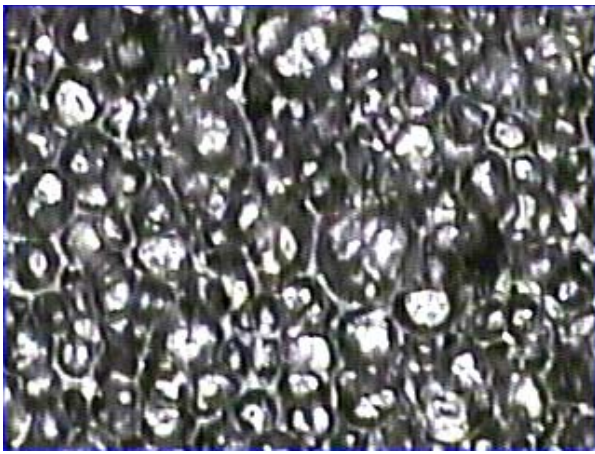
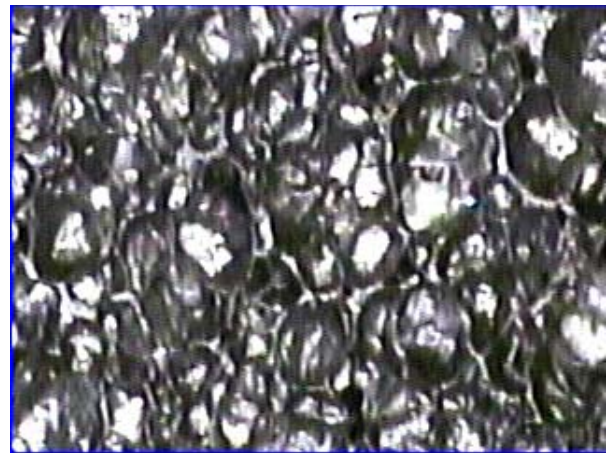


# INFORME



*Low Compression*



*Yamamoto 45*

Prestaciones del nuevo neopreno de baja  
compresión de Cressi respecto al Yamamoto 45

Realizado por J. Errondosoro  
Mondragón, 16 de agosto de 2006

## 1. INTRODUCCIÓN

Encargado por la firma CRESSI-SUB ESPAÑA, en este informe se trata recoger los resultados de los ensayos realizados a dos muestras de neopreno, referencias identificadas como *Yamamoto 45*, hasta ahora empleado en sus trajes tipo chicle, y nuevo *Cressi Low Compression*. Se desea saber cómo se comportan ambas muestras respecto a las siguientes solicitudes:

- Elasticidad
- Límite de rotura
- Compresión
- Envejecimiento (resistencia a los rayos ultravioleta)

## 2. ENSAYOS

Para llevar a cabo los ensayos, se dispone de tres bancos: uno para medir la elasticidad y el límite de rotura, que dispone de una célula para medir esfuerzos y un medidor de desplazamientos; otro para comprobar el comportamiento a compresión, que se trata de una cámara hiperbárica dotada de un palpador centesimal electrónico para medir espesores; y un tercer banco que somete a las muestras a una insolación continuada de rayos ultravioleta, compuesto por una lámpara especial encerrada en una caja.



Resistencia y elasticidad



Cámara hiperbárica



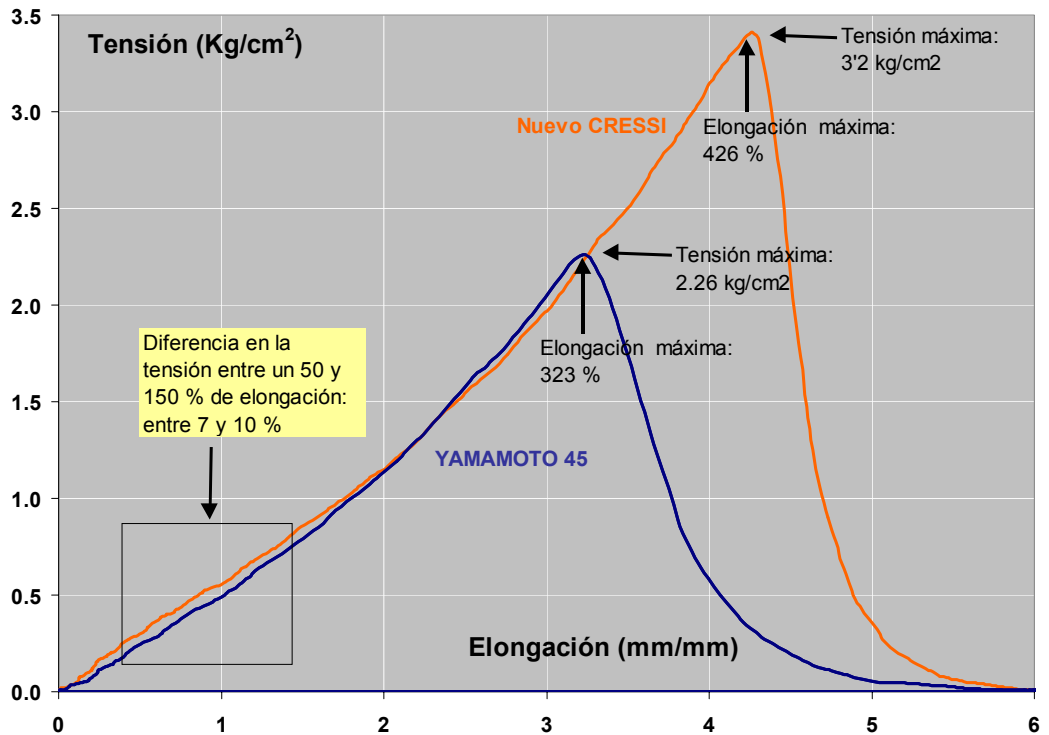
Espesor

## 2.1 Ensayos de elasticidad y límite de rotura. Medidas directas

La elasticidad y el límite de rotura del material se obtienen de un ensayo de tracción (Anexo 1), que consiste en tomar una muestra de cualquier material, neopreno en nuestro caso, y estirla hasta que se rompa mientras se mide la fuerza que se está ejerciendo y la elongación del material.

