



## **MEMORIA DE RESULTADOS**

**Diseño de un sistema de línea de vida horizontal-aéreo mediante una plataforma móvil de seguridad y de paso transversal entre correas de cubierta para los trabajos en cubierta en los invernaderos.**

**PLASTIC + SAFETY MOBILE SYSTEM.**

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto **PLASTIC + SAFETY MOBILE SYSTEM** está enfocado a dar una continuidad a la línea de prevención de trabajos en altura en invernaderos que tiene TECNOVA. Existe una **necesidad real y urgente** de establecer sistemas seguros para los operarios en el montaje del plástico de cubiertas de invernaderos, y su posterior cambio cada 3 campañas, así como la seguridad en labores de blanqueo, lavado y mantenimiento de cubiertas.

Por lo que se presenta la necesidad de desarrollar un sistema basado en un sistema aéreo móvil anticaídas capaz de soportar la carga de la bobina de plástico y permitir a la vez la movilidad tanto de forma transversal como longitudinalmente entre líneas de correas de los operarios, que además sea capaz de adaptarse a estructuras de grandes luces y longitudes de invernadero, y que sea adaptable y compatible con la perfilería existente empleada en la construcción de invernaderos comerciales, versátil y por supuesto seguro para el operario. Por todos estos motivos, se presenta el proyecto **PLASTIC + SAFETY MOBILE SYSTEM**, basado en un sistema de línea de vida anticaídas horizontal completamente adaptado e integrado a las estructuras comerciales de invernaderos, que además sea capaz de portar la carga de la bobina de plástico de cada tramo de cubierta mediante un eje rotatorio, así como una plataforma móvil que permita al operario de forma segura pasar de una línea de vida horizontal a otra, ubicadas estas en la zona de correas de la cubierta; que es donde el operario ejerce los trabajos de taqueo o fijación del plástico ya extendido, siendo este trabajo junto al de portar la bobina en cubierta uno de los trabajos que mayor esfuerzo requieren en altura en la construcción de invernaderos. Este sistema será diseñado de forma que no suponga un obstáculo al movimiento y operatividad del operario y garantice su seguridad en todos los puntos de fijación del plástico.

- **Objetivo general:**

El objetivo general de este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de seguridad en altura para invernaderos comerciales basado en líneas de vida aéreas horizontales que integre una plataforma móvil que permita el paso seguro del operario de forma transversal en la cubierta del invernadero, además de integrar un sistema de extendido de la bobina plástica, que tenga como resultado una reducción tanto del esfuerzo de los operarios en altura como de la siniestralidad laboral en general.

- **Objetivos operativos:**

Para alcanzar el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Garantizar la adaptabilidad de un sistema combinado de líneas de vida horizontal y aéreo a la estructura, que integre un sistema portante y de extensión de bobinas de plástico y que adapte un paso aéreo seguro trasversal móvil.

- Eliminar los trabajos en los que los operarios tienen que cargar y extender por la cubierta de invernadero las bobinas de plástico.
- Minimizar el esfuerzo de extensión del material plástico de cubierta.
- Garantizar la sujeción de al menos 2 individuos de manera simultánea sobre una misma línea de vida.
- Garantizar que el cuerpo del operario no se encuentre en contacto con ningún elemento estructural durante la caída.
- Garantizar la movilidad requerida para la realización de las labores en cubierta, de forma que no se encuentre restringida tanto en sentido longitudinal como transversal para cada tramo de cubierta.
- Garantizar el paso seguro entre las líneas de vida horizontales de forma trasversal a través de la plataforma móvil.
- Garantizar la integridad estructural del invernadero.

