

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: E2.2- Informe de resultados y conclusiones del proyecto

Programa: Proyectos de I+D en colaboración con empresas

Número de proyecto:

Expediente: IMDEEA/2024/64

Duración:

Coordinado en AIDIMME por: Dra. Eva Martínez

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	1
2. ACTIVIDADES TÉCNICAS DESARROLLADAS	7
2.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS	7
2.2 SELECCIÓN DE PRUEBAS TRADICIONALES.....	8
2.3 PRUEBA S-TEST	14
2.4 GRAMAJE	15
2.5 RESULTADOS OBTENIDOS.....	15
2.6 RELACIÓN ENTRE RESULTADOS	17
2.7 CONCLUSIONES	31
3. RECOMENDACIONES A LAS EMPRESAS	31
4. ANEXOS Y BIBLIOGRAFÍA.....	32

1. Introducción y objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto NOUSTEST ha sido la investigación de las relaciones entre la nueva prueba de caracterización de papeles componentes ondulados S-Test y las pruebas tradicionales (CMT, CCT y SCT) utilizadas hasta ahora por las empresas para dicho cometido, con el fin último de optimizar las propiedades del cartón ondulado y con ello los embalajes fabricados con el mismo.

Para la consecución de este objetivo las empresas colaboradoras, junto con los técnicos de AIDIMME, han llevado a cabo una selección de papeles comerciales empleados como papeles componentes ondulados del cartón ondulado, procedentes de diferentes proveedores, variando gramajes y clases. Posteriormente se han caracterizado con las pruebas tradicionales, determinando la resistencia a la compresión en plano CMT, con el perfil de onda A y en papeles seleccionados con el perfil de onda B, siguiendo los procedimientos recogidos en las normas UNE-EN ISO 7263-1:2019 y UNE-EN ISO 7263-2:2019, respectivamente. También se determina la resistencia a la compresión sobre el canto CCT, de nuevo con el perfil de onda A y en los papeles seleccionados con el perfil de onda B, aunque el perfil de onda B no lo contempla la norma UNE-ISO 16945:2015. A su vez, se ha determinado la resistencia a la compresión en corto SCT de acuerdo con la norma UNE-ISO 9895:2019. Posteriormente se ha medido el valor de S-Test de todos estos papeles seleccionados y se han buscado las relaciones entre las pruebas de CMT, CCT y SCT con el S-Test.

En papeles seleccionados se ha realizado determinaciones a alta humedad para representar las condiciones más desfavorables en las prestaciones de los papeles (como embalajes destinados al almacenamiento y transporte de frutas y verduras frescas). cartón ondulado.

Debido a las etapas propuestas para conseguir el objetivo principal del proyecto, también se alcanzan los siguientes objetivos específicos:

- La caracterización exhaustiva y actualizada de los papeles para ondular que se emplean en la fabricación de cartón ondulado, mediante las pruebas tradicionales de resistencia a la compresión en plano CMT, resistencia a la compresión sobre el canto CCT y resistencia a la compresión en corto SCT.
- Obtención de datos fiables de los valores de S-Test para un amplio espectro de papeles para ondular, que permita iniciar un histórico de datos de los que carecen las empresas en la actualidad, tanto en condiciones estándar como de alta humedad.

Para entender la necesidad de este proyecto hay que definir qué es el cartón ondulado, que es el material constituido por una o varias hojas de papel ondulado encoladas sobre una o entre varias hojas de papel plano. Los papeles lisos reciben el nombre de caras. Los papeles que forman las acanaladuras reciben el nombre de ondulados y le confieren al cartón la capacidad de amortiguar y gran parte de su resistencia, como se demostró en los proyectos realizados por AIDIMME, ONDUBEST y PACKBEST. Además, estos papeles ondulados son la materia prima mayoritaria, como se indica en el informe estadístico del año 2023 (el último elaborado) de la Federación Europea de Fabricantes de Cartón Ondulado (FEFCO) ya que suponen el 39,2% del consumo total de las materias primas del cartón ondulado en Europa. En España este consumo representa un 4,1% de papeles semiquímicos y un 33,8% del resto de papeles para ondular, con un total del 37,9%.

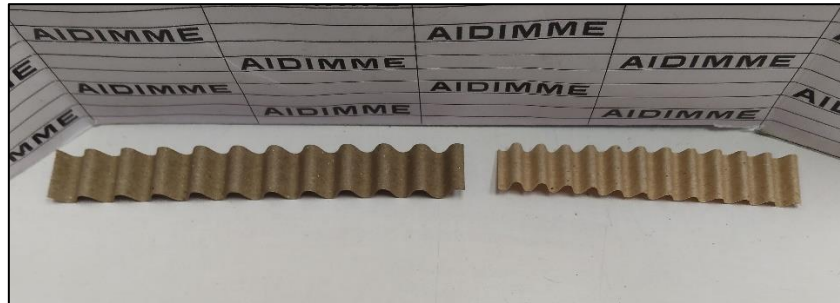
Tradicionalmente, los papeles para ondular se han evaluado determinado su resistencia a la compresión en plano CMT y del índice de resistencia a la compresión en plano, junto con la resistencia a la compresión sobre el canto CCT y el índice de resistencia a la compresión sobre el canto (los índices son los valores obtenidos divididos por el gramaje del papel). Estas pruebas determinan las características de los papeles de la forma más real posible, ondulando las probetas que se emplean como si se tratase de un proceso de fabricación de cartón ondulado, empleando una onduladora de laboratorio a 175 °C, que en el caso del CMT requiere para completar su preparación el empleo de los denominados soporte y peine y una cinta adhesiva. Una vez realizada esta operación se aplica un esfuerzo de compresión bien sobre la cresta de la onda (CMT) hasta su total aplastamiento o sobre el canto de la misma (CCT), utilizando en este último caso también un soporte específico que sujeta la probeta. Generalmente, el valor medido es el CMT30 y el CCT30, haciendo referencia a los 30 minutos bajo acondicionamiento estándar de 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa que transcurren entre el ondulado y las determinaciones de las resistencias a la compresión.

Las normas que rigen la determinación del CMT son la 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”. La onda que se forma tiene el siguiente perfil:

Altura de la onda: 4,75 mm
Paso: 8,55 mm

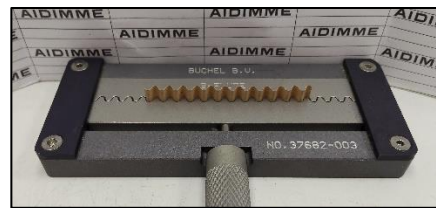
Y la UNE-EN ISO 7263-2:2019 “Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento en plano tras la ondulación en laboratorio. Parte 2: Onda B”. El perfil de la onda para las pruebas se muestra a continuación:

Altura de la onda: 2,50 mm
Paso: 6,45 mm



Fotografía 1.- Perfiles onda A y onda B

La prueba de CCT está descrita en la norma UNE-ISO 16945:2015 “Papel para ondular. Determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto tras ondulación en laboratorio”. El perfil de onda que se utiliza es el mismo que en la norma UNE-EN ISO 7263-1:2019, es decir, onda A. La norma no contempla la prueba con onda B, si bien el Laboratorio de Materiales Celulósicos tiene capacidad para llevarla a cabo con ese perfil, como se muestra en la fotografía.



Fotografías 2 y 3.- Prueba de CCT, perfil de onda A y perfil de onda B

Según sus desarrolladores, la nueva prueba S-Test, objeto de este proyecto, está diseñada para sustituir a la prueba de CMT.

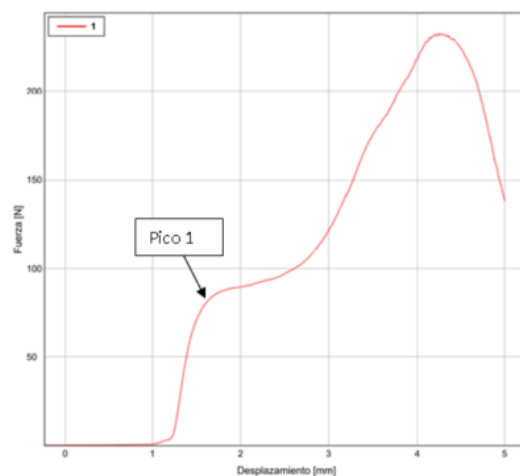


Figura 1.- Gráfica típica de CMT y primer pico

Además, realizar la prueba de CMT es laborioso y requiere de mucha habilidad, frente a la determinación del valor del S-Test que es rápido, ya que en pocos minutos (tras el periodo de acondicionamiento hasta equilibrio) se obtiene el valor, evitando la así preparación de las probetas del CMT.

Sin embargo, no todo son ventajas al considerar la prueba de S-Test. Había muy poca bibliografía (y la sigue habiendo) cuando se presentó el proyecto, lo que no permitía comprobar con datos específicos que el S-Test se relacione con el primer pico del CMT, se entiende que con perfil de onda A, ya que cuando se inició el desarrollo del método la onda B no se contemplaba en la prueba. Se desconocía pues cuál era la correlación con la onda B y si sería tan fiable como promete cuando el perfil caracterizado es éste. Otra desventaja es que, dado que no existían valores históricos, la interpretación de los resultados del S-Test era complicada, agravada por el hecho de que los valores de CMT y de S-Test no se expresan en las mismas unidades, el CMT se expresa en Newtons (N) y el S-Test en kilonewtons por metro lineal de papel (kN/m). Ambas pruebas parten de premisas distintas, en el CMT se aplasta totalmente la probeta y el S-Test dice correlacionarse con el primer pico del CMT. El valor del primer pico no se suele registrar y no todas las empresas disponen de compresómetros para probetas de CMT y CCT que permitan el cálculo.

En la escasa bibliografía existente no se menciona ninguna relación entre el S-Test y otra de las pruebas fundamentales para la caracterización de papel para ondular, que es el CCT. Además, una prueba muy popular que se emplea para caracterizar los papeles componentes es la determinación de la resistencia a la compresión en corto SCT (UNE-ISO 9895:2019), de la que tampoco queda claro si hay alguna correlación, aunque ambas pruebas son muy similares, ya que ésta comprime en plano, con una apertura inicial de 0,7 mm, una probeta de las mismas dimensiones, 15 mm de anchura. Todas estas correlaciones, tanto la del CMT como la de con otras propiedades, son relevantes para interpretar los resultados del S-Test.

De lo que se deduce de la bibliografía existente, todas las pruebas S-Test se han llevado a cabo bajo acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa, que es lo habitual, pero uno de los embalajes más producidos y utilizados en la Comunidad Valenciana es el destinado al almacenamiento y transporte de frutas y verduras frescas, que se prueba siempre en condiciones de alta humedad, para reproducir las especiales condiciones de transporte de estos productos. Para las empresas colaboradoras los datos a alta humedad también son muy interesantes y no se dispone de ellos.