Secuencia de la prueba:

- Cortar la muestra de neopreno a una medida determinada (Anexo 2).
- Colocar la muestra en el banco de ensayos. Para ello se dispone de dos mordazas, una fija y la otra móvil. La mordaza fija es solidaria a una célula de carga, que mide la fuerza que se ejerce sobre la muestra; la móvil se puede desplazar a lo largo de un solo eje, alineado con el eje de la fuerza ejercida, y dispone de un sensor de desplazamiento.
- Estirar la muestra hasta que se rompa.
- Mientras dura el ensayo, todos los datos son almacenados continuamente por un sistema registrador automático.



Muestras ensayadas y resumen de los principales datos obtenidos en los ensayos de tracción:

Propiedades mecánicas <sup>(1)</sup>			
Propiedad	Unidad	Nuevo Cressi Low Compression	Yamamoto 45
Resistencia a la tracción al límite de rotura	Kg/cm <sup>2</sup>	3'4	2'25
Elongación al límite rotura	% (mm/mm)	426 (4'26)	323 (3'23)
Módulo de elasticidad medio en zona de uso <sup>(2)</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	0'59	0'51

(1) Para confirmar los datos, se han realizado más de 20 ensayos con cada referencia.

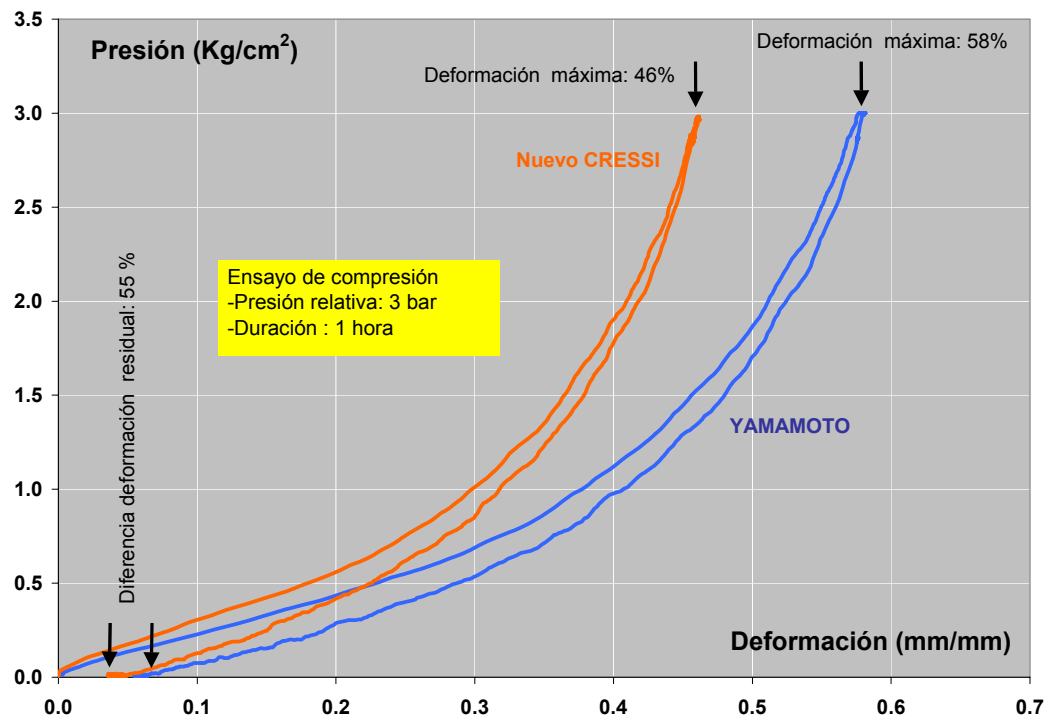
(2) A mayor módulo de elasticidad, más rígido es un material. Se ha supuesto que para no afectar a la comodidad y, sobre todo, para poder practicar una ventilación correcta, no se debe sobrepasar una elongación del 100 %; es decir, que el material se estire el doble de su longitud original.

## 2.2 Ensayos de compresión. Medidas directas

El comportamiento del material cuando se somete a presión se obtiene ensayando los materiales en una cámara hiperbárica. Básicamente, se trata de someter a las muestras a presión durante un tiempo determinado mientras un palpador electrónico mide continuamente el espesor de la misma. Los conceptos básicos de medida son los expuestos en el Anexo 1.

Secuencia de la prueba:

- Cortar dos muestras idénticas de neopreno. Colocar la muestra en un medidor de espesores, y colocar el conjunto dentro de una cámara hiperbárica.
- Cerrar la cámara y presurizarla.
- Mientras dura el ensayo, todos los datos son almacenados continuamente por un sistema registrador automático.



Muestras ensayadas y resumen de los principales datos obtenidos en los ensayos de compresión:

Propiedades mecánicas <sup>(1)</sup>			
Propiedad	Unidad	Nuevo Cressi Low Compression	Yamamoto 45
Deformación a una profundidad de 30 m	% (mm/mm)	46 (0'46)	58 (0'58)
Deformación residual después de 1 hora <sup>(2)</sup>	% (mm/mm)	3'6 (0'036)	5'5 (0'055)

(1) Ambas muestras han sido sometidas a una presión relativa de 3 bar, equivalente a 30 m de profundidad, durante 1 hora. Para confirmar los datos, se han realizado 3 ensayos con cada referencia.

