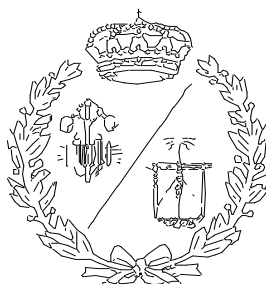


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Grado

**Determinación de las propiedades mecánicas
de especies vegetales de estuario**

**Determination of the mechanical properties of
estuary plant species**

Para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Roberto Sierra Lavin

**Septiembre -
2021**

ÍNDICE

1	AGRADECIMIENTOS	8
2	RESUMEN	9
3	ABSTRACT	10
4	ÁMBITO DEL ESTUDIO.....	12
4.1	ESTUARIOS	12
4.1.1	ESTUARIOS EN CANTABRIA y ZONAS DE ESTUDIO	13
4.2	SPARTINA	15
4.2.1	CARACTERISTICAS GENERALES	15
4.2.2	SITUACIÓN.....	16
4.2.3	PRADERAS	17
4.2.4	SPARTINA MARITIMA.....	18
4.2.5	SPARTINA ALTERNIFLORA:.....	21
4.3	PLANTAS INVASORAS: ¿PROBLEMÁTICAS O BENEFICIOSAS?	22
4.3.1	EFFECTOS BENEFICIOSOS DE LA SPARTINA INVASORA.....	23
5	METODOLOGÍA DEL ENSAYO	26
5.1	CAMPAÑA DE RECOGIDA DE MUESTRA.....	26
5.2	CARACTERIZACIÓN MECÁNICA.....	29
5.2.1	PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	29
5.2.2	ENSAYO DE TRACCIÓN	31
5.3	CARACTERIZACIÓN ÓPTICA	40
5.4	ENSAYO DE ARRANQUE	44
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	46
6.1	MECÁNICOS	46
6.1.1	NOTACIÓN	47
6.1.2	VARIACIÓN EN EL NÚMERO DE LAS MUESTRAS.....	47
6.1.3	ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE AMBAS ESPECIES.....	47
6.1.4	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TODOS LOS INDIVIDUOS ANALIZADOS.....	49
6.1.5	DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LAS GRÁFICAS	78
6.1.6	MEDIAS	79
6.1.7	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	80
6.1.8	RESUMEN DATOS	82
6.2	CARACTERIZACIÓN ÓPTICA	83
6.3	ENSAYO DE ARRANQUE	84
7	CONCLUSIÓN	87

8	PRESUPUESTO	89
8.1	PRECIOS UNITARIOS.....	89
8.2	PRESUPUESTOS PARCIALES	89
8.3	PRESUPUESTO GENERAL	89
9	BIBLIOGRAFÍA	91

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1- Creación de un estuario.	12
Figura 2-Comparativa del estuario de Cubas con marea alta y baja.	13
Figura 3- Estuario de Cubas durante el verano.	14
Figura 4- Ubicación seleccionada en el puerto de Raos.....	14
Figura 5- Rizoma de una de las muestras.....	15
Figura 6- Diferencia entre hoja madura y joven.....	16
Figura 7- Pastizales de Spartina en España.	17
Figura 8- Influencia de la Spartina en la geografía de los estuarios. Foto de la ría de Cubas.	18
Figura 9- Población de Spartina Maritima en 1796.....	19
Figura 10- Población de Spartina Maritima en 1893.....	19
Figura 11- Población de Spartina Maritima en 1940.....	19
Figura 12- Población de Spartina Maritima en 1970.....	19
Figura 13- Población de Spartina Maritima en 1994.....	19
Figura 14- Población de Spartina Maritima en 2012.....	20
Figura 15- Varios ejemplares de Spartina Maritima con un mismo rizoma	20
Figura 16- Población de Spartina Alterniflora en España.	21
Figura 17-Pastizal de Spartina Alterniflora.	22
Figura 18- Gráfico de la evolución en el nivel del terreno.....	24

Figura 19- Evolución de la población de Spartina en zonas con Spartina previa y en pantanos.	24
Figura 20- Zona de muestreo en el puerto de Raos.	26
Figura 21- Ejemplar de Spartina Maritima.	27
Figura 22- La accidentada geografía en el estuario de Cubas.....	28
Figura 23- Imagen de la recogida de muestras.	28
Figura 24- Partes en un individuo extraído sin rizoma.	30
Figura 25- Agarre seleccionado para los ensayos de tracción.	30
Figura 26- Grafico de las partes de una máquina de ensayos de tracción, junto con su gráfica característica y la formación del cuello en una probeta.	31
Figura 27- Ejemplo de curva genérica con sus parámetros más importantes.....	32
Figura 28- Ejemplo de curva de un material no lineal.....	35
Figura 29- Foto tomada durante la realización de los ensayos.....	36
Figura 30- Ejemplo de los datos obtenidos en uno de los ensayos.	37
Figura 31- Curva Fuerza-Desplazamiento del ejemplar Spartina Alterniflora 5 Hoja Madura.	39
Figura 32- Curva Tensión-Deformación del ejemplar Spartina Alterniflora 5 Hoja Madura. .	39
Figura 33- Radiómetro hiperspectral modelo FieldSpec.....	41
Figura 34- Gráfico de la longitud de onda de una onda sinusoidal.	41
Figura 35- Identificación de especies vegetales con el uso de firmas espectrales.....	42
Figura 36- Firma espectral de varias especies con los componentes que identifican.....	43
Figura 37- Dinamómetro utilizado en los ensayos de arranque.....	45

Figura 38- Ejemplo de rotura de una fibra que produce un escalón.	48
Figura 39-Ejemplo de rotura de muchas fibras durante el ensayo.	49
Figura 40- Valores medios de la tensión de rotura de ambas especies.	80
Figura 41- Valores de la deformación bajo carga máxima medios de ambas especies.	81
Figura 42- Valores módulo de elasticidad medios de ambas especies.	81
Figura 43- Valores del área bajo la curva medios de ambas especies.	82
Figura 44- Firmas espectrales de tres ejemplares vegetales.	83
Figura 45- Situación del estuario de Cubas en verano.	84
Figura 46- Individuo de <i>Spartina Alterniflora</i> seco cubierto por algún tipo de especie vegetal.	85
Tabla 1-Estuarios de Cantabria.	13
Tabla 2- Distintos tipos de radiación según su longitud de onda.	42
Tabla 3- Longitudes de onda en las que encontramos lignina y celulosa.	44
Tabla 4- Dimensiones de las muestras de <i>Spartina Alterniflora</i>	46
Tabla 5- Dimensiones de las muestras de <i>Spartina Maritima</i>	46
Tabla 6- Comparativa entre las dimensiones media de ambas especies.	47
Tabla 7-Datos de los ensayos de tracción en ejemplares de <i>Alterniflora</i>	78
Tabla 8-Datos de los ensayos de tracción en ejemplares de <i>Maritima</i>	78
Tabla 9- Valores medios de todas las medidas tomadas.	79
Tabla 10-Valores de longitud de onda en los cuales la celulosa y lignina están presentes.	84

Tabla 11- Precios unitarios.....	89
----------------------------------	----

Tabla 12-Presupuestos parciales.....	89
--------------------------------------	----

1 AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo de fin de grado ha resultado de la ayuda de muchas personas, tanto directa como indirectamente.

Primero quiero agradecer a los que han trabajado directamente conmigo, el laboratorio de LADICIM, con Isidro Carrascal y Carlos Thomas como director y codirector del proyecto, además de ceder sus instalaciones para la realización de muchos de los ensayos. Por otra parte al instituto IHCantabria, cuyas investigadoras Cristina Galvan y Barbara Ondiviela me han ayudado mucho resolviendo todas las dudas que me surgían, yendo conmigo a la recogida de muestras y enseñándome sus instalaciones.

Como partes que me han ayudado indirectamente, nombrar a mi familia, que siempre me ha estado apoyando en todo momento, a mis amigos, que me han ayudado a relajarme tras las muchas horas de trabajo, y a Claudia, que siempre está ahí para lo que necesite.

2 RESUMEN

Este trabajo recoge una propuesta de proyecto del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria) al Laboratorio de las División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (LADICIM). En ella, se pide la obtención de diferentes parámetros mecánicos, como los puntos de rotura o la deformación máxima, de dos especies vegetales presentes en los estuarios de Cantabria, la autóctona *Spartina Maritima* y la invasora *Spartina Alterniflora*, tanto en su tallo como en sus hojas. Una vez conocidos estos parámetros, se buscará dar una explicación a la mayor adaptabilidad y resistencia de la especie *Alterniflora* frente a la *Maritima*, que está menguando en número en las costas del litoral cantábrico, pudiendo de desaparecer frente al avance de su rival como ya ha sucedido con otras especies de *Spartinas*.

El proyecto constara de tres ensayos, relacionados entre sí, que explican de una u otra forma, diferentes capacidades de los individuos, siendo estos: ensayo de tracción, caracterización óptica y ensayo de arranque. El ensayo de tracción será realizado, tras una previa recogida de muestras en un estuario de la zona, en las instalaciones de LADICIM, que cuenta con el equipo necesario para ofrecer una resolución suficiente a los resultados. La caracterización óptica será realizada en los laboratorios del instituto IH, y proporcionaran una información que podría explicar las diferencias encontradas en el ensayo previo. Por último, el ensayo de arranque será realizado en el propio hábitat de la planta, siendo este el ensayo más experimental, que no se sabe qué tipo de resultados ofrecerá.

Durante todo el proyecto se encontrarán muchos problemas debidos a la heterogeneidad entre las diferentes muestras y las condiciones de extracciones de los ejemplares, que se intentarán paliar mediante el uso del programa KaleidaGraph en el caso del ensayo de tracción, o buscando un modo de proceder adecuado en el ensayo de arranque.

3 ABSTRACT

This assignment pick up a proposal of project of the Instituto de Hidraulica Ambiental of the University of Cantabria (IHCantabria) to the Laboratorio de las División de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (LADICIM). In it, they asked for the procurance of differents mecanichal parameters, such as breaking points or maximum strain of two vegetal species located in the entuaries of Cantabria, the autochthonous *Spartina Maritima* and the invasive *Spartina Alterniflora*, both in its stem and leaves. Once known these parameters, the focus will be to an explanation to the better adaptability and resistance of the *Alterniflora* against the *Maritima*, which is lowering its numbers in the littoral coast, risking disappearing because of the advance of its rival like it has happen before with other *Spartina* species.

The project will consist on different tests, related to each other, that explains in a way or another, various capabilities of the individuals, being these: tensile test, optical characterization and pull up test. The tensile test will be performed, with a previous sample collection in one of the estuaries of the zone, in the facilities of LADICIM, which offers an equipment that can provide a resolution high enough for the results. The optical characterization will be done in the laboratories of the IH institute, which will provide an information that may explain the differences founded in the previous test. Finally, the pull up test will take place in the own habitat of the plant, being this the most experimental exercise, which results are not predictable.

During the whole project many problems will be faced due to the heterogeneity of the different samples and the extraction conditions of the specimens, which will be tried to avoid by using programs like KaleidaGraph in the case of the tensile test and trying to find an adequate way to proceed in the pull up test.

4 ÁMBITO DEL ESTUDIO

4.1 ESTUARIOS

Este trabajo se centrará en la presencia de la *Spartina* en los estuarios, zonas donde el agua dulce de ríos se mezcla con el agua salada del mar, lo que crea un ecosistema único, con una biodiversidad muy variada. Su formación depende de las mareas, en pleamar el agua proveniente del mar retiene el agua proveniente del río, asentando la zona baja del estuario, mientras que con la bajamar ambas aguas se dirigen hacia el mar. En la Figura 1 se puede apreciar sus diferentes partes y la proporción entre agua salada y dulce.

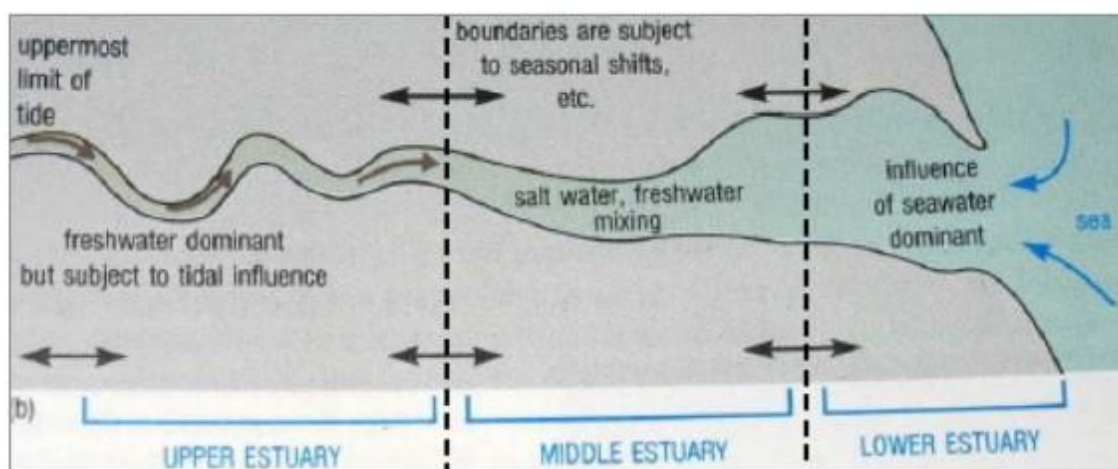


Figura 1- Creación de un estuario [1].

Es una zona geográfica muy variada, ya que en sus costados se pueden encontrar playas, marismas, manglares en zonas tropicales... Además, debido a la acumulación de sedimentos, es posible la formación de pequeñas islas que ejercen como una protección natural frente a las olas y otros fenómenos.

Al tener unas características tan heterogéneas, la fauna y flora es muy diversa, encontrando moluscos, crustáceos y diversos tipos de aves, además de una gran cantidad de vegetación acuática. Esta gran cantidad de especies ha llevado inevitablemente a que los estuarios sean un punto importante en la economía de las zonas en la que se encuentran, tanto por la pesca como por su atractivo turístico.

4.1.1 ESTUARIOS EN CANTABRIA y ZONAS DE ESTUDIO

Al ser Cantabria una región costera con desembocadura de varios ríos, encontramos numerosos estuarios, siendo muchos de ellos pertenecientes a dos bahías, la de Santander y la de Santoña. En la Bahía de Santander, área en la que se centra este estudio, se pueden distinguir hasta 7 estuarios (Tabla 1).

Tabla 1-Estuarios de Cantabria

Masa de agua marina	Estuarios
Bahía de Santander	Estuario de Astillero
	Estuario de la Canal
	Estuario de Boo
	Estuario de Cubas
	Estuario de Raos
	Estuario de San Salvador
	Estuario de Solía

Aunque en muchas ocasiones se suelen llamar rías a estas zonas, la realidad es que es un error. En las rías, al bajar la marea, los sedimentos no son suficientes como para que queden al descubierto, mientras que, en los estuarios, al tener un relleno casi completo de sedimentos, sí que quedan expuestos, como se puede ver en la imagen comparativa del estuario de Cubas con marea alta y baja (Figura 2-Comparativa del estuario de Cubas con marea alta y baja .. De todas formas, al ser más reconocidos con el nombre de Rías, en este trabajo se denominarán de esta forma.



Figura 2-Comparativa del estuario de Cubas con marea alta y baja [2] .

Las zonas de las que se tomarán muestras son dos:

- Ría de Cubas: se ubica en los municipios de Marina de Cudeyo, Ribamontan al Mar y Ribamontan al Monte, y es el final de río Miera, uno de los más importantes dentro de la geografía de Cantabria, y es la ría que mayor aporte de agua dulce transporta a la

Bahía. Con marea alta es navegable y está rodeado por marisma en su mayor parte, mientras que con marea baja se forman diversos riachuelos (Figura 3).



Figura 3- Estuario de Cubas durante el verano [3].

- Ría de Raos: ubicada entre los municipios de Santander y Camargo, no tiene una geometría definida, al ser prácticamente inexistente debido a las múltiples construcciones realizadas en la zona, incluyendo el puerto de Raos o el Aeropuerto de Santander.

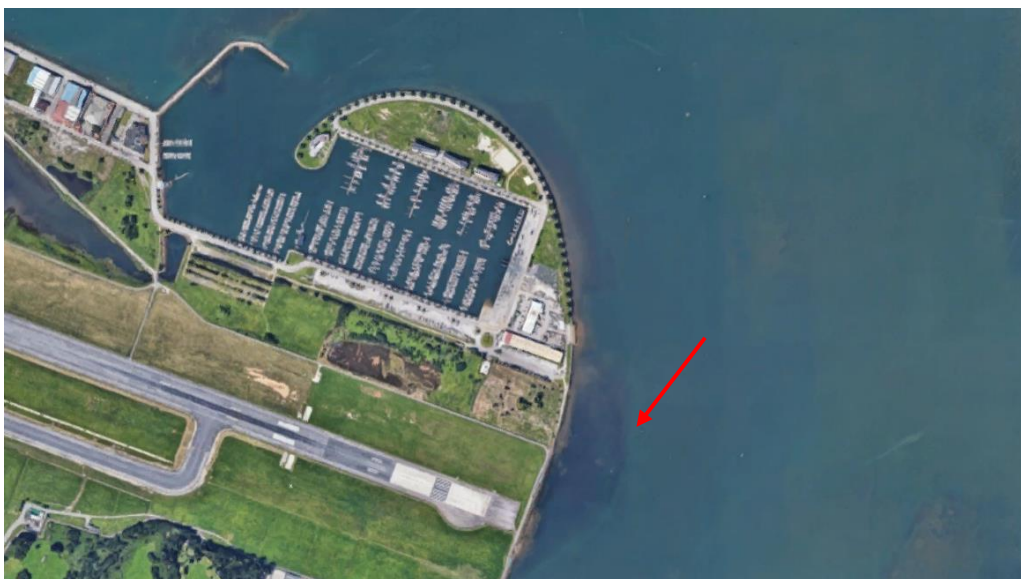


Figura 4- Ubicación seleccionada en el puerto de Raos [2]

4.2 SPARTINA

4.2.1 CARACTERISTICAS GENERALES

Son hierbas perennes rizomatosas (con tallo subterráneo) pertenecientes a la familia de las Gramíneas (*Poaceae*), una gran familia de plantas herbáceas que cuenta con 820 géneros, y suponen la mayor fuente de alimentos para la especie humana, al incluir cereales como el maíz o el trigo. Se pueden distinguir hasta 16 especies de *Spartina* (con algunas hibridaciones) [4], y su tamaño varía considerablemente entre ellas, desde 20 centímetros a 1,5 metros [5].

Cuenta con un metabolismo fotosintético C4, por lo que tienen una menor pérdida de agua que otras plantas, lo que las hace capaces de sobrevivir en un amplio margen de condiciones climáticas, pudiéndose encontrar individuos en ambos hemisferios.

Se puede dividir las *Spartinas* en 5 partes principales: tallo, hoja madura, hoja joven, nudo y entrenudo, siendo las hojas y el tallo las que tendrán mayor relevancia dentro del estudio.

- Tallo:

Es un tallo cilíndrico con nudos y entrenudos, de tipo flotante, ya que, al estar huecos por dentro, flotan cuando sube la marea. Acaban en unas formaciones llamadas rizomas, en su caso cortos encorvados y subterráneos, que permiten a las *Spartinas* desarrollarse en poco espacio y con mucha densidad de brotes.



Figura 5- Tallo de una de las muestras [6].

- Hoja:

Esta compuestas por tres partes, vaina, lígula y limbo. La vaina nace en un nudo y rodea al tallo, la lígula constituye un pequeño apéndice situado en la unión entre la vaina y el limbo, que es lo que es la parte de la vaina que se ha despegado del tallo, formando lo comúnmente conocido como hoja. Tienen una disposición alterna, es decir, las sucesivas hojas se despliegan en direcciones opuestas.

Dependiendo de la antigüedad de la hoja, podemos distinguir entre hojas maduras y jóvenes, siendo las maduras más planas, anchas y alargadas, y las jóvenes con forma más cilíndrica y pequeñas. En la siguiente foto (Figura 6) se puede apreciar la diferencia entre estas dos hojas, en un ejemplo en el que la hoja joven apenas empieza a desarrollarse, pero permite apreciar la diferencia en tamaño y forma.



Figura 6- Diferencia entre hoja madura y joven [6].

4.2.2 SITUACIÓN

Son originarias de tanto América, África y Europa, existiendo varias especies originarias de cada lugar. Se asientan en el relleno sedimentario de bahías, estuarios, ensenadas... entre los niveles medios de la bajamar y la pleamar.

En España, la especie predominante es la *Spartina Maritima*, encontrando también *Spartina Alterniflora* (Cantabria y País Vasco), *Spartina Desinflora*_(Huelva, Sevilla y en el Golfo de Cádiz) y *Spartina Patents* (gran presencia en Galicia, junto con menor en el litoral Cantábrico

y Mediterráneo) [7]. Este trabajo se centrará en las dos primeras, *Maritima* y *Alterniflora*, de la cuales se hablará más tarde.

4.2.3 PRADERAS

Al erguirse en los estuarios, crean praderas monoespecíficas muy densamente pobladas, llamadas praderas o pastizales de *Spartina*, que ejercen como una barrera natural capaz de reducir la velocidad de las corrientes y la altura de las olas, lo que propicia la proliferación de la diversidad biológica en la zona, encontrándose desde caracoles, cangrejos y otros animales terrestres, a gaviotas y charranes y demás aves [8].



Figura 7- Pastizales de *Spartina* en España [9].

Están delimitadas a zonas con poca energía, es decir, zonas en las que ni las corrientes son muy fuertes ni el mar es demasiado agresivo.

Estas praderas son conocidas por su capacidad de ejercer de “ingenieras”, ya que moldean física y biológicamente el territorio en el que se encuentran, elevando el suelo en el que crecen, al juntarse los rizomas de las plantas con los sedimentos minerales que transportan las mareas, lo que, junto a los reflujos de dichas mareas por las zonas no elevadas, tallan la compleja geografía que caracteriza a los estuarios.



Figura 8- Influencia de la *Spartina* en la geografía de los estuarios. Foto de la ría de Cubas [6].

En la Figura 8- Influencia de la *Spartina* en la geografía de los estuarios. Foto de la ría de Cubas ., tomada durante uno de los días de muestreo en la Ría Cubas, se puede ver como en las zonas pobladas con *Spartina* (*Alterniflora* en este caso), el nivel del suelo está más elevado que en las zonas sin ella, formando diversos riachuelos que van a dar a una marisma cercana.

4.2.4 SPARTINA MARITIMA

Es la única especie nativa de Europa, encontrándose principalmente en la costa atlántica meridional, en Reino Unido, Francia y España, aunque en el pasado se podía encontrar en varias zonas fuera de Europa, pero la competencia contra otras plantas y otras condiciones, han restringido su presencia a una pequeña área [10].

En la siguiente sucesión de imágenes podemos ver cómo ha variado su presencia a lo largo de 200 años [11].



Figura 9- Población de *Spartina Maritima* en 1796.



Figura 10- Población de *Spartina Maritima* en 1893.



Figura 11- Población de *Spartina Maritima* en 1940.



Figura 12- Población de *Spartina Maritima* en 1970.



Figura 13- Población de *Spartina Maritima* en 1994.



Figura 14- Población de *Spartina Maritima* en 2012.

Es una variante de *Spartina* relativamente pequeña, entre 15-70 cm de tallo, con hojas finas de entre 10-30 cm de longitud y 0,5 a 1 cm de ancho en su base, con fruto en su parte superior y semillas en los lados de las ramas. Requiere una humedad elevada y es capaz de soportar temperaturas moderadamente altas. Se reproduce por fragmentación de rizomas, requiriendo un suelo muy húmedo con una alta salinidad, que este cubierto durante las pleamares, para desarrollarse con facilidad. Aunque tenga semillas no se puede reproducir mediante ellas [9].

El principal problema es su sensibilidad y poca adaptación a cambios, lo que las hace muy vulnerables a cambios en su hábitat y a la inclusión de nuevas especies que las puedan hacer competencia. Además, cuando se juntan con otros tipos de *Spartinas*, como la *Alterniflora* su unión resulta en unos híbridos (como la *Spartina townsendii* o la anglica) que también amenazan su existencia al ser más prolíferas y resistentes.



Figura 15- Varios ejemplares de *Spartina Maritima* con un mismo rizoma [12].

4.2.5 SPARTINA ALTERNIFLORA:

Es originaria de la costa atlántica de América del Norte y Sudamérica, aunque debido a su carácter expansivo la podemos encontrar en el sur de Inglaterra, el oeste de Francia y el Norte de España.

Dentro de España, se han registrado ejemplares en Cantabria y en el País Vasco (Figura 17).



Figura 16- Población de *Spartina Alterniflora* en España [13].

Su introducción en Europa fue a principios del siglo XIX, en el sudeste de Francia, posteriormente se encontraron individuos en Shouthampton, Inglaterra, en 1829. Su llegada a España no se dio hasta finales del siglo XX, cuando en 1975 se dieron los primeros casos en las localidades cántabras de Oriñon y Soano. Se cree que fue de forma involuntaria, debido al tráfico marítimo o la migración de ciertas aves [13] [14].

Físicamente son similares a la *Spartina Maritima*, diferenciándose en su tamaño, al ser más grandes y robustas, alcanzando hasta 1,5 m de altura, y cuentan con una mayor adaptabilidad al medio, al tolerar mejor altos niveles de salinidad y capacidad de crecer en un mayor rango de sedimentos, además de tener la capacidad de hacer la fotosíntesis a menor temperatura. [15]



Figura 17-Pastizal de *Spartina Alterniflora* [16].

4.3 PLANTAS INVASORAS: ¿PROBLEMÁTICAS O BENEFICIOSAS?

La invasión de estuarios por especies de *Spartina* no autóctona lleva siendo un problema para la supervivencia de las *Spartinas* autóctonas durante muchos años en diversas regiones, desde California, donde la *Spartina Alterniflora* sustituyó a la nativa *Spartina Foliosa*, a China, donde una introducción de *Alterniflora* ha acabado con la población de su híbrido *Anglica* [17].

En Cantabria, esta problemática se da entre las especies de *Sp. Maritima* y *Sp. Alterniflora*, habiendo dos posibles formas de que la *Alterniflora* desplace a la *Maritima* de su hábitat, siendo estas:

- Superioridad en adaptabilidad

Es una de las razones de este estudio, ver como de grande es esta diferencia, comparando su resistencia a estreses físicos. Además de ser aparentemente más fuertes, la *Alterniflora* sobrevive mejor en diferentes condiciones debido a razones biológicas.

- Hibridación

Al juntarse ambas, pueden surgir híbridos que puedan suponer otro contrincante más en la ocupación de los estuarios. Se ha visto como especies híbridas como la *Sp. Anglica* o la *Sp. Townsendii* son capaces de acabar con especies nativas.

Aunque la retirada de la especie invasora pueda parecer una solución fácil, la realidad es que no es así, habiéndose probado diferentes técnicas alrededor del mundo con el fin de su extracción y erradicación.

La retirada manual ha resultado ineficaz, e incluso contra productiva, ya que al arrancar algunos ejemplares la división de rizomas puede propiciar mayor aparición de ejemplares. En EE. UU. se ha utilizado con éxito una técnica que consiste en anclar una lona textil al suelo y cubrir el suelo durante al menos dos años, de forma que los ejemplares acaban muriendo por falta de nutrientes. Otras medidas con relativa efectividad es el uso de herbicidas, o la introducción de insectos o gusanos que acaben con ellas.