## 2. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y RESULTADOS

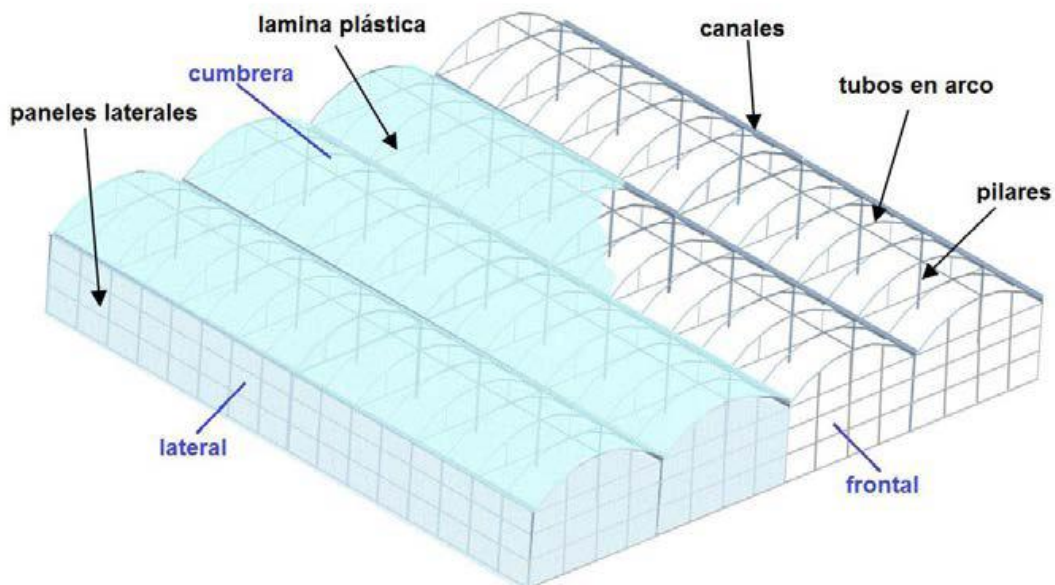
### ACTIVIDAD 1. ESTUDIO Y DISEÑO CONCEPTUAL

- Actividad 1.1. Estudio de los materiales empleados en la construcción de invernaderos, así como de los empleados como partes del sistema de líneas de vida que se encuentran en el mercado y que cumplen con la normativa de aplicación vigente.

Desarrollo de la actividad 1.1.:

El primer paso que se llevó a cabo durante el desarrollo del proyecto fue la evaluación de los materiales existentes en la construcción de invernaderos tanto de tipo comercial o multitúnel.

#### *Invernaderos tipo multitúnel*



Los materiales fabricados que forman parte de este tipo de estructuras cuentan con las siguientes características:

*Las empresas proveedoras de este tipo de materiales están certificadas de acuerdo a la norma internacional UNE-EN ISO 9001:2008.*

- ✓ Pilares: Fabricados en tubo de acero soldado, galvanizado en sendzimir por proceso discontinuo según norma EN 10305-3:2011. Acero base tipo S 235 JR.



- ✓ Arcos, correas y barras: Fabricados en tubo galvanizado soldado elaborado a partir de bobinas galvanizadas según norma EN 10305-3:2011. Acero base tipo Fe P02G.
- ✓ Chapa galvanizada (Canales y esquineros): Fabricada a partir de bobinas galvanizadas según norma UNE-EN 10305-3:2011. Acero base tipo S 275 JOH.
- ✓ Tornillería: Acero bicromatado, regulado por las normas DIN de aplicación y bajo la calidad de un tratamiento superficial “Delta Protek KL-100”, que confiere un tratamiento de alta resistencia contra la corrosión.

La mayoría de los pilares empleados en la construcción de invernaderos poseen las siguientes características:

- ✓ Pilares laterales: Tubo cuadrado/rectangular galvanizado en sendzimir, lacado o no en blanco.
- ✓ Pilares interiores: Tubo cuadrado/rectangular galvanizado en sendzimir lacado o no en blanco.
- ✓ Pilares frontales: Tubo cuadrado/rectangular galvanizado en sendzimir lacado o no en blanco.

Las dimensiones de los pilares más empleados en la construcción de invernaderos comerciales son los que se describen a continuación:

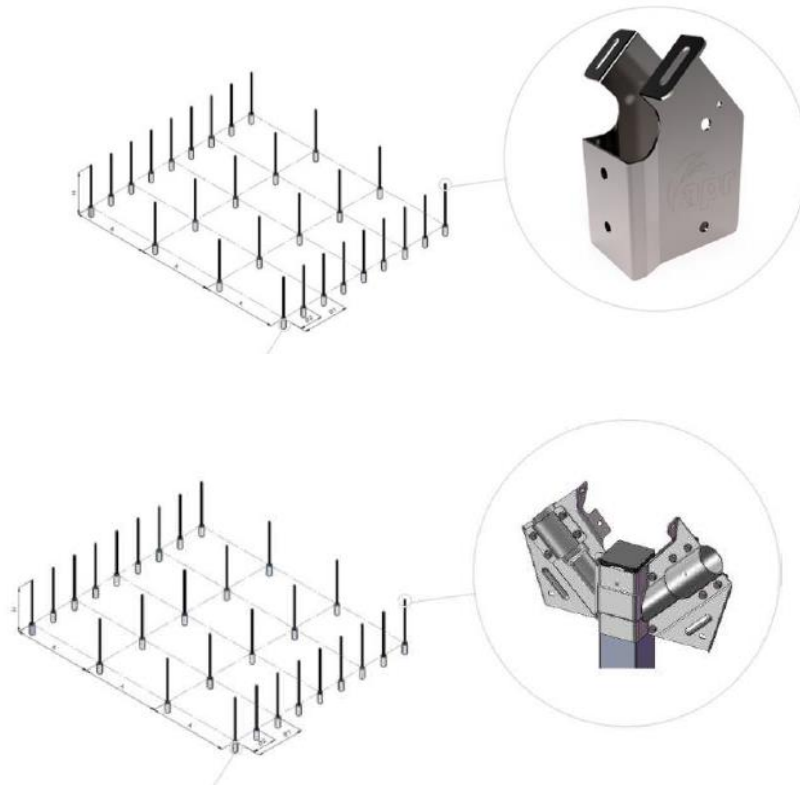
✚ Pilares cuadrados huecos en acero galvanizado en caliente S235 de dimensiones:

- ✓ Pilares cuadrado hueco 100 x 100 x 2 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 100 x 100 x 3 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 100 x 100 x 4 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 80 x 80 x 2 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 80 x 80 x 3 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 80 x 80 x 4 mm
- ✓ Pilares cuadrado hueco 60 x 60 x 2 mm (empleados como refuerzos)
- ✓ Pilares cuadrado hueco 60 x 60 x 3 mm (empleados como refuerzos)

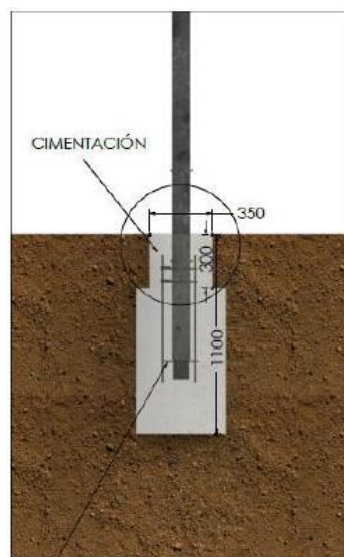
✚ Pilares rectangulares huecos en acero galvanizado en caliente S235 de dimensiones:

- ✓ Pilares rectangulares hueco 100 x 50 x 2 mm
- ✓ Pilares rectangulares hueco 80 x 60 x 3 mm
- ✓ Pilares rectangulares huecos 140 x 80 x 4 mm

En la zona superior de los pilares se dispone el capitel, que es una pieza que une los arcos de los túneles a los pilares y los arriostros, a continuación, se observan varios diseños que son empleados en la construcción de este tipo de invernaderos:

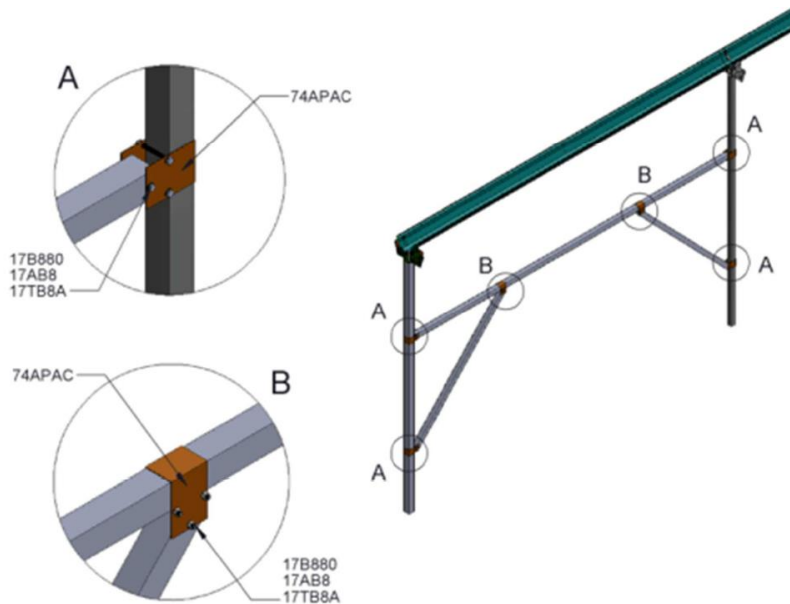


De igual forma el diseño de cimentación posee varios modelos, pero en la mayoría de los casos la cimentación se basa en un hoyo de profundidad variable de 1,2 a 1,5 m y de 35-40 cm de diámetro, en los que se introducen unos 70 cm del pilar quedando empotrado.