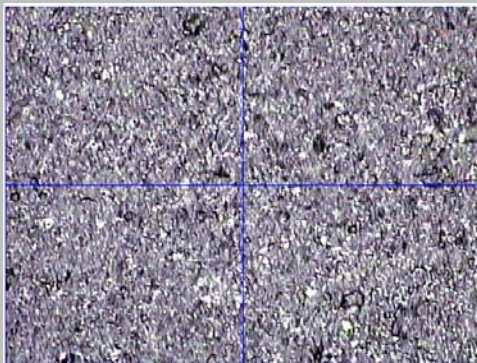
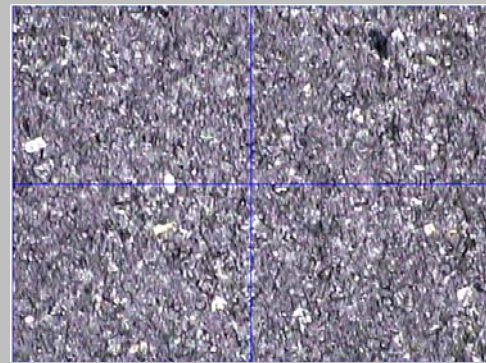
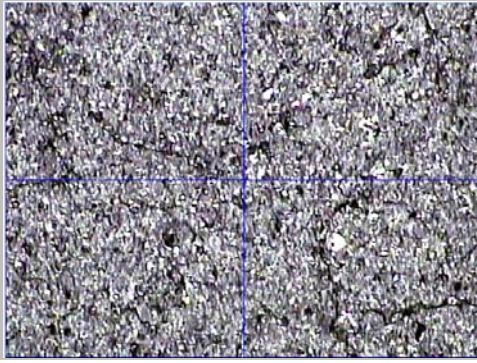
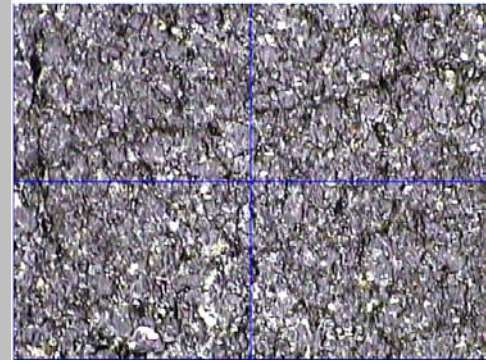
(2) Se conoce también como memoria de un material. Se trata de medir el espesor de la muestra al final del ensayo, a presión relativa cero, después de haberla sometido a presión constante durante 1 hora y compararla con la que tenía antes de comenzar el ensayo.

### 2.3 Comportamiento a los rayos ultravioleta. Ensayo visual.

Esta comprobado que los rayos ultravioleta de la luz solar son responsables de la degradación de algunos materiales (Anexo 3), entre los que se incluye el neopreno. El ensayo consiste en cortar 4 muestras iguales, 2 por referencia, y someter a dos de ellas, una de cada referencia, a una exposición continua de estos rayos con la intención de acelerar su envejecimiento. Al final de los ensayos, las dos muestras envejecidas son comparadas las otras dos que no lo han sido.

Secuencia de la prueba:

- De cada tipo de neopreno, cortar dos muestras de igual tamaño.
- Reservar una muestra de cada referencia y colocar las otras dos a 100 mm de una fuente de luz ultravioleta.
- Someter a las muestras a una exposición continua durante 1 semana (168 horas).
- Al finalizar el periodo de insolación, las superficies de todas las muestras han sido analizadas con un microscopio de 300 aumentos y se han realizado pruebas mecánicas manuales.

Observaciones	Nuevo Cressi <i>Low Compression</i>	Yamamoto 45
Muestras sin exposición		
Muestras tras 168 horas de exposición		

Configuraciones ensayadas y datos observados:

<b>Ensayos de fotodegradación</b>	
Denominación de la comparación	Observaciones
Diferencias entre las muestras sin exponer	Como era de prever tras observar las ampliaciones de las secciones transversales de las dos muestras (ver fotos del Anexo 4), se observa que el grano superficial del Yamamoto 45 es mayor.
Diferencias entre las muestras expuestas	Si se observa con mucha atención, se pueden apreciar unos surcos profundos en las dos muestras, siendo más abundantes en el Yamamoto 45. Esto indicaría un comportamiento peor de este último material respecto al nuevo Cressi Low compression en lo que a envejecimiento se refiere.
Diferencias visuales entre las muestras expuestas	Al estirarse manualmente las muestras expuestas, aparecen estrías muy marcadas en ambos materiales, especialmente en el Yamamoto 45, donde el alargamiento requerido para su aparición es menor. De la misma forma, el Yamamoto 45 se muestra más quebradizo.

### 3. VALORACIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS

En el apartado anterior se ha realizado una exposición pormenorizada de los datos obtenidos, pero será también muy útil realizar un balance más general, identificando escuetamente y de forma razonada las claves para entender las mejoras:

<b>Claves para comprender las diferencias</b>	
Elasticidad	Tiene relación directa con el diseño y la “vestibilidad” de los trajes. La elasticidad afecta principalmente a las holguras admitidas en los patrones de corte de los trajes, de forma que a mayor elasticidad es también mayor el número de posibles usuarios que se adaptan a una talla sin que se resienta especialmente su comodidad. Entre los usuarios más expertos, se aprecia especialmente la comodidad en la fase de ventilación. Resumiendo: cuanto más elástico, mejores prestaciones.
Límite de rotura	Este factor que tiene relación la duración del traje y también con su “vestibilidad”. Es importante destacar que este factor es, probablemente, el que mayor reticencia despierta entre los usuarios para decidir la compra de un chicle, pues está extendida la idea de que deben usarse con delicadeza. Resumiendo: cuanto mayor es el límite de rotura, mejores prestaciones.
Compresión	La compresión del neopreno afecta a los cambios de flotabilidad del traje y a la protección térmica que proporciona en función de la profundidad de uso. Tiene también relación directa con la duración del traje, pues en las muestras ensayadas, a mayor compresión mayor memoria (a un mismo uso, el espesor del traje mengua con más rapidez). Resumiendo: a menor compresión, menores cambios de flotabilidad y de protección térmica y mayor duración del traje.
Envejecimiento	El comportamiento del material respecto a los rayos ultravioleta tiene relación directa con la duración del traje. Cuanto mayores son las estrías detectadas a una misma exposición, la superficie del material se vuelve más quebradiza, absorbe más agua y ofrece menor protección térmica, además de presentar un aspecto de mayor deterioro.