4.3.1 EFECTOS BENEFICIOSOS DE LA *SPARTINA* INVASORA

Aunque pueda suponer un problema para la diversidad autóctona (en específico de las *Spartinas* autóctonas), también puede tener un efecto positivo al subir el nivel del terreno en el que se implementan, con lo que zonas que quedarían sumergidas permanecen descubiertas, teniendo una posible aplicación a la hora de detener el avance del mar en zonas costeras, e incluso mejorar la diversidad del resto de especies.

En nuestra región, el proceso de invasión está en desarrollo, pero para ver el posible avance y resultado de la invasión, se puede hacer una comparación con una investigación sobre los efectos a largo plazo en la vegetación y la elevación del terreno que se hizo desde el año 1989 a 2019 en el Mar de Frisia (European Wadden Sea), en Schleswig-Holstein, Alemania, [18] donde en 1920 se introdujeron ejemplares de *Spartina* para proteger las costas y que no retrocediesen ante el aumento del nivel del mar. En este estudio, se buscaba estimar el impacto que tendría la presencia de *Spartinas* no nativas en el aumento del nivel del mar y los cambios que supondría a la diversidad de la zona.

En el desarrollo de las especies introducidas, el estudio clarifica que depende de muchos factores, desde la competición con las especies nativas hasta su capacidad de reproducción de forma autógena, y que normalmente hasta que se establecen y se reproducen con facilidad, suele haber un periodo de aclimatación. Un dato importante que muestra el estudio es que cambios en el hábitat favorecen mucho el desarrollo de las especies no nativas.

Una vez la *Spartina* se ha asentado en la zona, se demostró su capacidad de protección frente al avance del mar, protegiendo a especies nativas de las mareas.

En cuanto al aumento del nivel del suelo, en los 30 años de estudio, se elevó de los -46,4 cm respecto al nivel medio de la marea iniciales en 1989, a +4,9 cm en 2019 (Figura 18). Esto supone una variación de +50 cm en la altitud del terreno, con lo que se puede constatar la efectividad de la *Spartina* cuando se busca proteger terrenos ante el efecto de las mareas.

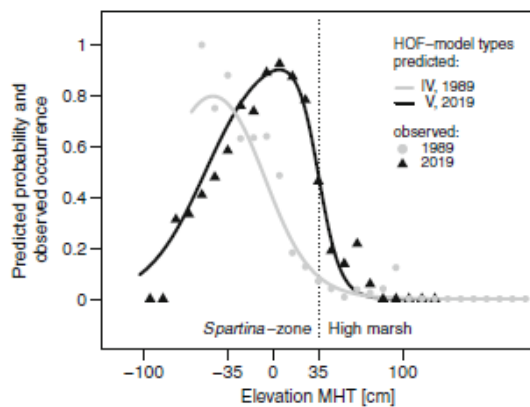


Figura 18- Gráfico de la evolución en el nivel del terreno [18].

Respecto a la proliferación de la *Spartina* en la zona de estudio, el siguiente gráfico (Figura 19) muestra el porcentaje que supone en las comunidades vegetales la *Spartina*.

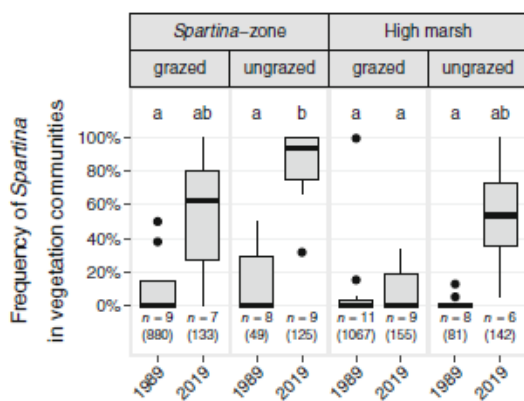


Figura 19- Evolución de la población de *Spartina* en zonas con *Spartina* previa y en pantanos [18].

En las zonas de *Spartina* con animales pastando, su presencia aumentó aproximadamente hasta un 60%, mientras que, en las zonas libres de pasto, este porcentaje aumentó hasta un 90%. Estos datos verifican la capacidad de la *Spartina* de desarrollarse rápidamente y en abundancia.

También se ha demostrado que la presencia de *Spartina* ayuda a mejorar la diversidad y cantidad de especies animales y vegetales, con altos incrementos en las zonas donde ya había cierta presencia de ella previamente.

Con todo lo recogido anteriormente, se puede decir que la introducción de *Spartina* tiene, en su mayoría, efectos positivos para el ecosistema, además de algunas funciones que el ser humano podría usar en su propio beneficio.

5 METODOLOGÍA DEL ENSAYO

5.1 CAMPAÑA DE RECOGIDA DE MUESTRA

Para la realización de los ensayos de forma adecuada, se requieren individuos recién extraídos del propio hábitat. Es importante que el lapso de tiempo entre recogida y pruebas sea el menor posible, ya que, con el paso de las horas, los ejemplares pierden características y los resultados serían inválidos.

Para la recogida, es necesario aprovechar las mareas vivas, mareas en las cuales la atracción ejercida por la luna sobre el mar es máxima, coincidiendo con la luna llena y luna nueva, para disponer de más superficie de recolección.

Coincidiendo con uno de estos días, dos investigadoras del IH y el alumno autor de este proyecto, fueron a por ejemplares de ambas *Spartinas*. Para realizar la labor, el instituto cedió parte de su equipo, entre lo que se encontraban botas altas de pesca preparadas para internarse en lodazales y una pala para facilitar la extracción de las muestras. El día elegido para el muestreo fue el 9 de febrero, coincidiendo con la bajamar a las 9 AM, y las zonas escogidas las ya nombradas, primero en la Ría de Raos, y después en la Ría de Cubas.

En la Ría de Raos el área seleccionada fue una cercana al Puerto Deportivo Marina de Santander, en el que, con marea baja, se disponía de una zona suficientemente amplia para hacer una recogida suficiente de muestras, miembros de la especie *Spartina Maritima* en este caso.



Figura 20- Zona de muestreo en el puerto de Raos [6].

El modo de proceder en la extracción de las plantas era abrirse paso a través del lodo hasta la zona con ejemplares suficientemente maduros, y hacer palanca con la pala a suficiente profundidad para poder arrancar el rizoma entero (Figura 21), ya que de esta forma se hacía mucho más fácil el trabajo que arrancar directamente los tallos, además de evitar microrroturas previas que pudiesen afectar a los ensayos posteriores. Una vez se extraen las muestras, se depositan en una bolsa de plástico con un poco de agua para que se conserven mejor hasta el laboratorio.



Figura 21- Ejemplar de *Spartina Maritima* [6].

Una vez extraída una cantidad adecuada de muestras en esta zona, la siguiente ubicación fue una zona conocida como la Marisma del Conde, en la localidad de Rubayo, Marina de Cudeyo. Se encuentra a 1,7 km de distancia del puente de Somo, que se podría considerar el inicio del estuario.

Esta zona es considerablemente más grande que la anterior, y para acceder a las zonas con *Spartina* (*Alterniflora* en esta área) hay que recorrer una distancia relativamente larga por un terreno complicado entre lodo y riachuelos (Figura 22), ya que solo puede crecer en zonas que, cuando la marea esta alta, quedan sumergidas.



Figura 22- La accidentada geografía en el estuario de Cubas [6].

Una vez alcanzada la zona de extracción, el modo de proceder es el mismo que en la otra área, con la diferencia que la *Sp. Alterniflora* ofrece más resistencia a la hora de ser arrancada.



Figura 23- Imagen de la recogida de muestras [6].

El total de plantas regidas fue muy superior al número de pruebas que se tenía pensado realizar, para poder así elegir entre los miembros más desarrollados y homogéneos de cada especie.

5.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

El proceso de caracterización mecánica se realizó en las instalaciones de LADICIM, cuya máquina de ensayos de tracción cuenta con una célula de carga suficientemente precisa para obtener las curvas de un material tan frágil como es la hoja de una planta.

Se trata de una maquina universal servo hidráulica dotada de una célula de carga de ± 1 kN y un dispositivo LVDT (transformador lineal de variación lineal) de marca Servosis incorporado con un rango de ± 50 mm y una precisión de $1\mu\text{m}$. Utiliza un software de control y de adquisición de datos PC2K.

El dispositivo cuenta con un cabezal inferior fijo, y uno superior móvil. La fuerza la proporciona un equipo neumático que ha de encenderse previamente.

Una vez se obtienen los datos del ensayo, se transfieren al programa KaleidaGraph 3.0 para su análisis.

5.2.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Lo primero a la hora de preparar las muestras es seleccionar las que visualmente pudiesen ofrecer unos resultados más fiables. De esta forma, los ejemplares escogidos eran aquellos que no presentasen roturas previas visibles, que estuviesen bien conservados y no fuesen excesivamente maduros.

En total se escogió 5 individuos, tanto de *Maritima* como *Alterniflora*, y se dividieron en 3 partes:

1. TALLO
2. HOJA NUEVA
3. HOJA MADURA

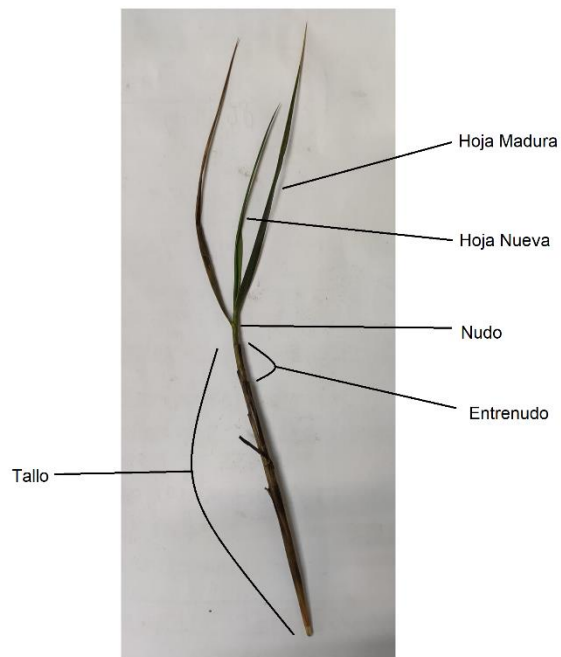


Figura 24- Partes en un individuo extraído sin rizoma [6].

Uno de los mayores problemas en todo el proyecto fue decidir qué tipo de agarre es el más conveniente a la hora de realizar el ensayo, ya que, al ser un material tan poco uniforme, un agarre convencional podría resbalar o romper la muestra.

Tras barajar varias opciones, al final se optó por un agarre simple, usando cinta adhesiva de papel en los bordes de forma que las tenazas no contactaran directamente las muestras y se mejorase el agarre.

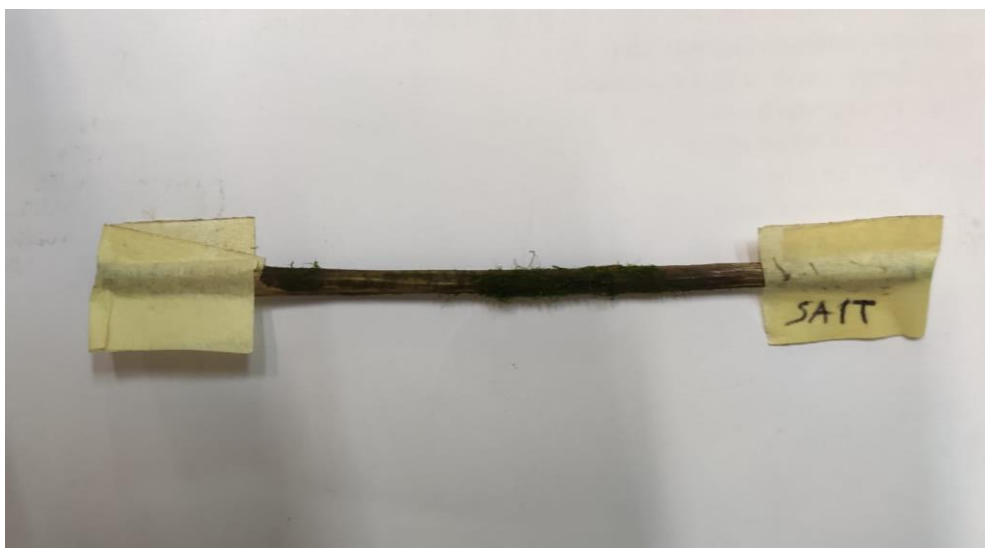


Figura 25- Agarre seleccionado para los ensayos de tracción [6].

El siguiente paso es la medición de las longitudes y anchuras iniciales. El instrumento escogido para realizar estas mediciones fue un pie de rey digital, ya que proporciona una sensibilidad suficiente para medir el perfil de la hoja, la medida más pequeña (en torno a 0,4 mm).

5.2.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Para obtener las características pedidas por el instituto IH, se va a recurrir a un ensayo de tracción. Los ensayos de tracción son ampliamente usados ya que proporcionan mediante un proceso simple información muy importante a la hora de conocer las características mecánicas. Además, tienen un bajo coste y un amplio catálogo de resultados de diferentes materiales con los que comparar.

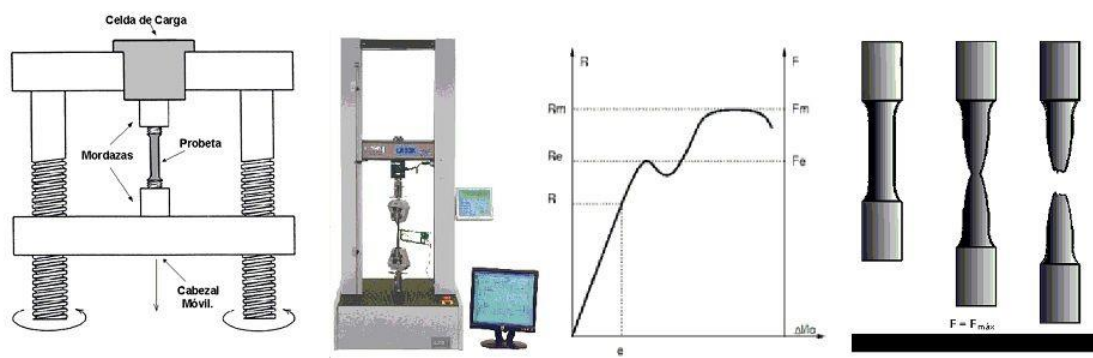


Figura 26- Gráfico de las partes de una máquina de ensayos de tracción, junto con su gráfica característica y la formación del cuello en una probeta [19].

El ensayo consiste en someter a la muestra a una fuerza de tracción generalmente hasta la rotura. Dependiendo de la resistencia y ductilidad del material a ensayar obtendremos diferentes resultados, dando una curva más horizontal en los casos de materiales dúctiles, y una con mayor pendiente en materiales frágiles. En nuestro proyecto, se puede presuponer que obtendremos una de las últimas, al ser las plantas materiales con poca plasticidad [20].

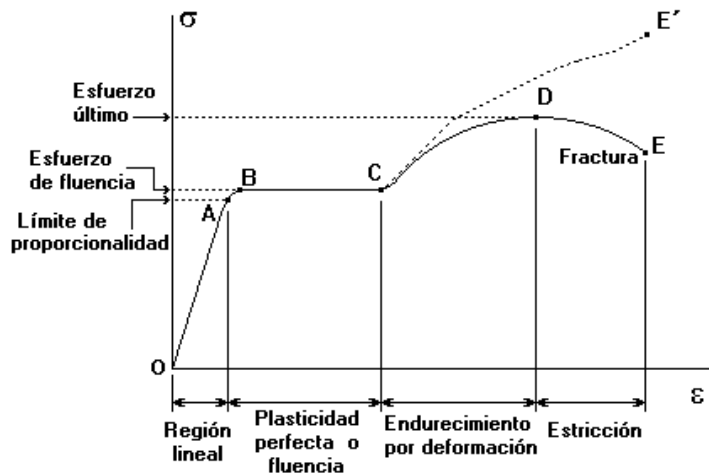


Figura 27- Ejemplo de curva genérica con sus parámetros más importantes [19].

Los dos parámetros principales en este tipo de ensayos son la fuerza y el alargamiento. Como unidades, en este proyecto se usará Newtons (N) para la fuerza y milímetros (mm) para el alargamiento. El uso de Kilonewtons (kN) para la fuerza es bastante habitual, pero al ser las plantas materiales muy frágiles, es más aconsejable usar N.

Los datos deseados son:

1. Tensión de rotura
2. Deformación bajo carga máxima
3. Módulo de elasticidad
4. Área bajo la curva

1. Tensión

En ingeniería se define la tensión como una magnitud física que representa la fuerza por unidad de área y se mide en Newton/metro cuadrado (Pascals) ($\text{N/m}^2 \rightarrow \text{Pa}$) o Newton/milímetro cuadrado (Megapascals) ($\text{N/mm}^2 \rightarrow \text{MPa}$). En este estudio se usará únicamente la tensión normal, perpendicular al plano, pero también existe la tensión tangencial, que se representa con la letra griega tau "τ".

Es un parámetro muy útil ya que proporciona la relación entre la fuerza aplicada respecto al área, lo que permite conocer las características propias del material sin tener en cuenta su geometría y es extrapolable.

La fórmula para obtener la tensión es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Donde:

F- Fuerza perpendicular a la sección ejercida por el dispositivo (N)

A₀-Área de la sección (mm²)

La tensión pedida por el IH es la tensión de rotura, en la cual la fuerza es suficientemente grande para conseguir la rotura de la muestra.

$$\sigma_R = \frac{F_R}{A_0}$$

Donde:

F_R- Fuerza en la que se produce la rotura (N).

2. Deformación

Al hacer el ensayo, se obtiene el alargamiento entre las dos pinzas del dispositivo, el cual, hasta el momento de rotura, es el mismo que el alargamiento que experimenta la muestra. Este alargamiento por sí solo no proporciona ninguna información, al depender de una magnitud externa como es la longitud inicial de la probeta. En cambio, si se divide este alargamiento entre la longitud inicial, se obtiene un parámetro conocido como deformación (ϵ), expresado en tanto porcentual, que si permite conocer como de dúctil es el material.

Su fórmula es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Al ser el alargamiento:

$$\Delta L = L - L_0$$

Podemos simplificar a:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Para obtener la deformación bajo carga máxima, el alargamiento introducido a la fórmula debe ser el del punto de rotura.

$$\varepsilon_{cm} = \frac{\Delta L_r}{L_0}$$

Al dividir distancia entre distancia, la deformación es un valor unidimensional

3. Módulo de elasticidad

También conocido como el módulo de Young, corresponde a la pendiente del primer tramo de la curva, hasta llegar al límite elástico.

Se puede hacer una separación entre materiales teniendo en cuenta su comportamiento:

1. Materiales lineales
2. Materiales no lineales

Los materiales lineales tienen un tramo recto en su curva, por lo que podemos obtener el módulo de elasticidad usando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E- Módulo de Young

σ - Tensión en un punto de la región lineal

ε -Deformacion en el mismo punto de la región lineal

En los materiales no lineales, no encontramos ningún tramo recto del que podamos obtener un módulo (Figura 28), al no ser tensión y deformación proporcionales. En estos casos, podemos hacer un modelo de elasticidad aparente tomando algún tramo de la curva.

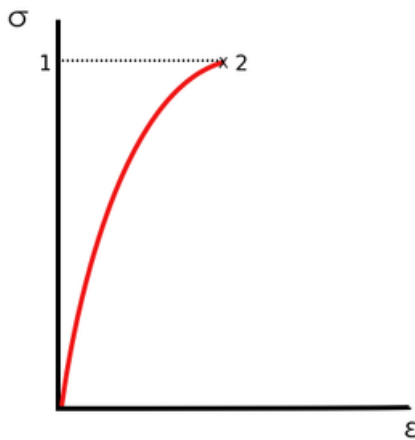


Figura 28- Ejemplo de curva de un material no lineal [21].

En cualquier caso, el módulo de Young es un parámetro muy importante, ya que permite conocer la cantidad de deformación plástica (no recuperable) que sufre el material al sobrepasar el límite elástico (o límite de proporcionalidad). Hasta este límite, solo se produce deformación elástica que se recupera una vez cesa la fuerza.

4. Área bajo la curva:

Se divide en dos áreas, el que corresponde hasta el límite elástico, que representa la resiliencia o energía elástica, el que llega hasta el punto de rotura, que corresponde a la tenacidad o energía total absorbida. Esta última será la que se estudiara en este ensayo, ya que el interés de él es cuanta energía puede resistir las plantas hasta que se rompen:

$$\text{Energía total} = \int_0^{\epsilon_{cm}} \sigma d\epsilon$$

Para realizar este ensayo, el alumno recibió una preparación por parte del profesor Isidro Alfonso Carrascal sobre cómo poner en funcionamiento la máquina y el modo de proceder.

El proceso es bastante simple:

1. Encender circuito neumático.
2. Sujetar un extremo de la muestra con la pinza inferior.

3. Calibrar mediante el ordenador la posición de la pinza superior de forma que no tenga tensión inicial pero tampoco se encuentre comprimida.
4. Sujetar el otro extremo con la pinza superior (Figura 29).
5. Iniciar una nueva hoja de datos en el ordenador para la nueva muestra.
6. Iniciar test.
7. Extraer muestra después de la rotura.
8. Valorar si el resultado de la prueba es válido o no.

Una vez se realiza el ensayo de una muestra, se procede a cambiarla por la siguiente y empezar el proceso de nuevo.



Figura 29- Foto tomada durante la realización de los ensayos [6].

Los datos son transferidos a KaleidaGraph, en el que deben ser tratados de forma que se mitiguen los errores y poder sacar datos de ellos.

Para ello, se abre la hoja de datos guardada en el ordenador de la máquina de ensayos de tracción en el programa y se eliminan las filas hasta que el valor inicial de la fuerza sea 0. Es importante hacer este paso, ya que, si la muestra no está perfectamente colocada, la maquina empezara ejerciendo fuerza sobre algo que no opone resistencia, por lo que los valores iniciales serán negativos. Se deben borrar también los datos posteriores a la rotura pues estos no aportan ninguna información y pueden llevar a hipótesis erróneas.

También se debe tener en cuenta que en el desplazamiento se incluye la distancia inicial entre las pinzas, mientras que a la hora de obtener los datos que se buscan, lo importante es el alargamiento de la muestra. Para resolver este problema, se resta a la distancia obtenida la inicial. Para hacerlo menos laborioso, se crea una función que realice esta operación a todos los datos obtenidos.

Una vez se tienen los datos necesarios (Figura 30), se procede a obtener la Tensión y la Deformación. Como se ha visto anteriormente, para la tensión se necesita el valor de la fuerza y el área de la muestra, y para la deformación, el alargamiento y la longitud de la muestra. Al igual que con la distancia inicial, se crean funciones en dos columnas diferentes, una para la tensión y otra para la deformación.

SA4HM

	0	Tiempo	1	Fuerza	2	Desplaza	3	Desplaza	4	Tension	5	Deformac
0	0,70000	0,0000	-15,687	0.035000	0.0000	0.059101						
1	0,80000	0,40000	-15,683	0.039000	0.22161	0.065857						
2	0,90000	0,20000	-15,678	0.044000	0.11080	0.074298						
3	1,0000	0,40000	-15,672	0.050000	0.22161	0.084431						
4	1,1000	0,90000	-15,667	0.055000	0.49861	0.092874						
5	1,2000	0,80000	-15,663	0.059000	0.44321	0.099628						
6	1,3000	1,0000	-15,657	0.065000	0.55402	0.10976						
7	1,4000	1,3000	-15,653	0.069000	0.72022	0.11651						
8	1,5000	1,2000	-15,648	0.074000	0.66482	0.12496						
9	1,6000	1,2000	-15,642	0.080000	0.66482	0.13509						
10	1,7000	1,2000	-15,637	0.085000	0.66482	0.14353						
11	1,8000	1,6000	-15,632	0.090000	0.88643	0.15198						
12	1,9000	1,5000	-15,627	0.095000	0.83102	0.16042						
13	2,0000	1,4000	-15,623	0.099000	0.77562	0.16717						
14	2,1000	2,0000	-15,618	0.10400	1.1080	0.17562						

Figura 30- Ejemplo de los datos obtenidos en uno de los ensayos [6].

Para obtener el área de la muestra, se procedió de dos formas diferentes, dependiendo de si era un tallo o una hoja:

- **Tallo**

Se tomaron dos medidas de el diámetro, a 90° una de otra. De estas dos medidas, se realiza la media aritmética y se introduce en la siguiente formula:

$$\text{Área tallo (mm}^2\text{)} = \frac{\pi * D(\text{mm})^2}{4}$$

- **Hoja**

Se simplificó a que la hoja tenía una estructura prismática cuadrangular, por lo que el área correspondía a multiplicar espesor por anchura:

$$\text{Área hojas (mm}^2\text{)} = \text{Anchura(mm)} * \text{Espesor(mm)}$$

Para la longitud de las muestras, se midió la separación entre las pinzas con el calibre, ya que la parte de la muestra cubierta por ellas no era significativa, y de esta forma se simplificaba mucho el procedimiento, puesto que para una medida valida se requiere que la hoja o tallo se encuentren estirados, pero sin ejercer fuerza sobre ellos.

El siguiente paso es obtener las curvas. Se requieren dos curvas para el proyecto, Fuerza-Desplazamiento (Figura 31), y Tensión-Deformación (Figura 32). Para ello seleccionamos las columnas con los datos que establecen los ejes y creamos la curva.

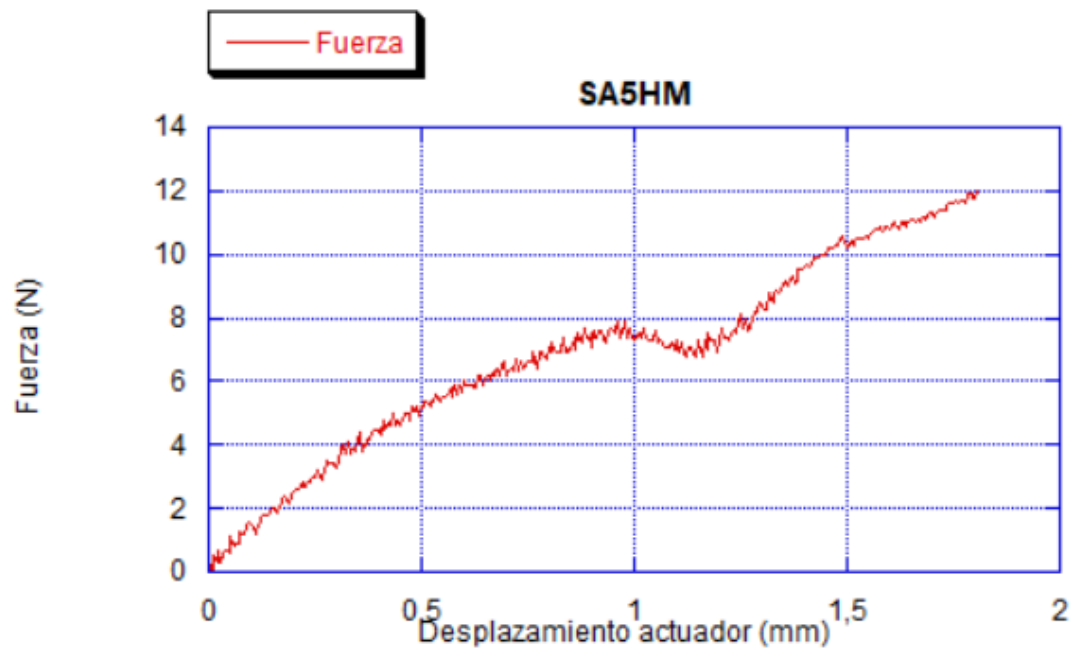


Figura 31- Curva Fuerza-Desplazamiento del ejemplar *Spartina Alterniflora* 5 Hoja Madura [6].

