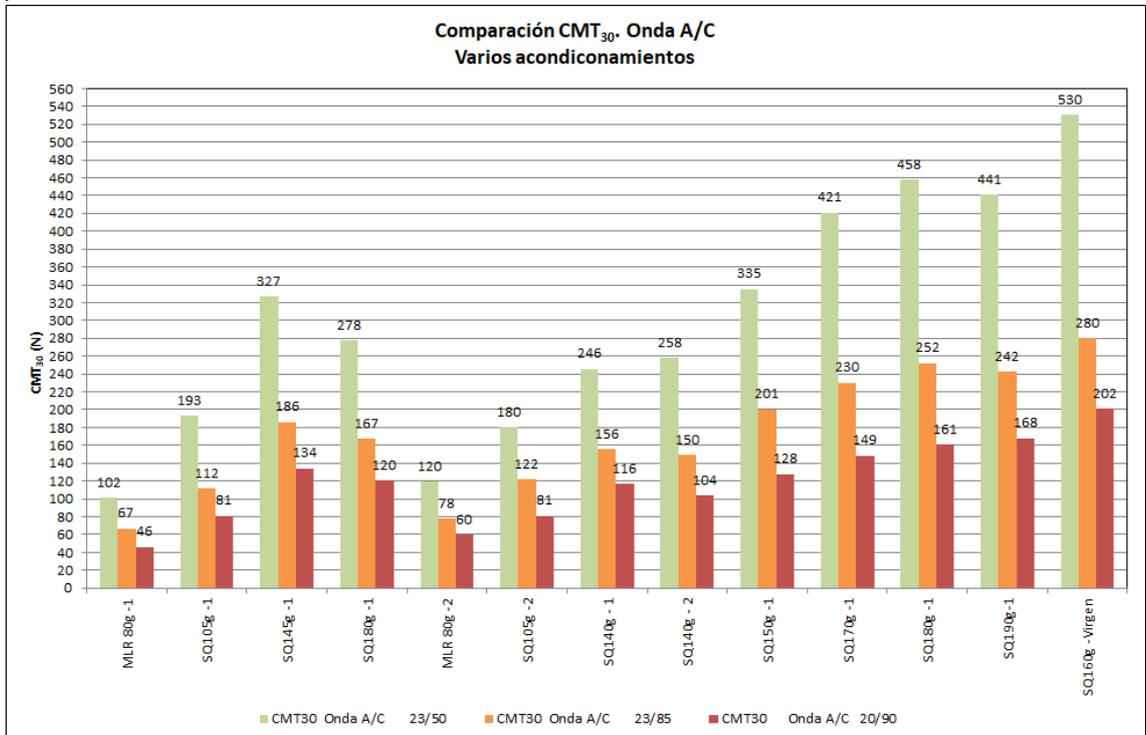
Figura 5. Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT<sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado



**Figura 6.** Comparativa del índice de compresión de la compresión en plano CMT<sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos

*Resultados de resistencia a la compresión en plano CMT en acondicionamientos especiales Onda A/C*



**Figura 7.** Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT<sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

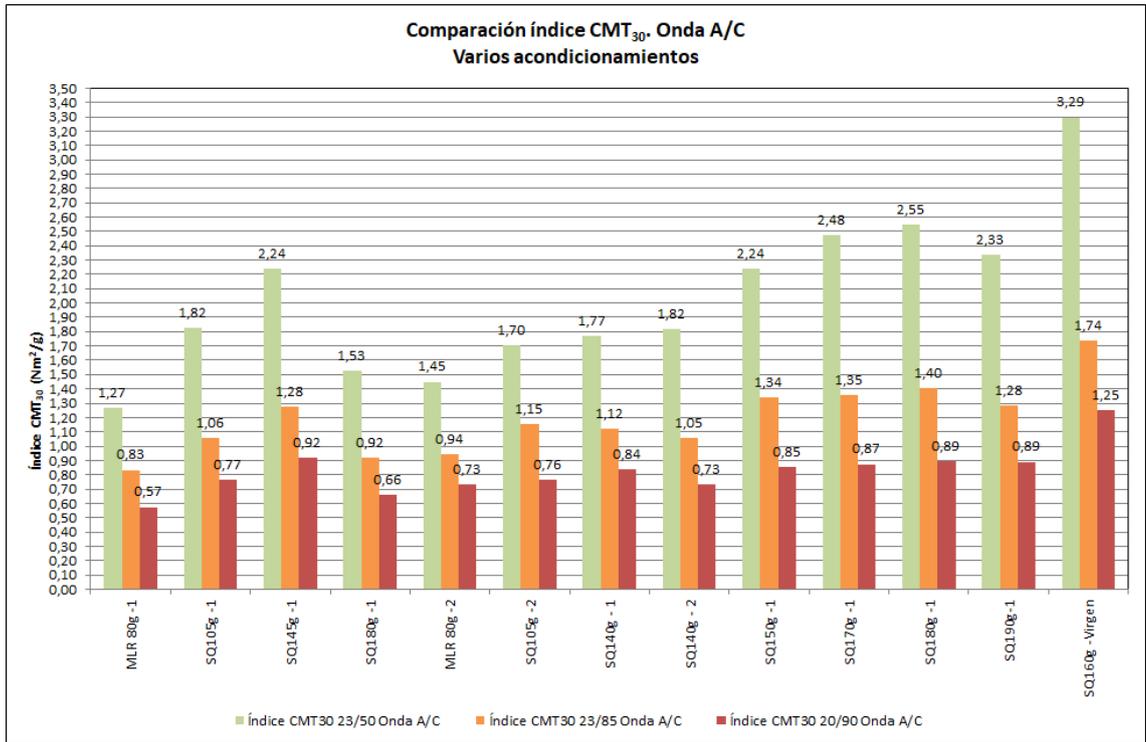


Figura 8. Comparativa del índice de compresión en plano CMT<sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