# Anexo 1

## *Ensayo de tracción y compresión*

La resistencia es una propiedad mecánica que conocemos intuitivamente, pero puede que nos cueste definir lo que quiere decir exactamente la palabra "resistente" cuando estamos hablando sobre los materiales. En concreto, cuando hablamos de neopreno, lo que importa es la resistencia a la tracción (*vestibilidad*, confort de uso y rotura) y a la compresión (cambios de flotabilidad y memoria del material).

### **Definición de resistencia**

¿Pero qué significa ser resistente? Hay una definición precisa. Usemos la resistencia a la tracción para ilustrarla. Para medir la resistencia a la tracción de una muestra, tomamos ésta e intentamos estirla. Normalmente se estira con una máquina. Esta máquina simplemente sujeta cada extremo de la muestra y después estira de ella. Mientras está estirando la muestra, se mide la fuerza (F) que está ejerciendo. Cuando conocemos la fuerza ejercida sobre la muestra, dividimos ese número por el área de su sección (A). La respuesta es la tensión o carga que nuestra muestra está experimentando.

$$\text{Tensión} = F / A$$

Entonces, usando nuestra máquina, continuamos aumentando la fuerza en la muestra, y naturalmente la tensión, hasta que se rompa. La tensión necesaria para romper la muestra es la resistencia a la tracción del material. Dado que la tensión a la tracción es la fuerza aplicada a la muestra dividida por el área de su sección perpendicular, ésta y la resistencia a la tracción están medidas en unidades de fuerza divididas por unidades de superficie, normalmente Kg/cm<sup>2</sup> o N/ cm<sup>2</sup>.

### **Alargamiento o elongación**

Pero hay que entender más cosas de las propiedades mecánicas de un material que, simplemente, saber lo fuerte que es. La resistencia nos dice cuánta tensión se necesita para romper algo, no nos dice nada sobre lo que pasa a nuestra muestra mientras estamos intentando romperla. Eso es lo que nos lleva a estudiar la conducta del alargamiento de una muestra de material. El alargamiento es un tipo de deformación, y la deformación simplemente es un cambio en la forma de algo que está sometido a un esfuerzo. Cuando hablamos sobre la tensión a tracción, la muestra se deforma por estiramiento, haciéndose más larga. Esto es lo que llamamos alargamiento. Normalmente hablamos sobre porcentajes de alargamiento, que simplemente es la longitud la muestra después de estirada (L), dividida por su longitud original (L<sub>0</sub>), y multiplicado el resultado por 100.

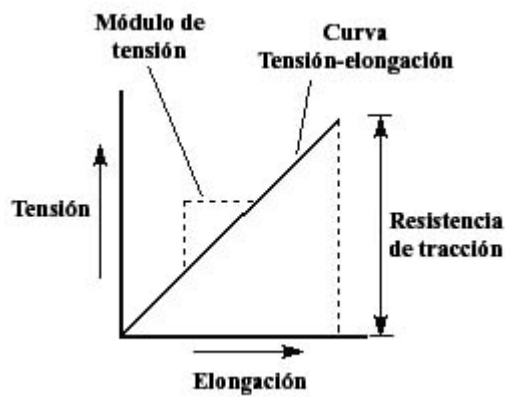
$$\% \text{ de alargamiento} = (L / L_0) \times 100$$

Hay varias cosas que medimos relacionadas con el alargamiento.Cuál de ellas es la más importante depende del tipo de material que se está estudiando. Dos cosas importantes que medimos son el alargamiento límite y el alargamiento elástico. El alargamiento límite es importante para cualquier tipo de material. No es otra cosa que la cantidad que podemos estirar la muestra antes de que rompa. El alargamiento elástico es el alargamiento porcentual que podemos realizar sin deformar la muestra permanentemente. Es decir, cuánto podemos estirla de forma que vuelva a recuperar totalmente la longitud inicial al eliminar la fuerza

que provoca la deformación. Esto es importante si el material es un elastómero. Los elastómeros tienen que poder estirarse mucho y ser capaces de volver atrás. La mayoría de ellos se pueden estirar de 500 a 1000 % y volver a su longitud original sin ningún problema.

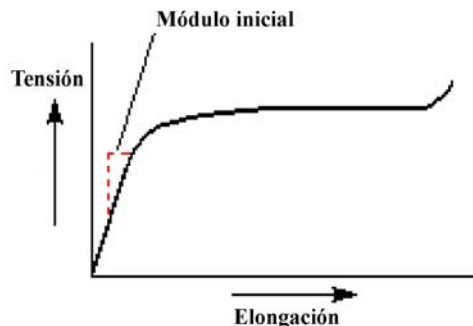
### Módulo

Los elastómeros necesitan tener un alargamiento elástico alto. Pero para algunos otros tipos de materiales, como los plásticos, normalmente es mejor que no se estiren o deformen tan fácilmente. Si queremos saber lo bien que un material resiste la deformación, tenemos que medir algo llamado módulo. Para medir el módulo de tracción hacemos lo mismo que para medir la resistencia y el límite de alargamiento. Esta vez mediremos la tensión que estamos ejerciendo en el material, como hacíamos cuando estábamos midiendo la resistencia a la tracción. Vamos aumentando la cantidad de tensión despacio y medimos el alargamiento de la muestra para cada nivel de tensión. Seguimos haciendo esto hasta que la muestra se rompe.