Como ya se ha reiterado, dada la novedad del método S-Test, la bibliografía disponible es muy limitada, como se muestra a continuación:

- Fürst, T.; Gerads, P. "A novel test method for predicting crushing elasticity in medium fluting with higher relevance 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

Artículo que resume el desarrollo del S-Test, en el que se encuentra ABB, que es una de las dos empresas que comercializan el equipo. Incide en la laboriosidad del método de CMT y que no es adecuado llevar las ondas al aplastamiento total. Posteriormente incluye pruebas de CMT y S-Test con un número significativo de papeles, pero con pruebas realizadas en línea. También realizan pruebas de SCT, si bien modifican el equipo de una forma no incluida en la norma, por lo que no sería reproducible en las condiciones habituales. No encuentran correlación con “su SCT” y, aunque encuentran una correlación con el primer pico de la gráfica de CMT, la conclusión es que hay que llevar a cabo más pruebas para asegurar dicho resultado. Mencionan la onda B, porque ya se estaba considerarlo incluirla en la norma del CMT, pero no realizan ninguna prueba con ella, más bien la descartan. Tampoco realizan pruebas en condiciones distintas del estándar.

- Cash, D.; Frank, B. “Evaluating hardness and the S-Test”. TAPPI Journal 18(3):161(2019). <https://doi.org/10.32964/TJ18.3.161>
<https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/19/MAR/19MAR161.aspx>

En este artículo, se centra en evaluar la dureza del papel a través de la prueba de CMT y, tal y como indican los propios autores, solamente se lleva a cabo una pequeña parte de la investigación con el S-Test, considerando que es un ensayo nuevo destinado a sustituir al CMT. Sin embargo, la parte del trabajo que se diseña para determinar la dureza a través de los resultados del S-Test, concluye que se requiere una investigación más profunda y detallada y destacan la falta de un método normalizado, en el momento de realizar su investigación.

- 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>

Messmer- Büchel es la otra marca comercial que ha desarrollado un equipo para la realización del S-Test. El artículo parte de las mismas premisas y extrae las mismas conclusiones que el artículo en donde participaba ABB, es decir, que el CMT es una prueba laboriosa, que la evaluación debe llevarse a cabo al primer pico y que existe una correlación entre el S-Test y el primer pico de CMT. No obstante, menciona la realización de un estudio de Cepi ContainerBoard (Asociación Europea de Embalajes de Cartón Ondulado, que engloba al menos a 120 empresas de 22 países a través de sus asociaciones nacionales) con la participación de 17 empresas europeas con la cooperación de la Universidad de Darmstadt (Alemania).

El estudio de Cepi ContainerBoard que menciona el documento anterior, se plasma en el documento “Lista europea de papeles para cartón ondulado” <https://www.cepi-containerboard.org/download.php>, en su última versión de octubre del año 2022,

siendo ésta la primera versión en la que se menciona el S-Test. Cepi Containerboard lleva muchos años publicando esta lista, que clasifica los papeles componentes del cartón ondulado en función de una serie de pruebas y sus resultados.

Durante la realización del proyecto se han publicado dos artículos más que hacen referencia al S-Test, pero que, una vez más, no aportan gran información.

- Radomska, K., Olejnik, K., and Pospiech, P. (2024). “The influence of the composition of pulp and the number of layers on the strength properties of multi-layer papers intended for the production of corrugated paperboard,” *BioResources* 19(3), 6025-6045. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-influence-of-the-composition-of-pulp-and-the-number-of-layers-on-the-strength-properties-of-multi-layer-papers-intended-for-the-production-of-corrugated-paperboard/>

En este artículo solamente se hace mención del S-Test una sola vez, ya que toda la investigación se basa en los resultados obtenidos del CMT al primer pico y el SCT, que son las propiedades seleccionadas.

- Yoda, Hiromichi. (2025). Suitable Quality Management for Stronger Corrugated Board 高強度段ボール設計のための適切な紙質計測: —New Flute Testing Method, S-test, Defined by ISO in 2024— 2024年にISOが制定した新たな中しん圧縮強度試験方法—. *JAPAN TAPPI JOURNAL*. 79. 51-55. 10.2524/jtappij.79.51.

https://www.researchgate.net/publication/388567728_Suitable_Quality_Management_for_Stronger_Corrugated_Boardgaoqiangduduanborushejinotamenoshiqienazhizhijice_New_Flute_Testing_Method_S-test_Defined_by_ISO_in_2024-2024nianniISOgazhidingshitaxintanazh

El artículo está disponible solamente en japonés, pero en su resumen habla de las oportunidades de la industria del papel japonesa, de la fabricación del papel, pero no menciona el S-Test. Hiromichi Yoda trabaja para ABB, con lo que es de esperar que en el artículo se priorice el S-Test frente al CMT, tal y como se hace en otras publicaciones de ABB.

También durante la realización del proyecto se aprobó la norma ISO 7763:2024 “Testing of paper and board. Compressive strength of a sample held in s-shape”.

Así, todo lo anteriormente expuesto demostró la necesidad de realizar el proyecto NOUSTEST, con el fin de investigar las relaciones del S-Test con las pruebas tradicionales de evaluación de los papeles para ondular, proporcionar resultados fiables que permitan a las empresas clasificar sus papeles para ondular de acuerdo con esta nueva prueba para todos los tipos de papeles (con pasta virgen y con pasta reciclada) incluyendo el perfil de onda B y en condiciones estándar y de alta humedad, para cubrir todo tipo de usos.

2. Actividades técnicas desarrolladas

Seguidamente se muestra las actividades que se han desarrollado para conseguir los objetivos del proyecto.

2.1 Selección de muestras

Los papeles componentes del cartón ondulado para ondular se dividen siguiendo la clasificación de la Lista europea de Papeles para Cartón Ondulado, editada por Cepi Containerboard , que es ampliamente aceptada por las empresas del sector, en:

- Papeles ondulados Semiquímicos, aquellos papeles para ondular que contienen un porcentaje mayoritario de pasta virgen semiquímica.
- Papeles ondulados Medium reciclado, aquellos papeles para ondular que contienen un porcentaje mayoritario o están compuestos en su totalidad de pasta reciclada con un gramaje superior a 100 g/m².
- Papeles ondulados Medium ligero reciclado, aquellos papeles para ondular que contienen un porcentaje mayoritario o están compuestos en su totalidad de pasta reciclada con un gramaje inferior a 100 g/m².
- Papeles Duo, que en los últimos años han entrado con fuerza en el mercado y que son papeles fabricados en su totalidad con fibra reciclada que pueden ser empleados bien como papeles para caras o bien como papeles para ondular.

A continuación, se muestra un listado con los papeles utilizados para la investigación del proyecto, codificados para que no sea posible su identificación.

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

La elección de papeles Semiquímicos y papeles Duo parece dejar fuera a los papeles Médium reciclado. Sin embargo, muchos de los papeles denominados Semiquímicos serían Médium reciclados según Cepi Containerboard. Los únicos papeles que serían realmente denominados Semiquímicos según Cepi Containerboard serían el Semiquímico JQ y el Semiquímico KP, que están fabricados en su totalidad con pasta virgen semiquímica.

2.2 Selección de pruebas tradicionales

Para alcanzar los objetivos de proyecto la selección de la prueba CMT, que es la determinación de resistencia al aplastamiento en plano, es decir, aplicando un esfuerzo de compresión sobre la cresta de la onda hasta su total aplastamiento, era imprescindible. Para realizarla se ondula una tira de papel de dimensiones determinadas y, con la ayuda del accesorio denominado soporte y peine y una cinta piezo-sensible, se construye una probeta a modo de un cartón ondulado simple-cara.

Esta es la prueba que el S-Test quiere sustituir. En la prueba del CMT se aplasta completamente la onda, lo que da lugar a una gráfica con tres picos, pasando por los tres estados de elasticidad del papel, hasta la caída total de resistencia del papel. Sin embargo, el S-Test cuestiona este método porque el aplastamiento total implica una pérdida total de las propiedades de amortiguamiento y protección del cartón ondulado. Considera que la evaluación en el primer pico sería mucho más correcta, cuando todavía el cartón ondulado conserva su capacidad de protección. La prueba S-Test, que en esencia consiste en determinar la resistencia a la compresión de una tira de papel a la que se le ha conferido forma de S, reivindica que se puede asimilar al primer pico del CMT. Además, la determinación del valor del CMT es laboriosa, tanto en la preparación de las probetas como en la obtención del resultado propiamente dicho y requiere de la habilidad del técnico que prepara las probetas. La prueba de S-Test simplifica mucho la obtención del resultado que, si bien también necesita de conocimientos para su realización, es menos laboriosa y la habilidad del técnico no influye en el resultado como ocurre en la prueba del CMT.

El valor de CMT se puede determinar en dos perfiles de onda, recogidos en las dos partes de la norma europea UNE-EN ISO 7263. Esta norma se llevaba a cabo con un solo perfil de onda, el A, hasta el año 2019, año en el que se actualizó la norma y se dividió en dos partes para incluir el perfil de onda B.

Las empresas conocen bien la prueba con el perfil de onda A, pero no tanto con la onda B, por lo que este último perfil es menos interesante. No obstante, se decidió que se determinaría el CMT con perfil de onda B en cinco papeles seleccionados, para obtener resultados y compararlos con los valores del S-Test.

También se decidió realizar la determinación a alta humedad sobre cinco papeles seleccionados, además del acondicionamiento estándar que indican las normas, pero solamente en la onda A. Los papeles seleccionados para la prueba a alta humedad son siempre Semiquímicos, ya que los papeles Duo no están pensados para aplicaciones de alta humedad.

Por último, las normas indican que el tiempo que transcurre entre que se ondula el papel y el momento en el que se determina la resistencia a la compresión puede ser ninguno, es decir, que se determina la resistencia a la compresión inmediatamente después de ondular y preparar la probeta o bien 30 minutos en el acondicionamiento seleccionado. Se decidió que el tiempo debía ser de 30 minutos, ya que es el más habitual.

Por todo ello, la metodología a aplicar para la determinación de CMT fue la siguiente:

- 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:

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

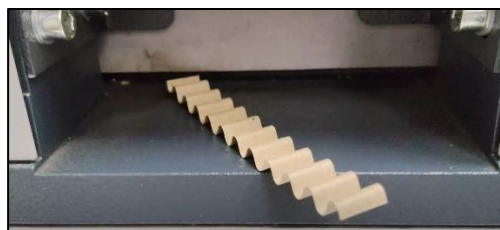
Tiempo tras ondulación: 30 minutos en acondicionamiento: 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa (estándar) y 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa (alta humedad en papeles seleccionados)

Velocidad de los platos: 12,5 mm/min

Probetas ensayadas: 10

Resultado: Resistencia a la compresión en N

Las fotografías muestran el proceso de preparación de las probetas de CMT con perfil de onda A.





Fotografías 4 a 9.- Preparación de probetas CMT perfil onda A

- 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

Las fotografías muestran el proceso de preparación de las probetas de CMT con perfil de onda B.





Fotografías 10 a 15.- Preparación de probetas CMT perfil onda B

Otra prueba tradicional para la caracterización de los papeles para ondular es la determinación de la resistencia al aplastamiento sobre el canto, en el que el esfuerzo de compresión se lleva a cabo sobre el borde de las ondas, también denominado CCT que se llevarla a cabo una vez transcurridos 30 minutos desde la ondulación, al igual que para el CMT.