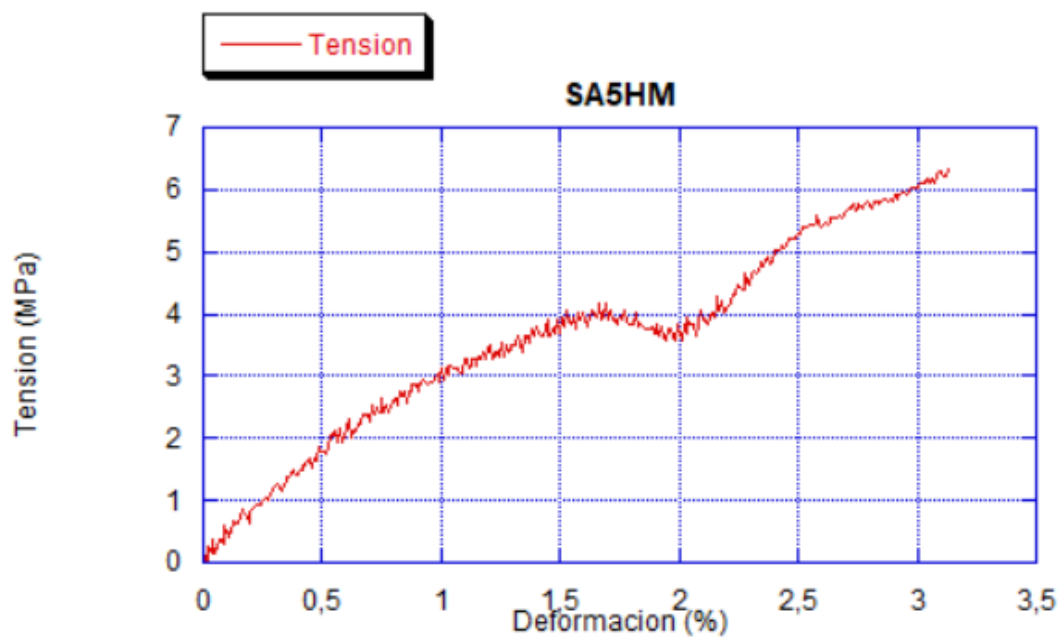


Figura 32- Curva Tensión-Deformación del ejemplar *Spartina Alterniflora* 5 Hoja Madura [6].

Como se puede observar ambas curvas comparten forma, al ser los parámetros Tensión-Deformación proporcionales a Fuerza-Alargamiento.

De la curva que sacamos los resultados pedidos es desde la de Tensión-Deformación:

- **Tensión máxima:** Al haber eliminado los datos posteriores a la rotura y tratarse de un material frágil, suele corresponder al último punto, pero en caso de que no suceda se usa un puntero marcador para obtener este valor. En materiales dúctiles se produce una deformación muy pronunciada en el momento de rotura, conocida como cuello de estricción, pero con el tipo de muestras de este ensayo es poco probable encontrarlo.
- **Deformación bajo carga máxima:** Corresponde al valor de deformación que coincide con la tensión de rotura.
- **Módulo de elasticidad:** Al no estar claramente definida en las muestras tomadas, se crea una recta lo más tangente el tramo inicial de la curva, segmento que será definido por el alumno según su criterio, buscando que se lo más regular posible. Con el programa se obtiene la ecuación de dicha recta, multiplicando por 100 el valor de la pendiente resulta el valor del módulo (E).
- **Área bajo la curva:** Se integra la curva mediante el comando “integrate-curve”, eligiendo la tensión y deformación como parámetros. Este valor va incrementando al ir integrando, al ser todos los tramos positivos. El dato relevante es el último obtenido, al ser el que representa la energía total utilizada al realizar el ensayo.

5.3 CARACTERIZACIÓN ÓPTICA

El IH (Instituto de Hidráulica Ambiental) de la Universidad de Cantabria, fue la parte solicitante del proyecto. Se pusieron en contacto con el laboratorio LADICIM, con el objetivo de obtener las características mecánicas de las plantas y buscar una relación entre ellas y las firmas espectrales previamente medidas de las propias plantas. El dispositivo encargado de obtener estas firmas es un radiómetro hiperspectral de campo ASD, modelo FieldSpec 4, capaz de media 256 bandas en un rango espectral entre 350 y 2500 nm.



Figura 33- Radiómetro hiperspectral modelo FieldSpec [22].

Las firmas espectrales representan las diferencias en la respuesta a la luz (espectro electromagnético en la región visible y el infrarrojo cercano y medio) de los distintos materiales. Se representa respecto a dos parámetros:

- Reflectancia: representa el porcentaje de la potencia de radiación reflejada y la potencia de radiación emitida. Puede variar considerablemente de acuerdo con las características de color, superficie e incluso estructura del material.
- Longitud de onda (λ): distancia entre el inicio de una onda y el punto en el que se repite.

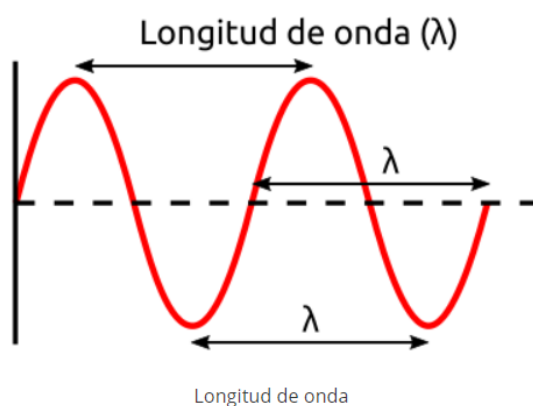


Figura 34- Gráfico de la longitud de onda de una onda sinusoidal [23].

El espectro electromagnético permite diferenciar los distintos tipos de radiación respecto a su longitud de onda:

Tabla 2- Distintos tipos de radiación según su longitud de onda.

Banda	Long. Onda Inferior	Long. Onda Superior
Rayos gamma	-	10 pm
Rayos X	10 pm	10 nm
Rayos ultravioleta	10 nm	380 nm
Luz visible	380 nm	780 nm
Luz infrarroja	780 nm	1 mm
Microondas	1 mm	1 m
Ondas radio	1 m	100000 km

Para cada valor de longitud de onda se obtendrá una reflectancia diferente, creando así la gráfica característica de cada individuo.

Las firmas espectrales tienen aplicaciones muy diversas, siendo la identificación de elementos desde satélites o drones una de las más importantes. Esto es posible ya que, una vez la radiación solar ha traspasado la atmosfera, cada superficie absorbe y refleja de manera diferente los distintos tipos de onda de la radiación (Figura 35), siendo estas variaciones captadas por sensores. De esta forma, mientras el agua solo refleja la gama de luz visible, las plantas absorben esta luz visible y reflejan la luz cercana al infrarrojo [24].

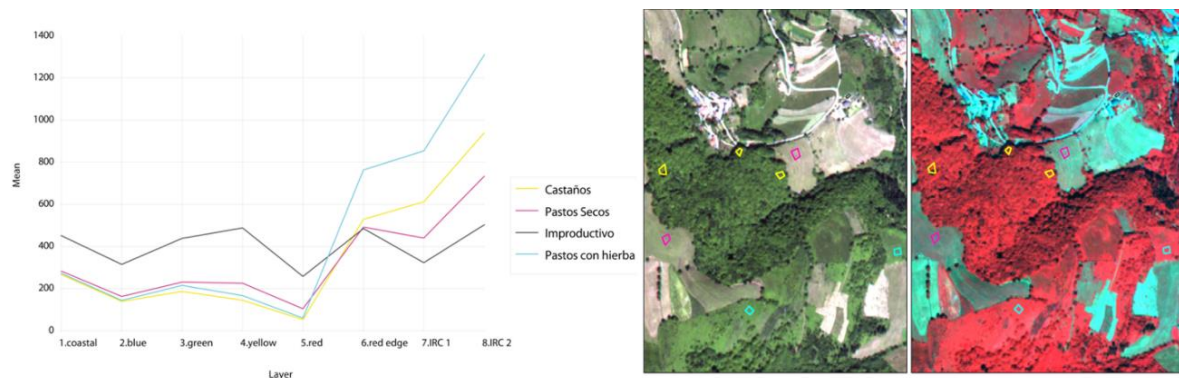


Figura 35- Identificación de especies vegetales con el uso de firmas espectrales [25].

La utilidad de la firma espectral interesante en este proyecto es el análisis de las propiedades estructurales de vegetación. Estas firmas permiten diferenciar aspectos estructurales de las plantas como el cómo el contenido en celulosa, lignina, agua, pigmentos, nitrógeno...de la planta al completo [25].

Lo que tiene más relevancia respecto a las propiedades mecánicas de las plantas son dos elementos:

- Celulosa: está formada por moléculas de glucosa y actúa de sostén formando parte de la pared celular de las células vegetales. Se puede deducir entonces, que, aun mayor contenido de celulosa, las propiedades mecánicas de las plantas son mejores. Se utiliza para la confección de papel y tejidos de fibras naturales.
- Lignina: componente que refuerza y proporciona rigidez a los tejidos vegetales, al igual que con la celulosa, una mayor presencia de lignina puede suponer mejores características mecánicas.

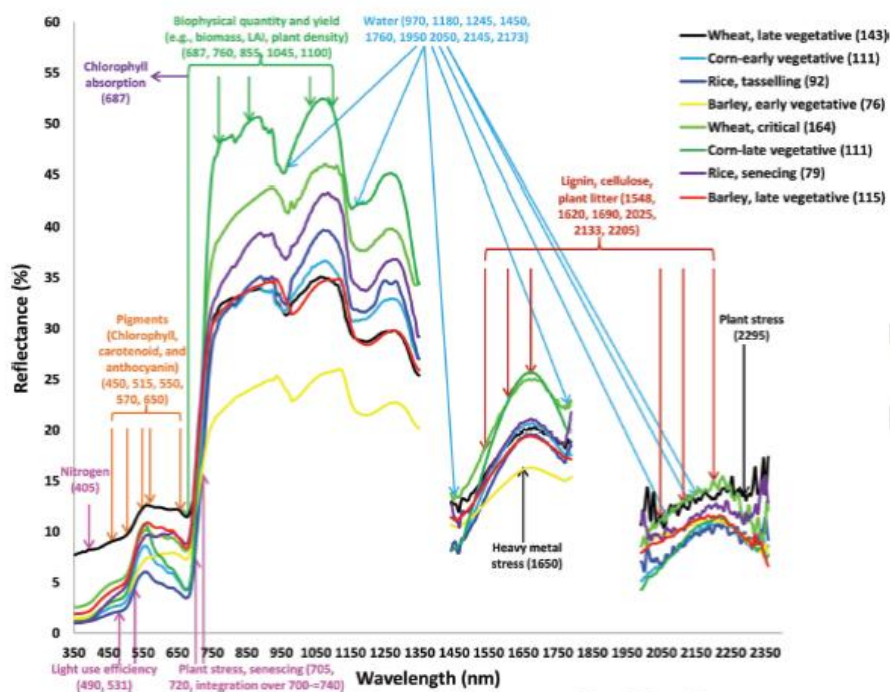


Figura 36- Firma espectral de varias especies con los componentes que identifican [26].

En la imagen anterior Figura 36- Firma espectral de varias especies con los componentes que identifican ., se pueden apreciar diferentes tipos de vegetación con sus firmas espectrales. En el eje y tenemos los valores de reflectancia expresados en tanto por ciento, y en el eje x la longitud de onda en nm. De todos los puntos de las curvas, solo nos interesaran unos pocos que indican la cantidad de lignina y celulosa. Una vez sepamos estos puntos, tendremos en cuenta que, cuanto mayor sea el contenido de celulosa y lignina, mayor es la absorción de radiación por su parte, y, por ende, hay una menor reflectancia. Se establece entonces una relación entre la cantidad de los componentes y la reflectancia en la firma.

Hay otras características que se pueden obtener de la firma, como el estado de la planta teniendo en cuenta el salto en la franja RED Edge (680 a 750 nm), pero no son realmente

exactas al entrar más factores en juego, por lo que solo tendremos en cuenta el parámetro explicado anteriormente.

Para obtener su valor, se debe tener en cuenta la banda de absorción de longitudes de onda con las que se relacionan, siendo estas muy específicas. En el estudio realizado por Paul J. Curran [27], se recogen los químicos presentes en cada longitud de onda, siendo los valores para la lignina y la celulosa:

Tabla 3- Longitudes de onda en las que encontramos lignina y celulosa.

Long. De Onda (nm)	Lignina	Celulosa
	1120	
	1200	1200
		1490
		1540
	1690	
		1780
		1820
	1940	1940
		2100
		2270
		2280
		2340
		2350

En la Tabla 3- Longitudes de onda en las que encontramos lignina y celulosa., se pueden apreciar dos colores, en verde están los datos de los que se sabe la reflectancia exacta, mientras que, de los resaltados en rojo, no conocemos el valor exacto, por lo que no se tendrán en cuenta. En cualquier caso, con los valores en verde se obtendrá una buena aproximación del contenido en lignina y celulosa.

5.4 ENSAYO DE ARRANQUE

El objetivo de este ensayo es tratar de conocer si existen diferencias entre la fuerza de arranque necesaria para extraer el rizoma de las dos especies. Solo será válido si se extrae el rizoma de forma completa, no dando por validos ensayos en los que la planta se parte por el tallo o la hoja, o en los que extrae parcialmente el rizoma.

El sistema es un dinamómetro digital, modelo FS01 de la marca Dr. Meter, diseñado para ser usado como una báscula de pesca, por lo que resiste ambientes húmedos, y ofrece una precisión de 10 gramos para un peso máximo de 50 kg.



Figura 37- Dinamómetro utilizado en los ensayos de arranque [28].

El agarre a la planta se realiza mediante una cuerda, unida al dinamómetro y con un nudo de corredera en su final. De esta forma, se puede cambiar de espécimen cada vez que se realiza un ensayo rápidamente. Se buscará atar varios ejemplares a la vez buscando extraer el rizoma entero, pero esto dependerá de las condiciones del terreno. Para apreciar el valor máximo, al no contar el dinamómetro con esta función, se procedió a grabar el ensayo con una cámara, y después encontrar el momento en que se produjese la fuerza máxima en la grabación. Este método, aunque simple, permite encontrar conocer aproximadamente el valor al tener el dinamómetro una tasa de refresco suficiente.

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 MECÁNICOS

Para la realización de los ensayos, LADICIM facilitó la sala con la máquina de tracción al alumno durante varios días, en los cuales puedo realizar la medición de todas las geométricas requeridas, y los ensayos de tracción de todos los ejemplares.

Los primeros resultados obtenidos son las dimensiones de las muestras:

Tabla 4- Dimensiones de las muestras de *Spartina Alterniflora*.

<i>SPARTINA ALTERNIFLORA</i>			
Notación:	Diámetro (mm):	Diámetro a 90° (mm):	Longitud (mm):
SA1T	2,93	3,02	78,06
SA2T	2,91	3,12	56,5
SA3T	2,74	3,02	70,14
SA7T	3,44	3,26	55,73
SA8T	3,42	3,34	56,89
Notación:	Ancho:	Espesor:	Longitud:
SA4HJ	3,18	0,39	56,13
SA5HJ	4,13	0,45	60,67
SA6HJ	4,38	0,41	64,76
SA7HJ	4,02	0,43	56,33
SA8HJ	3,92	0,29	44,53
SA4HM	4,75	0,38	59,22
SA5HM	4,51	0,42	57,73
SA6HM	5,33	0,44	53,36
SA7HM	4,24	0,39	58,57
SA8HM	4,11	0,33	59,64

Tabla 5- Dimensiones de las muestras de *Spartina Maritima*.

<i>SPARTINA MARITIMA</i>			
Notación:	Diámetro (mm):	Diámetro a 90° (mm):	Longitud (mm):
SM1T	2,66	2,67	64,54
SM2T	3,56	3,34	64,14
SM3T	3,73	3,89	53,9
SM4T	2,93	2,72	33,4
SM5T	2,7	2,64	46,4
Notación:	Ancho (mm):	Espesor (mm):	Longitud (mm):
SM1HJ	4,35	0,38	51,28
SM2HJ	4,49	0,36	44,41

SM4HJ	3,55	0,4	47,12
SM1HM	4,63	0,45	45,33
SM2HM	4,67	0,4	54,62
SM3HM	4,66	0,42	55,8
SM4HM	3,51	0,29	48,54
SM5HM	2,6	0,42	45,8

6.1.1 NOTACIÓN

SA- *Spartina Alterniflora*

SM- *Spartina Maritima*

Número- Número del ejemplar

T-Tallo

HJ- Hoja joven

HM- Hoja madura

6.1.2 VARIACIÓN EN EL NÚMERO DE LAS MUESTRAS

Debido a la heterogeneidad de las muestras, en varios casos se podían aprovechar ciertas partes, pero otras estaban previamente dañadas o no cumplían con las características necesarias (ejemplares muy jóvenes o demasiado maduros) y eran desechadas.

6.1.3 ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE AMBAS ESPECIES

Tabla 6- Comparativa entre las dimensiones media de ambas especies.

Dimensiones en mm	<i>Spartina Alterniflora</i>	<i>Spartina Maritima</i>
TALLO		
Diámetro medio	3,12	3,084
Longitud tallo media	63,464	52,476
HOJA JOVEN		
Ancho medio	3,926	4,13
Espesor medio	0,394	0,38
Longitud hoja media	56,464	47,603
HOJA MADURA		
Ancho medio	4,588	4,014
Espesor medio	0,392	0,396
Longitud hoja media	57,704	50,018

Los diámetros, anchuras y espesores son similares en ambas plantas, diferenciándose ligeramente en el ancho medio. En cualquier caso, las diferencias son mínimas teniendo en cuenta la heterogeneidad de las muestras. En la longitud sí que se encuentran diferencias considerables, de 11 mm en los tallos y de 7 o 9 mm dependiendo del tipo de hoja. En resumen, la *Spartina Alterniflora* tiene una sección similar a la *Spartina Maritima*, pero cuenta con una longitud mayor en todas sus partes.

Al influir únicamente la sección en la tensión, se puede suponer que, si la estructura es similar en ambas especies, las tensiones que resistirán son las mismas, aunque esto se comentara más adelante. Las deformaciones serán diferentes al no tener la misma longitud inicial.

Una vez se han realizado las medidas iniciales, se procede a realizar el ensayo de tracción a cada muestra. De algunos ejemplares se descartaron sus gráficas, al obtener curvas demasiado dispares o fuerzas de rotura muy pequeñas, producidas probablemente por roturas previas.

Los resultados obtenidos son bastante dispares, tanto en la forma de las gráficas como en los datos obtenidos. En algunos casos podemos ver roturas de fibras que se identifican por saltos en las curvas e influyen en el resultado final (Figura 38 y Figura 39).

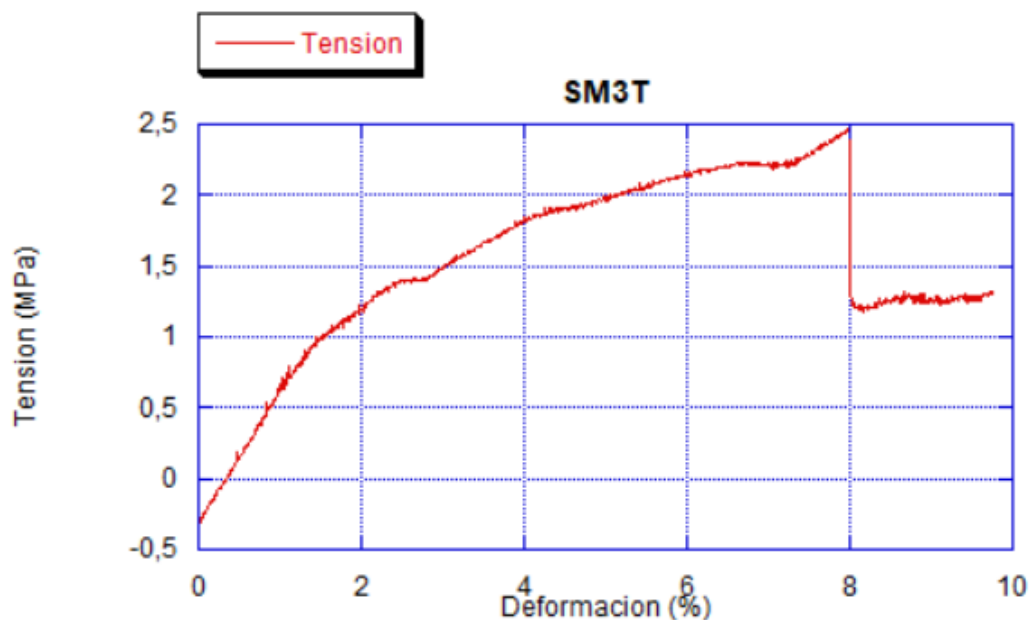


Figura 38- Ejemplo de rotura de una fibra que produce un escalón [6].

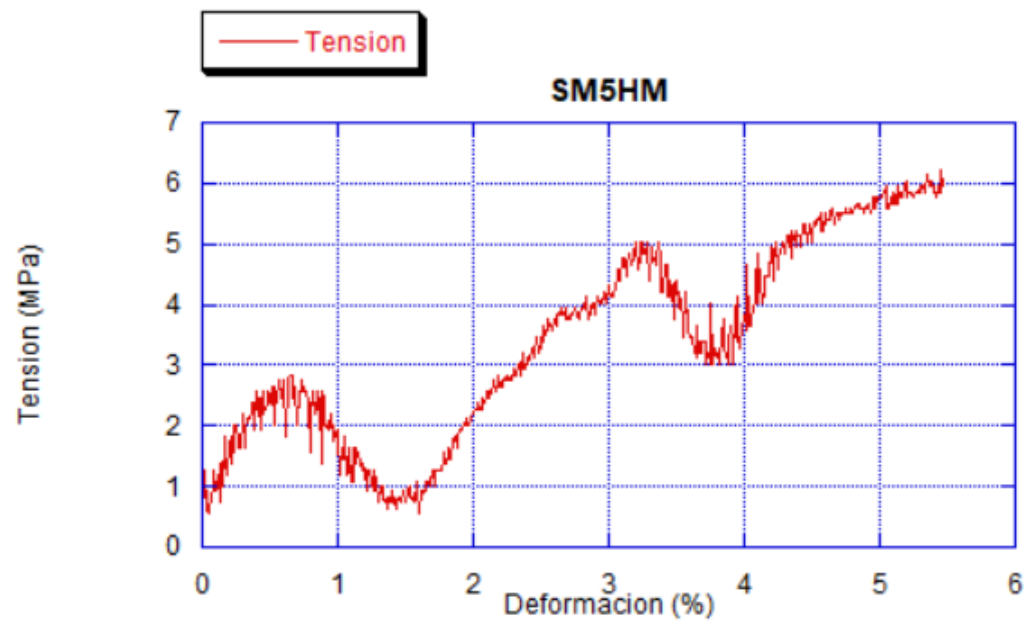
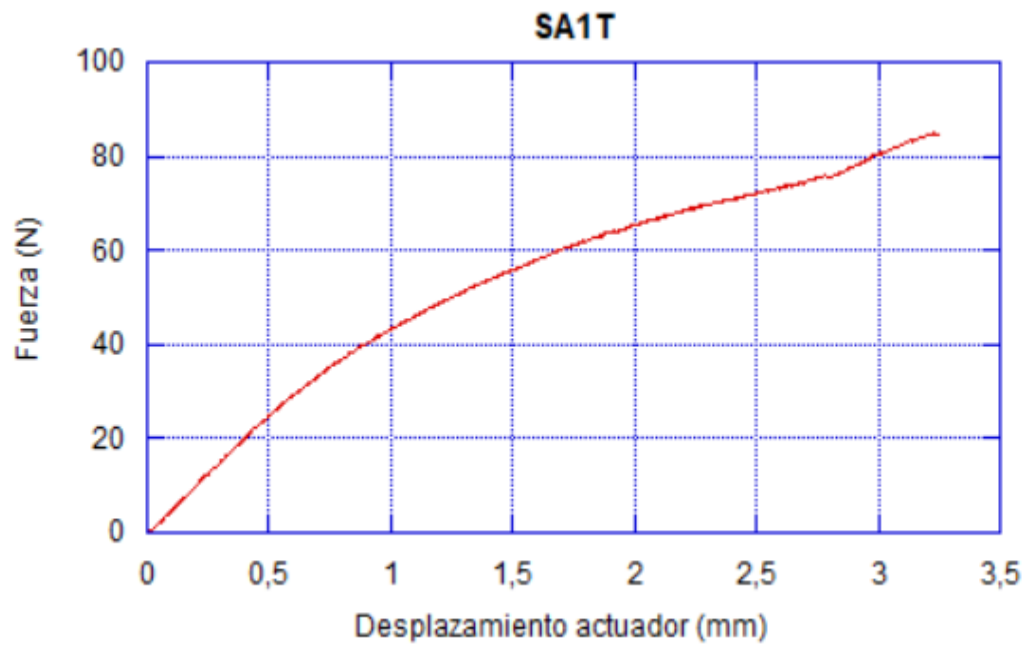
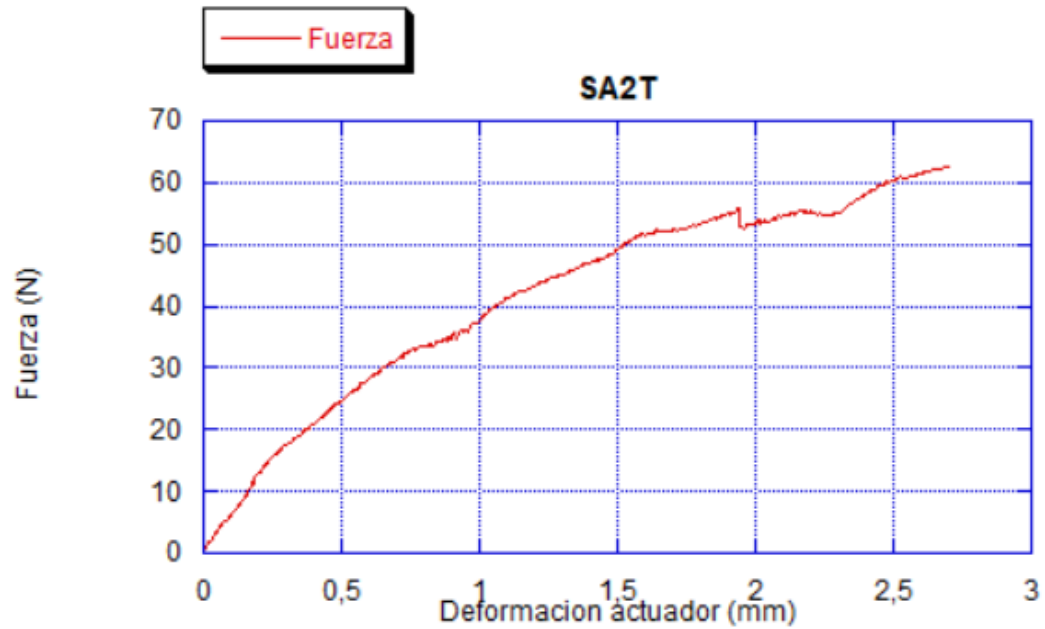
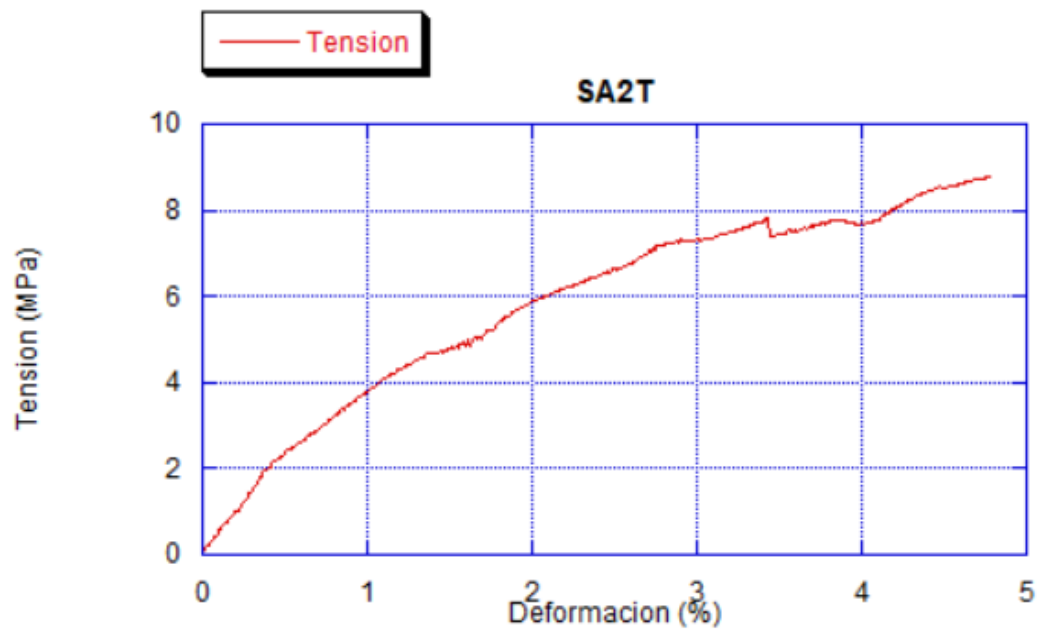