Entonces hacemos un gráfico de la tensión respecto al alargamiento, así:

Este gráfico se llama curva tensión - deformación. (la deformación es cualquier tipo de deformación, incluso el alargamiento, y alargamiento es la palabra que usamos si estamos hablando específicamente sobre la deformación a tracción). La altura de la gráfica cuando la muestra se rompe es la resistencia a la tracción, y el módulo de tracción es la pendiente de esta gráfica. Si la pendiente es empinada, la muestra tiene que un módulo de tracción alto, lo que significa que se resiste a la deformación. Si la pendiente es pequeña, entonces la muestra tiene que un módulo de tracción bajo, lo que significa que es fácilmente deformado. Hay veces que la curva de tensión - deformación no es tan continua y recta, como hemos visto anteriormente. Para algunos polímeros, especialmente los plásticos flexibles, se obtienen curvas desiguales como la siguiente:

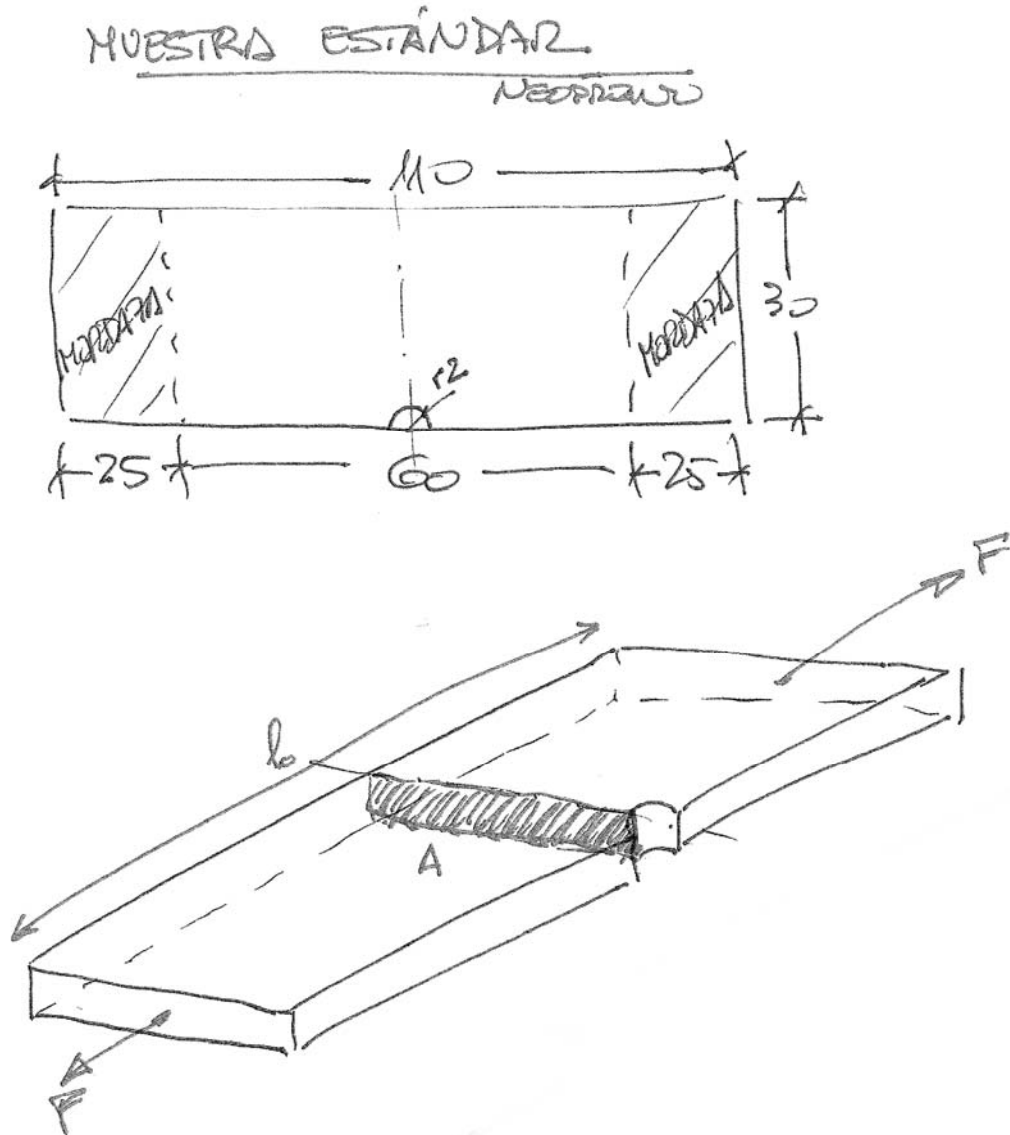




La pendiente no es constante al aumentar la tensión. La pendiente, que es el módulo, está cambiando con la tensión. En un caso así, normalmente la pendiente inicial es tomada como el módulo, como se puede ver en la curva tensión - deformación anterior. En general, las fibras tienen el modulo de tracción más alto, los elastómeros más bajo, y plásticos lo tienen entre ambos. El módulo es medido calculando la tensión y dividiendo por el alargamiento, y se mediría en unidades de tensión divididas por las unidades de alargamiento. Pero como que el alargamiento no tiene dimensión, no hay ninguna unidad por la que nosotros podemos dividir. Así que el módulo se expresa en las mismas unidades que la resistencia, como  $N/cm^2$ .