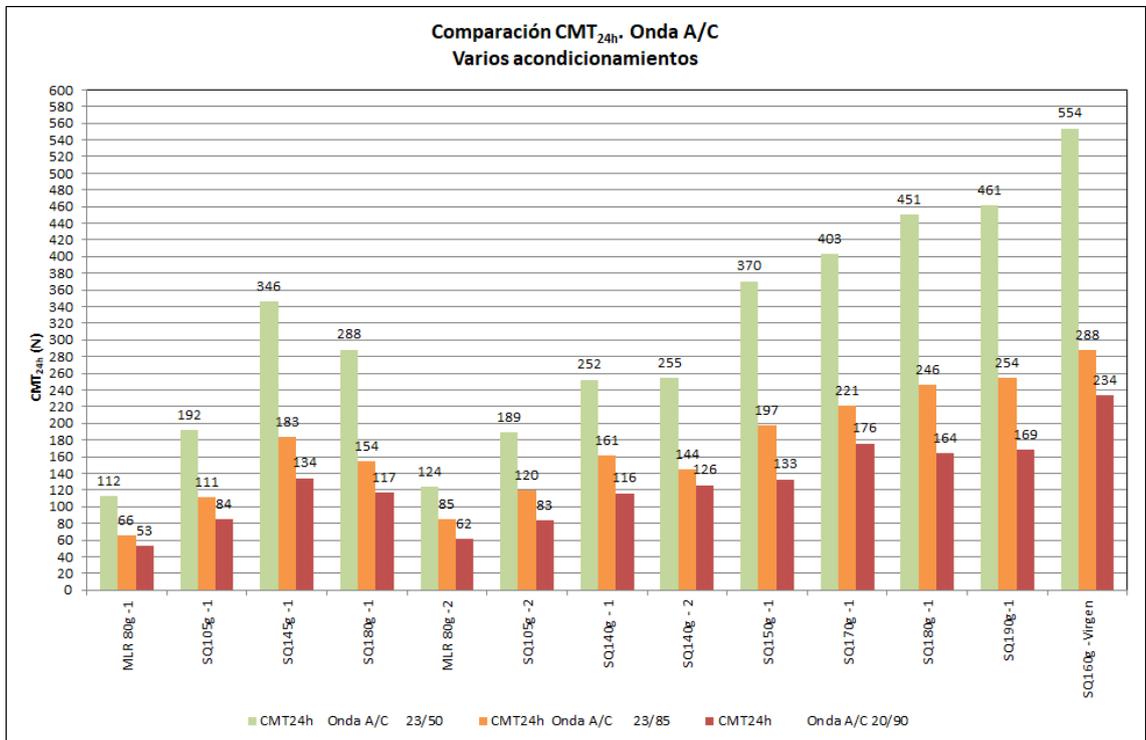
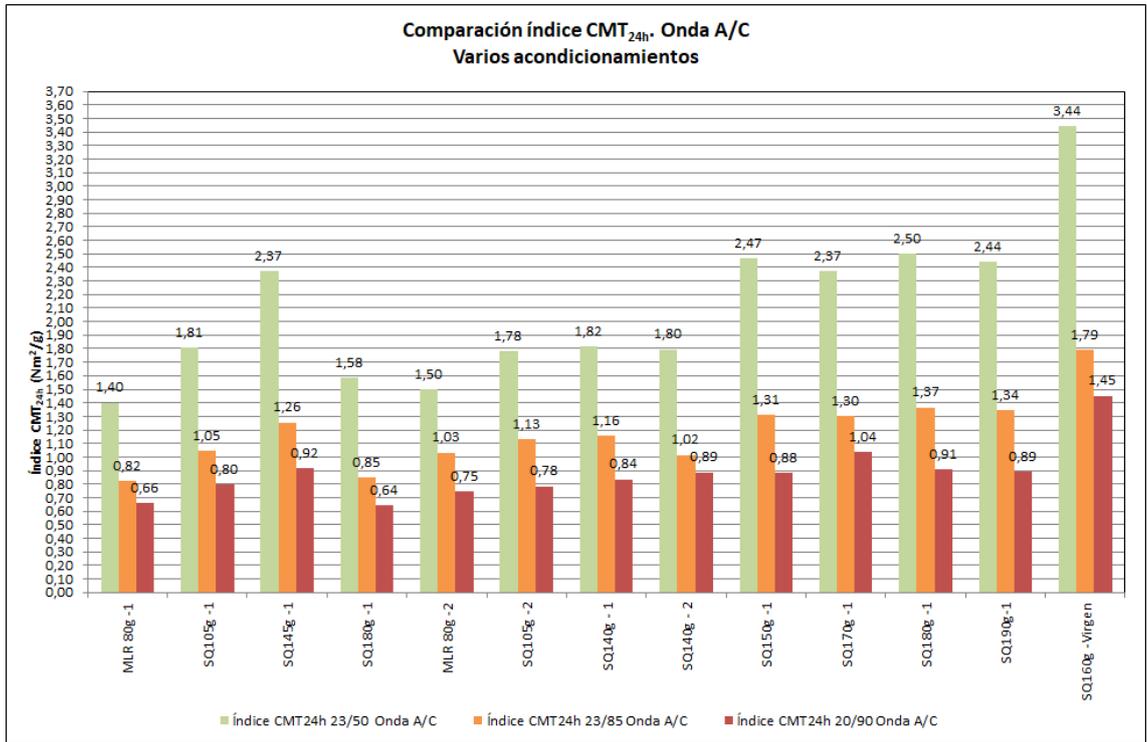


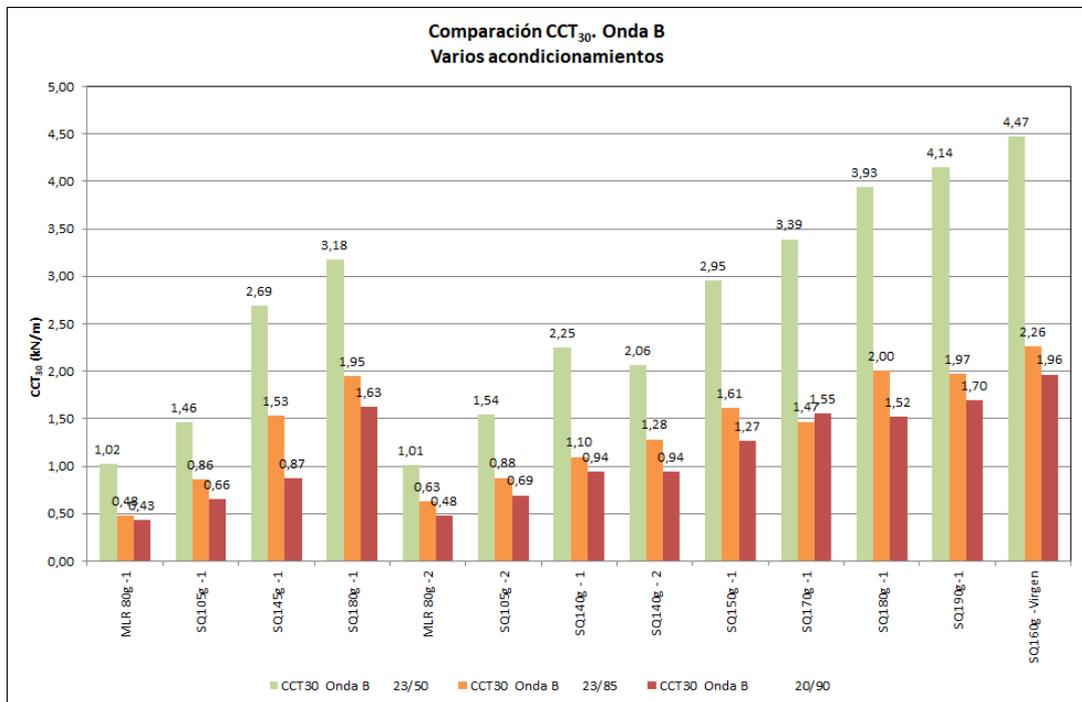
Figura 9. Comparativa de la resistencia a la compresión en plano CMT<sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado



**Figura 10.** Comparativa del índice de compresión en plano CMT<sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

Resultados de resistencia a la compresión en plano CCT en acondicionamientos especiales Onda B



**Figura 11.** Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT<sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

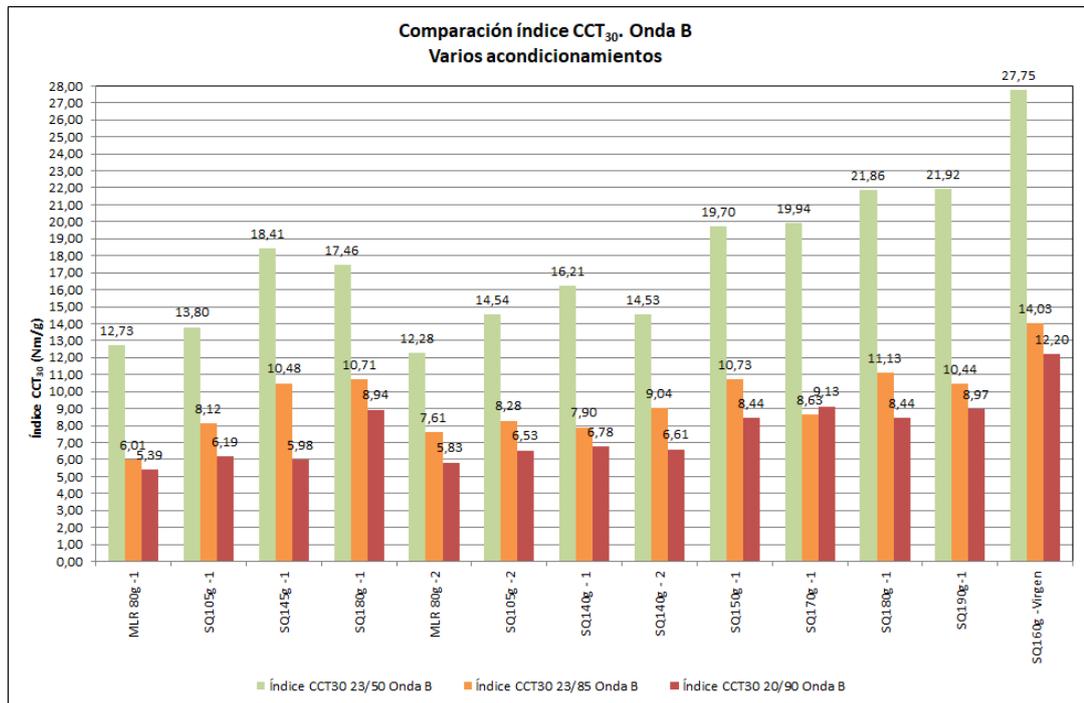


Figura 12. Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT<sub>30</sub> onda B en varios acondicionamientos