Además de la perfilería principal descrita, existe otro tipo de perfilería empleado en reforzar y arriostrar la estructura, algunos de los refuerzos empleados en su diseño son los siguientes:

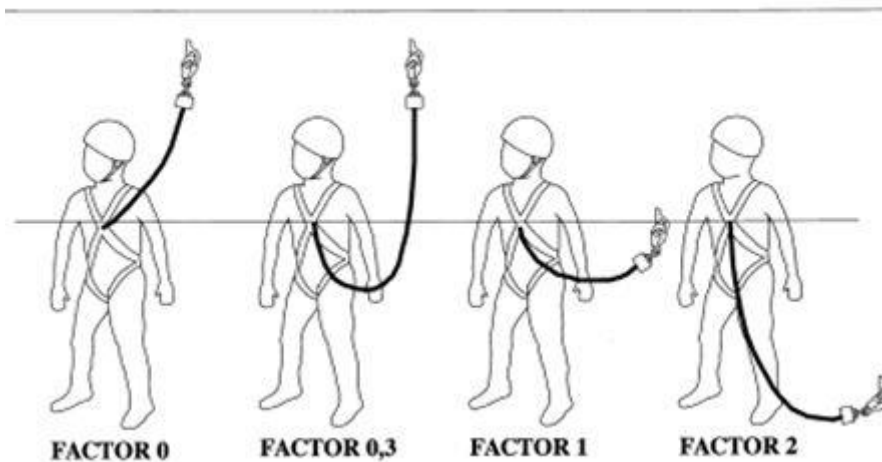
- ✓ Refuerzos en K:



Perfiles empleados como refuerzos en estructuras de tipo multitúnel.

### **Resultados**

Una vez estudiadas las tipologías de estructuras y sus pilares principales y su forma de actuar en el reparto de cargas al suelo y sobre la canal; hemos establecido la opción de disponer una estructura basada en perfil y pilares anexos a los pilares frontales que forman parte estructural el invernadero con la idea de que sobresalgan sobre la estructura lo suficiente para disponer el sistema giratorio y la pieza de unión para la línea de vida y los sistema móvil transversal obteniendo en este caso un factor de 2 en la formula de fuerza de choque o impacto que será calculada para la disposición de la carga sobre la estructura auxiliar, tal y como se muestra en la siguiente figura:



De todas las indicaciones de las que disponemos establecemos la idea de disponer un cable de 10 mm que vaya instalado con el sistema anticaída entre los 2 pilares anexos a la estructura principal que serán sujetos a su vez mediante perfiles de refuerzo entre ellos y mediante una placa para línea de vida homologada.







Para definir la fuerza que se aplicará sobre el cable por cada cuerpo en caída estudiaremos la fuerza de choque, que es la energía generada durante el proceso de detención de una caída cuando se utilizan sistemas de protección individual contra caídas de altura, es decir, el impacto que recibe la cadena de seguridad cuando se sufre una caída. Estos valores están establecidos, y los sistemas de seguridad que poseen absorbedores de energía que cumplen con la normativa garantizan que la fuerza de choque generada durante la caída generada al cuerpo con estos dispositivos será inferior a 6 kN para una masa de 100 kg. Por este motivo y en casos de riesgo de caída siempre se debe emplear absorbedor de energía. Para el caso en el que nos encontramos en este proyecto, en el que el cuerpo se encuentra por encima de la línea de vida, el factor de caída tendrá un valor de 2.

### **La fuerza de cada cuerpo será de 850 N**

Se establecen los primeros diseños en 3D que serán calculados y dimensionados a la siguiente subactividad.

Una vez establecidas las cargas de cada uno de los 2 cuerpos que van a ser objeto de las pruebas de caída, en cada caso se introducirán 850 N por cada uno de ellos en el software de cálculo ANSYS, adquirido para realizar los cálculos, en los puntos ubicados según la figura que se muestra y que corresponde con una separación aproximada entre los cuerpos y los extremos de 3 m, ambas cargas separadas entre ellas 10 m en la línea de vida de 20 m de longitud total (que es la longitud que posee el invernadero de tipología multitúnel donde se ha decidido que será instalado el sistema anticaída para llevar a cabo las comprobaciones de resistencia.