La diferencia con respecto al CMT es que la normativa vigente no contempla la prueba con un perfil de onda B. La única onda normalizada es la A, presentando unas dimensiones idénticas a las que se emplean para determinar el valor de CMT. Las empresas mostraron su interés en realizar la prueba en onda A, como indica la normativa, y solamente realizarla en onda B, ya que el Laboratorio de Materiales Celulósicos de AIDIMME puede llevarla a cabo, en los mismos papeles seleccionados en los que se determina el CMT en onda B, ya que al no estar contemplada en la norma disponen de pocos datos para la evaluación de sus papeles.

Para la realización de la prueba de CCT se ondulan tiras de papel de dimensiones determinadas que se colocan en un soporte que reproduce el perfil de la onda para su compresión.

En este caso, también se decidió llevar a cabo la determinación a alta humedad en los mismos papeles en los que se determina el CMT en esa condición, pero solamente en el perfil de onda A.

La determinación del CCT se llevó a cabo bajo los siguientes parámetros.

- 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



Fotografía 16.- CCT perfil onda A

- 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



Fotografía 17.- CCT perfil onda B

La última prueba seleccionada para caracterizar los papeles para ondular fue la determinación del SCT, que consiste en realizar una compresión pura del papel con una anchura de partida de 0,7 mm. Esta prueba es muy popular y empleada para la clasificación de los papeles utilizados para la fabricación de cartón ondulado, independientemente de que éstos se usen para caras o para ondular. Esta prueba tiene la peculiaridad de que la medida puede hacerse en la dirección máquina (aquella en la que se orientan las fibras del papel durante su fabricación) y en dirección transversal (la perpendicular a la anterior). Se decidió realizar la prueba en ambas direcciones. A continuación se muestran los parámetros de la prueba de SCT.

- 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



Fotografía 18.- Prueba de SCT

2.3 Prueba S-Test

La prueba S-Test, objeto de este proyecto y que consiste en realizar una compresión del papel en forma de S, se realizó en condiciones estándar sobre todos los papeles seleccionados por las empresas, con el fin de establecer relaciones con los valores obtenidos de los de los ensayos tradicionales y se comprueba, a su vez, la dependencia con el primer pico del CMT, tal y como se ha descrito con anterioridad.

También se llevó a cabo, en condiciones de alta humedad en los papeles seleccionados para ello. Además, en los resultados del proyecto ONDUBEST, en el que se determinaba el CMT en condiciones de humedad de 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa, pero también en condiciones de 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa. El resultado obtenido entonces indicaba que un aumento de humedad del 5% se traducía en caídas de resistencia del CMT de hasta el 20%. Dado que el S-Test está destinado a sustituir al CMT se decidió realizar la prueba tras acondicionamiento a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa en los papeles seleccionados para alta humedad, para ver si se obtenía un resultado similar.

El protocolo para la realización de la prueba de S-Test fue el siguiente:

- 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



Fotografía 19.- Prueba de S-Test



Fotografía 20.- Detalle de las mordazas de S-Test

2.4 Gramaje

Por último, el Laboratorio de Materiales Celulósicos de AIDIMME comprobó el gramaje de los papeles recibidos, por si pudiese ser de interés para la interpretación de los resultados que se obtengan, aplicando la norma UNE-EN ISO 536:2021.

2.5 Resultados obtenidos

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos

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

También se muestran los resultados de las pruebas de CMT y del CCT con perfil de onda B en los papeles seleccionados para ello.

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

Las tablas muestran los resultados de las pruebas tradicionales a alta humedad de 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa en los papeles seleccionados, que solamente se realiza en las pruebas de CMT y CCT con perfil de onda A.

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

En la tabla se muestra los resultados de la prueba S-Test en acondicionamiento estándar a 23 °C de temperatura y 50% de humedad relativa.

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

Papel	S-TEST (kN/m)
SQ YB	3,06
SQ AZ	3,08
SQ ZA	3,16
SQ MN	3,06

También se muestra los resultados de la prueba S-Test en acondicionamiento a alta humedad. En este caso hay dos acondicionamientos: 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa y 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa

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

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

2.6 Relación entre resultados

Seguidamente se muestran las relaciones de los valores de la prueba S-Test con los obtenidos por las pruebas tradicionales

Se encontró que las relaciones siguen una línea recta en todos los casos. Se hizo pasar todas las líneas recta por cero, porque si el CMT es cero, el S-Test no puede tener un valor. Para evaluar la bondad de la relación se empleó la distribución de los datos en la gráfica y el valor de R^2 , que es una medida estadística que indica cómo de bien se ajustan los datos a la recta y sirve para estimar la precisión con la que la regresión explica los datos. Todas las regresiones han tenido un R^2 por encima del 0,95, lo que indica que, al menos, un 95% de la variación de la variable se explica con la regresión.

Sin embargo, cuando se traduce a cálculos reales, es decir, a predecir el valor de las pruebas tradicionales con el valor del S-Test, los errores que se comenten si el valor de R^2 nos es superior a 0,997, pueden ser importantes.

A continuación, se muestran las relaciones en forma de gráfica. Se ha de recordar que en la prueba de CMT se aplasta completamente la onda, generando una gráfica de tres picos, coincidiendo con los tres estados de elasticidad del papel, hasta la caída total de resistencia del papel. Sin embargo, el S-Test pone en duda la relevancia de este método, porque el aplastamiento total implica una pérdida total de las propiedades de amortiguamiento y protección del cartón ondulado. Considera que la evaluación en el primer pico sería mucho más correcta, cuando todavía el cartón ondulado conserva su capacidad de protección. La prueba S-Test, reivindica que su resultado se puede asimilar al primer pico del CMT. Si bien las dos partes de la norma UNE-EN ISO 7263:2019 no contemplan el cálculo del primer pico, se llevó a cabo expresamente para buscar esa relación con los valores del S-Test. Por lo tanto, la primera relación que se muestra es la relación del S-Test es con el primer pico del CMT, con perfil de onda A, porque era el único normalizado cuando comenzó el desarrollo del método S-Test.

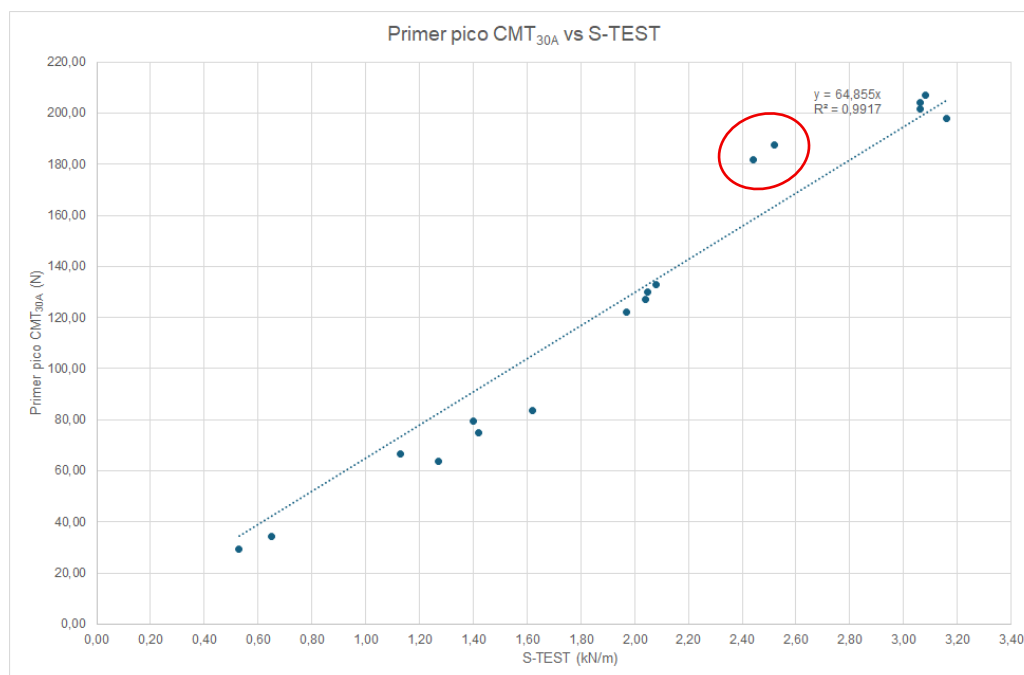


Figura 2.- Primer pico CMT_{30A} vs valores de S-Test

Como se puede apreciar, los valores se disponen en una línea recta con buena correlación $R^2: 0,9917$. Sin embargo, se observó que había dos puntos que parecían discrepar del resto y que correspondían a los papeles 100% virgen. Si se quitan esos puntos, la relación es la siguiente.

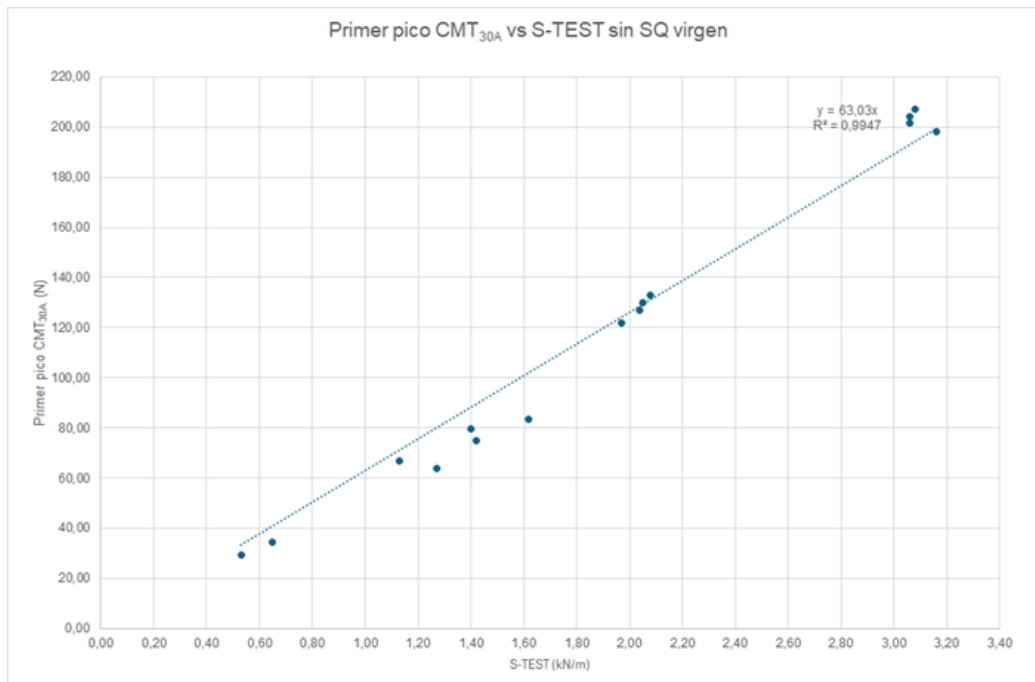


Figura 3.- Primer pico CMT_{30A} vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

Se puede ver que la relación mejora claramente, con un R²: 0,9947 y una correcta distribución de los puntos en la recta a un lado y a otro.

Sin embargo, aún se puede ir más allá separando los papeles por clases.