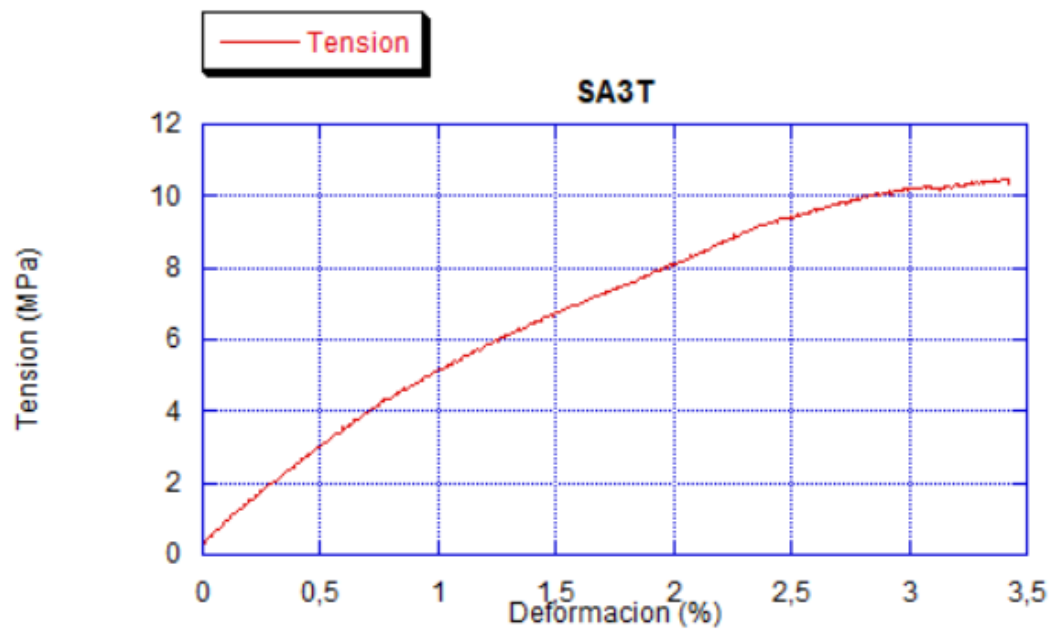
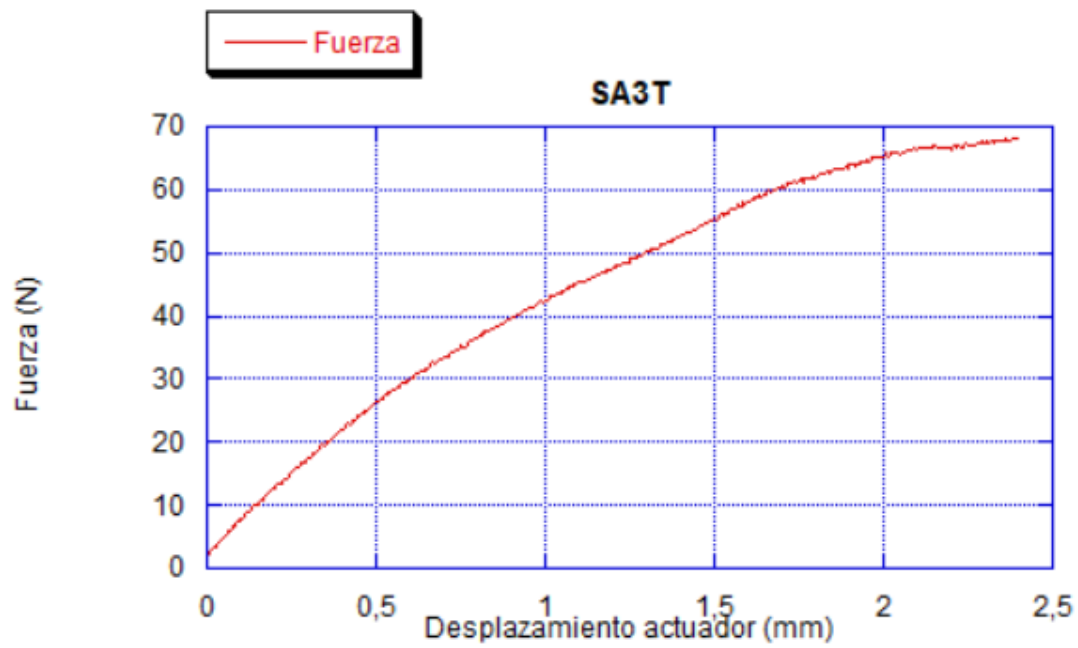
Figura 39-Ejemplo de rotura de muchas fibras durante el ensayo [6].

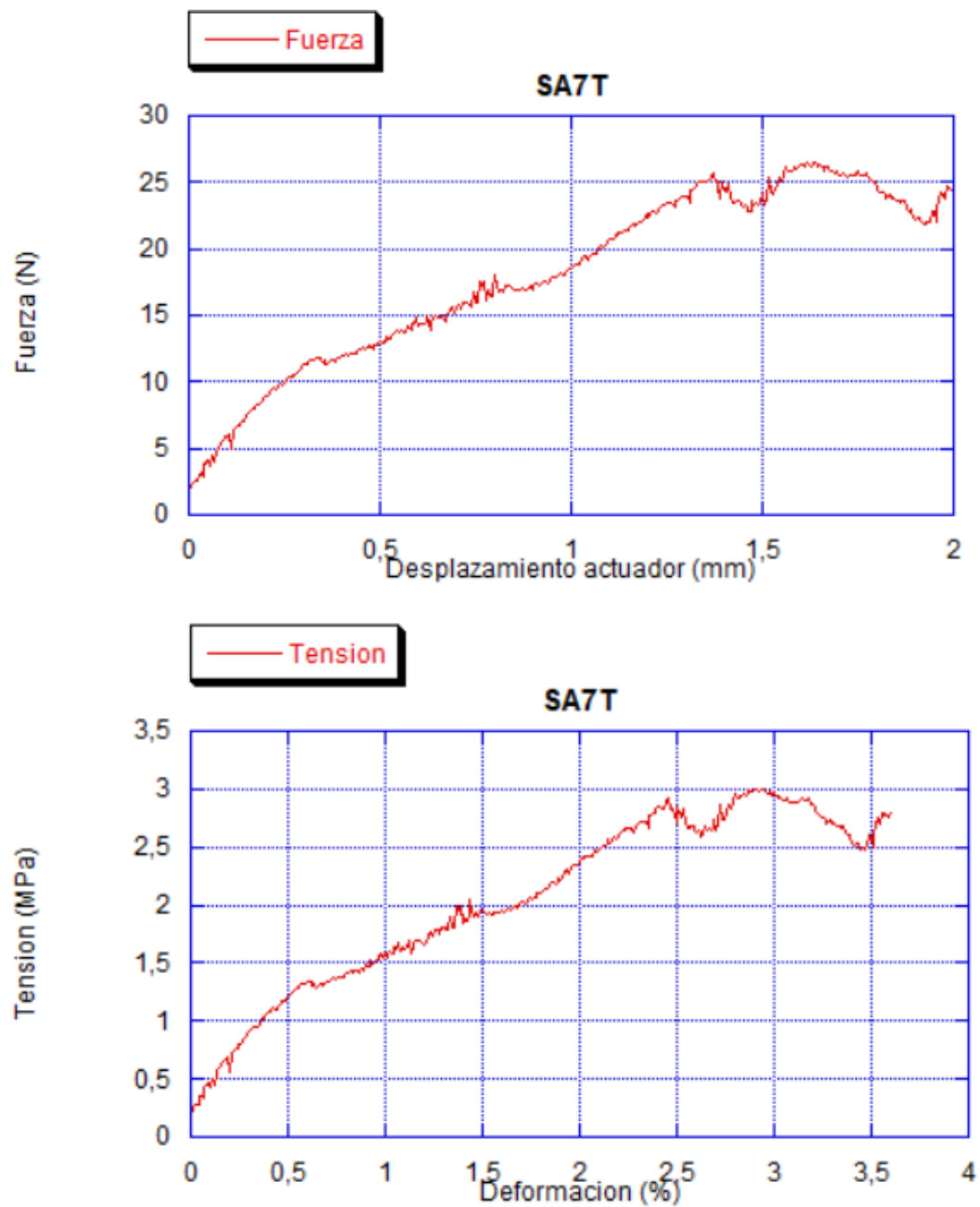
6.1.4 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TODOS LOS INDIVIDUOS ANALIZADOS

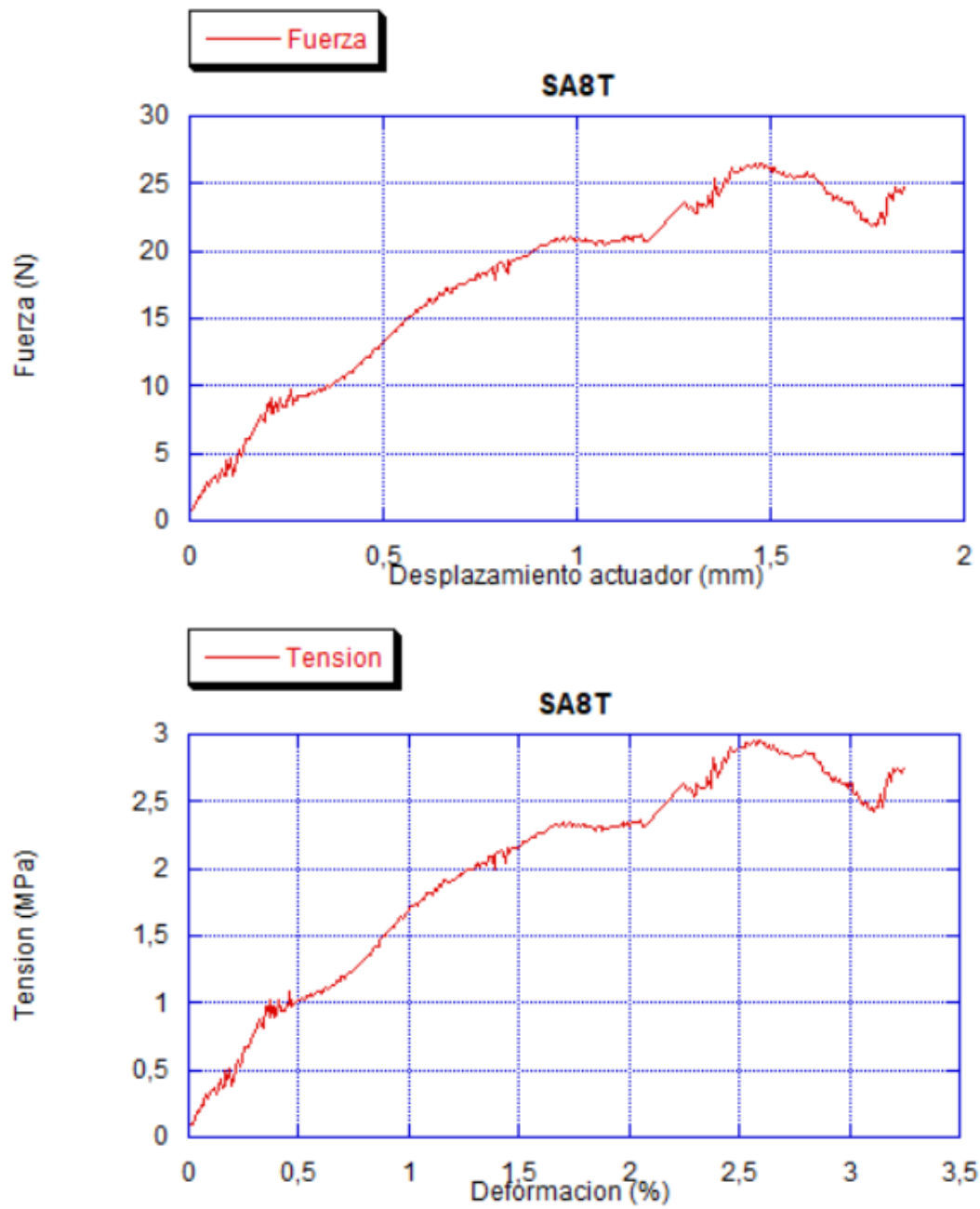
A continuación, se exponen todas las gráficas obtenidas durante los ensayos de tracción, con su correspondiente postprocesado.

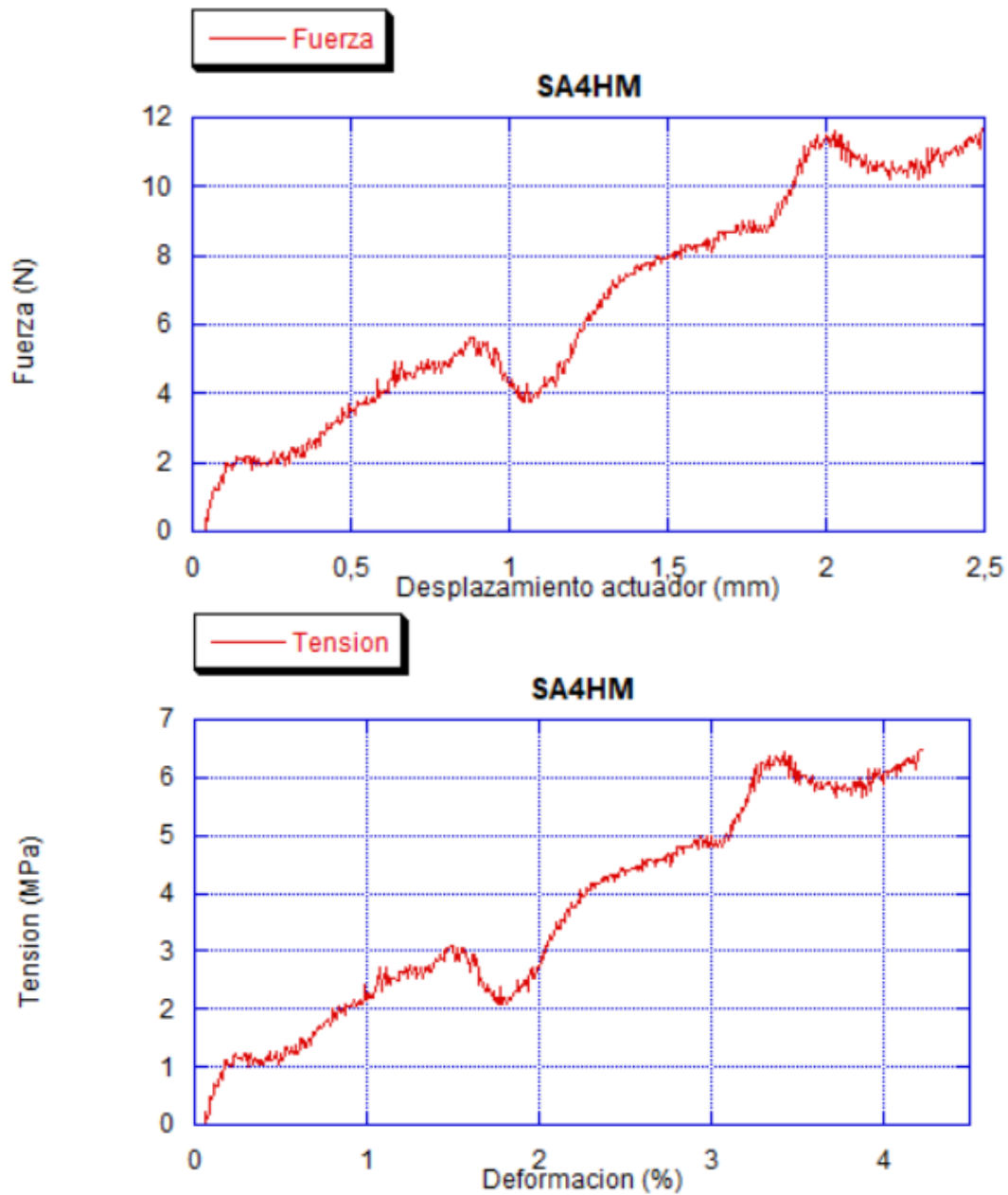
6.1.4.1 TALLOS DE SPARTINA ALTERNIFLORA

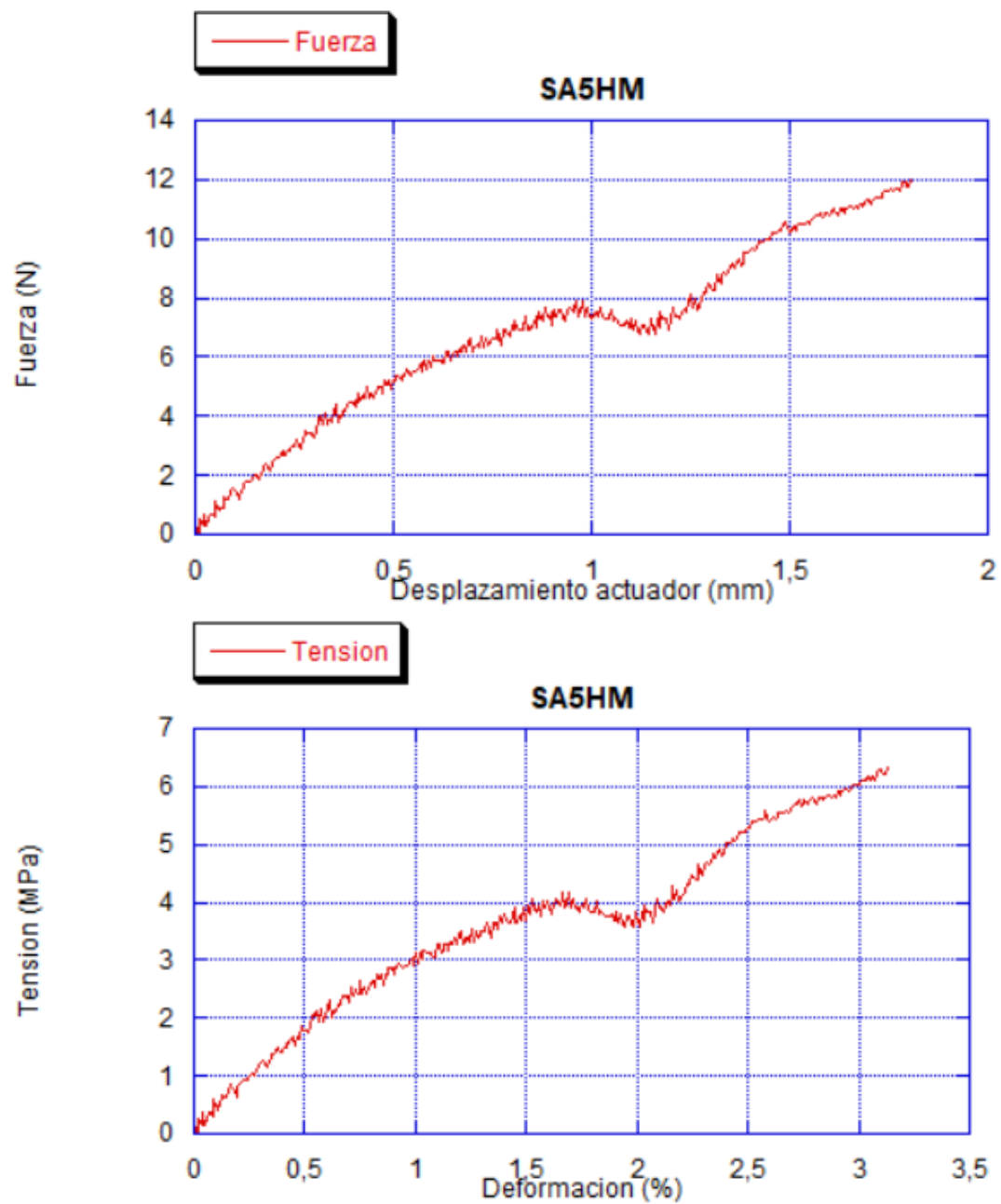


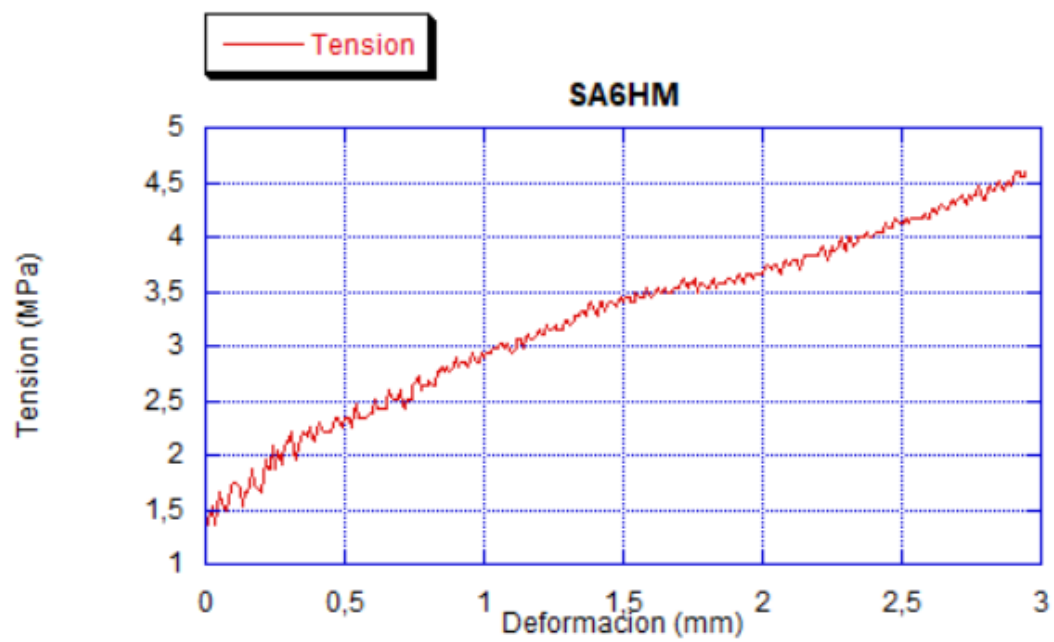
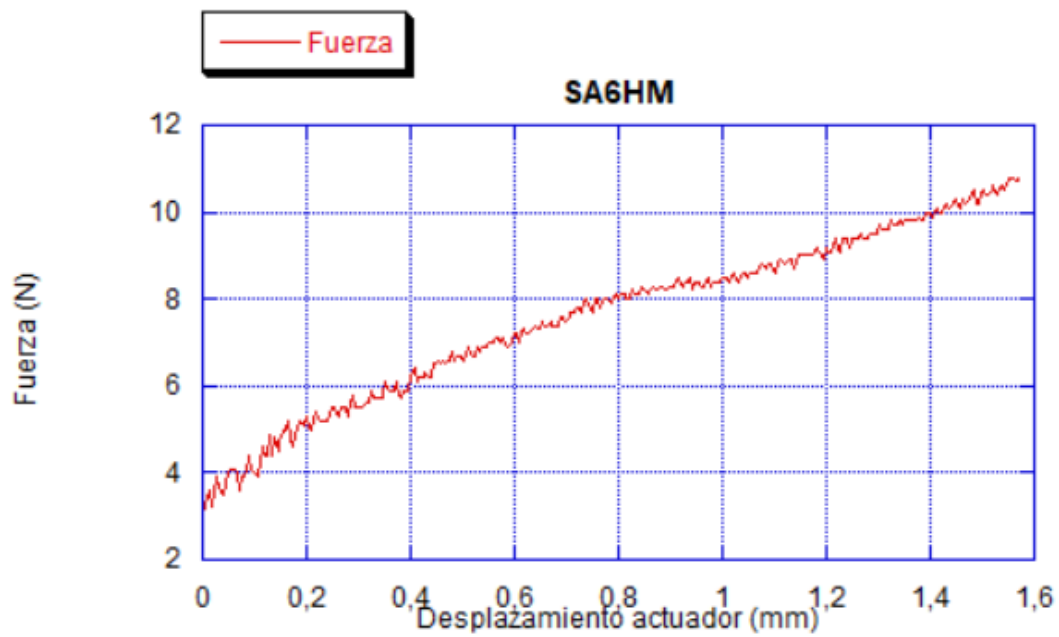