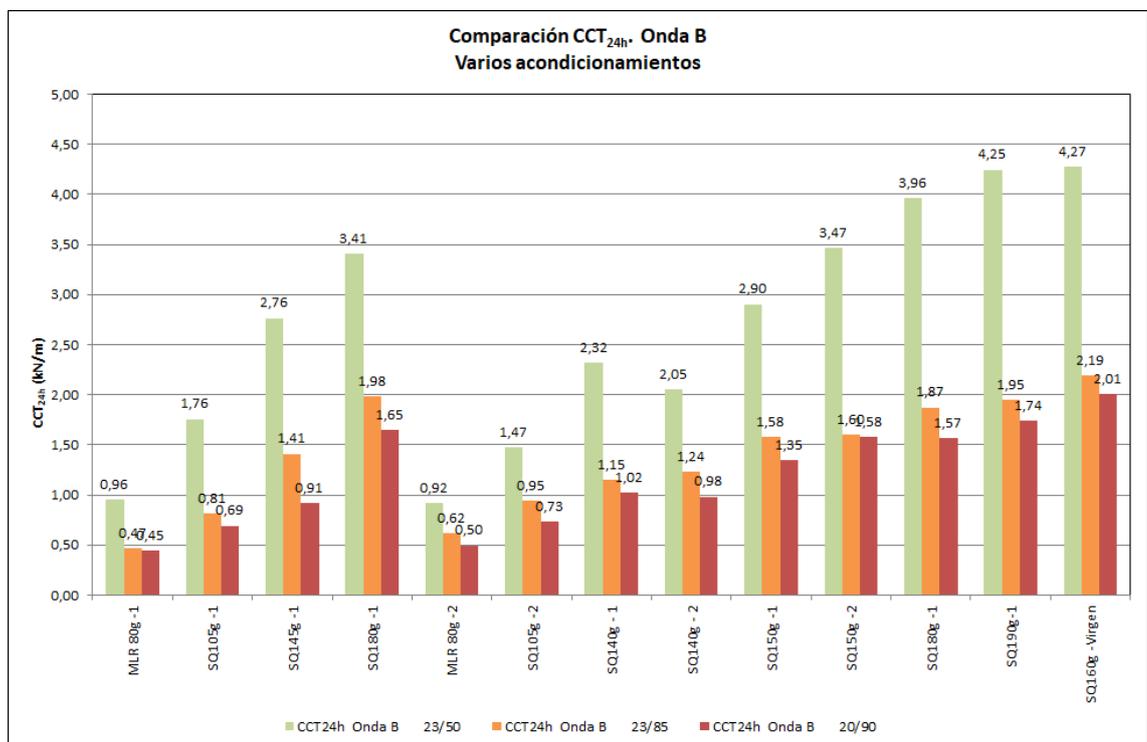
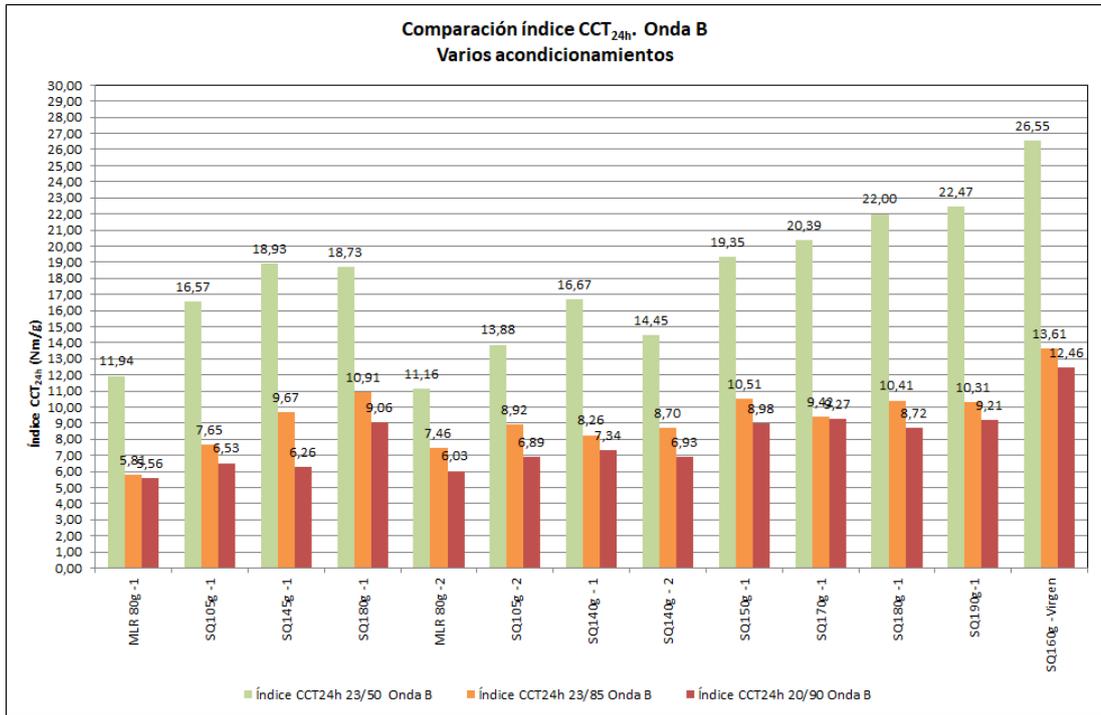


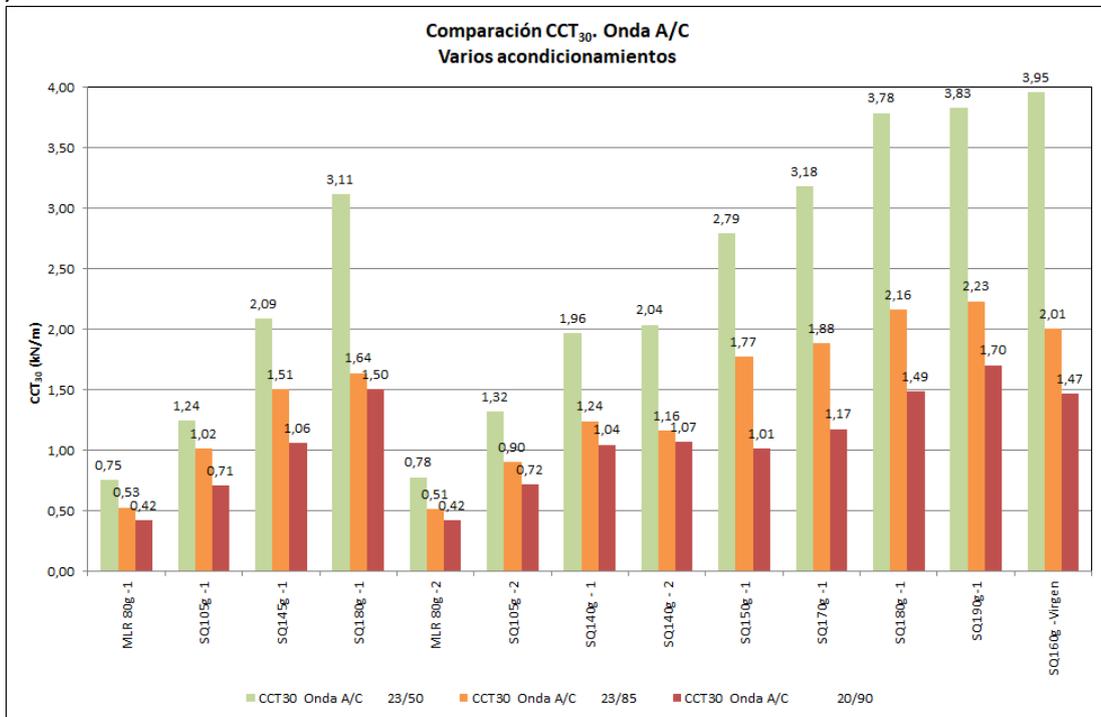
Figura 13. Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT<sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado



**Figura 14.** Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT<sub>24h</sub> onda B en varios acondicionamientos

Resultados de resistencia a la compresión en plano CCT en acondicionamientos especiales Onda A/C



**Figura 15.** Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT<sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