## Anexo 2

### Dimensiones de la muestra



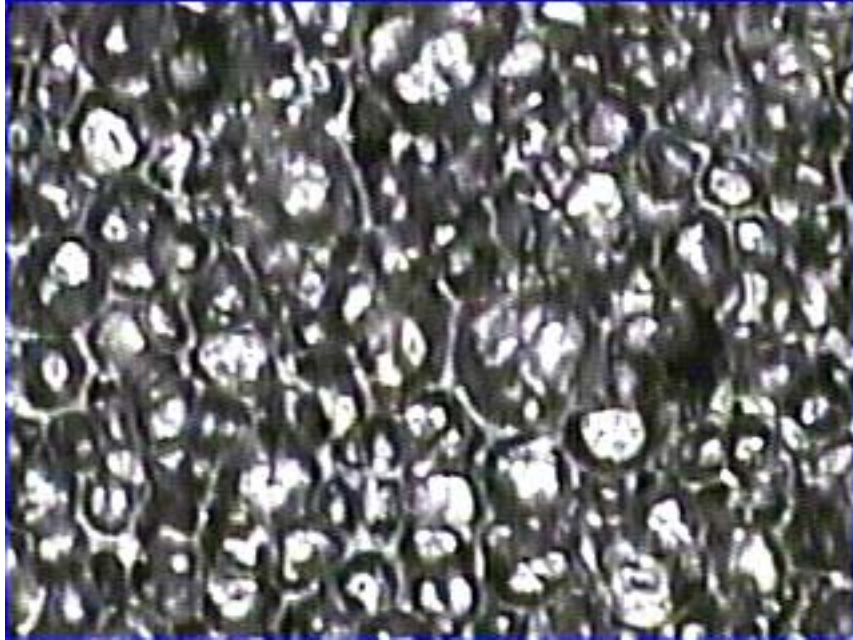
## Anexo 3

### *Ensayos de fotodegradación*

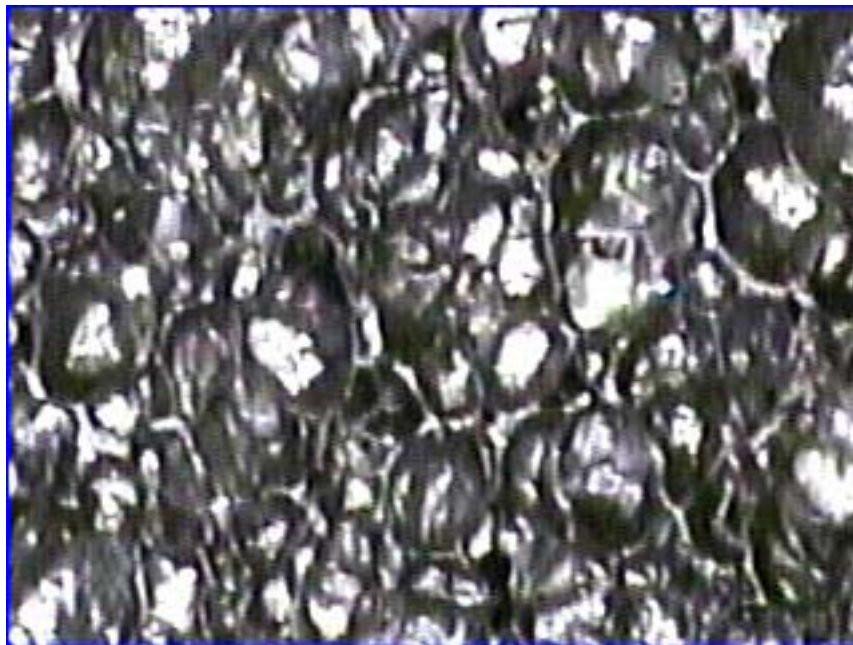
Los materiales se degradan por la acción de los rayos ultravioleta de la radiación solar, de manera que pierden su resistencia. Este proceso se basa en que la energía de la luz ultravioleta procedente de la luz solar es mayor que la energía de unión de los enlaces moleculares del neopreno, y por lo tanto rompen las cadenas de moléculas, reduciendo su peso molecular y sus propiedades mecánicas. En los ensayos de fotodegradación se acelera el efecto de los rayos ultravioletas mediante lámparas especiales que emiten radiación ultravioleta, reduciéndose mucho el tiempo respecto a la exposición a la radiación natural del sol. En los procesos de control más completos, la degradación se registra mediante la medida a intervalos constantes de las propiedades mecánicas y la inspección visual. En este caso particular, sólo se ha realizado un análisis visual del proceso de fotodegradación al término de una semana de insolación.