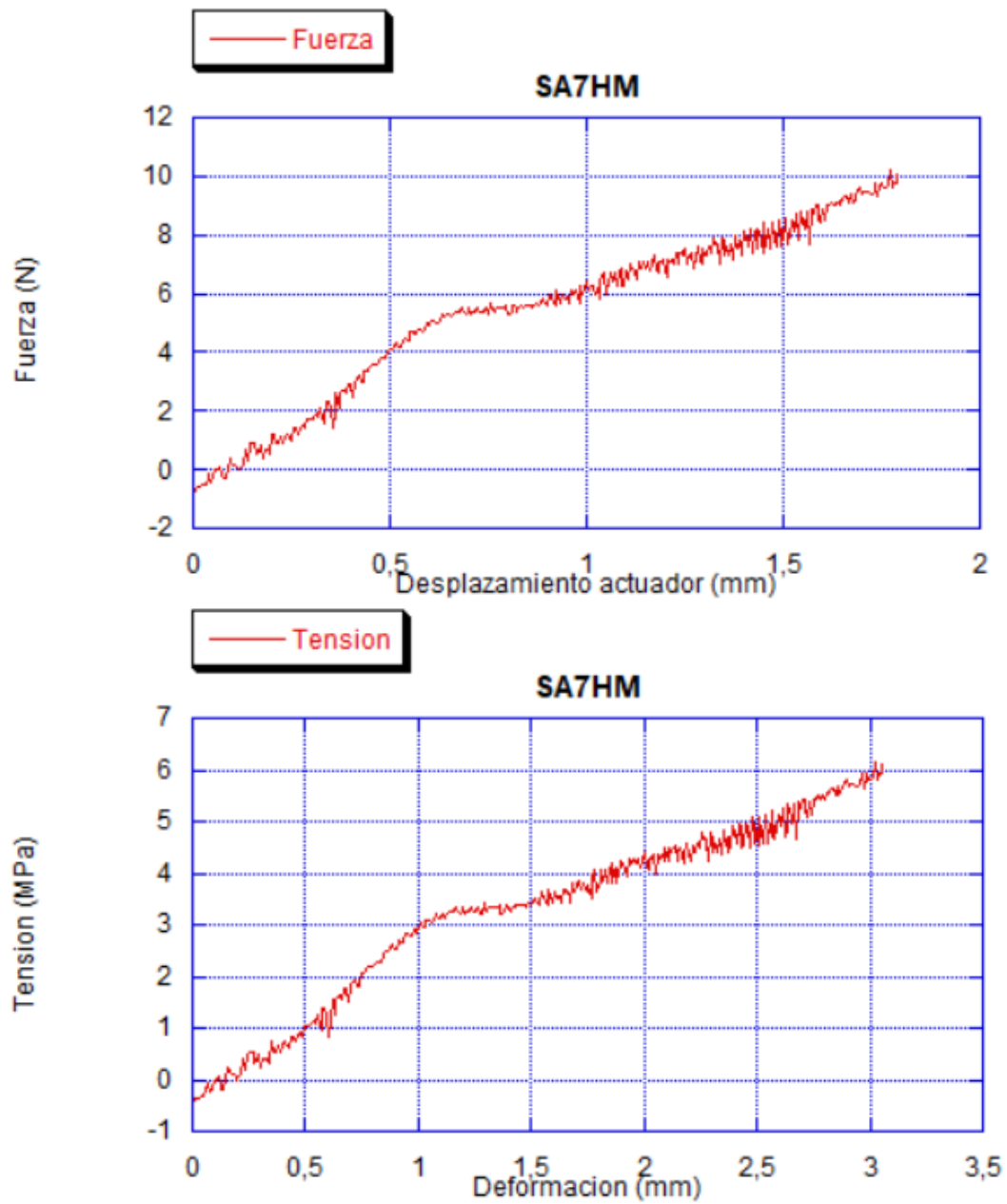


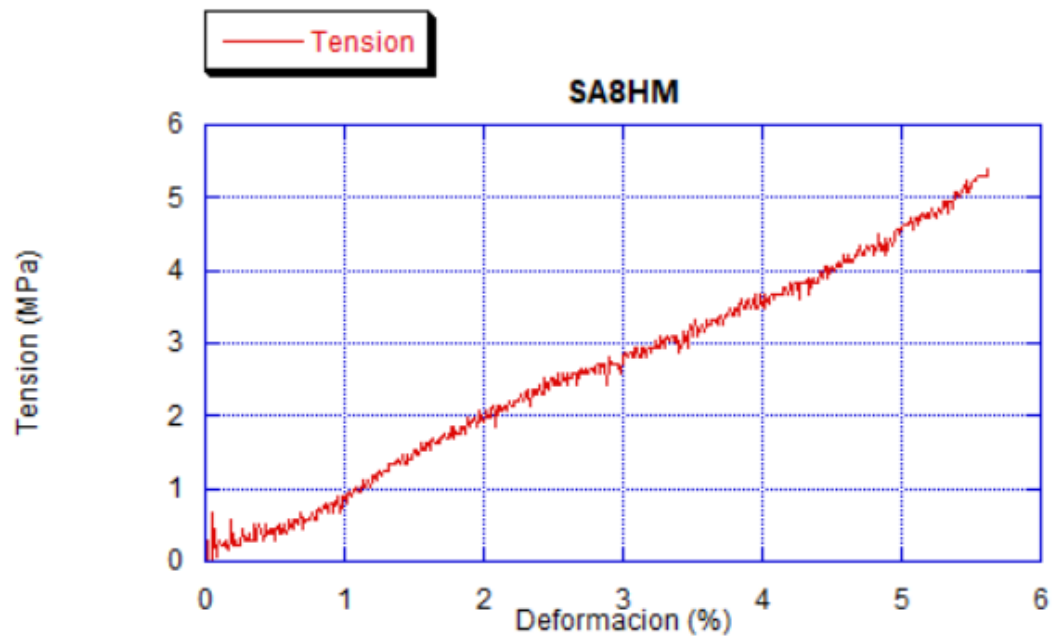
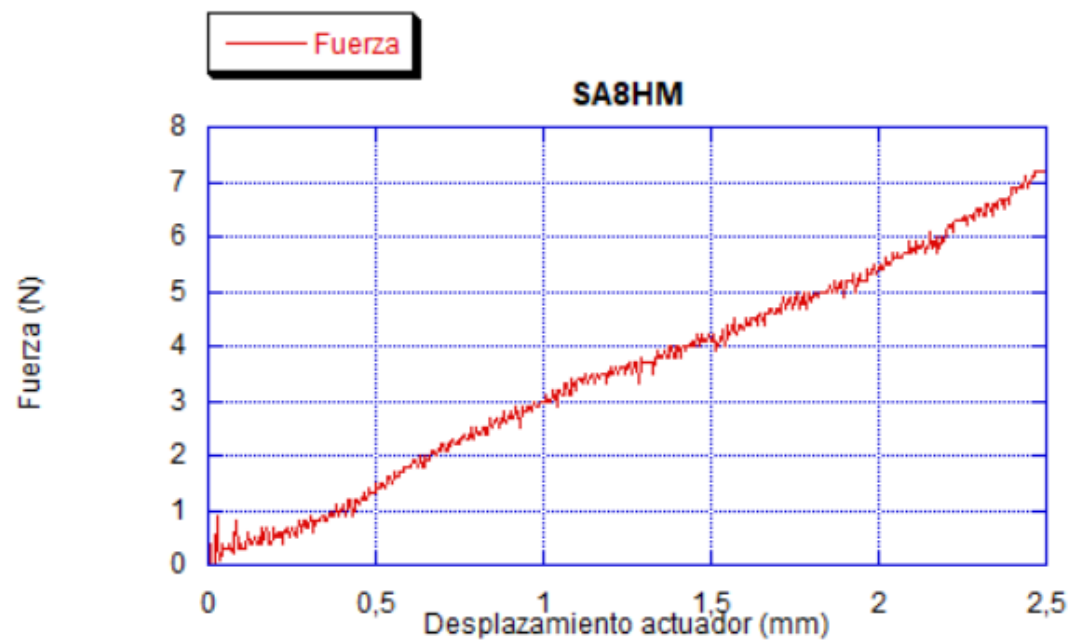


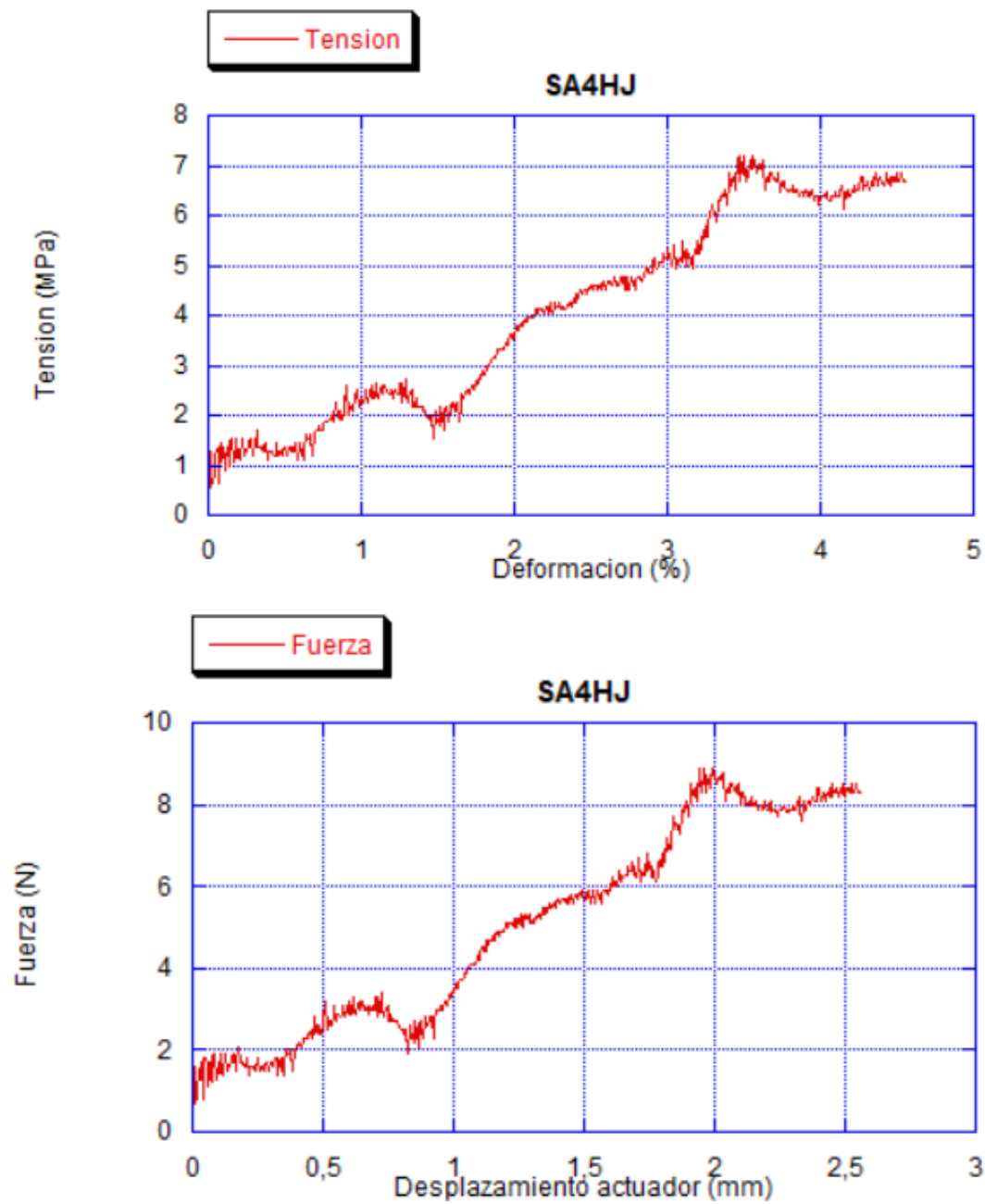
6.1.4.2 HOJAS MADURAS DE SPARTINA ALTERNIFLORA

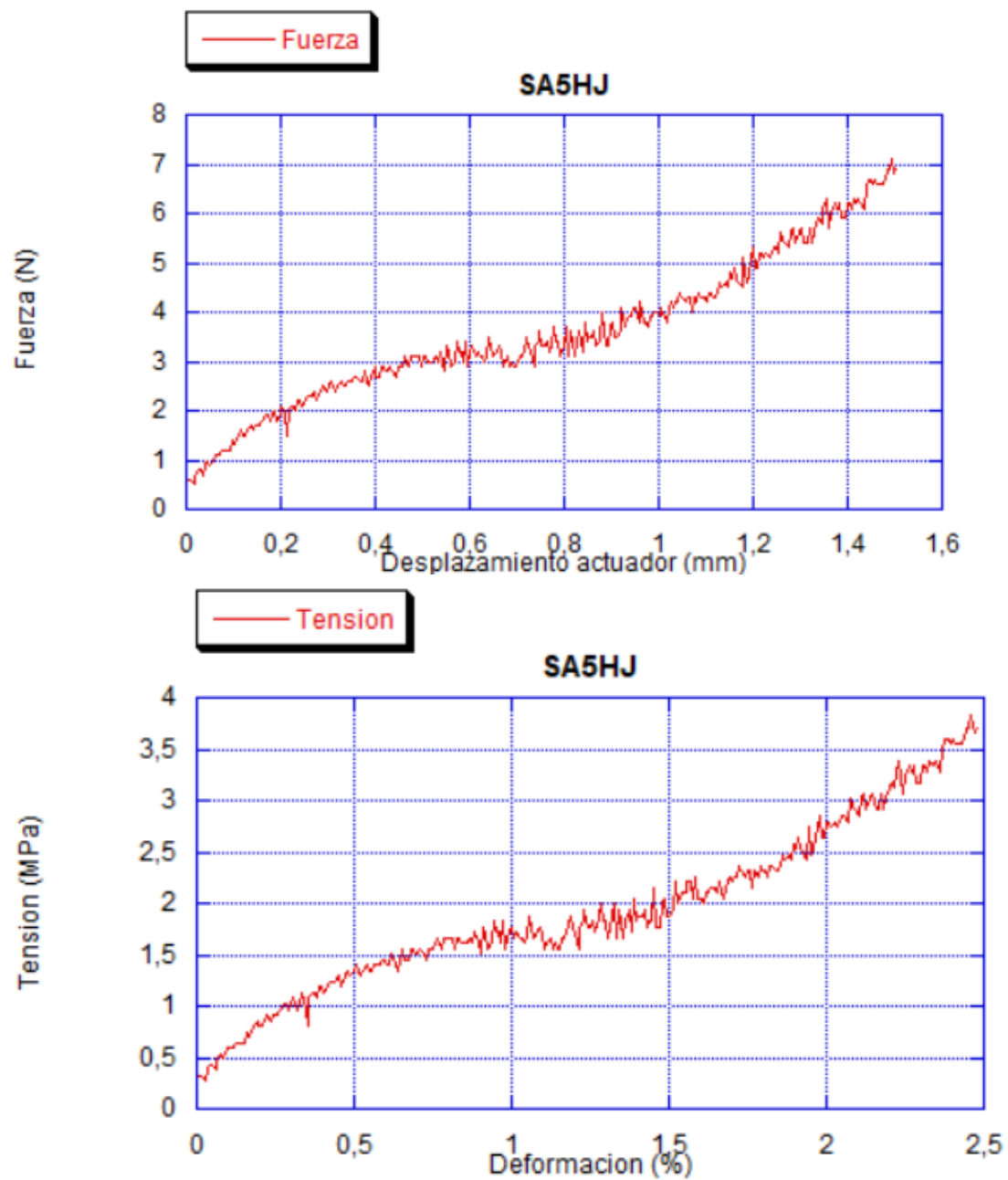


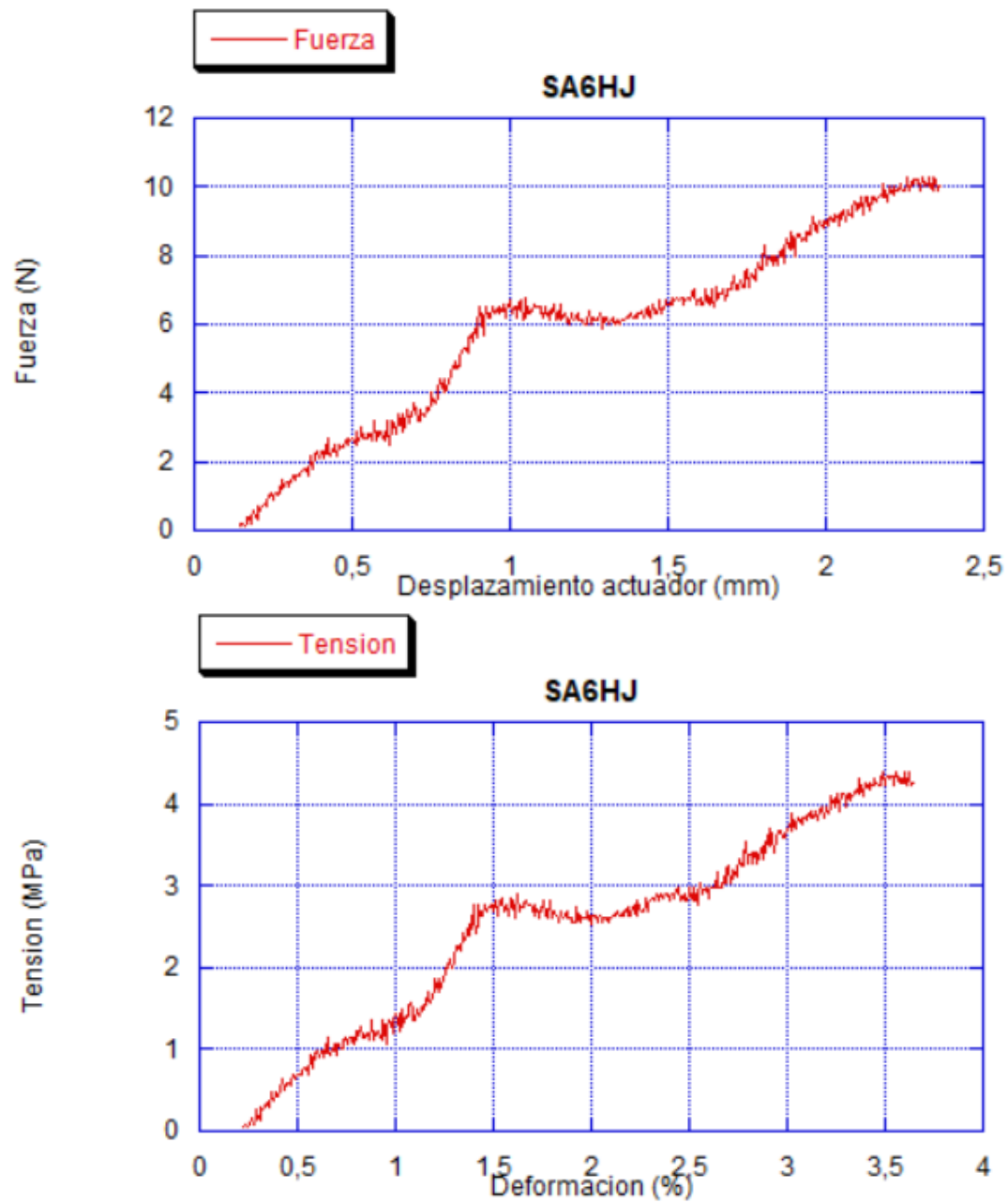


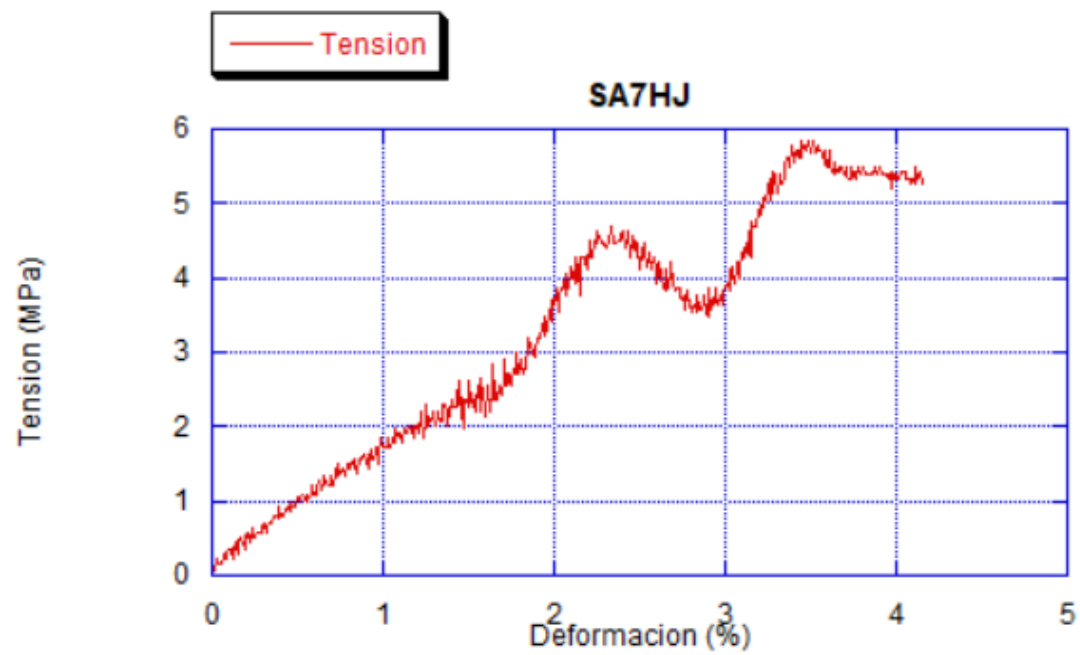
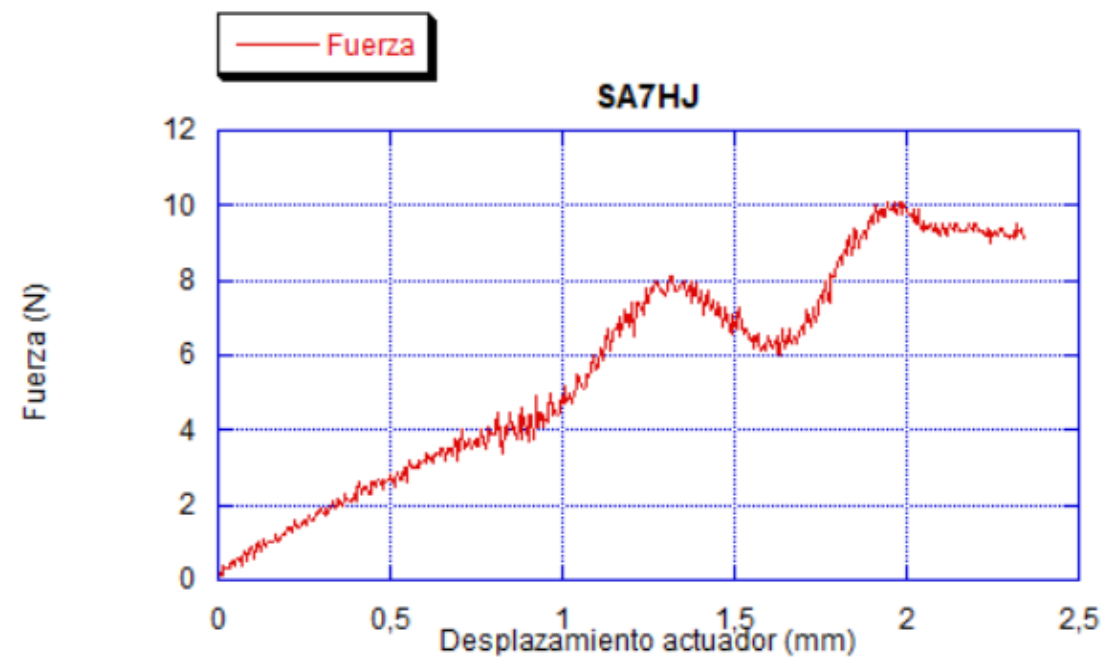


