ENTREGABLE
PROYECTOS—
2024-2025

FEDER NOUSTEST-INVESTIGACIÓN DE LAS RELACIONES ENTRE LA NUEVA PRUEBA DE COMPRESIÓN DE PAPEL S-TEST Y LAS TRADICIONALES Y SU APLICACIÓN PARA OPTIMIZAR EL CARTÓN ONDULADO

Entregable: E8.1- Directrices para la optimización de cartón ondulado

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto:

Expediente: IMDEEA/2024/64

Duración:

Coordinado en AIDIMME por: Dra. Eva Martínez

GENERALITAT VALENCIANA
Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo

IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN

Financiado por la Unión Europea

AIDIMME
Instituto Tecnológico

ÍNDICE

1. OBJETIVO.....1

2. PAPELES SELECCIONADOS 1

3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....4

5. RECOMENDACIONES A LAS EMPRESAS 6

6. ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA.....7

1. Objetivo

El objetivo de este entregables transmitir a las empresas fabricantes de papeles componentes para cartón ondulado y a las empresas fabricantes de cartón ondulado una serie de recomendaciones para que puedan emplear los resultados de las pruebas de S-Test para la optimización del cartón ondulado.

2. Papeles seleccionados

Para realizar el proyecto se seleccionaron 17 papeles. En esta lista se muestra la codificación que AIDIMME ha asignado a esos papeles, con el fin de mantener la confidencialidad.

Duo FU
Duo DW
SQ GT
SQ HS
SQ IR
Duo BY
Duo EV
SQ CX
SQ LO
SQ XC
SQ WD
SQ JQ
SQ KP
SQ YB
SQ AZ
SQ ZA
SQ MN

A su vez se han llevado a cabo las siguientes pruebas

- Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano, tras ondulación en laboratorio. Onda A, que se llevó a cabo 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:

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Altura de la onda: 4,75 mm
Paso: 8,55 mm
Acondicionamiento previo a la ondulación: equilibrio a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa
Tiempo tras ondulación: 30 minutos en acondicionamiento: 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa (estándar) y 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa (alta humedad en papeles seleccionados)
Velocidad de los platos: 12,5 mm/min
Probetas ensayadas: 10
Resultado: Resistencia a la compresión en N

- 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-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
  Tiempo tras ondulación: 30 minutos en acondicionamiento: 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa (estándar)
  Velocidad de los platos: 12,5 mm/min
  Probetas ensayadas: 10
  Resultado: Resistencia a la compresión en N

- 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 16945:2015
  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
  Acondicionamiento previo a la ondulación: equilibrio a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa
  Tiempo tras ondulación: 30 minutos en acondicionamiento: 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa (estándar) y 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa (alta humedad en papeles seleccionados)
  Velocidad de los platos: 12,5 mm/min
  Probetas ensayadas: 10
  Resultado: Resistencia a la compresión en kN/m

- Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto tras ondulación en laboratorio. Onda B, que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma UNE-ISO 16945:2015, aunque el perfil no estuviese contemplado en ella.
  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
  Tiempo tras ondulación: 30 minutos en acondicionamiento: 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa (estándar)
  Velocidad de los platos: 12,5 mm/min
  Probetas ensayadas: 10
  Resultado: Resistencia a la compresión en kN/m

- Determinación de la resistencia a la compresión en corto SCT, que se llevó a cabo 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
  20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa (en papeles seleccionados)
  Anchura de compresión: 0,7 mm
  Probetas ensayadas: 20 en cada dirección
  Resultado en kN/m

- Determinación de la resistencia a la compresión S-Test, que se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma ISO 7763:2024
  Las probetas tenían una anchura de 15 mm.
  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 (en papeles seleccionados)
  20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa (en papeles seleccionados)
  Anchura de compresión en S: 4 mm
  Probetas ensayadas: 20
  Resultado en kN/m

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

3. Resumen de los resultados obtenidos

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la prueba S-Test y de las pruebas tradicionales.