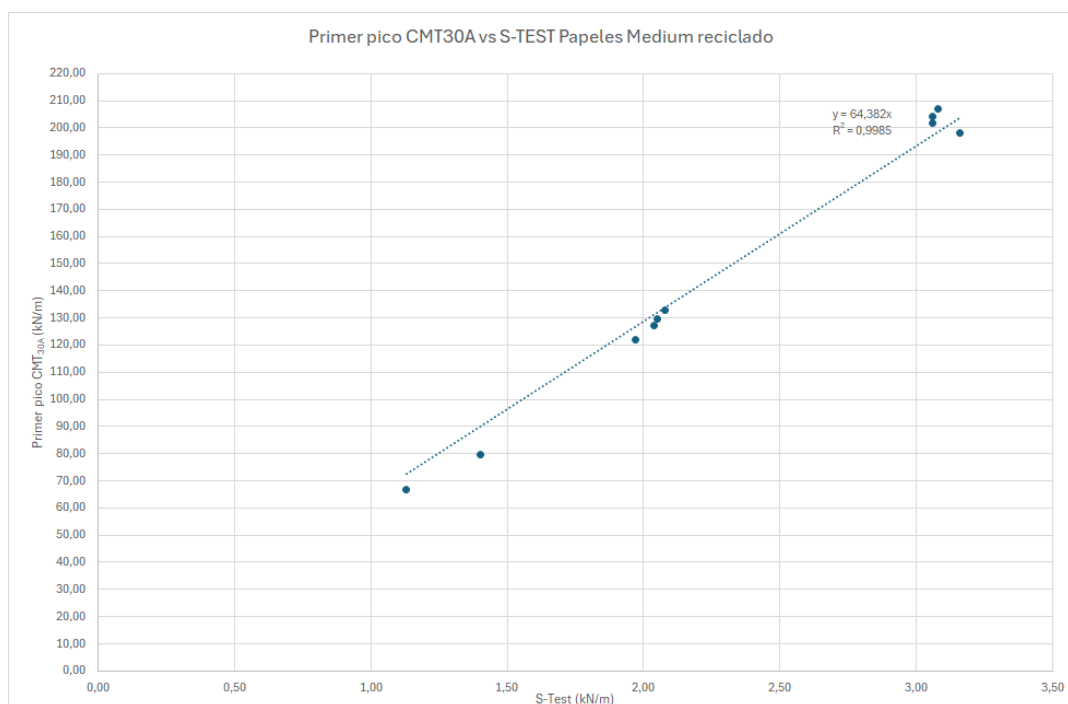


Figura 4.- Primer pico CMT_{30A} vs valores de S-Test en papeles Medium reciclado

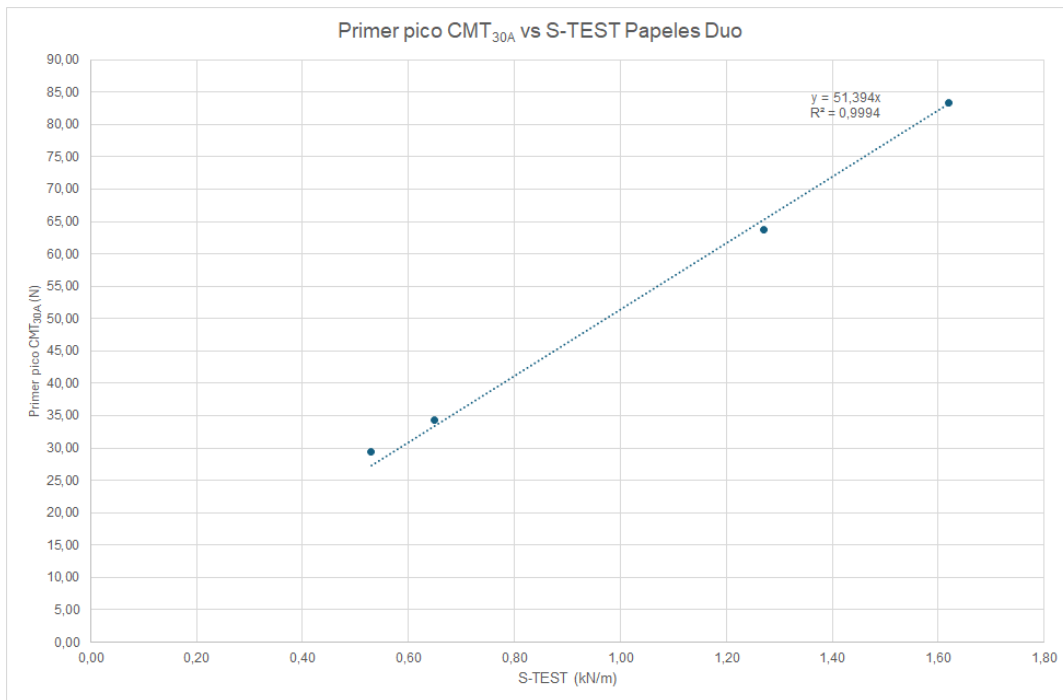


Figura 5.- Primer pico CMT_{30A} vs valores de S-Test en papeles Duo

Cuando se separa por clases, los valores de S-Test pueden predecir con precisión el primer pico con valores de R^2 : 0,9985 para los papeles Mèdium reciclado y R^2 : 0,9994 para los papeles Duo.

Sin embargo, esta relación no es tan precisa cuando se lleva a cabo con el valor de CMT hasta aplastamiento, que es el que indica la norma, ni siquiera quitando el valor de los papeles 100% virgen o separando por clases.

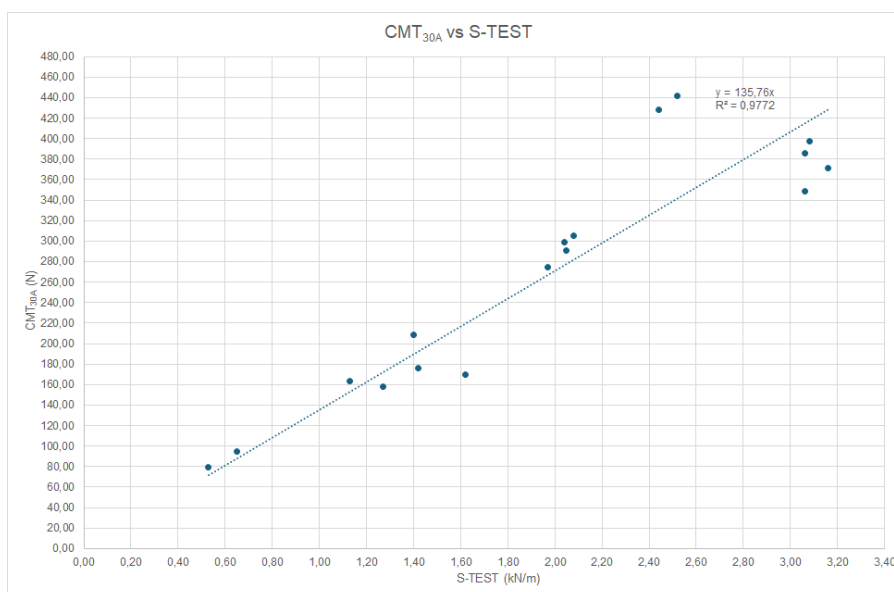


Figura 6.- CMT_{30A} vs valores de S-Test

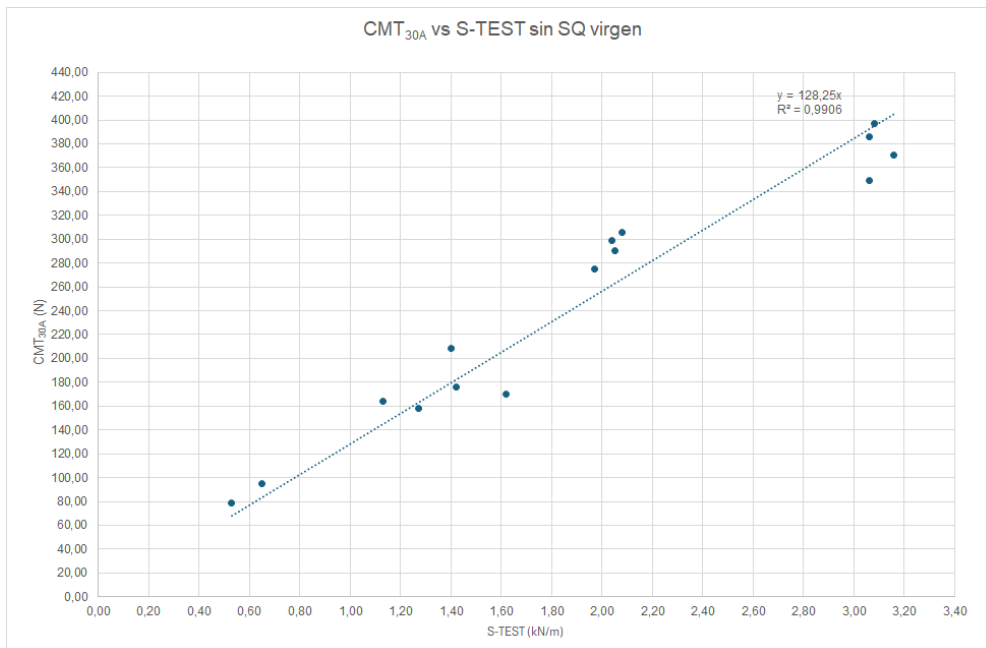


Figura 7.- CMT_{30A} vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

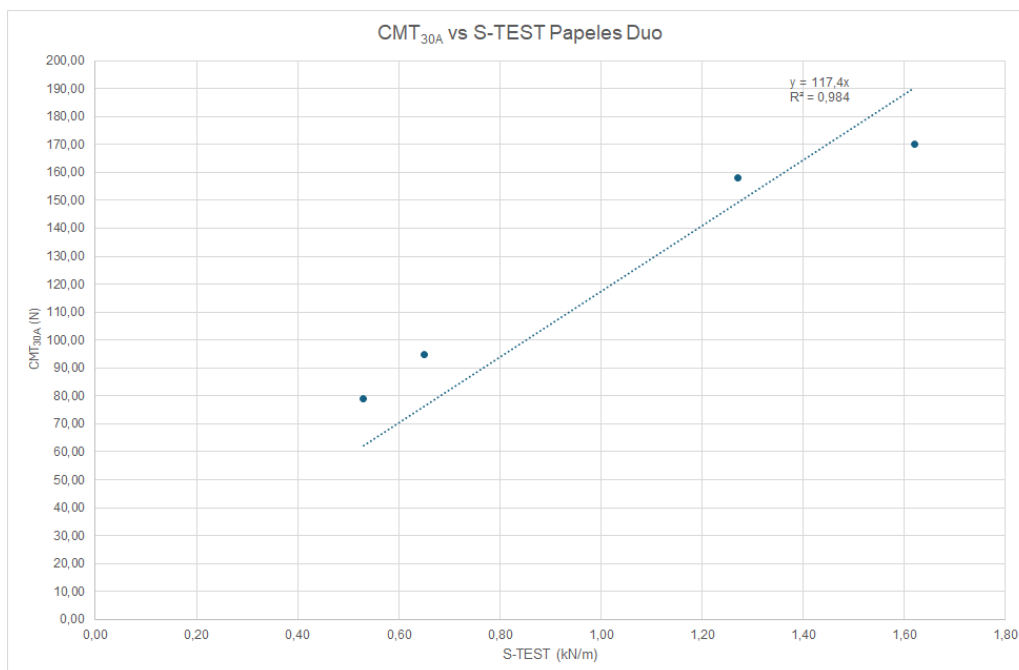


Figura 8.- CMT_{30A} vs valores de S-Test en papeles Duo

Lo mismo ocurre con la predicción de otros valores de los ensayos tradicionales. La relación lineal es clara, pero la predicción de los datos reales a partir de S-Test no sería precisa.