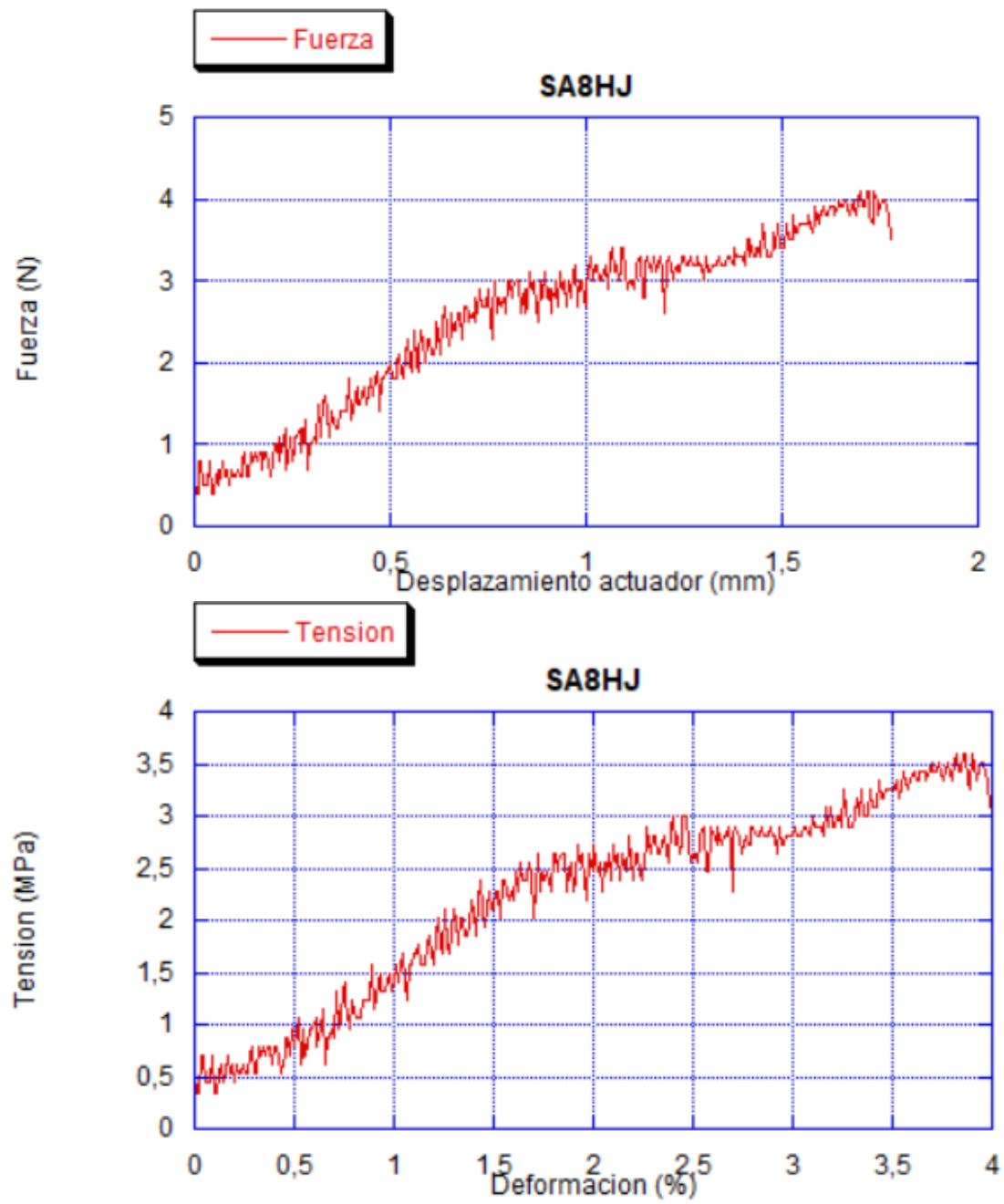


6.1.4.3 HOJAS JÓVENES DE SPARTINA ALTERNIFLORA

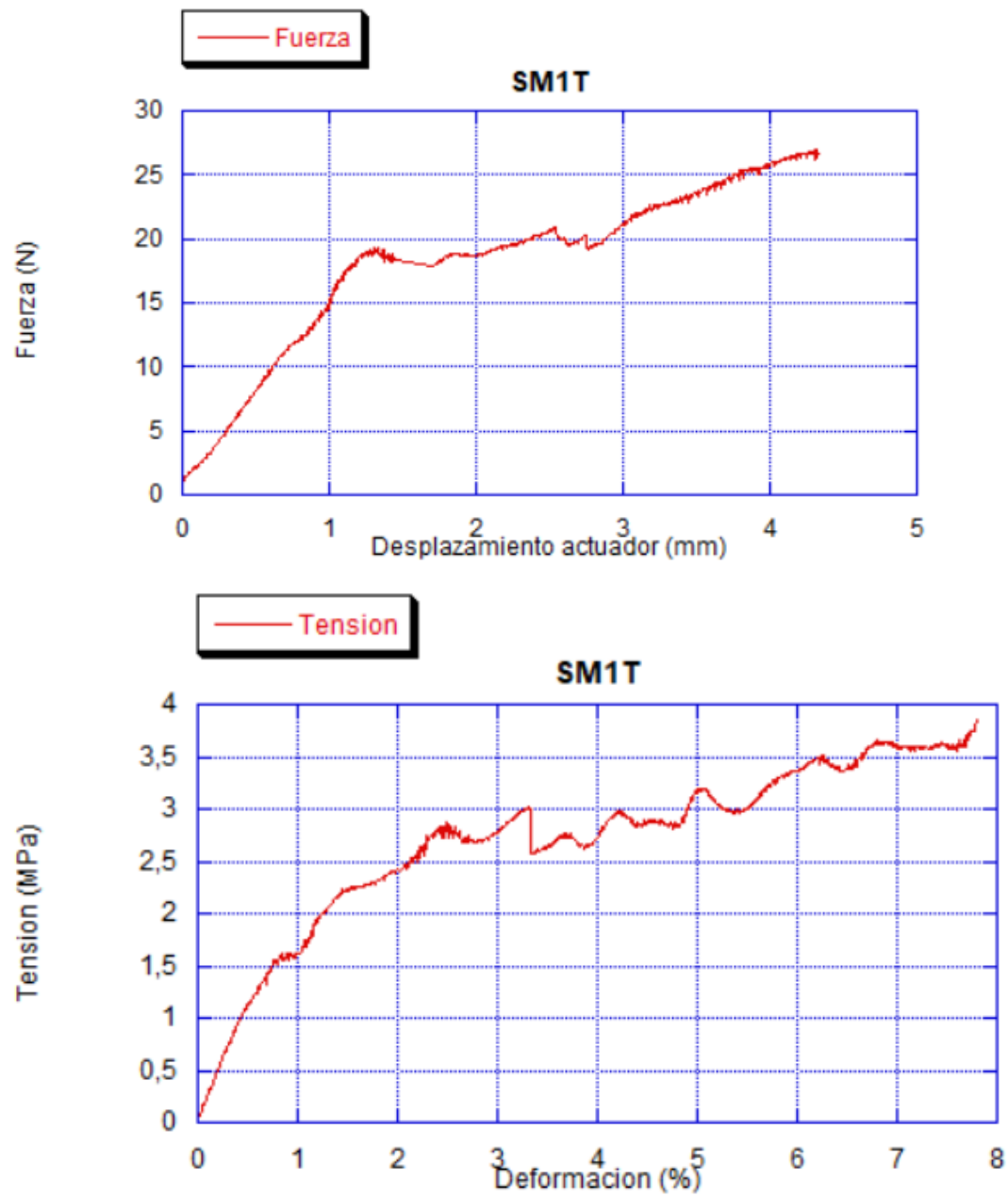


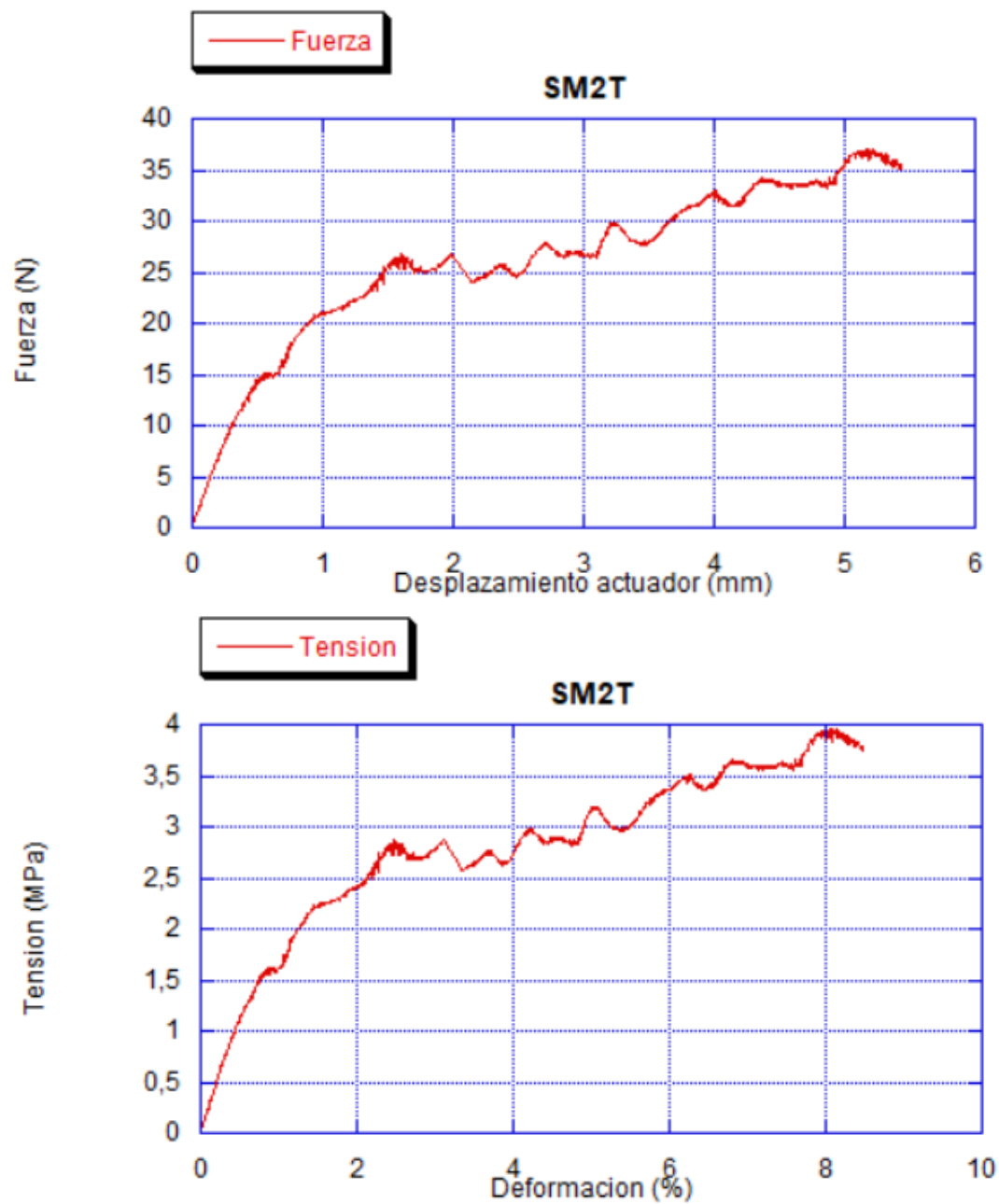


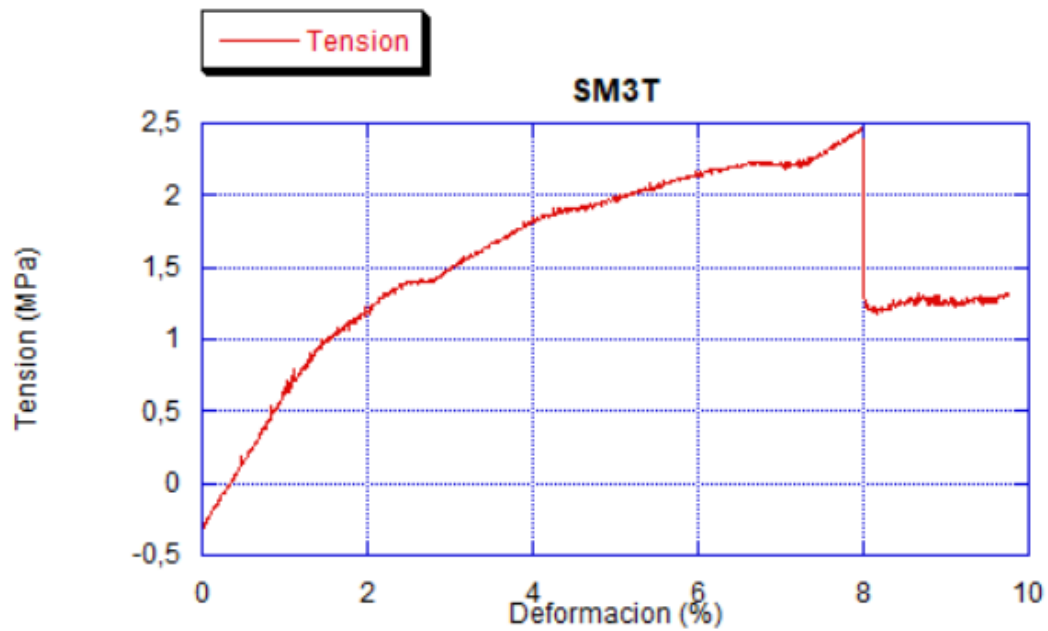
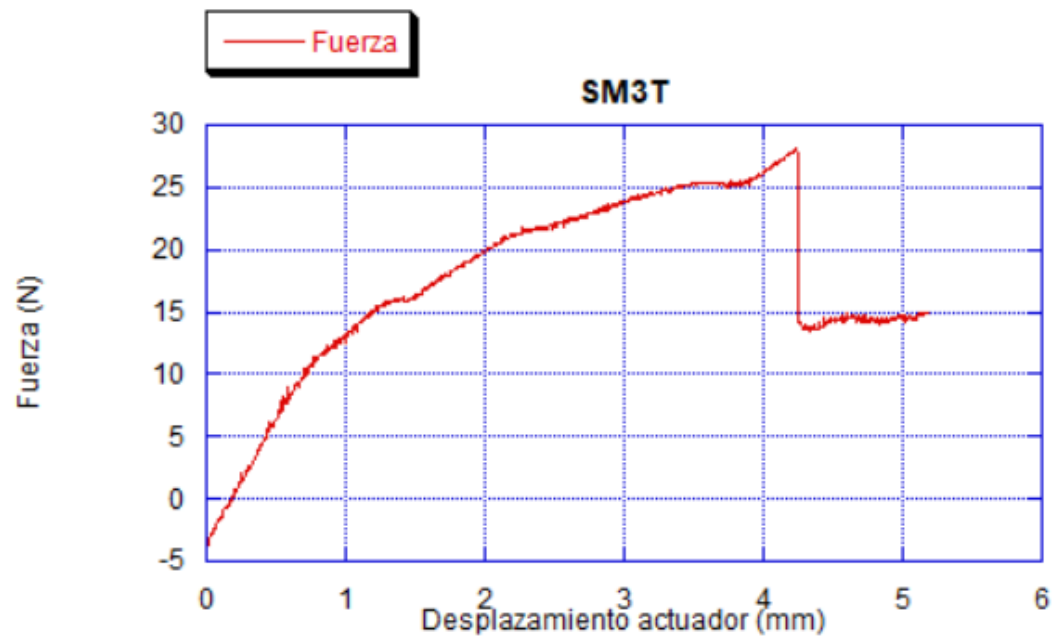


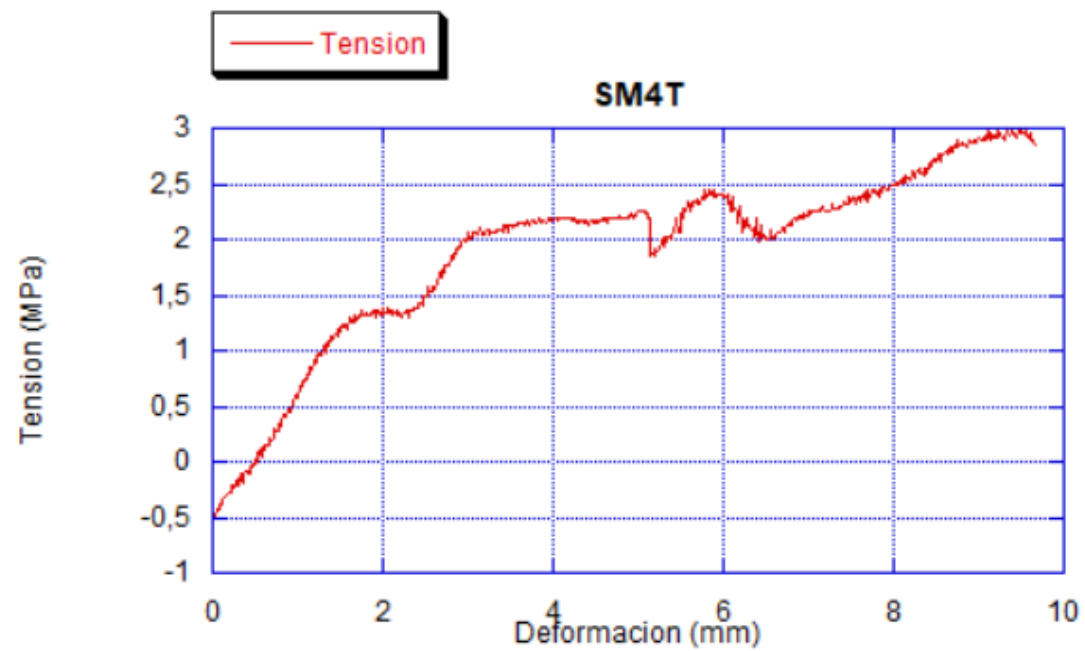
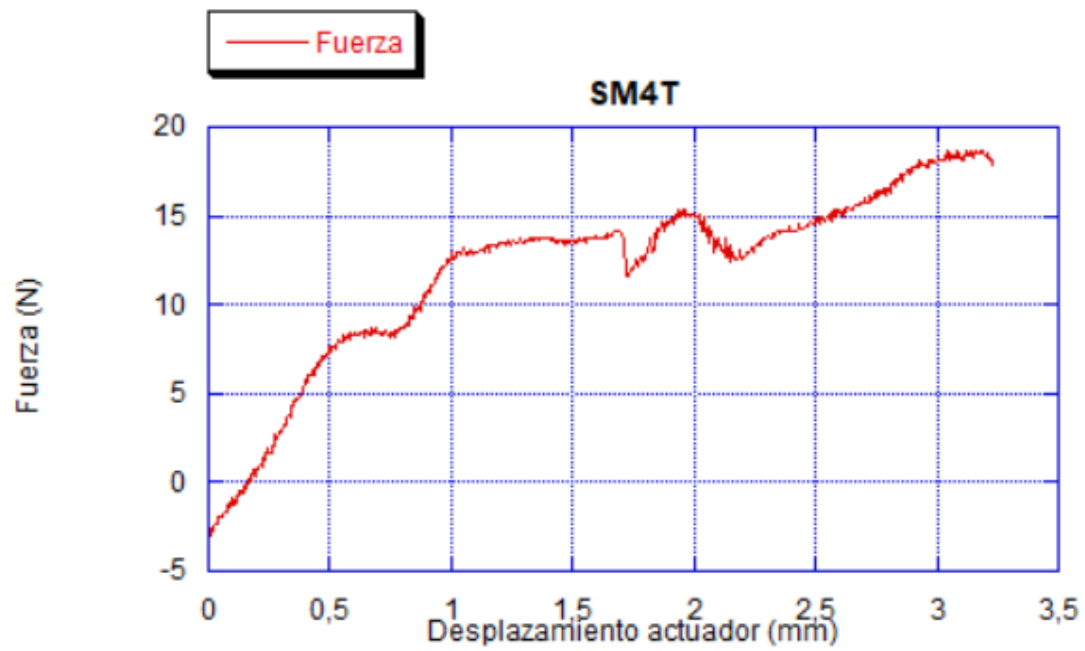


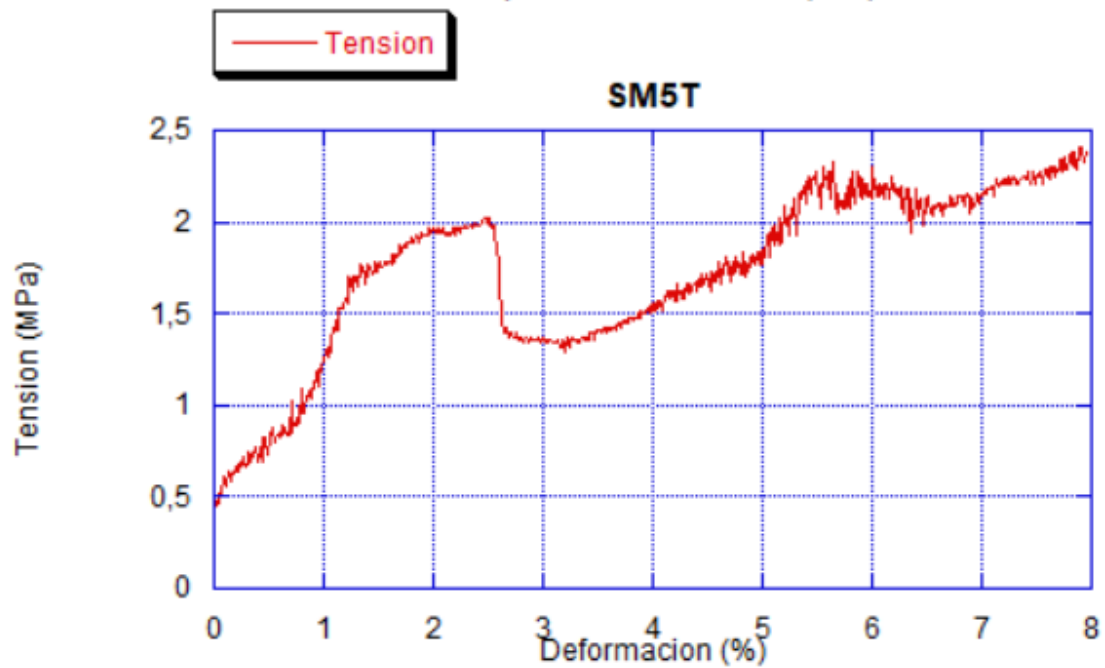
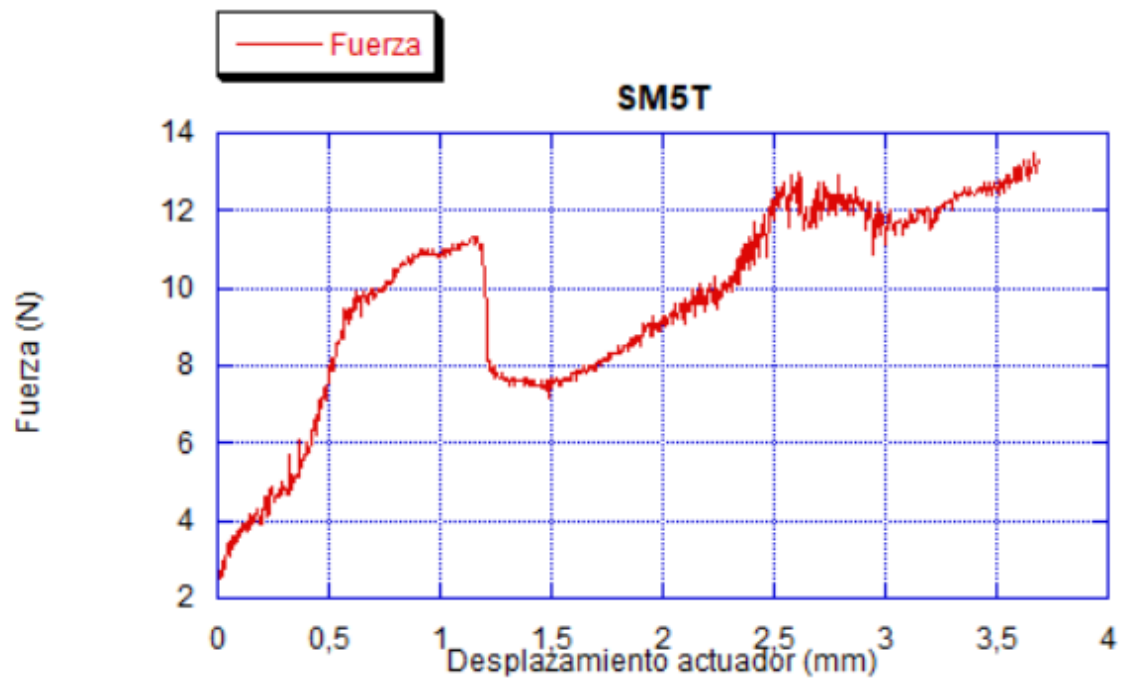
6.1.4.4 TALLOS DE SPARTINA MARITIMA

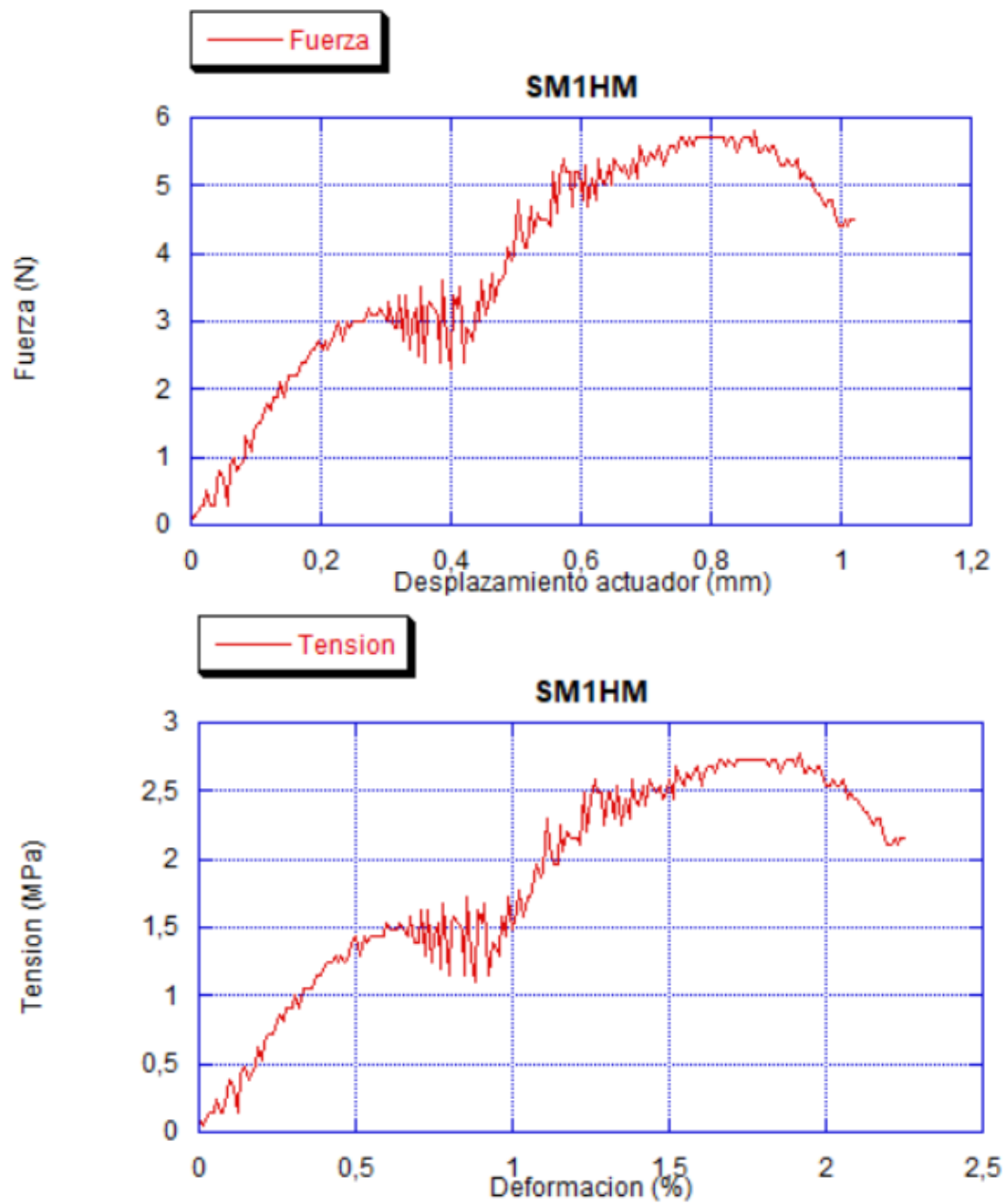


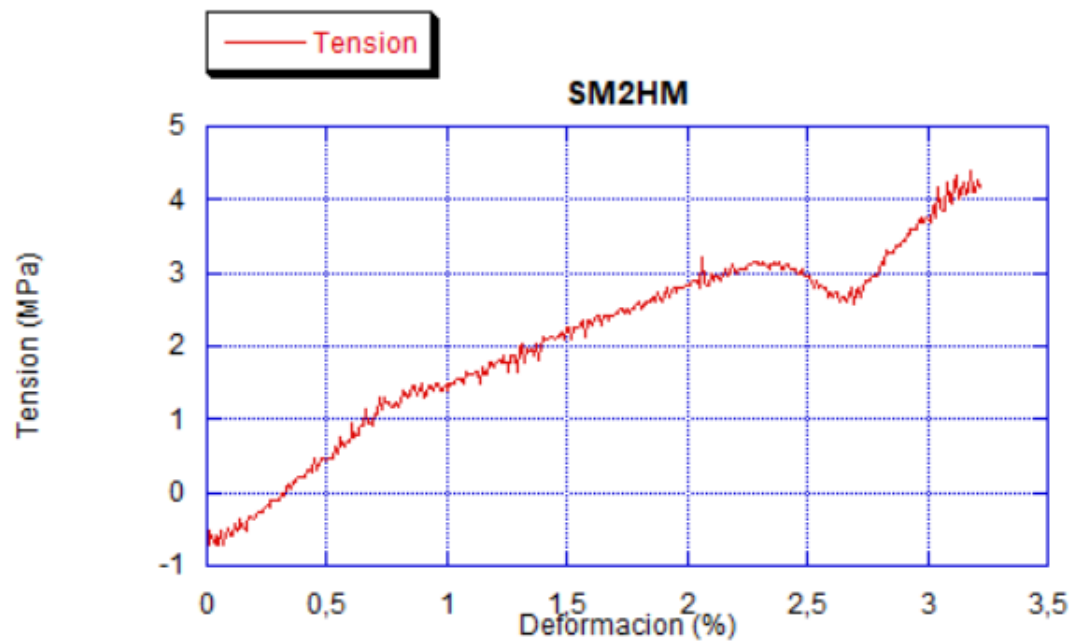
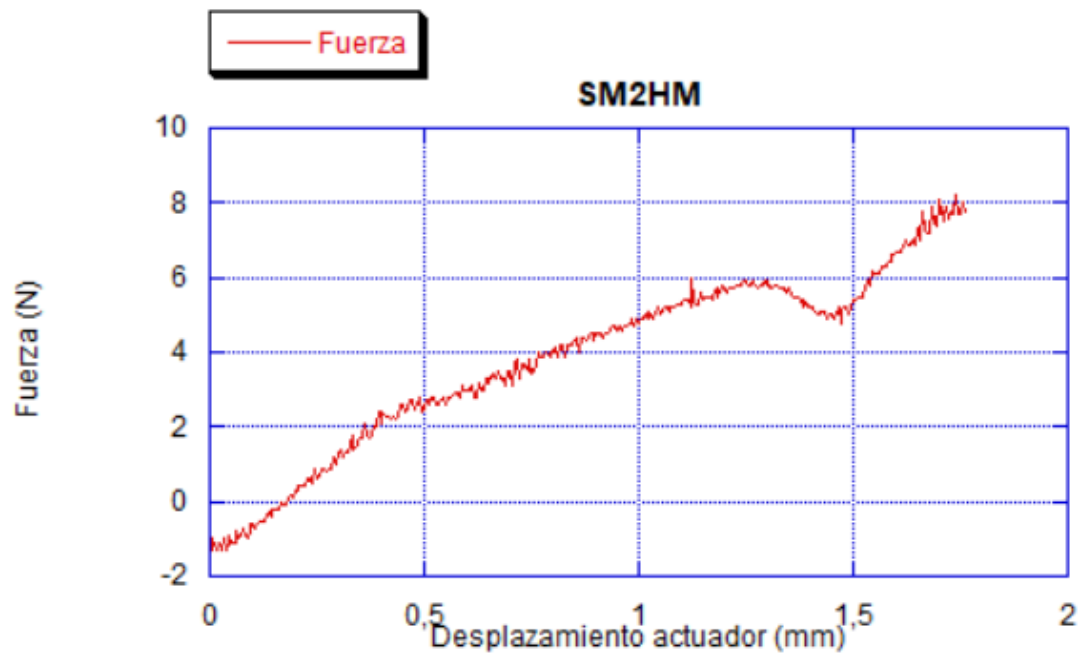