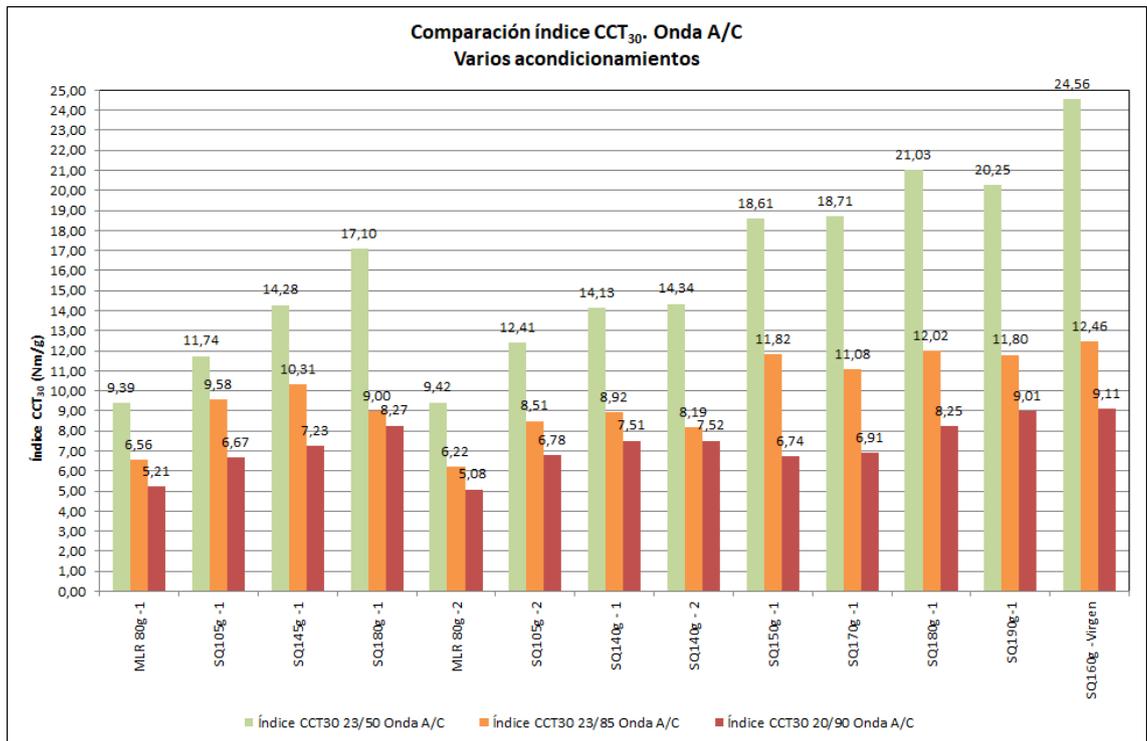


Figura 16. Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT<sub>30</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

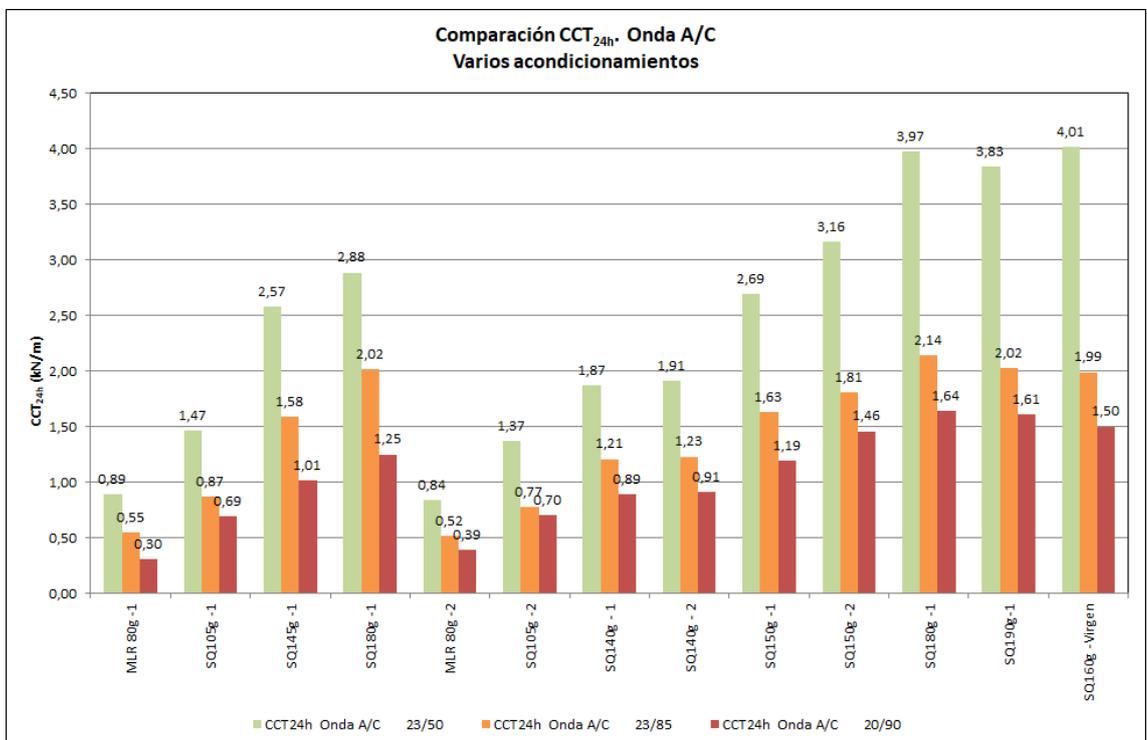


Figura 17. Comparativa de la resistencia a la compresión sobre el canto CCT<sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