## Anexo 4

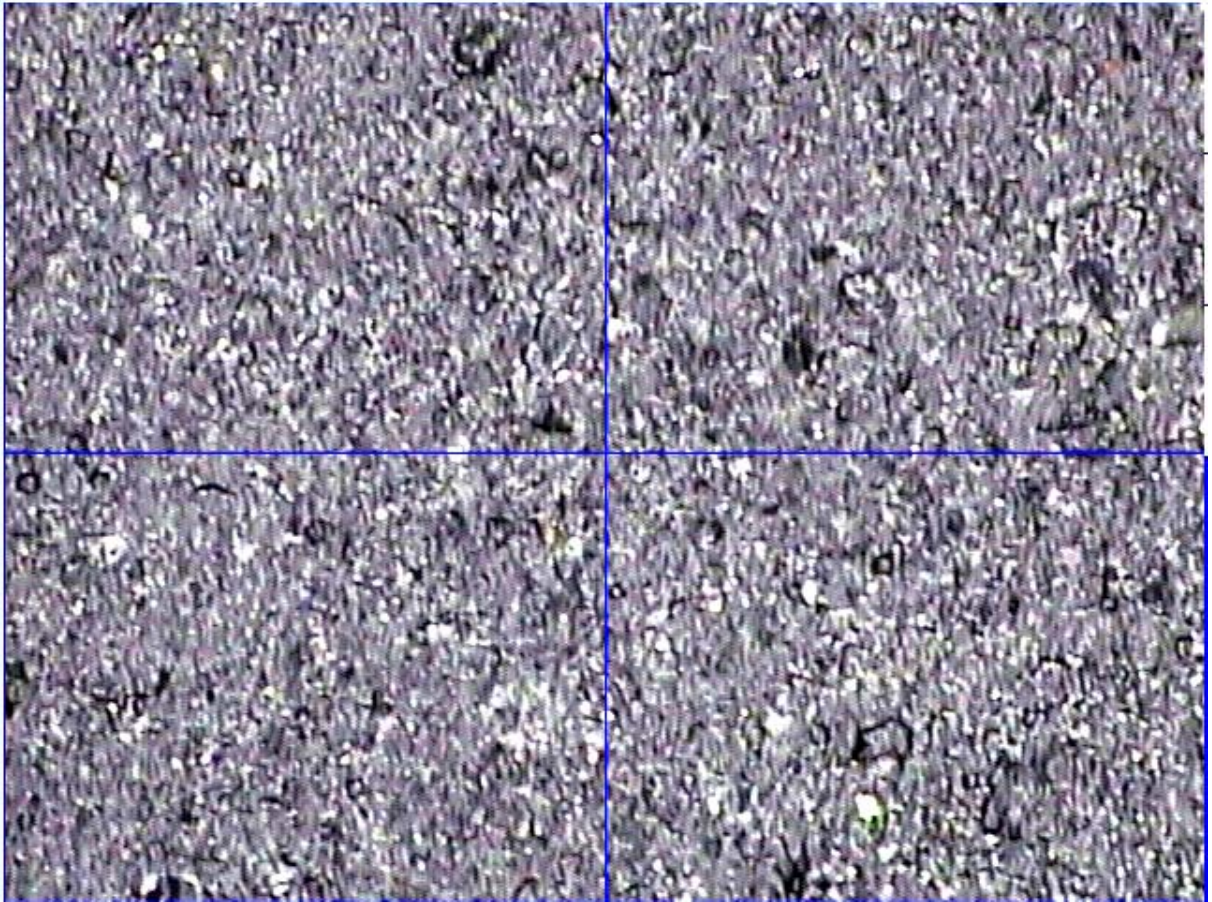
### *Fotografías de las muestras*



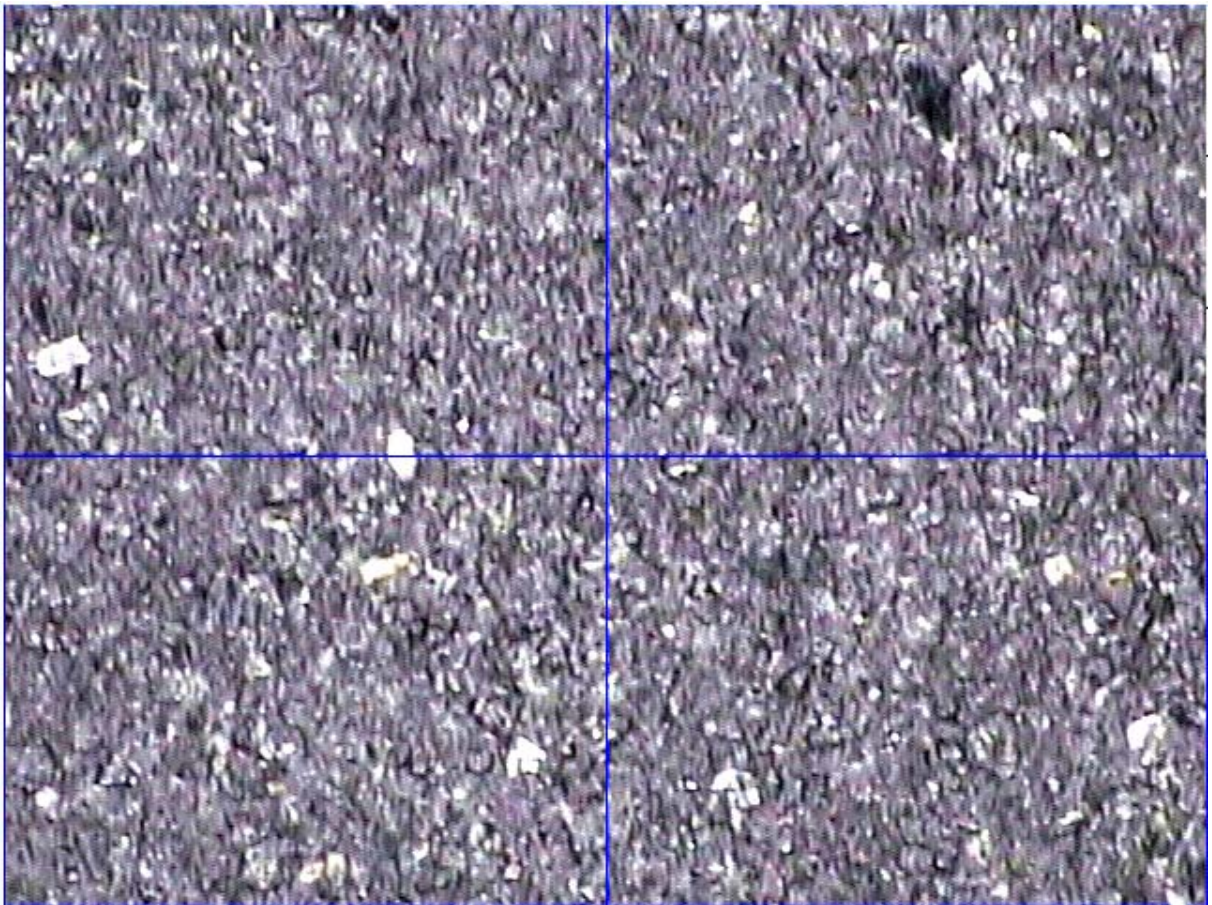
Sección lateral *Cressi Low Compression*