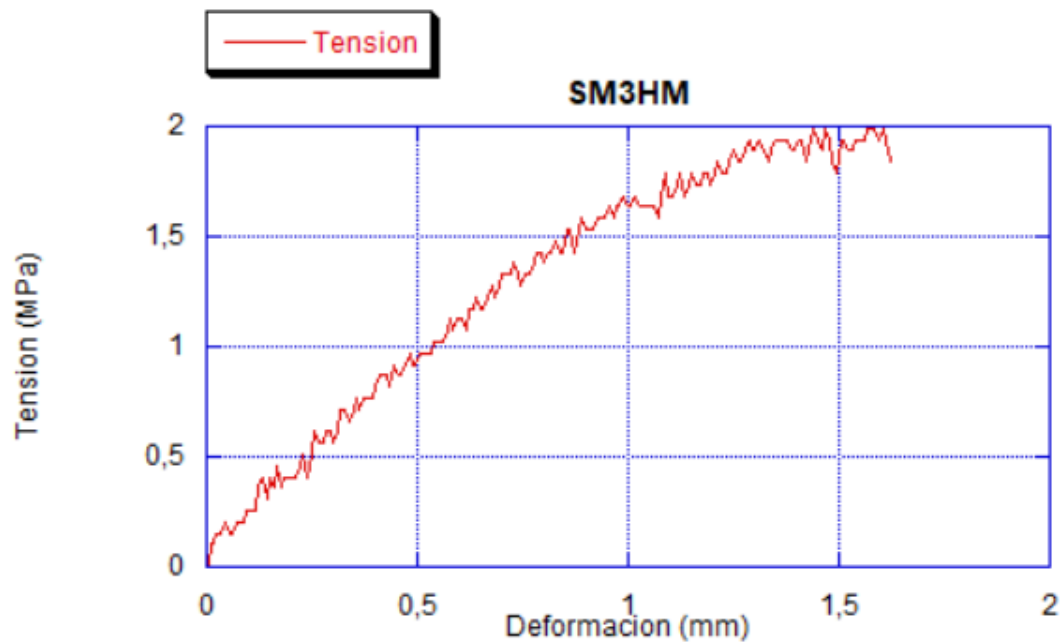
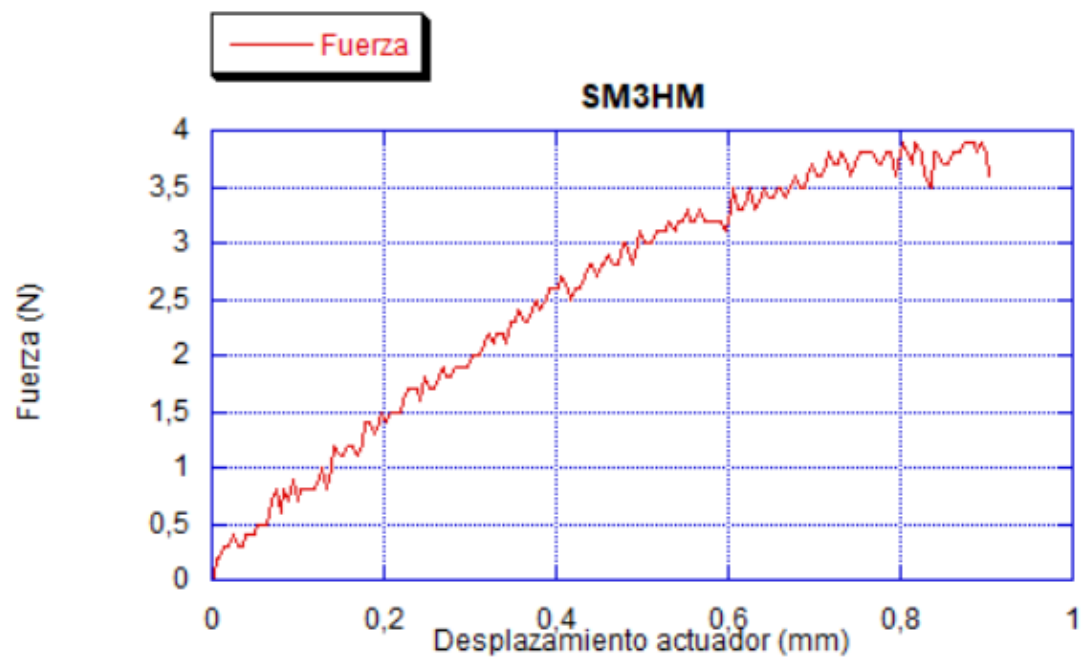


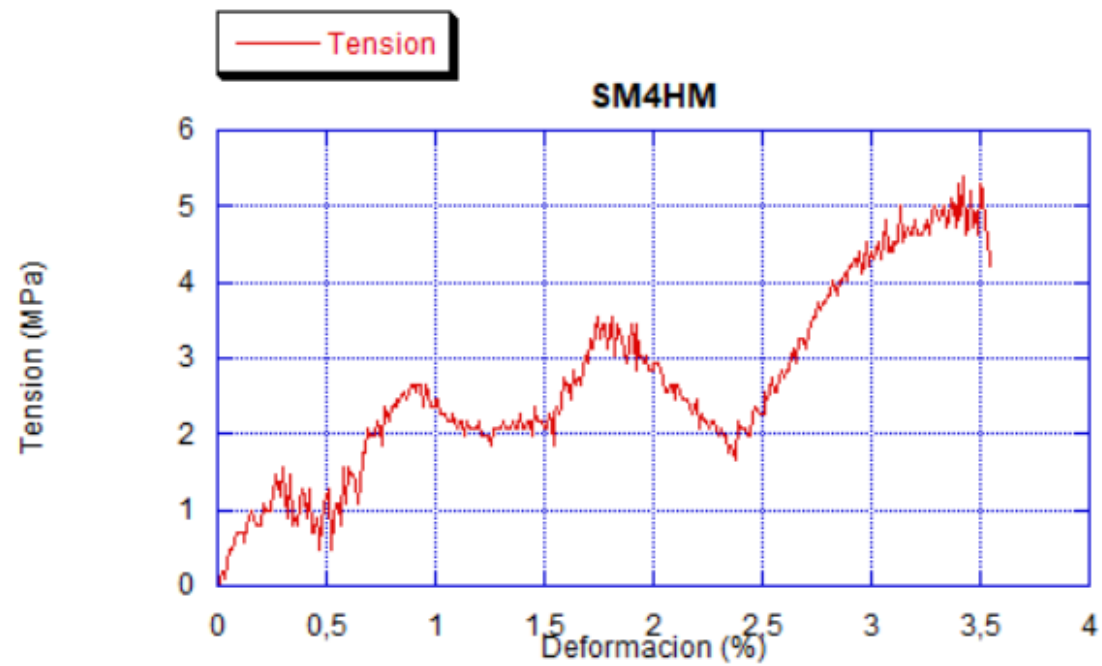
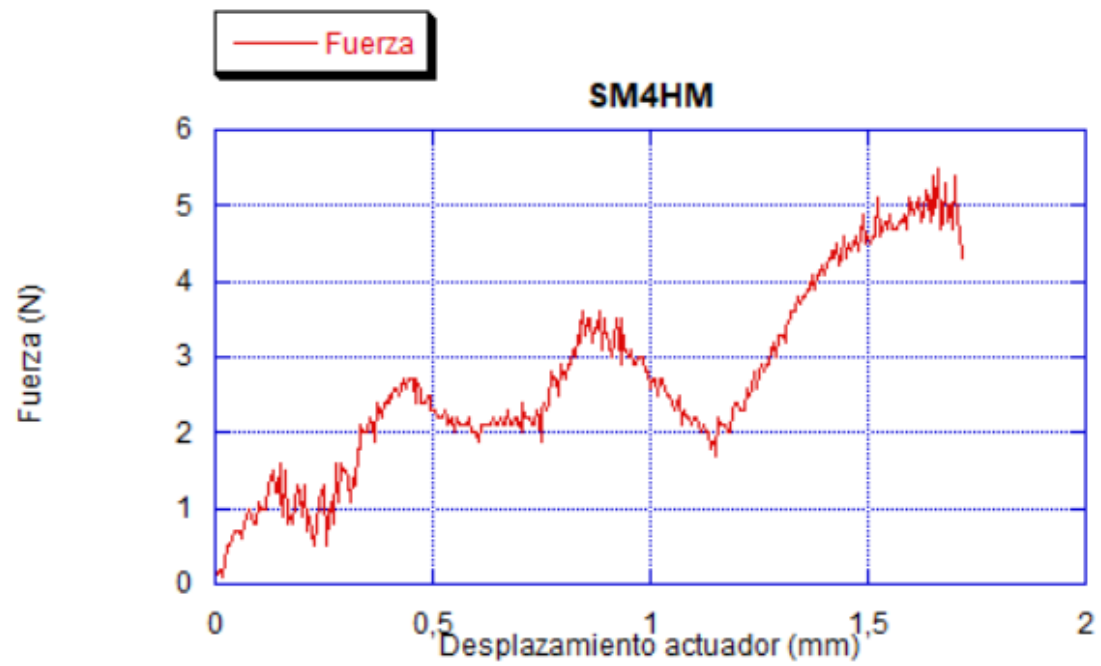


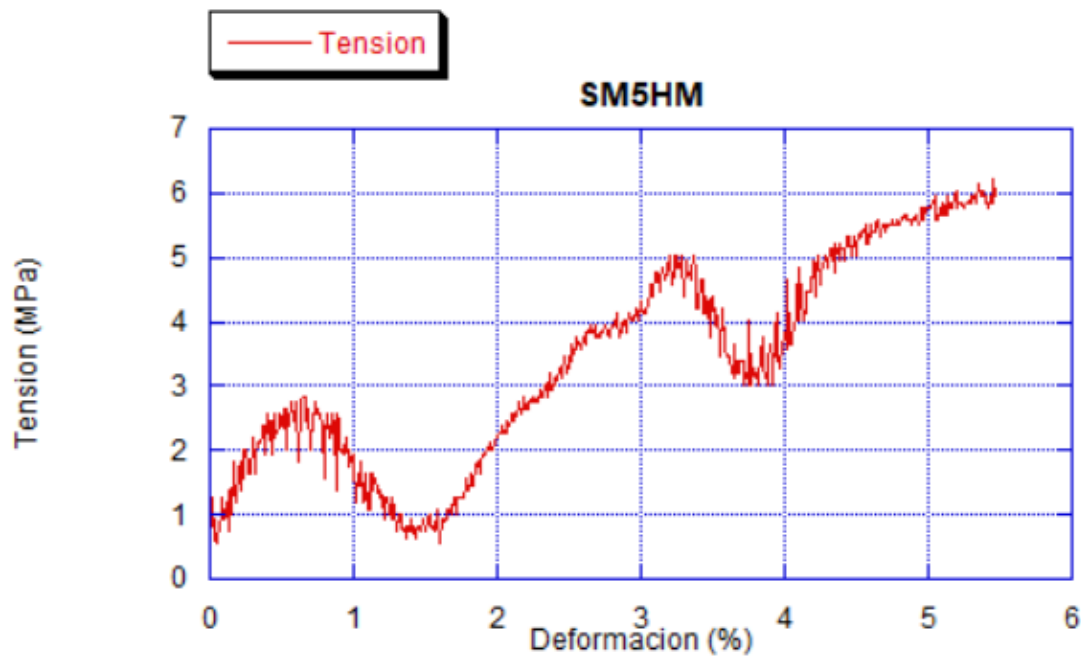
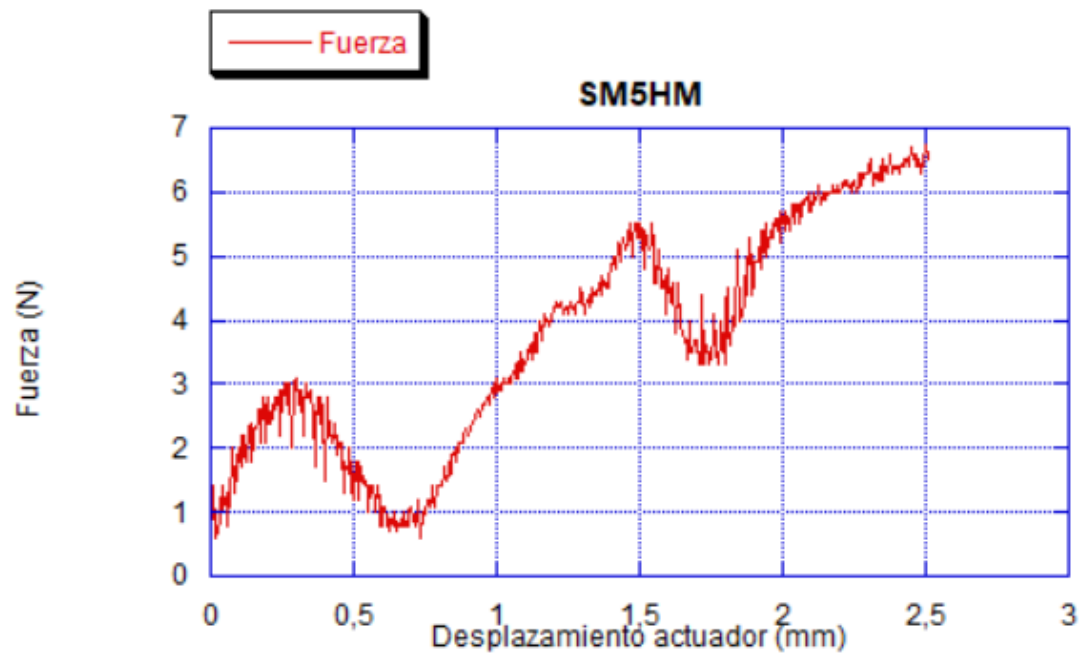


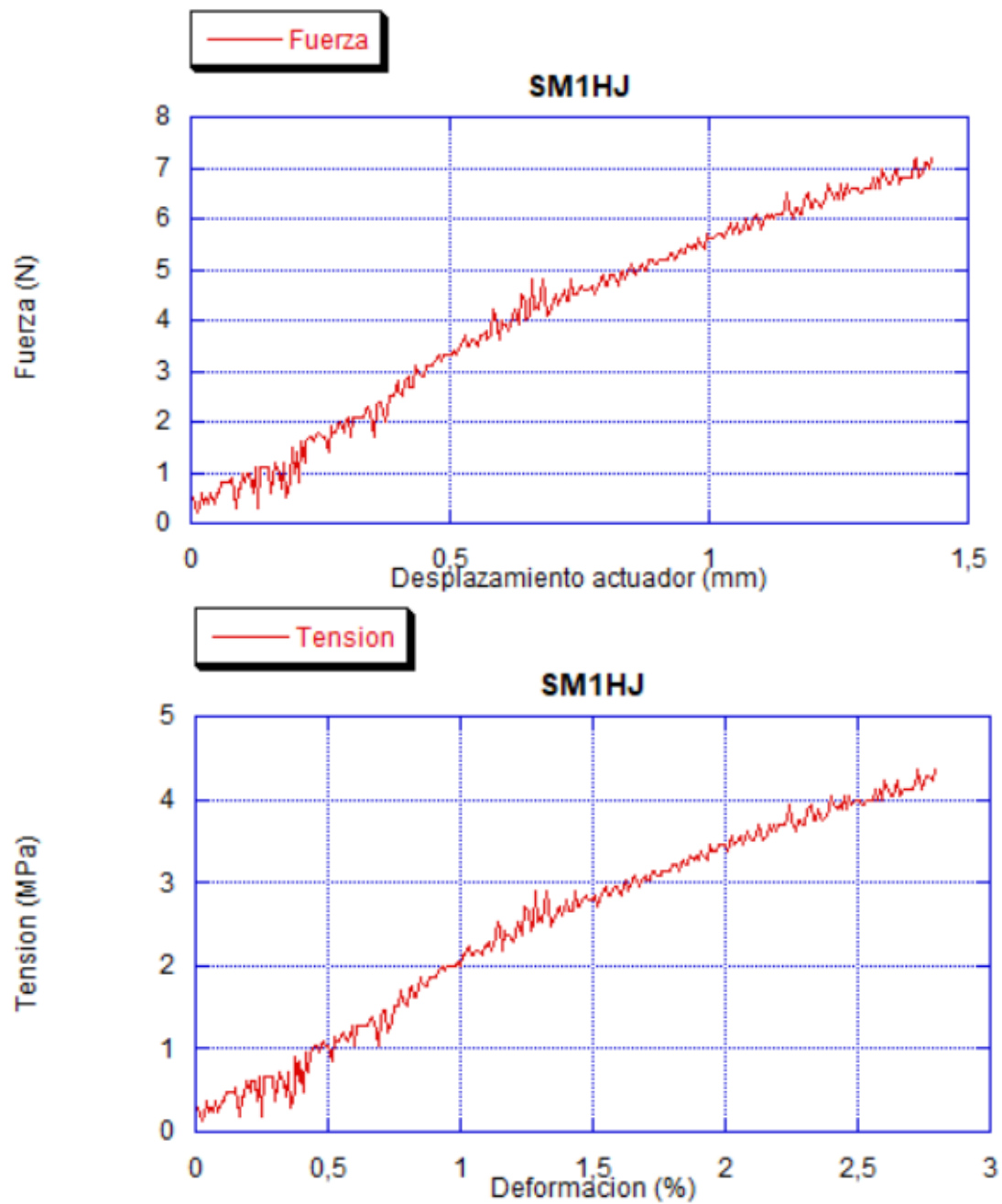
6.1.4.5 HOJAS MADURAS DE SPARTINA MARITIMA

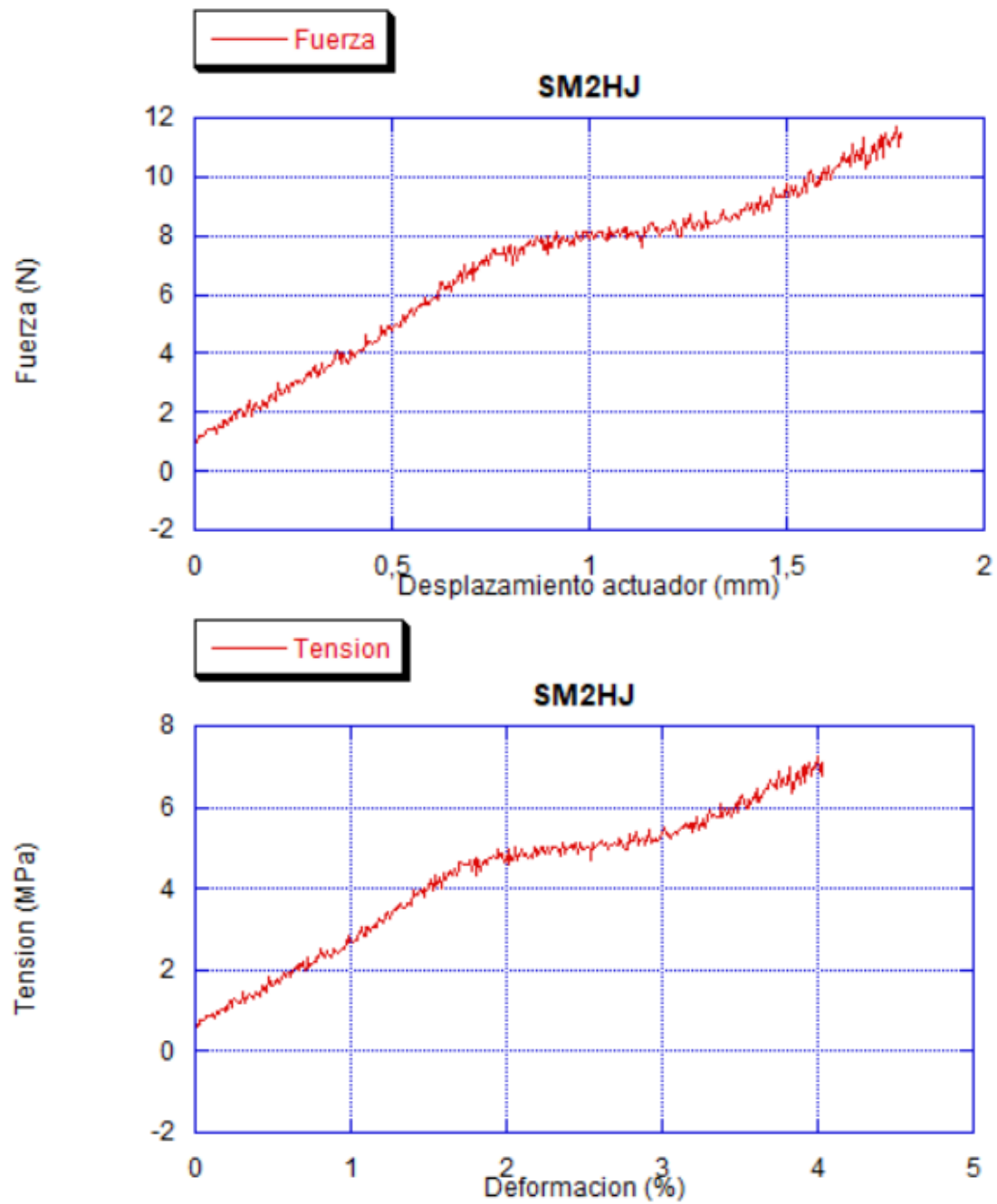


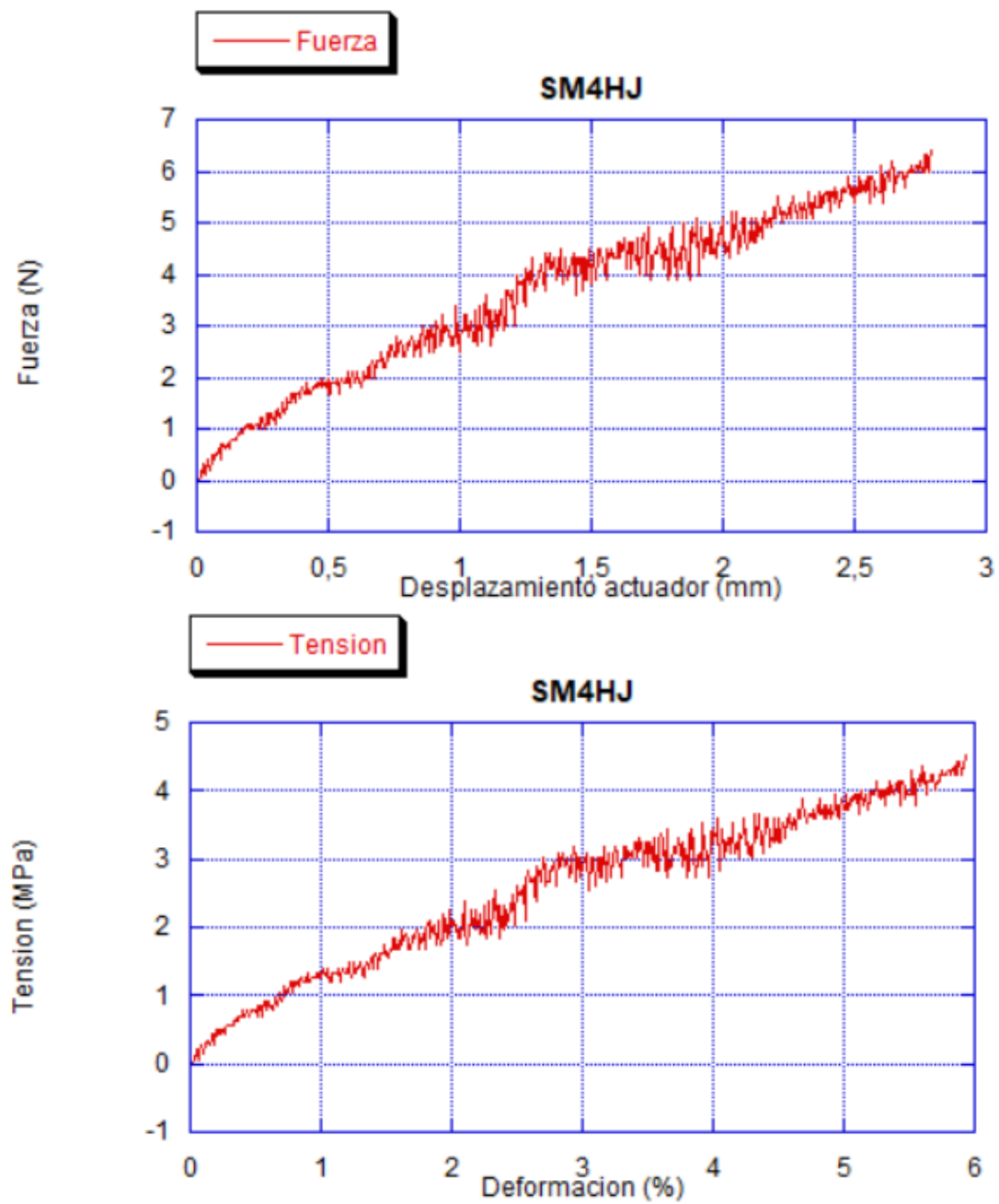






6.1.4.6 HOJAS JÓVENES DE SPARTINA MARITIMA





6.1.5 DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LAS GRÁFICAS

TR- Tensión de rotura.

DBCM- Deformación bajo carga máxima

ME- Modulo de elasticidad

ABC- Área bajo carga máxima

Tabla 7-Datos de los ensayos de tracción en ejemplares de Alterniflora.

Alterniflora	TR (MPa)	DBCM (%)	ME/10² (MPa)	ABC
1T	12,201	4,1545	5,29	31,591
2T	8,782	4,7823	3,1729	27,72
3T	10,47	3,4274	4,8314	23,378
7T	2,8023	3,6	2,0277	7,3728
8T	2,9	3,25	2,1468	7,4265
HM4	6,48	4,22	1,6983	15,3
HM5	6,3351	3,2063	0,95342	11,682
HM6	4,6052	2,9442	1,7981	9,5193
HM7	6,1079	3,6579	1,9058	9,9221
HM8	5,3823	5,6232	1,0054	14,608
HJ4	6,853	4,5438	1,6451	13,628
HJ5	3,7127	2,4773	1,8735	4,7755
HJ6	5,5685	3,64277	1,8345	11,209
HJ7	5,2644	4,1505	1,3865	13,490
HJ8	3,0788	3,9883	1,2742	8,8569

Tabla 8-Datos de los ensayos de tracción en ejemplares de Maritima,

Maritima	TR (MPa)	DBCM (%)	ME/10² (Mpa)	ABC
1T	4,7866	6,7106	1,3268	21,634
2T	3,7975	8,4705	1,3198	23,593

3T	2,4384	7,9902	0,5423	14,805
4T	2,8558	9,667	1,1929	18,372
5T	2,3754	7,9461	0,87765	13,720
HM1	2,1598	2,2502	3,1096	4,1404
HM2	4,3362	3,2296	2,7051	6,5968
HM3	1,9415	1,6201	1,2039	2,0692
HM4	4,2244	3,5414	4,503	9,3705
HM5	6,1243	5,5413	3,1981	15,014
HJ1	4,3557	2,7906	1,5168	6,8955
HJ2	7,1146	4,0329	2,2879	17,058
HJ4	4,507	5,9274	1,1486	15,126

6.1.6 MEDIAS

Tabla 9- Valores medios de todas las medidas tomadas.