Tabla 1.- Resultados de las pruebas tradicionales en acondicionamiento estándar. CMT y CCT con perfil de onda A

Papel	Gramaje (g/m^2)	CMT_{30A} primer pico (N)	CMT_{30A} (N)	CCT_{30A} (kN/m)	SCT DM (kN/m)	SCT DT (kN/m)
Duo FU	80	29,46	79,14	0,73	1,71	0,99
Duo DW	80,4	34,33	94,75	0,83	2,17	1,16
SQ GT	105	66,82	163,73	1,21	3,26	1,84
SQ HS	106	74,80	175,64	1,26	3,49	1,81
SQ IR	116	79,56	208,26	1,41	3,79	2,16
Duo BY	121	63,69	158,15	1,50	3,13	2,07
Duo EV	121	83,40	170,17	1,58	3,72	1,98
SQ CX	146	133,00	305,36	2,50	4,74	3,07
SQ LO	146	129,78	290,68	2,33	4,43	2,92
SQ XC	146	121,92	274,81	1,97	4,15	2,87
SQ WD	148	127,14	298,92	2,01	4,24	2,98
SQ JQ	149	181,93	428,34	3,13	6,49	3,79
SQ KP	152	187,54	441,83	3,64	6,51	4,30
SQ YB	179	204,14	348,87	3,22	5,47	3,89
SQ AZ	180	207,05	397,12	3,55	5,47	4,01
SQ ZA	180	198,06	370,89	3,23	5,61	3,81
SQ MN	181	201,71	385,87	3,25	5,75	3,85

Tabla 2.- Resultados de las pruebas tradicionales en acondicionamiento estándar. CMT y CCT con perfil de onda B

Papel	CMT_{30B} primer pico (N)	CMT_{30B} (N)	CCT_{30B} (kN/m)
SQ HS	96,32	159,32	1,14
Duo BY	84,71	167,36	1,07
SQ LO	185,79	283,23	1,92
SQ KP	300,52	502,27	3,01
SQ YB	248,56	288,57	2,56

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Tabla 3.- Resultados de las pruebas tradicionales en acondicionamiento a alta humedad. CMT y CCT con perfil de onda A

Papel	CMT_{30A} primer pico (N)	CMT_{30A} (N)	CCT_{30A} (kN/m)	SCT DM (kN/m)	SCT DT (kN/m)
SQ GT	30,23	80,25	0,73	1,50	0,89
SQ IR	35,99	100,44	0,83	1,78	1,03
SQ JQ	80,46	202,74	1,21	3,27	1,79
SQ MN	90,97	176,08	1,26	2,47	1,85
SQ YB	84,70	162,34	1,41	2,40	1,74

Tabla 4.- Resultados de la prueba S-Test en acondicionamiento estándar.

Papel	S-TEST (kN/m)
Duo FU	0,53
Duo DW	0,65
SQ GT	1,13
SQ HS	1,42
SQ IR	1,40
Duo BY	1,27
Duo EV	1,62
SQ CX	2,08
SQ LO	2,05
SQ XC	1,97
SQ WD	2,04
SQ JQ	2,44
SQ KP	2,52
SQ YB	3,06
SQ AZ	3,08
SQ ZA	3,16
SQ MN	3,06

Tabla 5.- Resultados de la prueba S-Test en acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa

Papel	S-Test (kN/m)
SQ GT	0,77
SQ IR	0,90
SQ JQ	1,71
SQ MN	1,96
SQ YB	2,04

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Tabla 6.- Resultados de la prueba S-Test en acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

Papel	S-Test (kN/m)
SQ GT	0,73
SQ IR	0,89
SQ JQ	1,66
SQ MN	1,79
SQ YB	1,75

Tras el análisis de estos resultados, se concluye lo siguiente:

Los valores del S-Test correlacionan perfectamente con los valores del primer pico del CMT cuando la determinación se lleva cabo a los 30 minutos de ondular y con perfil de onda A, pero teniendo en cuenta que los valores de S-Test separan por clases de papel.
La correlación con el primer pico cuando el perfil de onda de los valores de la prueba de CMT es el B no es tan alta.
De forma similar, la correlación entre los valores de S-Test y el valor del CMT cuando se obtiene el valor normalizado, que es a aplastamiento total, es menor que la del primer pico.
El valor de S-Test, aunque presenta una correlación lineal con porcentajes altos con las pruebas tradicionales CCT y SCT, tampoco alcanzan los obtenidos con el primer pico del CMT_{30A}.
Los valores de las pruebas tradicionales que se obtendrían a partir de los valores de S-Test no serían lo suficientemente precisos.
La prueba de S-Test se ve menos afectada por la humedad que las pruebas tradicionales y la caída de propiedades entre el valor determinado 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, no supera el 9%, a diferencia de las pruebas tradicionales que pueden registrar una caída del 20%.

5. Recomendaciones a las empresas

Los valores de la prueba S-Test guardan una buena correlación con el primer pico de la prueba de CMT en el perfil de onda A y, sobre todo, en acondicionamiento estándar. Sin embargo, la correlación no están precisa cuando el CMT va a aplastamiento total, o la prueba es CCT o SCT. Dado que las empresas no suelen disponer del valor del primer pico, ya que no lo contemplaba la norma, se recomienda a las empresas evaluar e interpretar el valor del S-Test de forma independiente al resto de pruebas. Como todo hace indicar que el valor del S-Test a medio plazo sustituirá al valor del CMT, poco a poco se dispondrá de históricos que permitan llevar a cabo esa labor, al igual que ocurrió hace 20 años con la prueba de SCT.

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

Las empresas han de tener en cuenta que el valor de S-Test hace distinción entre clases de papeles, así los Semiquímicos vírgenes se pueden agrupar en una escala de valores, los Médium reciclados en otra y los papeles Duo en otra diferente.

Las empresas deben tener en cuenta que el valor del S-Test se ve menos afectado por el incremento de humedad que las pruebas tradicionales. Deben dedicar especial cuidado de no interpretar esos valores positivos como una mejor resistencia a la humedad de los papeles para ondular, ya que si esos mismos papeles se probasen con las pruebas tradicionales, la disminución sería a la que las empresas están acostumbradas.

Los valores son coherentes con los indicados en la Lista de Papeles para Cartón Ondulado en su versión de octubre del año 2022, editada por Cepi Containerboard, lo que permite a las empresas considerarlo como referencia.

6. Anexos y bibliografía

A continuación, se muestra la bibliografía de referencia:

- Cepi Containerboard. *Lista europea de papeles para cartón ondulado. Ed 2022*
- UNE-EN 187:2023. *Papel, cartón y pastas. Atmósfera normal de acondicionamiento y ensayo y procedimiento para controlar la atmósfera y el acondicionamiento de muestras*
- 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.*
- 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.*
- UNE-EN ISO 16945:2015. *Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto tras ondulación en laboratorio.*
- UNE-ISO 9895:2019. *Papel y cartón. Resistencia a la compresión. Ensayo de compresión en corto.*
- ISO 7763:2024. *Testing of paper and board. Compressive strength of a sample held in S-shape*
- Fürst, T.; Gerads, P. "*A novel test method for predicting crushing elasticity in medium fluting withhigher relev ance than for instance currently used methods like CMT*". ABB White paper, 2016. https://library.e.abb.com/public/a06724546b394fe5a262a3e56df935e5/S_test%20metod_Update_4_2016.pdf
- Oosterveld, E.; Gerads, P. "*The S-Test. The alternative for CMT flute testing*". Messmer-Büchel White Paper. https://www.luhne-messtechnik.de/wordpress/wp-content/uploads/datenblaetter/prueflabor/S-Test%20white%20paper.pdf

AIDIMME Instituto Tecnológico
GENERALITAT VALENCIANA Conselleria de Innovación Industria, Comercio y Turismo
IVACE+i INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD E INNOVACIÓN
Financiado por la Unión Europea

AIDIMME
Instituto Tecnológico

Domicilio fiscal —
C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —
Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es
www.aidimme.es