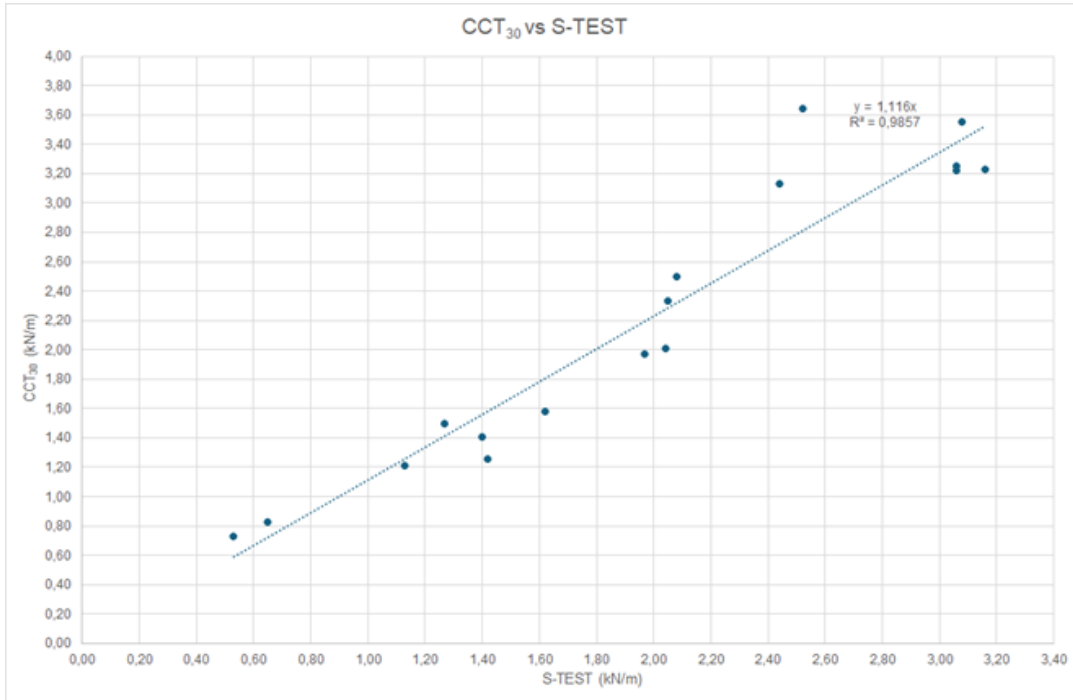


Figura 9.- CCT_{30A} vs valores de S-Test

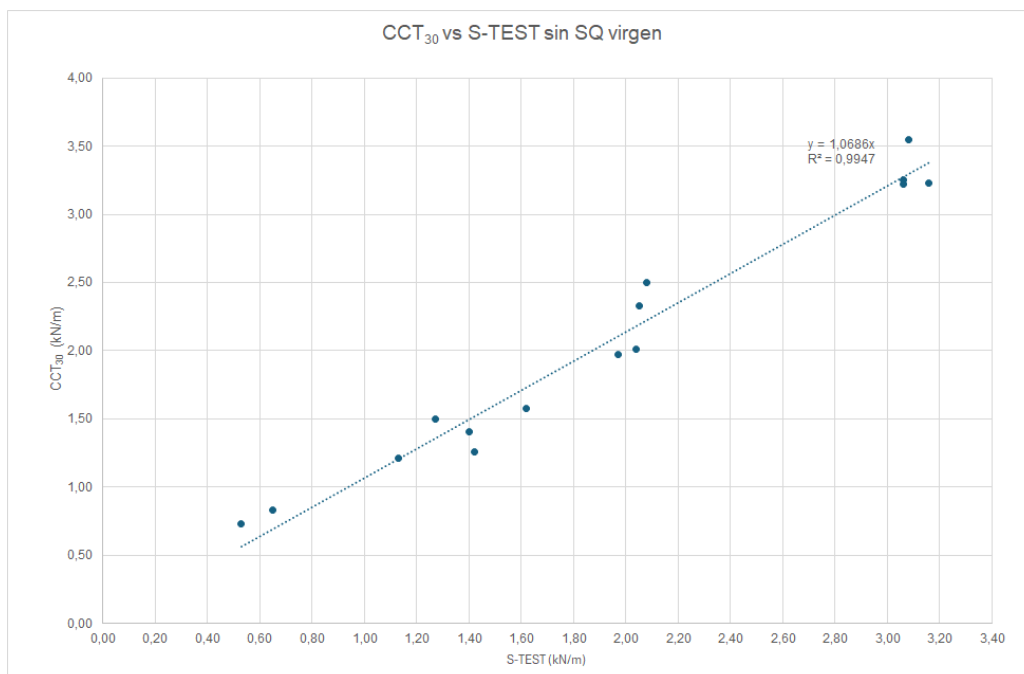


Figura 10.- CCT_{30A} vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

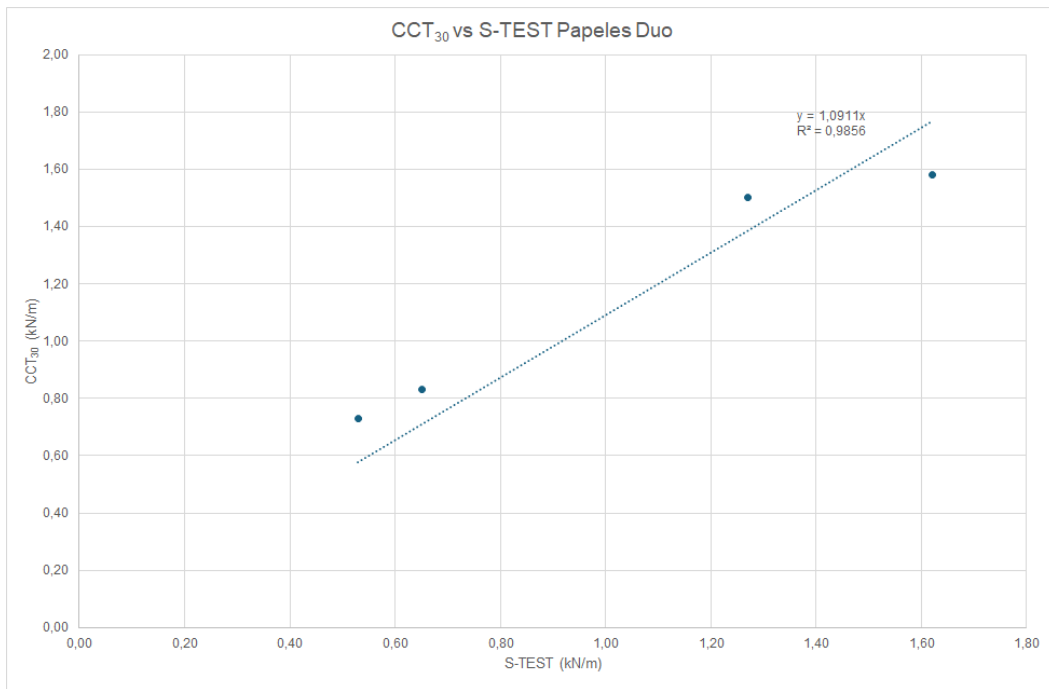


Figura 11.- CCT_{30A} vs valores de S-Test papeles Duo

A continuación se muestra las relaciones con el SCT.