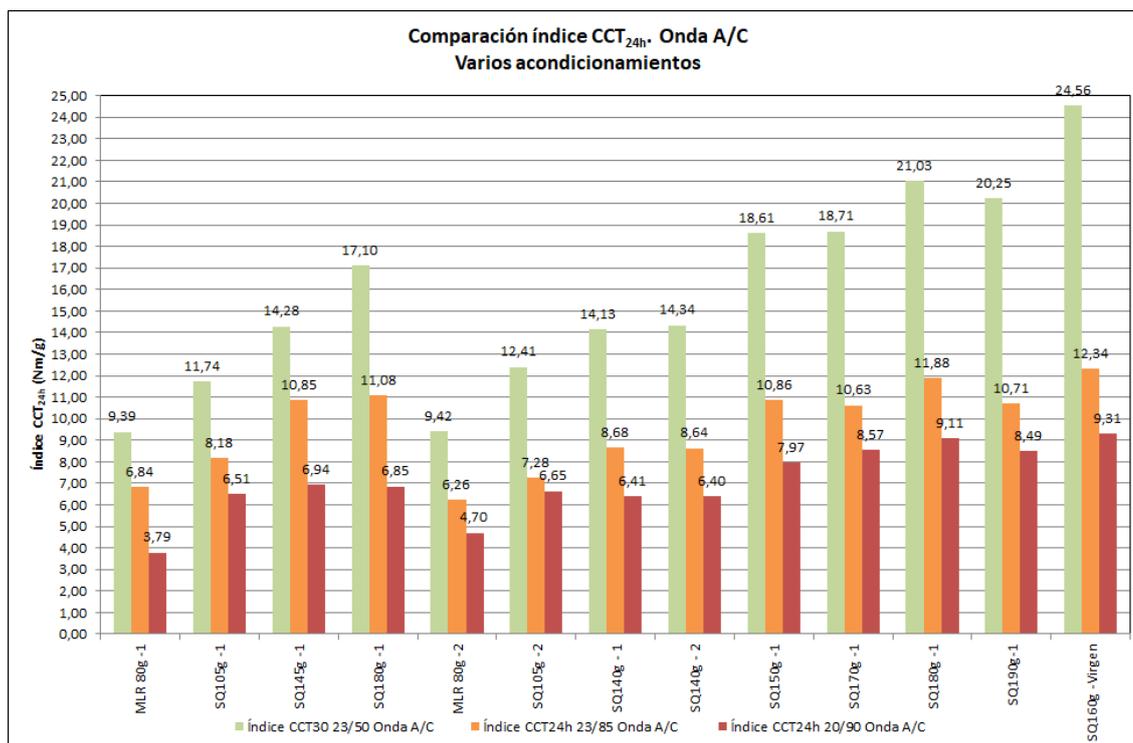


Figura 18. Comparativa del índice de compresión sobre el canto CCT<sub>24h</sub> onda A/C en varios acondicionamientos

### 5.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAPELES SEGÚN CEPI CONTAINERBOARD

Seguidamente se muestra la clasificación de los papeles ondulados de acuerdo con el documento editado por Cepi Containerboard, documento que solamente contempla los resultados de CMT y CCT en onda A/C para la clasificación.

Tabla 7. Clasificación de los papeles para ondular de acuerdo con Cepi Containerboard

Papel	Índice SCT DT 23/50 (Nm/g)	Índice CMT <sub>30</sub> Onda A/C 23/50 (Nm <sup>2</sup> /g)	Índice CCT <sub>30</sub> Onda A/C 23/50 (Nm/g)	Clasificación en base a los valores de resistencia	Clasificación en la composición
MLR 80g -1	15,0	1,27	9,39	Medium 1	Medium 1
SQ105g -1	18,3	1,82	11,74	Semiquímic 2	Medium de altas prestaciones 2
SQ145g -1	22,2	2,24	14,28	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
SQ180g -1	23,0	1,53	17,10	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
MLR 80g -2	15,2	1,45	9,42	Medium 1	Medium 1
SQ105g -2	17,8	1,70	12,41	Semiquímic 2	Medium de altas prestaciones 3
SQ140g -1	19,3	1,77	14,13	Semiquímic 2	Medium de altas prestaciones 1
SQ140g -2	18,7	1,82	14,34	Semiquímic 2	Medium de altas prestaciones 3
SQ150g -1	21,6	2,24	18,61	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
SQ170g -1	21,0	2,48	18,71	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
SQ180g -1	23,4	2,55	21,03	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
SQ190g -1	23,1	2,33	20,25	Semiquímic 1	Medium de altas prestaciones 2
SQ160g -Virgen	28,7	3,29	24,56	Semiquímic 1	Semiquímic 1

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

### 5.1.3 RESULTADOS DE LOS PAPELES PARA CARAS

A continuación se muestra los resultados obtenidos para los papeles componentes planos, que también forman parte de las planchas de cartón seleccionadas, en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa, en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa y en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa.

**Tabla 8.** Resultados de los papeles planos en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

Papel	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (μm)	SCT DM (kN/m)	Índice SCT DM (Nm/g)	SCT DT (kN/m)	Índice SCT DT (Nm/g)	Estallido (kPa)	Índice estallido (kN/g)
Papel plano 1	152	212	4,50	29,6	2,60	17,1	604	3,97
Papel plano 2	163	200	5,18	31,8	3,17	19,4	566	3,47
Papel plano 3	163	201	5,26	32,2	3,65	22,3	712	4,37
Papel plano 4	203	286	6,63	32,6	3,90	19,2	760	3,86
Papel plano 5	225	315	6,42	28,5	3,86	17,1	655	2,91
Papel plano 6	130	192	4,13	31,7	2,25	17,2	302	2,32
Papel plano 7	134	194	4,11	30,6	2,32	16,6	332	2,48
Papel plano 8	137	165	3,45	25,2	2,55	18,6	355	2,59
Papel plano 9	160	224	4,17	26,1	2,39	14,9	355	2,23
Papel plano 10	118	147	2,95	25,0	1,87	15,8	285	2,42

**Tabla 9.** Resultados de los papeles planos en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

Papel	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (μm)	SCT DM (kN/m)	Índice SCT DM (Nm/g)	SCT DT (kN/m)	Índice SCT DT (Nm/g)	Estallido (kPa)	Índice estallido (kN/g)
Papel plano 1	152	212	2,82	18,6	1,60	10,6	574	3,78
Papel plano 2	163	200	3,32	20,4	1,99	12,2	540	3,31
Papel plano 3	163	201	3,25	19,9	2,34	14,4	698	4,28
Papel plano 4	203	286	4,02	19,8	2,38	11,7	728	3,58
Papel plano 5	225	315	3,94	17,5	2,36	10,5	634	2,82
Papel plano 6	130	192	2,56	19,7	1,37	10,6	295	2,27
Papel plano 7	134	194	2,60	19,4	1,40	10,5	321	2,39
Papel plano 8	137	165	2,17	15,8	1,65	12,1	338	2,47
Papel plano 9	160	224	2,66	16,6	1,50	9,4	348	2,17
Papel plano 10	118	147	1,81	15,3	1,14	9,7	281	2,38

El gramaje y el espesor se evalúan a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

**Tabla 10.** Resultados de los papeles planos en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

Papel	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (µm)	SCT DM (kN/m)	Índice SCT DM (Nm/g)	SCT DT (kN/m)	Índice SCT DT (Nm/g)	Estallido (kPa)	Índice estallido (kN/g)
Papel plano 1	152	212	2,50	16,4	1,59	10,5	569	3,74
Papel plano 2	163	200	2,11	12,9	1,42	8,7	566	3,47
Papel plano 3	163	201	2,38	14,6	1,72	10,6	631	3,87
Papel plano 4	203	286	3,31	16,3	1,96	9,7	657	3,24
Papel plano 5	225	315	3,50	15,6	2,10	9,3	609	2,71
Papel plano 6	130	192	2,09	16,1	1,09	8,4	295	2,27
Papel plano 7	134	194	2,00	14,9	1,12	8,4	289	2,16
Papel plano 8	137	165	1,63	11,9	1,27	9,3	310	2,26
Papel plano 9	160	224	1,99	12,5	1,19	7,4	316	1,98
Papel plano 10	118	147	1,40	11,9	0,88	7,5	262	2,22

El gramaje y el espesor se evalúan a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa

La variabilidad entre los lotes de los papeles, tanto planos como ondulados oscila entre el 5% y el 10%.