Además, se establece a partir de la **Nota Técnica de Prevención 809 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT NTP809). Descripción y elección de dispositivos de anclaje** que los dispositivos deben ser al menos de **tipo D**, cuya norma reguladora es la UNE EN 795:2012. Se pretende emplear la pieza de tensado de cable que fue adquirida en el anterior proyecto aprobado en este sistema.

NORMA	DISPOSITIVOS DE ANCLAJE					
	795-A1	795-A2	795-B	795-C	795-D	795-E
SITUACIONES DE TRABAJO *						
Cubiertas / Tejados Inclinados	○	●		●	●	
Cubiertas / Azoteas planas	●			●	●	●
Puentes grúa	●			●	●	
Camino de rodadura	○			●	●	
Fachadas, exteriores de edificios	●			●	●	
Edificio en construcción	●			●	○	●
Grúas / Grúas torres	●			●	○	
Pozos, hornos, interiores de silos	●					
Silos exterior	●			○		○
Descarga cisternas, Trabajos sobre trenes	○			●	●	
Góndola de eólicos	●			●		
Torres de eólicos	○					
Panel publicitario	●			●	●	
Torres de telecomunicación	○					
Torres eléctricas	○					
Cintas transportadoras	●			●	●	
Maquinaria elevada	●			○	●	
Alas de avión	●			○	●	

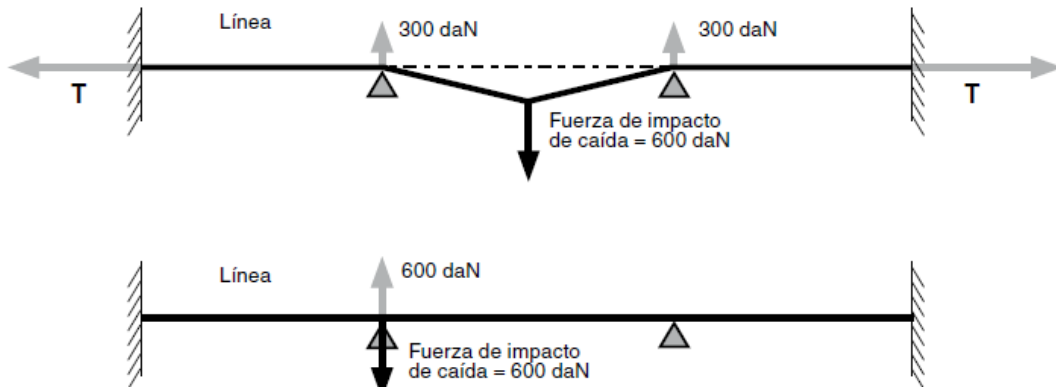
Analizando la tabla anterior, se puede observar que el tipo de anclaje que será empleado en este sistema de protección será el tipo 795-C.

El dispositivo de anclaje Clase C forma parte, al igual que los demás tipos de dispositivos de anclaje, de uno de los tres elementos fundamentales de la protección contra el riesgo de caída mediante protección individual; siendo los otros dos: los dispositivos de presión (arneses) y los elementos de conexión. Los tres elementos deben ser utilizados juntos, y cada uno de sus componentes deberá ser diseñado, fabricado, instalado y utilizado según la reglamentación vigente, prestando especial atención a la compatibilidad de equipos.

Los de clase C son dispositivos de anclaje que permite a un usuario equipado de un arnés y un equipo de protección, desplazarse a lo largo del recorrido del dispositivo de anclaje estando siempre conectado.

Con respecto al comportamiento mecánico de los dispositivos de anclaje clase C, en el apartado **3. PROYECTO DE INSTALACIÓN DE UNA LÍNEA DE ANCLAJE FLEXIBLE HORIZONTAL**, en el

subapartado **Factores Técnicos**, se establece que durante la caída, **la fuerza de impacto que llega al accidentado no puede ser mayor de los 600 daN**, siendo este valor sumamente importante a la hora de evaluar el correcto funcionamiento del sistema durante la fase de validación. En la siguiente figura se esquematiza el comportamiento mecánico del sistema de anclaje:



Finalmente, esta NTP (Norma Técnica de Prevención) en el apartado **Elección del equipo de conexión entre el arnés y la línea de anclaje**, establece que el equipamiento debe estar regulado según:

Elección del equipo de conexión entre el arnés y la línea de anclaje	
Equipo	Normativa
Absorbedores de energía	UNE-EN 355
Dispositivos anticaídas retráctiles	UNE-EN 360
Arneses	UNE -EN 361

- Actividad 1.2. Estudio de los distintos factores de influencia en el óptimo funcionamiento del sistema.