		ALTERNIFLORA	MARITIMA
TALLO	TR (MPa)	7,43106	2,4447
	DBCM (%)	6,4047	8,15688
	ME/10 ² (MPa)	3,49376	1,05189
	ABC	19,4869	24,4248
HOJA MADURA	TR (MPa)	5,7821	3,75724
	DBCM (%)	3,93032	3,236
	ME/10 ² (MPa)	1,472204	2,9439
	ABC	12,20628	7,43818
HOJA JOVEN	TR (MPa)	4,89548	5,3257
	DBCM (%)	3,76052	4,2503
	ME/10 ² (MPa)	1,60276	1,6511
	ABC	10,39188	13,0245

Aunque la sensibilidad de la máquina de ensayo era adecuada, las gráficas tienen bastante ruido, posiblemente debido a que las partes examinadas están formadas por fibras, que se rompen poco a poco, produciendo pequeños escalones, que, en algunos casos, al romperse varias de ellas en el mismo momento resultan en escalones considerable.

6.1.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

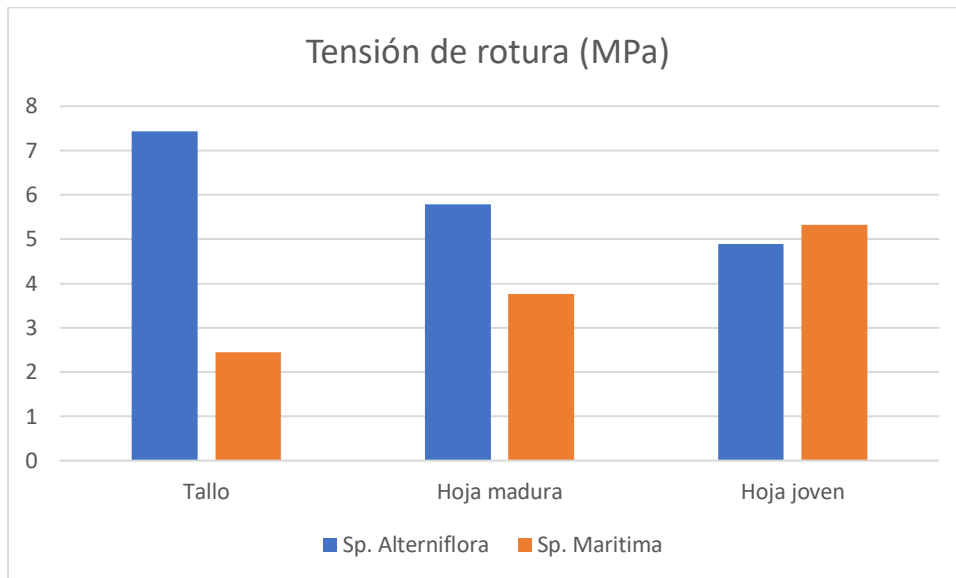


Figura 40- Valores medios de la tensión de rotura de ambas especies [6].

Los resultados en la tensión de rotura son bastante relevantes. Se puede observar una gran diferencia en los tallos, que sería incluso superior si no se tuviesen en cuenta los últimos dos ejemplares de *Sp. Alterniflora*, claramente menos resistentes que los tres primeros. En las hojas la tensión es similar, siendo ligeramente superior en la *Sp. Alterniflora* en la hoja madura y en la *Sp. Maritima* en la hoja joven. Se pueden suponer las siguientes aseveraciones:

- Tallo mucho más resistente en la *Sp. Alterniflora*, obteniendo puntos de rotura tres veces más altos que en la *Sp. Maritima*.
- Hojas con resistencia similar, tanto entre las diferentes especies como en la antigüedad de estas.
- Diferencia entre tallo y hojas variable, en la *Alterniflora*, la resistencia del tallo es ligeramente mayor, mientras que en la *Maritima* sucede al revés, al ser las hojas más resistentes que el tallo.

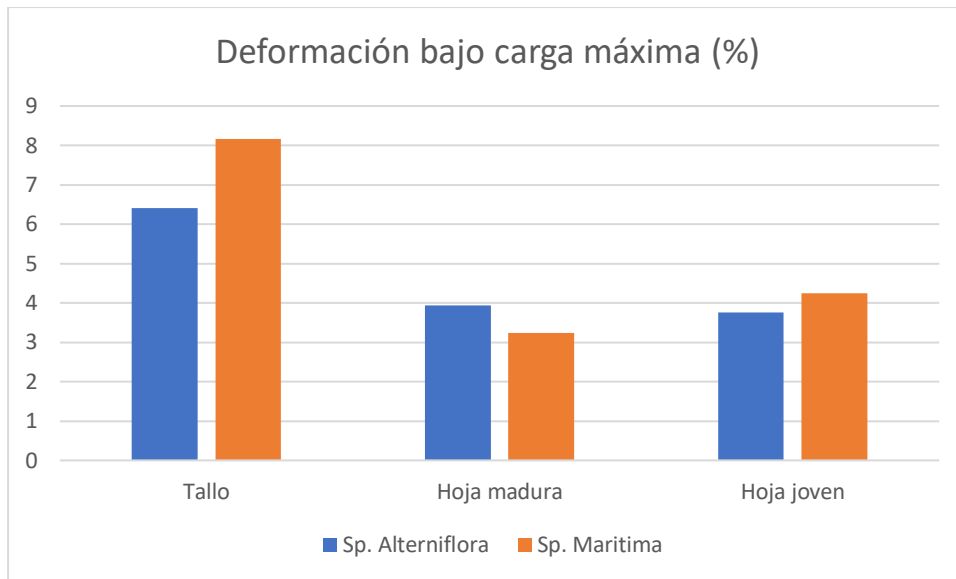


Figura 41- Valores de la deformación bajo carga máxima medios de ambas especies [6].

Si en la tensión la *Sp. Alterniflora* tiene un desempeño considerablemente superior en el tallo, en la deformación se obtiene lo contrario, el tallo de la *Sp. Maritima* es más deformable y elástico, aunque la diferencia no es muy pronunciada, además de estar influenciada por la mayor longitud de los especímenes de *Alterniflora*. Respecto a las hojas, los resultados obtenidos son similares en todos los casos, siendo su elasticidad aproximadamente la mitad que en la del tallo.

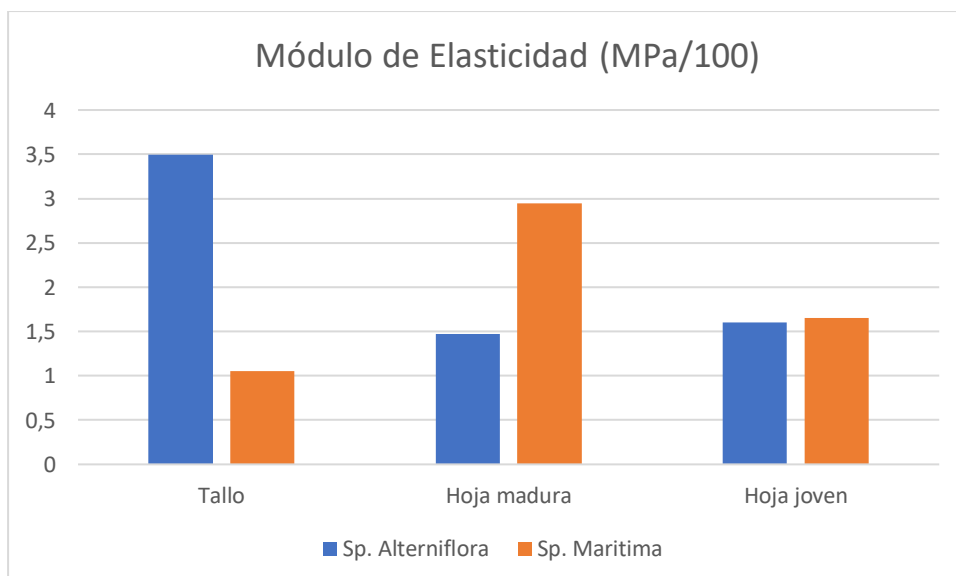


Figura 42- Valores módulo de elasticidad medios de ambas especies [6].

Es el valor menos preciso, pues es el propio alumno el que debe decidir en qué tramo establecer la recta que determinara el valor del módulo. De todas formas, los resultados obtenidos concuerdan con los resultados previos, encontrando un mayor valor en el tallo de la *Sp. Alterniflora*, al ser el tallo de la *Sp. Maritima* más deformable y elástico, pero menos resistente. En la hoja madura de la *Maritima* el valor se dispara, posiblemente por variaciones drásticas en los valores iniciales, pero sin contar este valor, el resto de las hojas tienen un módulo similar.

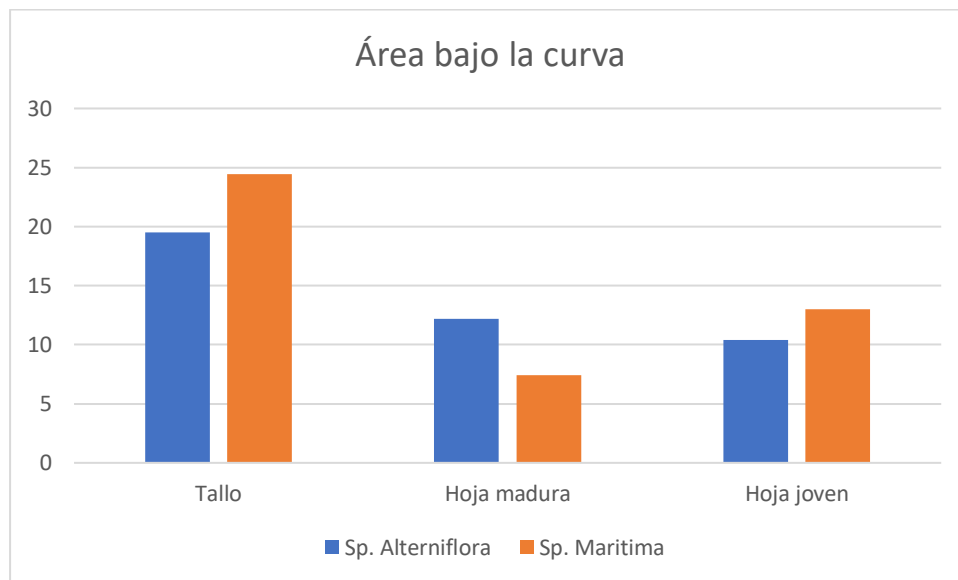


Figura 43- Valores del área bajo la curva medios de ambas especies [6].

El área bajo la curva es similar en las dos plantas, más si no se tiene en cuenta los dos últimos ejemplares de *Sp. Alterniflora*, que como se ha comentado, tenían peores características que el resto. Como en el área influyen tanto la tensión como la deformación, la menor capacidad a tensión de la *Sp. Maritima* se compensa con su mayor deformabilidad, resultando en un área incluso superior a la *Sp. Alterniflora*.

6.1.8 RESUMEN DATOS

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se puede concluir que el tallo de la *Sp. Alterniflora* es más frágil, menos elástico, pero con mayor capacidad de tracción al resistir tensiones mayores, lo que la permite sobrevivir en ambientes menos favorable que la *Sp. Maritima*, confirmando así su mejor adaptabilidad. Aunque la *Sp. Maritima* posea una mayor plasticidad, esta diferencia no es suficientemente grande como para compensar lo anterior, además de que esta ventaja no le sea realmente útil en su hábitat.

Respecto a la hoja, encontramos datos similares en todos los apartados, siendo sorprendente la poca diferencia entre las características de una hoja madura y una joven, ya que se

esperaría una mayor resistencia por parte de las jóvenes al haber estado estas menos expuestas.

6.2 CARACTERIZACIÓN ÓPTICA

El principal resultado facilitado por el IH son las firmas espectrales de las dos especies. Para ello hicieron uso de una cámara espectral en sus instalaciones, obteniendo los siguientes resultados.

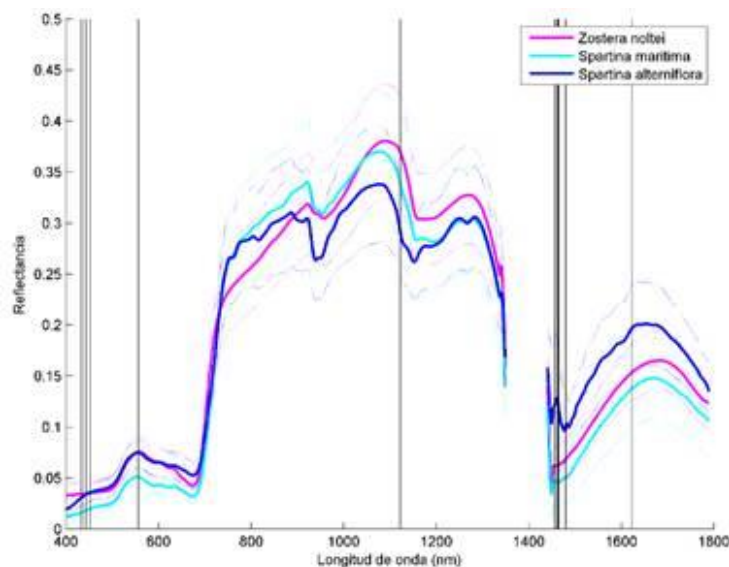


Figura 44- Firmas espectrales de tres ejemplares vegetales [26].

Junto a esta imagen, se dispone de un Excel con los valores de reflectancia para cada valor de longitud de onda, para una mayor precisión en los cálculos.

En la imagen se pueden observar tres curvas, siendo las azules las que se va a analizar al corresponder a las *Spartinas*.

Como se ha comentado previamente, de esta grafica nos interesa su capacidad de dar a conocer la cantidad de celulosa y lignina, siendo unos valores específicos los que van a determinar su cantidad. Estos valores son los siguientes, obtenidos de la tabla de Excel:

Tabla 10-Valores de longitud de onda en los cuales la celulosa y lignina están presentes.

Longitud de Onda	Celulosa		Lignina	
	<i>S. Maritima</i>	<i>S. Alterniflora</i>	<i>S. Maritima</i>	<i>S. Alterniflora</i>
1120	0,3431	0,2979		
1450	0,0347	0,1044		
1490			0,0549	0,1030
1540			0,09011	0,1510
1690	0,1455	0,1963		
1780			0,1106	0,1450

Se puede apreciar que la *Spartina Maritima*, en la mayoría longitudes tiene una menor reflectancia, excepto en la de 1490 nm. Podemos concluir entonces que la cantidad de celulosa y lignina es mayor en la *Maritima*, por lo que, presuntamente, la rigidez de su tallo y hojas es mayor que en el caso de la *Alterniflora*.

No obstante, las firmas espectrales son procedentes del tallo y las hojas, pero también incluyendo parte del sedimento en el que se encuentran, lo cual genera un error en las firmas con el que podemos concluir que la cantidad de celulosa y lignina en ambas especies es similar.

6.3 ENSAYO DE ARRANQUE

El día 29 de agosto de 2021 se procedió a realizar el primero de los ensayos de arranque. El lugar escogido fue, al igual que en la primera recogida de plantas, la ría de Cubas. El acceso a la zona fue más simple que en la previa recogida, ya que, al estar en verano, el terreno estaba más seco y permitía acceder a la zona de *Spartina*, *Alterniflora* en la zona, de forma mucho más fácil.



Figura 45- Situación del estuario de Cubas en verano [6].

Una vez se accedió a las paraderas de *Spartina*, se procedió a seleccionar los ejemplares para el ensayo. La diferencia en el estado de las plantas respecto a la previa recogida, en febrero, era notable a simple vista, encontrando ejemplares secos y otros con algún tipo de vegetación envolviéndolos (Figura 46). Esto puede provocar que sean mucho más quebradizos y propensos a la ruptura, pero algunos ejemplares estaban en suficientemente buen estado como para continuar con el ensayo.



Figura 46- Individuo de *Spartina Alterniflora* seco cubierto por algún tipo de especie vegetal [6].

En los primeros ensayos se empezó a notar uno de los mayores problemas de todo el trabajo, la heterogeneidad de las muestras. Si en los ensayos de tracción esta variabilidad ya era notable, en estos ensayos es mucho mayor. Los ejemplares en si eran muy diferentes unos de otros, tanto en su grado de desarrollo como en su estado actual, pero también sus rizomas, encontrando ejemplares que se podían arrancar si apenas ejercer ninguna fuerza, mientras otros que se unían a muchos otros ejemplares, estaban tan arraigados en el terreno que el nudo escurría antes de poder arrancar el rizoma entero. Además de la variabilidad en las muestras, el sedimento en el que se sitúa cada ejemplar es diferente, habiendo zonas más húmedas cercanas a riachuelos formados durante la marea baja, otras zonas más secas en el centro de los pastizales de *Spartinas*, zonas cubiertas por individuos vegetales de otras especies traídos por las mareas...

En cualquier caso, la fuerza ejercida durante estos movimientos era suficiente para romper antes las plantas que arrancar por completo el rizoma, así que, en una primera instancia, podemos suponer que los ejemplares de *Spartina Alterniflora*, ante ningún cambio en el sustrato, se rompen antes de ser arrancados del terreno, concluyendo en que para que las mareas y otros agentes marinos puedan arrancar el rizoma de la planta deben alterar previamente los sustratos en los que se asientan.

En el caso de la *Spartina Maritima*, no se realizaron ensayos en el campo debido a una lesión del alumno, pero con la ayuda de las investigadoras del laboratorio IH, que realizaron pruebas en otras ocasiones con los mismos ejemplares, se puede estimar que los resultados iban a ser similares, rompiéndose las hojas y tallos antes de arrancar el rizoma completo, e incluso de forma más sencilla que en el caso del anterior ensayo, ya que la resistencia de la *Maritima* es menor a esfuerzos de tracción como se ha observado en el ensayo mecánico.

7 CONCLUSIÓN

A modo de conclusión del trabajo, se relacionarán los tres ensayos planteados en busca de razones para los resultados obtenidos. Los ensayos de tracciones y el ensayo óptico tienen una relación directa, siendo uno dependiente del otro en principio. El ensayo de arranque por su parte, aunque también relacionado con los dos previos, esta influenciado por muchos más factores que se han comentado previamente.

El ensayo de tracción se relaciona con el óptico en cuanto a que, con las firmas espectrales, obtenemos el contenido en lignina y celulosa, que influye directamente en la rigidez de los individuos. Los resultados mecánicos exponen la mayor capacidad de la *Spartina Alterniflora* para resistir ante agentes ambientales, al obtener una tensión de rotura en el tallo tres veces superior que la *Spartina Maritima*, aunque esta última tenga una mayor deformabilidad, lo que resulta en un área debajo de la curva incluso superior. En las hojas, los resultados de ambas especies son similares en todos los datos.

Esta mayor resistencia mecánica difiere de los datos obtenidos en los ensayos ópticos, donde la *Spartina Maritima* presenta un contenido de celulosa y lignina algo mayor, aunque debido a los errores que pueden provocar los sedimentos en las firmas, se puede considerar similar. En cualquier caso, la presencia de estos componentes en la *Spartina Alterniflora* debería ser mayor de acuerdo con los ensayos mecánicos. La solución encontrada a esta disyuntiva es que la rigidez de las plantas no solo está condicionada por esta característica, sino que entran en juego muchos más factores, siendo muy relevante la estructura interna.

La estructura interna del tallo, al ser un tallo de tipo flotante, es un círculo con un hueco en su interior. Al no influir en los ensayos de tracción el diámetro de los individuos, lo relevante es la relación entre el diámetro total de la planta (medido durante el ensayo) y el diámetro del hueco que alberga en su interior (no medido). El hueco no ejerce ninguna resistencia, por lo que, a una mayor proporción de hueco respecto al total del diámetro, el individuo tendría una menor resistencia teórica.

$$\uparrow \frac{\text{diámetro del hueco}}{\text{diámetro total}} \rightarrow \downarrow \text{resistencia del ejemplar}$$

Sabiendo esto, podemos suponer que esta relación será mayor en el caso de la *Spartina Maritima*, lo que la hace más vulnerable frente a mareas y agentes marítimos. La *Alterniflora*, al contrario, tendrá una estructura más compacta.

Además de esta estructura interna, se puede suponer que la *Alterniflora* cuenta con una menor separación intracelular, proporcionando todavía más rigidez.

Respecto al ensayo de arranque, tras su realización se obtuvieron una serie de conclusiones, entre ellas que el modo de operación planteado no era el adecuado, y que los resultados que se buscaba en un principio obtener, no eran realmente necesarios. El modo de proceder no era optimo ya que la heterogeneidad de las muestras era muy superior a la esperada inicialmente, lo que llevo a que no se pudiese realizar gran parte de los ensayos. De todas formas, las conclusiones obtenidas por el ensayo han sido bastante relevantes, viendo que, sin una alteración previo del sedimento, los rizomas no son extraídos en condiciones normales.

Como se ha comentado previamente, los rizomas no son extraídos por lo general antes de que se produzca la ruptura del tallo o de las hojas, que en el caso de la *Spartina Alterniflora* requiere una fuerza mayor que en la *Maritima*. Esto se corrobora con los ensayos de tracción realizados previamente, puesto que, en el fondo, nuestro ensayo de arranque era como uno de tracción en el que uno de los agarres era el propio sedimento.

Con todos estos ensayos, se confirma la hipótesis inicial del trabajo, que la *Spartina Alterniflora* tiene mejores capacidades de resistencia frente a agentes externos que la *Maritima*, lo que, junto a su mayor capacidad biológica de adaptarse a otros tipos de cambios, está produciendo un aumento de su presencia en los estuarios de Cantabria, convirtiéndose en una especie invasora que amenaza la existencia de las *Spartinas* autóctonas, pero también brinda algunos beneficios y aplicaciones, como su uso para transformar el terreno en determinadas zonas y protegerlas del avance del mar.

8 PRESUPUESTO

8.1 PRECIOS UNITARIOS

Tabla 11- Precios unitarios

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	Designación	Precio unitario (€)
	Ensayo de Tracción	75€
SALARIO EMPLEADOS	Técnico LADICIM	50€/hora
	Técnico de campo IH	15€/hora
	Experto procesado IH	21€/hora
	Investigadoras IH	21€/hora

8.2 PRESUPUESTOS PARCIALES

Tabla 12-Presupuestos parciales

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA	Designación	Unidades	Precio unitario (€)	Importe
	Ensayo de Tracción	38 ensayos	75€	2850€
TOTAL CARACTERIZACIÓN: 2850 €				
SALARIO EMPLEADOS	Técnico LADICIM	10 horas x2 técnicos	50€/hora	1000€
	Técnico de campo IH	4 horas	15€/hora	60€
	Experto procesado IH	2 horas	21€/hora	42€
	Investigadoras IH	6 horas x2 investigadoras	21€/hora	252€
TOTAL SALARIOS EMPLEADOS: 1354 €				

8.3 PRESUPUESTO GENERAL

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1.CARACTERIZACION MECÁNICA.....	2850,00€
2.SALARIOS DE EMPLEADOS.....	1354,00€
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	4204,00€

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	4204,00€
GASTOS GENERALES (5%).....	210,20€
TOTAL PARCIAL.....	4414,20€
IVA (21%).....	929,98€
TOTAL PRESUPUESTOS DE EJECUCION POR CONTRATA.....	5341,18€

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. F. Zarza, «¿Qué es un estuario?,» 23 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-estuario>.
- [2] G. Maps, «Google Maps,» 23 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps>.
- [3] J. Castanedo, «Flickr,» 23 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.flickr.com/photos/josenedo/32516656394>.
- [4] M. E. S. D. J. d. J. L. R. E. F. A. O. M. R. Gabriela del Rocio Nieto Silva, «Taxonomía y distribución del género *Spartina* (Poaceae) en México,» Centro de Clensias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Mexico, Aguascalientes, 2014.
- [5] Asturnatura, «*Spartina maritima* (Curtis),» Asturnatura, p. 89.
- [6] R. S. Lavin, Santander, 2021.
- [7] L. ARCOS, INVASORAS, CATÁLOGO DE LAS PLANTAS.
- [8] J. L. Espinar, «Pastizales de *Spartina* (*Spartinion Maritimae*),» Tragsa, Madrid, 2009.
- [9] M. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «Hábitat Costeroes y Vegetación Halófila,» Madrid.
- [10] C. d. M. Ambiente, «Cartografiado Bionómico del Litoral de Cantabria,» Consejería de Medio Ambiente, Gobierno de Cantabria, Santander, 2005.
- [11] C. o. L. Partnership, «Catalogue of Life Checklist,» Fernald, 2021.
- [12] Anonimo, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Spartina_maritima. [Último acceso: 31 Julio 2021].
- [13] A. y. M. A. Ministerio de Agricultura, «*Spartina Alterniflora*- Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras,» GOBIERNO DE ESPAÑA, 2012.
- [14] IHCantabria, «Habitat 1320. Pastizales de *Spartina*».
- [15] E. D. D. S. E. S. V. Mario Sanz Elorza, Plantas Alóctonas Invasoras en España, Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.
- [16] «Istock,» [En línea]. Available: <https://www.istockphoto.com/es/fotos/spartine-alterniflore>. [Último acceso: 5 Agosto 2021].
- [17] D. R. A. Donald R. Strong, «Ecological and Evolutionary Misadventures of *Spartina*,» Section of Evolution and Ecology, University of California, California, 2013.
- [18] S. S. K. J. Dirk Granse, «Long-term invasion dynamics of *Spartina* increase vegetation diversity and geomorphological resistance of salt,» The Author, 2020.

- [19] A. Tecnológica, «Slideshare,» [En línea]. Available: <https://www.istockphoto.com/es/fotos/spartine-alterniflore>. [Último acceso: 5 Agosto 2021].
- [20] J. A. Casado, Cuaderno de la Asignatura Materiales, Santander: UNICAN, 2018.
- [21] «Math4You,» [En línea]. Available: <https://math4you2.wixsite.com/math4you/mdulo-de-young>. [Último acceso: 5 Agosto 2021].
- [22] «BonsaiAdvance,» [En línea]. Available: <https://www.bonsaiadvanced.com/producto/analisis-espectral/remote-sensing/fieldspec-4-spectroradiometers/fieldspec-4-hi-res-high-resolution-spectroradiometer-5/>. [Último acceso: 6 Septiembre 2021].
- [23] «MundoMicroscopio,» [En línea]. Available: <https://www.mundomicroscopio.com/longitud-de-onda/>. [Último acceso: 31 Julio 2021].
- [24] A. P. A. Guzmán, «Análisis y clasificación de firmas espectrales utilizando tecnicas de aprendizaje automático.,» Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica., Puebla, Mexico., 2019.
- [25] V. M. E. R. Carmelo Alonso, «DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA FIRMA ESPECTRAL DE LA VEGETACIÓN UNA SENCILLA PRÁCTICA DE INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN.,» Departamento de Teledetección, INDRA Espacio., Madrid, 1999.
- [26] B. O. Cristina Galvan, «Firmas espectrales Spartinas,» IHCantabria, Santander.
- [27] P. J. Curran, "Remote Sensing of Foliar Chemistry," University College of Swansea,, Swansea, United Kingdom, 1989.
- [28] «Dr. Meter,» [En línea]. Available: <https://drmeter.com/products/dr-meter-upgraded-fs01-fishing-scale-110lb-50kg-digital-hanging-scale-backlit-lcd-display-measuring-tape-2-aaa-batteries>. [Último acceso: 31 Agosto 2021].