El contenido en humedad de equilibrio en todos los papeles, en los distintos acondicionamientos, fue de un 7,3% en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa; 10,9% en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa y 13,1% en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa.

#### 5.1.4 RESULTADOS DE LAS PLANCHAS DE CARTÓN ONDULADO

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para las planchas doble-cara canal B, canal C y doble-doble canales BC, en los distintos acondicionamientos.

**Tabla 11.** Resultados de las planchas doble-cara canal B

Plancha de cartón	Acond. 23/50				Acond. 23/85		Acond. 20/90	
	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)
Plancha 1B	329	2,87	3,25	2,6	1,96	2,5	1,86	2,4
Plancha 2B	510	3,02	5,84	4,8	4,39	4,7	3,97	4,6
Plancha 3B	450	2,93	5,27	4,1	4,20	4,0	3,77	3,7
Plancha 4B	469	3,01	7,13	5,2	4,40	5,1	3,59	4,9
Plancha 5B	486	2,94	7,21	5,0	4,54	4,7	3,65	4,4
Plancha 6B	516	2,97	7,74	4,6	4,77	4,6	3,74	4,5

**Tabla 12.** Resultados de las planchas doble-cara canal C

Plancha de cartón	Acond. 23/50				Acond. 23/85		Acond. 20/90	
	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)
Plancha 1C	520	4,06	6,02	5,1	3,64	4,9	3,50	4,4
Plancha 2C	472	3,91	5,82	4,3	3,67	4,2	3,24	3,8
Plancha 3C	603	4,07	8,37	6,8	5,27	6,7	4,17	6,5
Plancha 4C	632	3,95	8,50	8,0	5,33	7,3	3,97	6,9
Plancha 5C	633	4,06	8,11	7,5	4,99	7,5	4,76	7,3
Plancha 6C	537	3,95	7,29	5,9	4,55	5,7	3,64	5,5

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

**Tabla 13.** Resultados de las planchas doble-cara canal BC

Plancha de cartón	Acond. 23/50				Acond. 23/85		Acond. 20/90	
	Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	Espesor (mm)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)	ECT (kN/m)	Perforación (J)
Plancha 1BC	951	6,64	14,28	14,6	9,43	14,6	8,96	14,4
Plancha 2BC	907	6,69	14,54	14,6	9,20	14,4	7,36	14,2
Plancha 3BC	944	6,69	14,10	13,8	8,85	13,7	8,20	13,6
Plancha 4BC	1047	6,80	15,26	17,1	9,40	16,0	7,33	15,6
Plancha 5BC	998	6,81	15,60	16,2	9,78	16,2	7,82	16,0
Plancha 6BC	1021	6,70	15,04	16,7	9,71	16,6	7,29	16,3
Plancha 7BC	1028	6,83	15,72	17,8	10,17	17,6	8,21	17,6
Plancha 8BC	1123	6,92	15,05	17,4	9,19	17,1	8,25	17,0
Plancha 9BC	839	6,59	10,10	9,4	6,35	9,3	5,40	8,8

Para completar las pruebas sobre las planchas de cartón ondulado se determinó el contenido en humedad en equilibrio en cada uno de los acondicionamientos aplicados. Los resultados obtenidos fueron muy similares a los obtenidos con los papeles, siendo de un 7,1% en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa; 10,8% en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa y 13,2% en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa.

La variabilidad entre los lotes de planchas también se encuentra entre un 5% y un 10%.

## 6 CONCLUSIONES

A continuación se muestra las conclusiones obtenidas a partir de los resultados obtenidos. Éstas hacen referencia al comportamiento de los papeles para ondular y a la influencia del perfil de onda, a la clasificación de los papeles, a la influencia del acondicionamiento en los papeles componentes y en las planchas de cartón ondulado.

Comportamiento de los papeles ondulados bajo los diferentes perfiles de onda (B y A/C): Se encontraron diferencias en el comportamiento de los papeles ondulados cuando se prueban bajo diferentes perfiles de onda. En el caso de la prueba de resistencia al aplastamiento en plano CMT, se constató que el gramaje de los papeles tenía cierta influencia, ya que los papeles de menor gramaje se comportaron mejor en la onda B (nominales de 90 g/m<sup>2</sup>, 105g/m<sup>2</sup>), en oposición a los papeles de mayor gramaje (150 g/m<sup>2</sup>, 170 g/m<sup>2</sup>, 180 g/m<sup>2</sup> y 190 g/m<sup>2</sup>), cuya resistencia fue mayor cuando su perfil de onda se correspondía con la onda A/C.

En la prueba de determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto CCT todos los papeles mostraron un mejor comportamiento cuando la prueba se realizaba con un perfil de onda B, independientemente de su gramaje o clasificación.

Clasificación de los papeles: Los papeles obtuvieron una mejor clasificación cuando ésta se llevó a cabo con los valores de SCT.