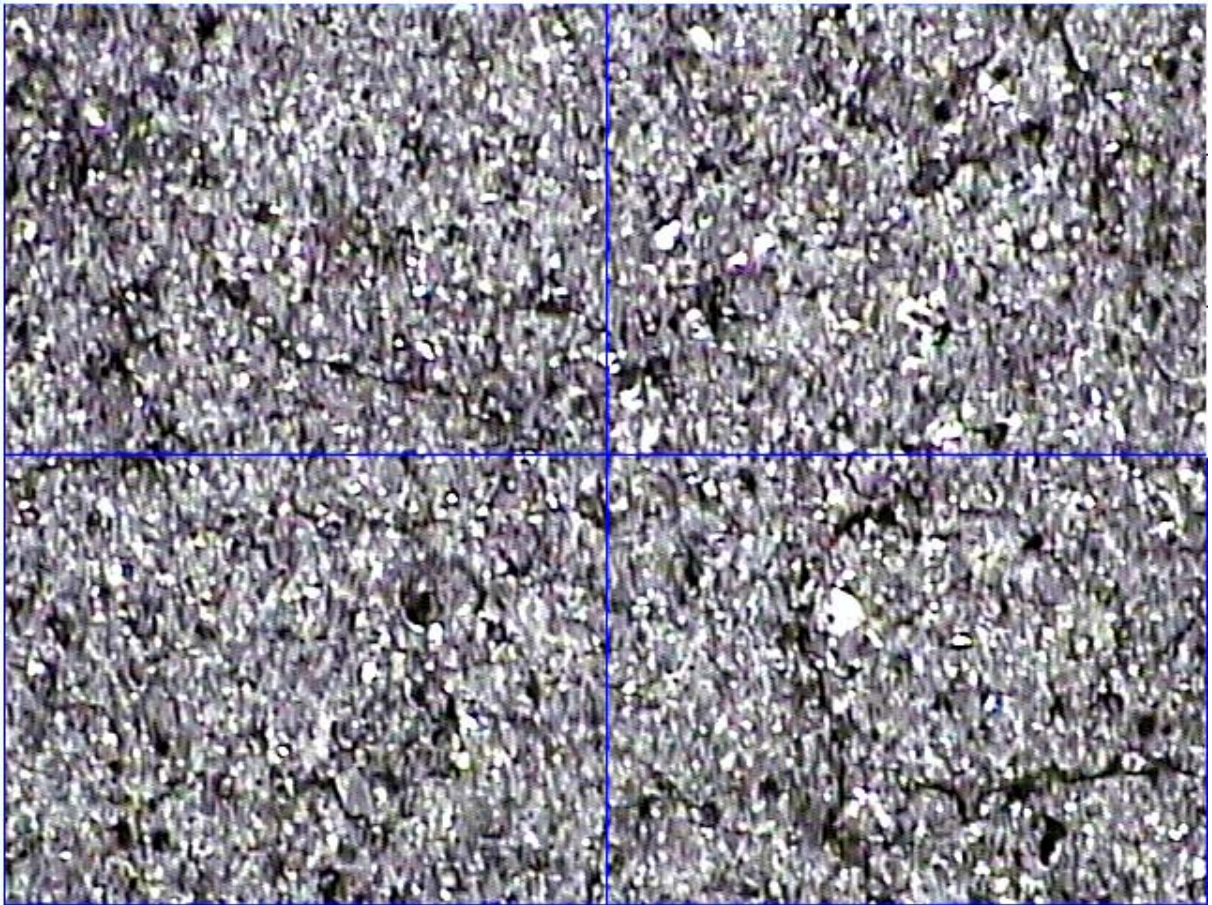
Sección lateral *Yamamoto 45*



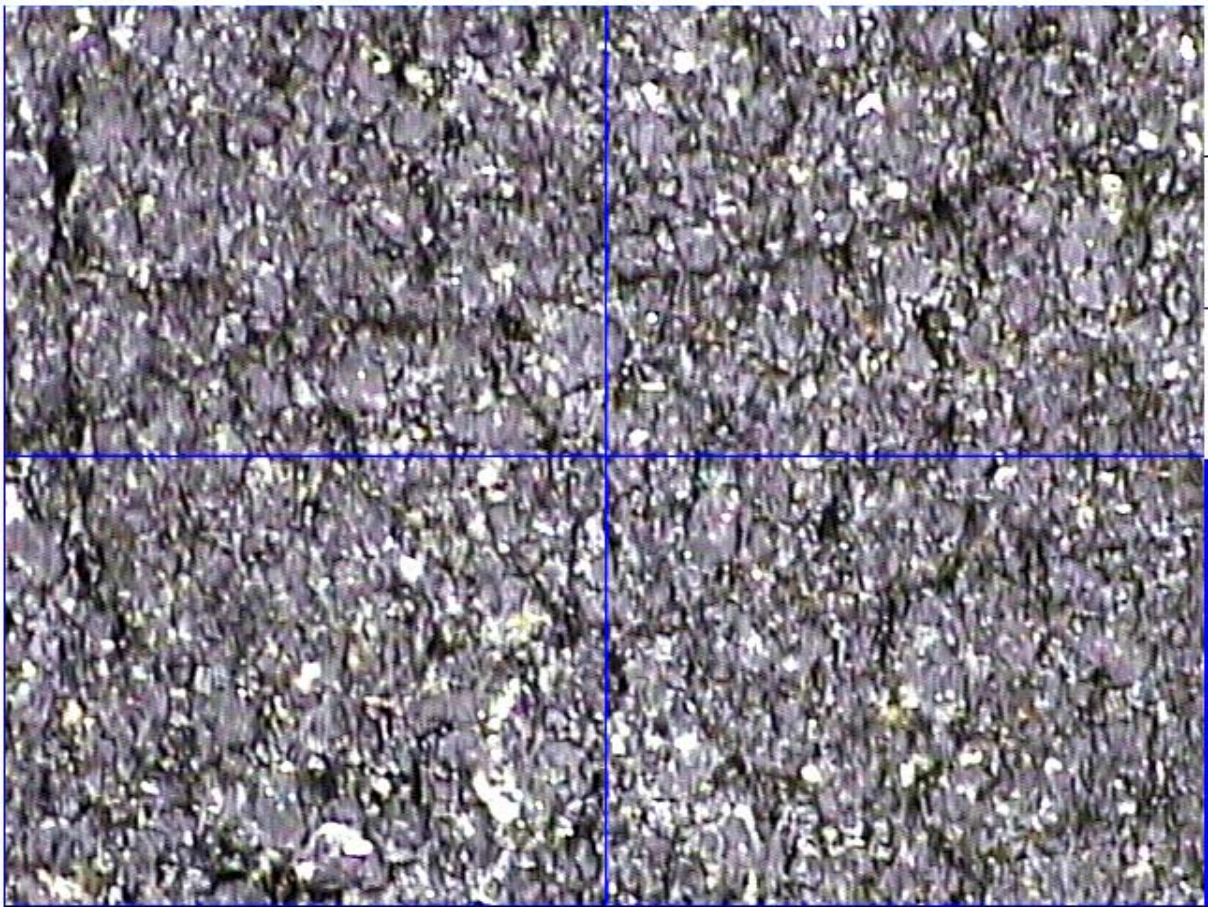
Superficie sin exponer *Cressi Low Compression*



Superficie sin exponer *Yamamoto 45*



Superficie tras 168 horas de exposición *Cressi Low Compression*



Superficie tras 168 horas de exposición *Yamamoto 45*