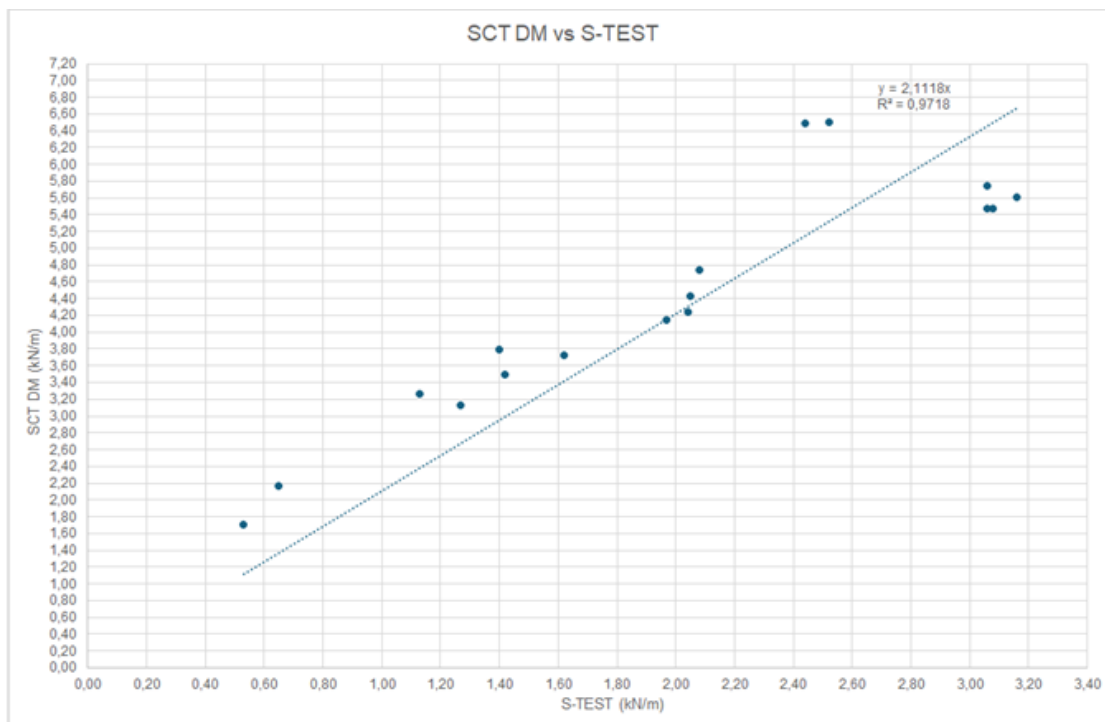


Figura 12.- SCT DM vs valores de S-Test

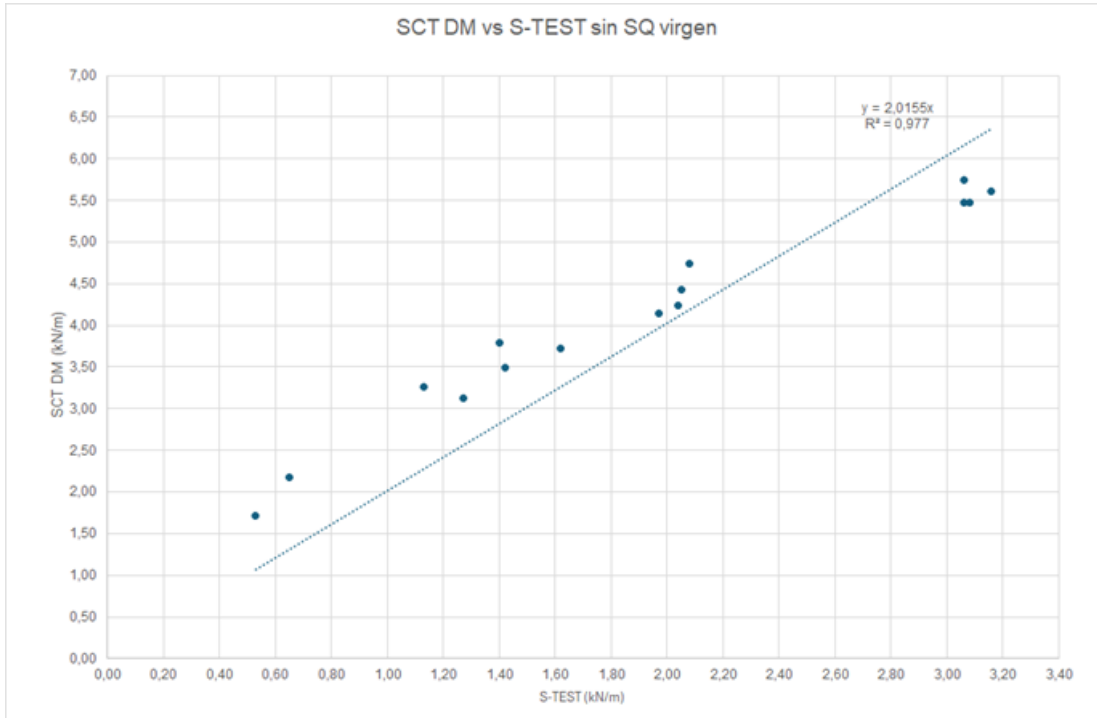


Figura 13.- SCT DM vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

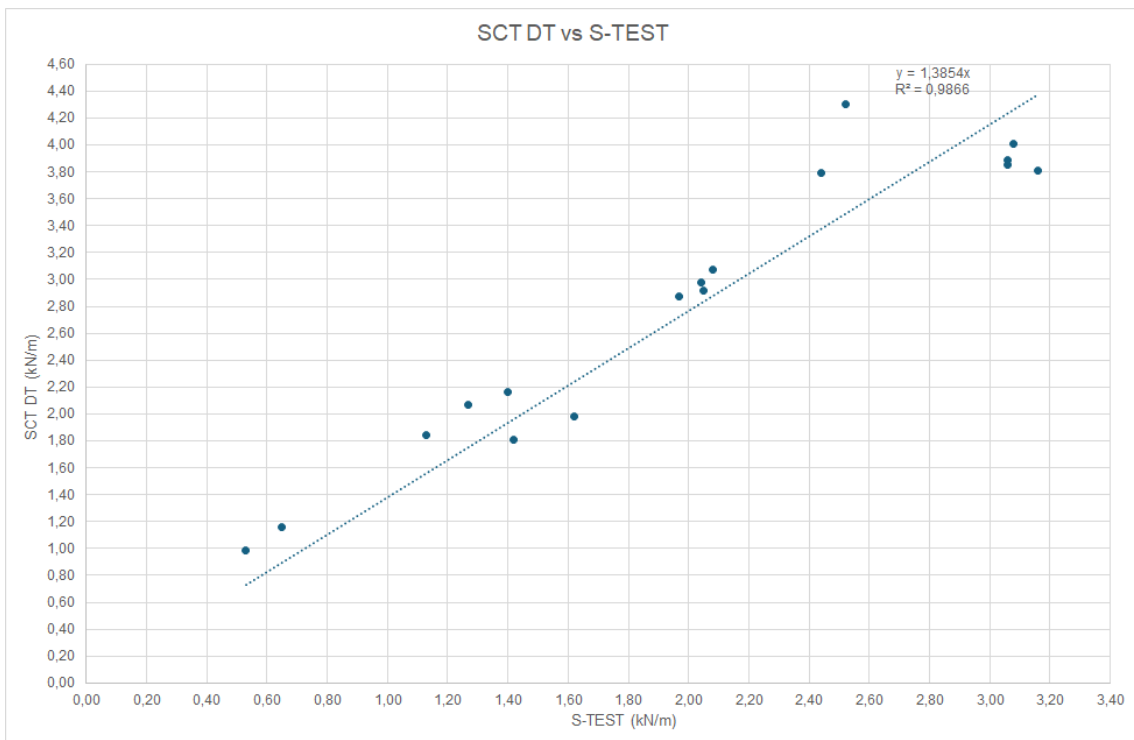


Figura 14.- SCT DT vs valores de S-Test

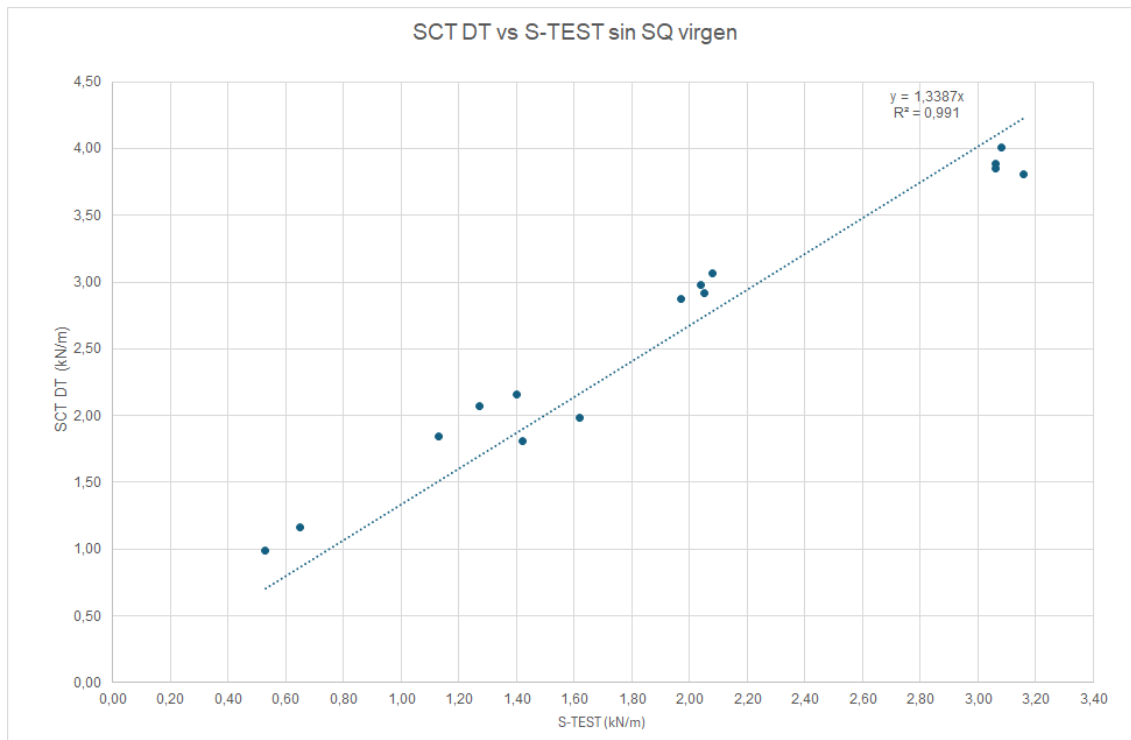


Figura 15.- SCT DT vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

La forma de realizar la prueba del S-Test y del SCT es bastante similar, pues ambas comparten dimensiones de las probetas y ambas comprimen el papel, una en 0,7 mm y otra en forma de S en 4 mm de anchura y 1 mm de desplazamiento lateral, en acondicionamiento estándar.

Sin embargo, a pesar de la similitud de las pruebas, la relación entre los valores de la prueba SCT en la dirección máquina y la dirección transversal y los valores de la prueba S-Test en acondicionamiento estándar, no fueron lo suficientemente precisos para predecir los valores del SCT en ninguna de las direcciones de ensayo.

También se buscó la relación cuando el perfil de onda es el B, aunque no sea el empleado para el desarrollo del método, en los papeles seleccionados para ello. El resultado obtenido fue muy diferente al obtenido con el perfil de onda A, con una correlación entre valores sensiblemente inferior, incluso cuando se retiró el valor del papel 100% virgen. Y se pudo concluir lo mismo cuando se relaciona con el CMT al aplastamiento total o con el CCT.