ONDUBEST. Documento de recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado

Influencia del perfil de onda en las propiedades de las planchas de cartón: Se escogieron los valores de resistencia al aplastamiento sobre el canto ECT para establecer la influencia de la composición y perfil de los ondulados. El hecho de seleccionar esta propiedad es porque está directamente relacionada con la resistencia a la compresión de los embalajes que pudiesen fabricarse con las planchas de cartón ondulado, la cual permite evaluar su comportamiento en operaciones de transporte, incluido el posterior almacenamiento. Los resultados de la resistencia al aplastamiento sobre el canto ECT confirmaron que la composición del ondulado es el factor más relevante sobre dicho valor. Independientemente de los papeles planos, se observó que el ECT mantenía un valor estable cuando la composición del ondulado no variaba. En el caso de las planchas doble cara los valores de ECT fueron comparables (se tuvo en cuenta que las desviaciones encontradas podrían deberse a las diferencias entre lotes encontradas en los papeles) en las planchas que tenían la misma composición de papeles ondulados, tanto en canal B como en canal C, aunque los papeles que formaban las caras difirieran en clasificación y/o gramaje, por lo que se confirmó que el valor del ECT depende en gran medida en la selección de los papeles ondulados. Idéntica conclusión se puede extraer del análisis de los resultados de las planchas doble-doble, en las que el valor de ECT se mantiene estable cuando los papeles ondulados no varían, independientemente de la composición de las caras.

La propiedad de los papeles componentes ondulados con la que se relaciona el ECT es el CCT. Cuando los papeles ondulados componentes de la plancha incrementan el valor de CCT, el valor del ECT también se eleva, si bien no en la misma proporción, siendo el aprovechamiento entre un 70% y un 80%. También se apreció que, si bien en los papeles se observó que el canal B era ligeramente más eficiente que el canal C en la prueba de CCT, en los valores de ECT esa diferencia no es tan evidente.

Por último, se hizo patente la influencia de los papeles planos en los resultados de la resistencia a la perforación, en donde la clasificación y el gramaje de estos papeles determinaban su valor, sin que el perfil de onda tenga una especial relevancia. La propiedad del papel a tener en cuenta en este caso es el estallido.

Influencia del acondicionamiento: Las pruebas de compresión como son el CMT, el CCT, el SCT y ECT se vieron muy influidas por el incremento de humedad en la atmósfera de acondicionamiento, con pérdidas cercanas al 40% con respecto al acondicionamiento estándar cuando la atmósfera era 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa e incluso del 60% cuando la atmósfera era 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa. Estas pérdidas aparecieron de forma similar en los papeles reciclados y en los papeles vírgenes y en las planchas de cartón, independientemente de su composición o estructura. A su vez, se confirmó la sospecha de las empresas con respecto al gran impacto por el incremento en la humedad de acondicionamiento del 85% al 90%. Ese 5% superior en la humedad relativa ambiente se tradujo en un incremento en el contenido en humedad de los papeles y cartones algo superior al 2%, pero en una pérdida de resistencia de un 20% con respecto al acondicionamiento estándar. También se observó que hay pruebas sobre las que el incremento en el contenido en humedad del papel y el cartón ondulado tiene poca influencia, como son la resistencia al estallido y la resistencia a la perforación, que registran porcentajes de pérdida con respecto al original muy pequeños. Por otro lado, mediante la comparación de los resultados obtenidos tras 30 minutos y 24 horas de acondicionamiento tras ondulación, se comprobó que en las pruebas de CMT y CCT los 30 minutos de acondicionamiento son suficientes para que las probetas alcancen el equilibrio con la atmósfera que las rodea, haciendo la prueba representativa de uso habitual de los papeles como parte del cartón ondulado.

## 7 RECOMENDACIONES DE MEJORA Y OPTIMIZACIÓN

Dados los resultados obtenidos en el proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones para la mejora y optimización del cartón ondulado.

- La selección de los papeles componentes para la fabricación de cartón ondulado debe realizarse en función de las características que se desean en el cartón ondulado y de acuerdo a las condiciones de uso.
- Si se desea potenciar el valor de ECT, lo que incide en la resistencia de los futuros embalajes, la selección de los papeles ondulados es clave y debe realizarse en función de su valor de CCT, considerando que a mayor valor de CCT, mayor valor de ECT, sea cual sea la estructura del cartón ondulado.
- Si se desea mejorar los valores de resistencia a la perforación, la selección debe centrarse en los papeles para caras, en los que su clasificación y gramaje son los factores de influencia en esa resistencia. El incremento de la resistencia al estallido de los papeles para caras mejora la resistencia a la perforación.
- El incremento de la humedad ambiente incrementa el contenido en humedad del cartón ondulado y hace disminuir sus propiedades de resistencia. El acondicionamiento base de la medida de la resistencia es el acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa. En condiciones de alta humedad, como son 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa la pérdida de resistencia puede llegar a alcanzar el 60% del valor obtenido en acondicionamiento estándar. Esta pérdida se produce tanto en los papeles fabricados empleando pasta virgen como en los que contienen pasta reciclada. Si el uso del cartón ondulado está previsto en condiciones de alta humedad se debe tener en cuenta la merma de resistencia que producirá.
- Se recomienda aplicar la solución más sostenible, con la aplicación de los resultados y conclusiones obtenidos en el proyecto, es decir potenciando las propiedades que se requieren en el cartón ondulado utilizando las combinaciones de papeles que impliquen la mayor resistencia con el menor peso.

## Referencias

1. *Cepi Containerboard. Lista europea de papeles para cartón ondulado. Ed 2017*
2. *UNE-EN 20187:1994. Papel, cartón y pastas. Atmósfera normal de acondicionamiento y ensayo y procedimiento para controlar la atmósfera y el acondicionamiento de muestras*
3. *UNE-EN ISO 287:2018. Papel y cartón. Determinación del contenido de humedad de un lote. Método de secado en estufa.*
4. *UNE -EN ISO 536:2013. Papel y cartón. Determinación del gramaje*
5. *UNE-EN ISO 534:2012. Papel y cartón. Determinación del espesor, densidad y volumen específico*
6. *UNE-ISO 9895:2019. Papel y cartón. Resistencia a la compresión. Ensayo de compresión en corto.*
7. *UNE-EN ISO 7263-1:2019. Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano tras la ondulación en laboratorio. Parte 1: Onda A.*
8. *UNE-EN ISO 7263-2:2019. Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano tras la ondulación en laboratorio. Parte 2: Onda B.*
9. *UNE-EN ISO 16945:2015. Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto tras ondulación en laboratorio.*
10. *UNE-EN ISO 2759:2004. Cartón. Determinación de la resistencia al estallido.*
11. *UNE-ISO 3034:2016. Cartón ondulado. Determinación del espesor de una sola plancha.*
12. *UNE-EN ISO 3037:2013. Cartón ondulado. Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto (método sin impregnación de parafina).*
13. *UNE-ISO 3036:2013. Cartón. Determinación de la resistencia a la perforación.*