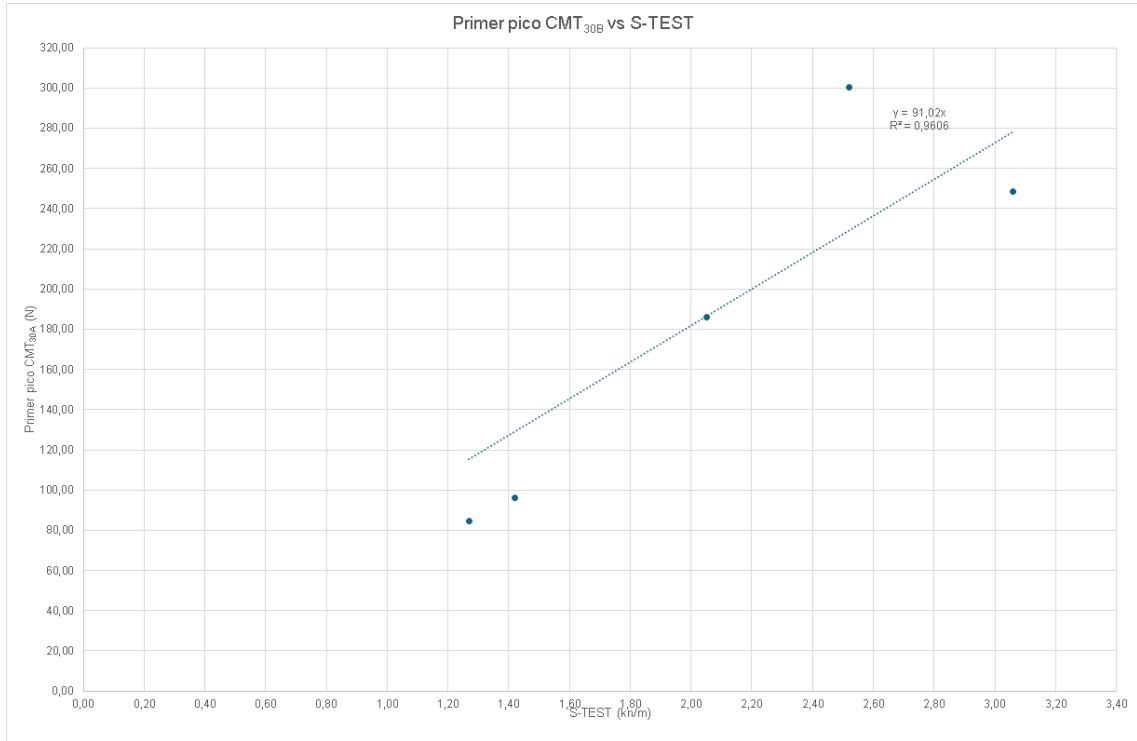


Figura 16.- Primer pico CMT_{30B} vs valores de S-TEST

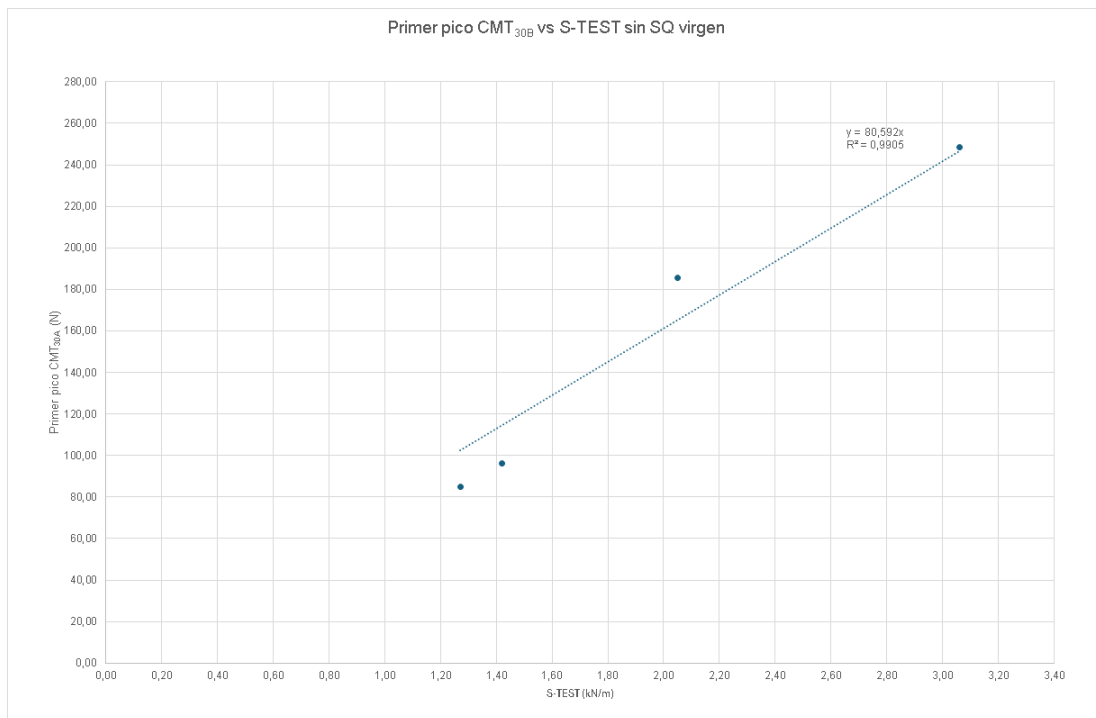


Figura 17.- Primer pico CMT_{30B} vs valores de S-TEST sin papeles 100% virgen

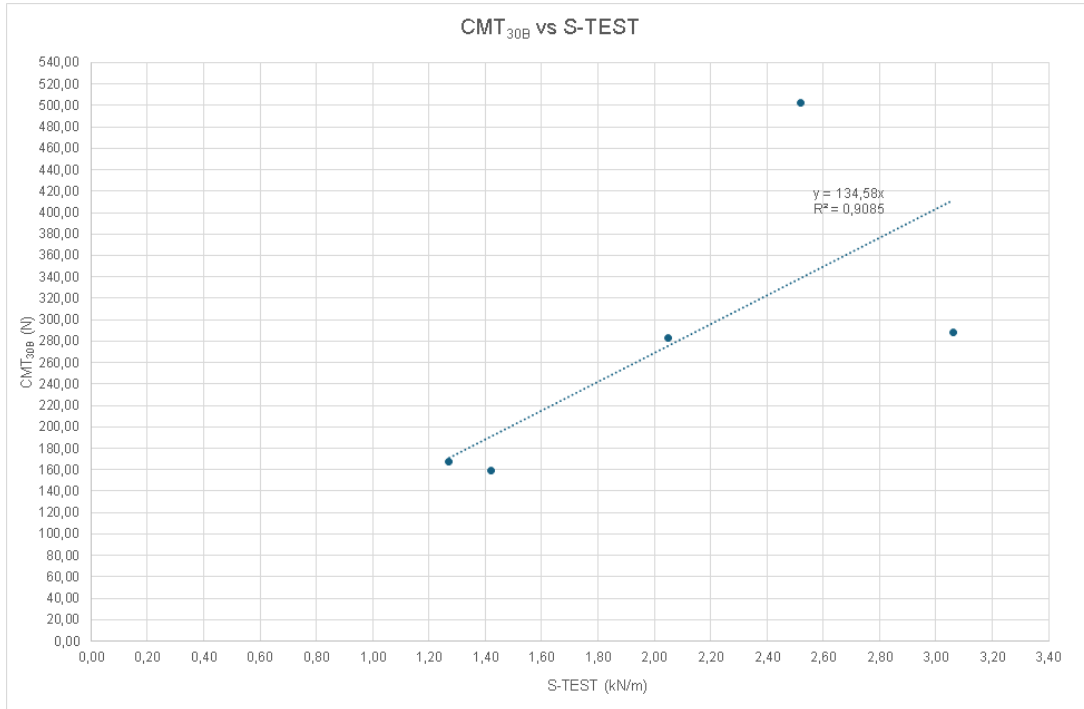


Figura 18.- CMT_{30B} vs valores de S-Test

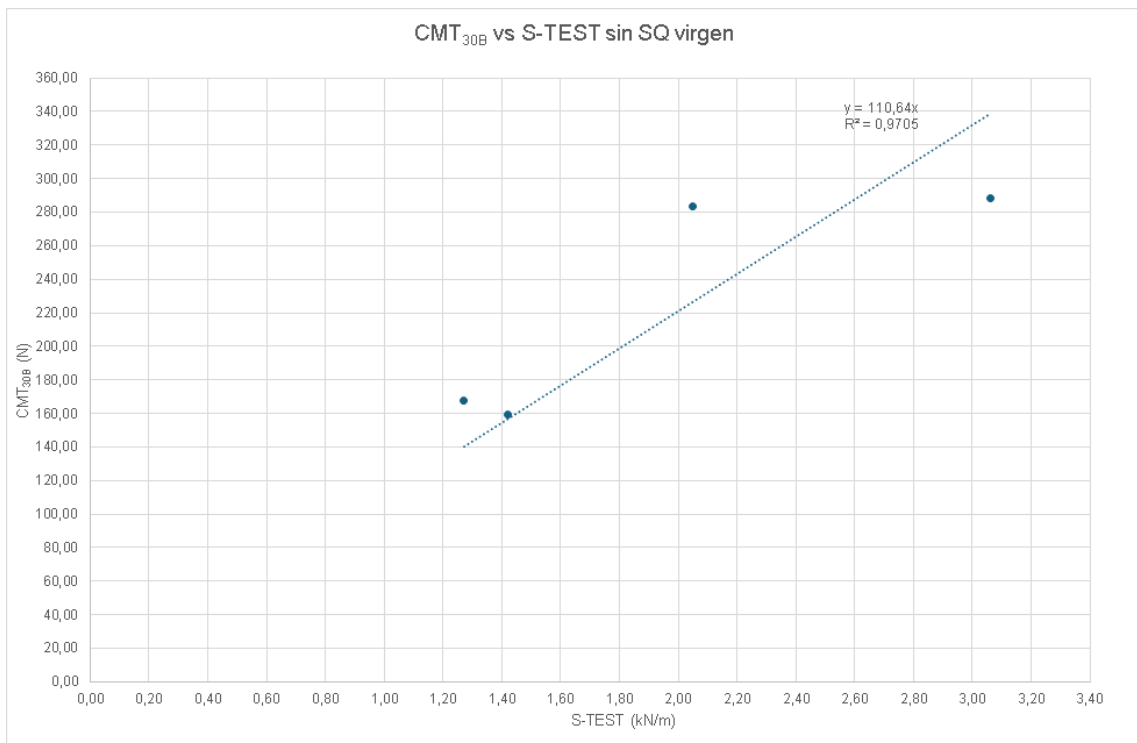


Figura 19.- CMT_{30B} vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

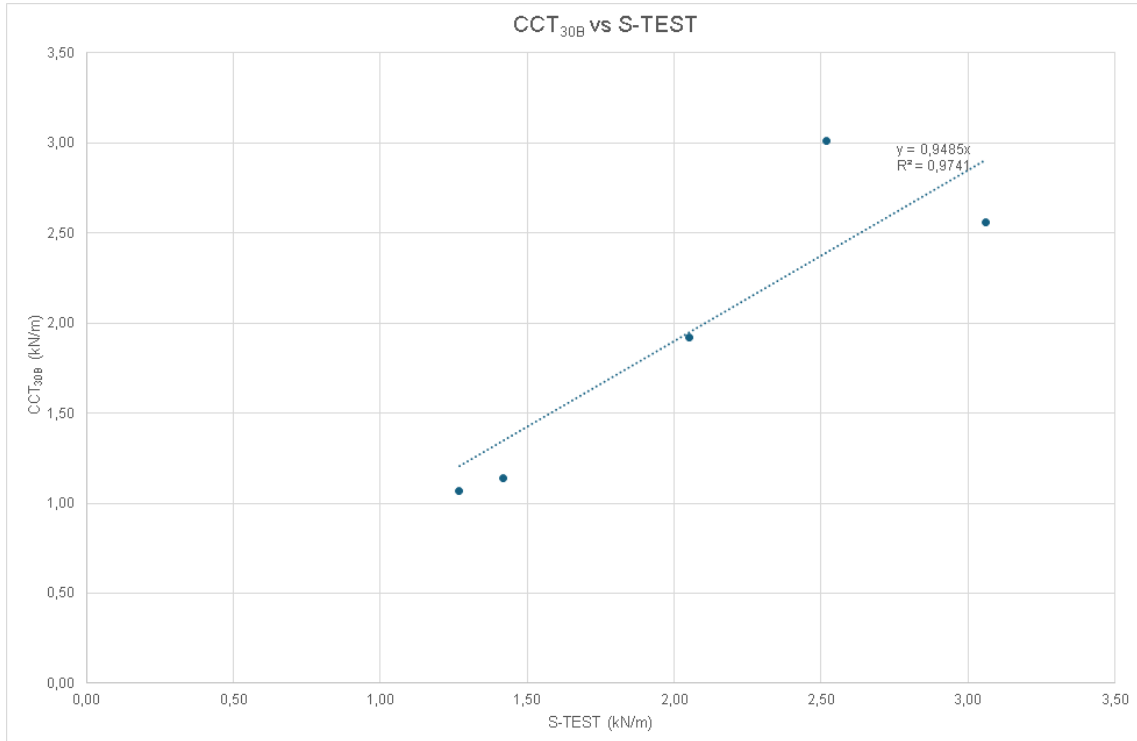


Figura 20.- CCT_{30B} vs valores de S-Test

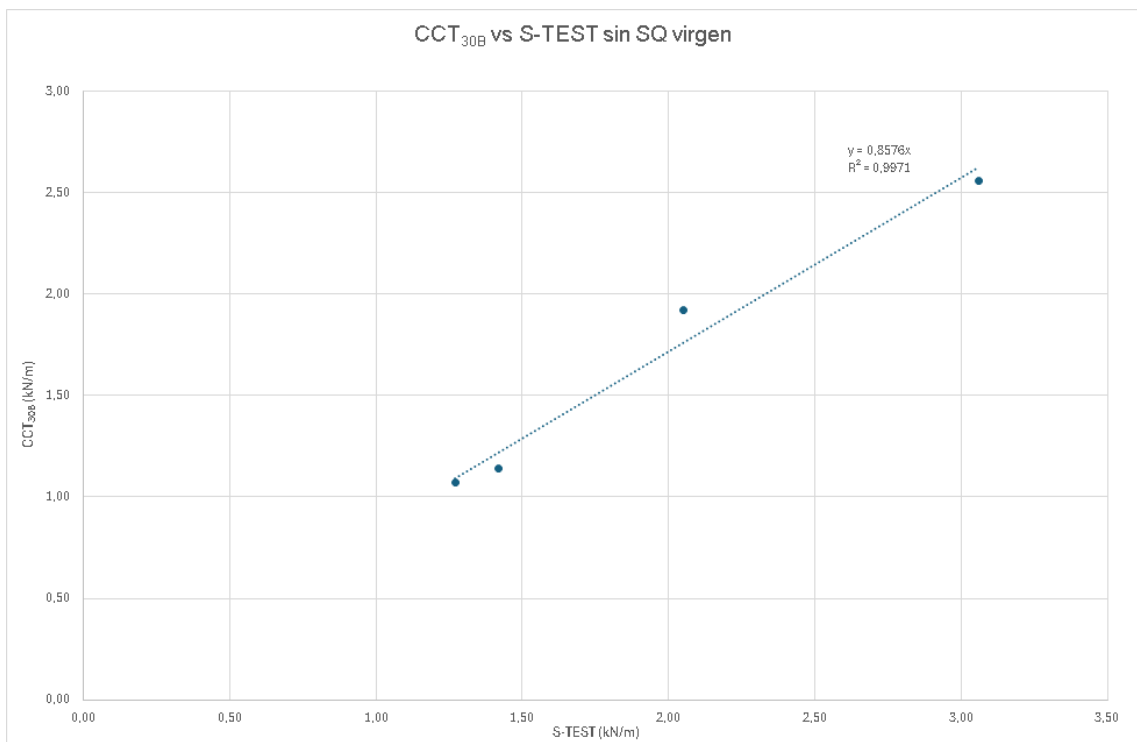


Figura 21.- CCT_{30B} vs valores de S-Test sin papeles 100% virgen

También se buscaron relaciones con los papeles seleccionados acondicionados a alta humedad.

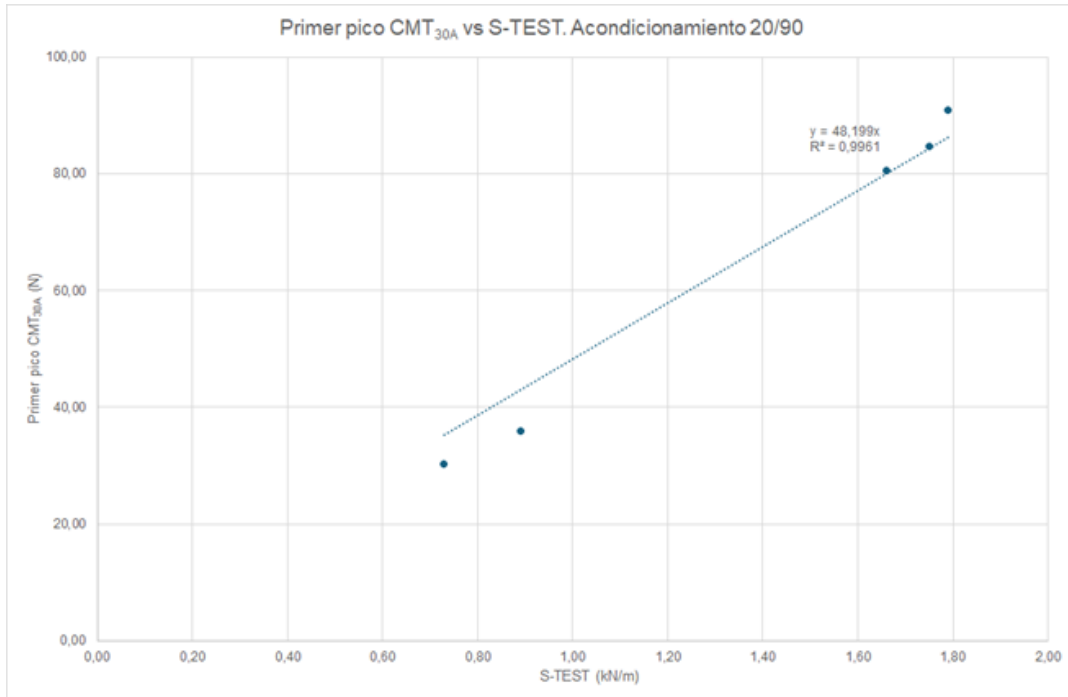


Figura 22.- Primer pico CMT_{30A} vs valores de S-Test a alta humedad

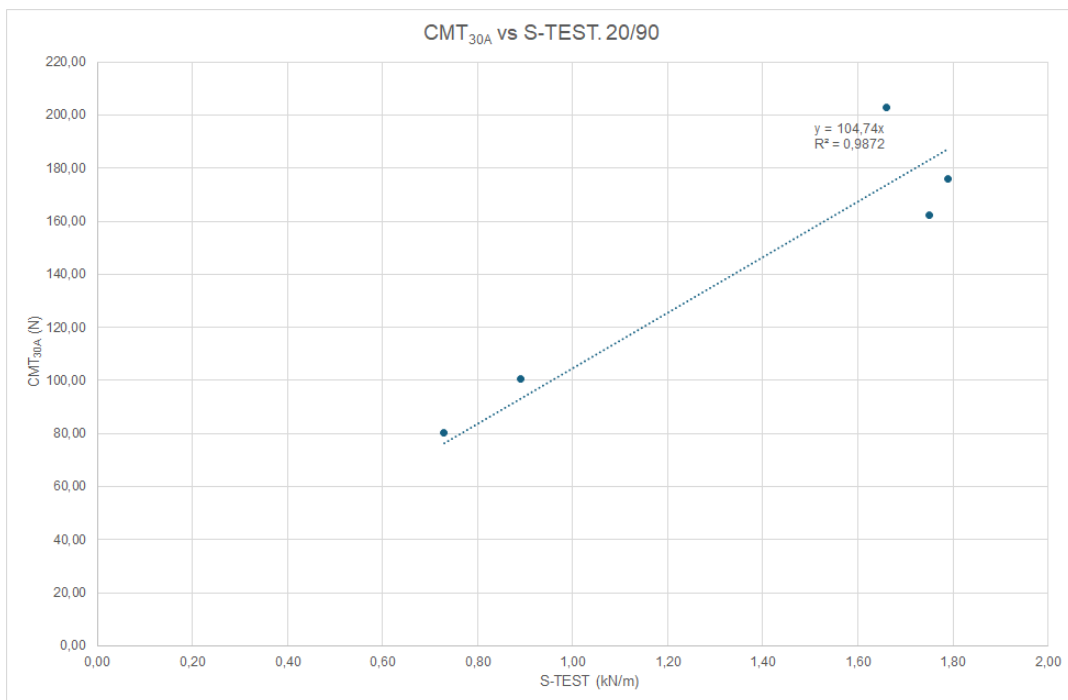


Figura 23.- CMT_{30A} vs valores de S-Test a alta humedad

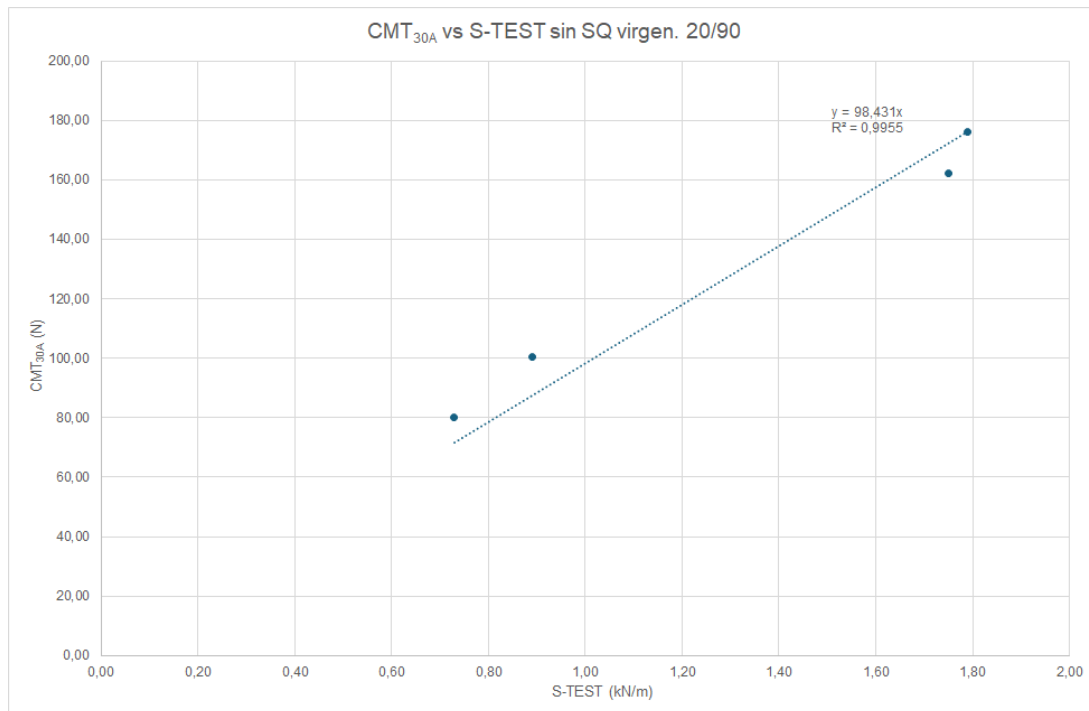


Figura 24.- CMT_{30A} vs valores de S-Test a alta humedad

En acondicionamiento a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa, la relaciones entre el CMT_{30A} y el S-Test fueron muy similares a las que se obtuvieron en condiciones estándar. El valor que relaciona una prueba con otra es la del primer pico de CMT_{30A}, pero esa relación no fue tan precisa en con el CMT_{30A} en aplastamiento total.

Lo que sí que hay que tener en cuenta es que el resultado del S-Test no se vio tan afectado por el incremento de humedad como la prueba CMT, CCT o SCT. La tabla muestra el porcentaje de disminución con respecto al valor estándar del S-Test y del CMT_{30A}, cuando el acondicionamiento es 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa. Las diferencias de los valores que se obtuvieron entre los papeles acondicionados a 23 °C de temperatura y 85% de humedad relativa y a 20 °C de temperatura y 90% de humedad relativa no superaron el 10%.

Tabla 7.- Disminución de los valores de S-Test y CMT con la humedad

S-TEST (%)	CMT _{30A} primer pico (%)	CMT _{30A} (%)
35,4	54,8	51,0
36,4	54,8	51,8
32,0	55,8	52,7
41,5	54,9	54,4
42,8	58,5	53,5

2.7 Conclusiones

Las conclusiones que se extraen de las relaciones anteriormente vistas son:

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%.

3. 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 está tan 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.

Las empresas han de tener en cuenta que el valor de S-Test hace distinción entre clases de papeles, así los Semicuímicos 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.

4. 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 with higher relevance 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

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