Desarrollo Actividad 1.2:

Una vez llevado a cabo el estudio de la normativa y estado de la técnica, partiendo de toda la información obtenida durante la Actividad 1.1, se estableció que los factores de influencia en el óptimo funcionamiento del sistema eran los recogidos a continuación:

Factor de influencia	Descripción
<b>Adaptabilidad</b>	Tanto la construcción como el mantenimiento de un invernadero debería seguir los mismos protocolos y medidas de seguridad que en una obra de ingeniería civil (RD 1627/1997) en la práctica estas no se cumplen, debido entre otras cosas, a la dificultad a la hora de la instalación de este tipo de dispositivos dentro de la estructura de un invernadero. Es por este motivo, que el sistema de línea de vida deberá tener de un diseño que permita su integración de manera orgánica dentro del conjunto estructural sin que su instalación conlleve el tener que realizar cambios drásticos a nivel constructivo en el invernadero.
<b>No restricción en la maniobrabilidad del personal de obra</b>	El sistema de sujeción mediante línea de vida no deberá dificultar o entorpecer en la ejecución de los trabajos en altura por parte del personal de obra, siendo por tanto necesario que se garantice la total movilidad y maniobrabilidad de los operarios.
<b>No restricción de maniobrabilidad en sentido transversal en cubierta</b>	El sistema debe permitir mediante la escalera dispuesta entre líneas de vida el movimiento transversal entre las líneas y soportar la carga del operario cuando se mueva a través de ellas.
<b>Facilidad para la instalación del plástico</b>	El sistema rotatorio deberá facilitar los trabajos en altura de extendido del material plástico así como minimizar el esfuerzo que deben realizar los operarios para el extendido del plástico de la bobina de cubierta.
<b>No suponga un aumento considerable en los tiempos de ejecución.</b>	Dada la estricta calendarización que presentan las labores de construcción y de mantenimiento de un invernadero, es de vital importancia que la adopción del sistema no suponga una mayor duración en los tiempos destinados para la ejecución de dichos trabajos, por lo que el cambio entre líneas de vida deberá ser un procedimiento rápido y sencillo que no suponga una pérdida de tiempo considerable.

Finalmente, en el **RD 773/1997** en el **ANEXO IV. Indicaciones no exhaustivas para la evaluación de equipos de protección individual**, en el apartado **9. Protectores con las caídas**, se muestran tabuladas las indicaciones que se deben llevar a cabo para una adecuada evaluación de los equipos de protección individual a emplear:

Riesgos que deben cubrirse		
<b>Riesgos</b>	Origen y forma de los riesgos	Factores que se deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
<b>Impacto</b>	Caída de altura. Pérdida del equilibrio.	Resistencia y aptitud del equipo y del punto de enganche (anclaje).

Riesgos debidos al equipo		
<b>Riesgos</b>	Origen y forma de los riesgos	Factores que se deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
<b>Incomodidad y molestias al trabajar.</b>	Diseño ergonómico insuficiente. Limitación de la libertad de movimientos.	Diseño ergonómico: Modo de construcción. Volumen. Flexibilidad. Facilidad de colocación. Dispositivo de presión con regulación automática longitudinal. Facilidad desplazamiento del operario en sentido transversal entre líneas de vida.
<b>Accidentes y peligros para la salud.</b>	Tensión dinámica ejercida sobre el equipo y el usuario durante el frenado de la caída.	Aptitud del equipo: Reparto de los esfuerzos de frenado entre las partes del cuerpo que tengan cierta capacidad de absorción. Reducción de la fuerza de frenado. Distancia de frenado. Posición de la hebilla de fijación.





	Movimiento pendular y choque lateral.	Punto de enganche a altura de los pies, anclaje.
	Carga estática en suspensión ejercida por las correas.	Diseño del equipo (reparto de fuerzas).
	Tropezamiento en el dispositivo de enlace.	Dispositivo de enlace corto, por ejemplo, reductor de correa, dispositivo anticaídas.
<b>Alteración de la función de protección debida al envejecimiento.</b>	Alteración de la resistencia mecánica relacionada con la intemperie, las condiciones ambientales, la limpieza y la utilización.	Resistencia a la corrosión. Resistencia del equipo a las agresiones industriales. Mantenimiento de la función de protección durante toda la duración de utilización.




<b>Riesgos debidos a la utilización del equipo</b>		
<b>Riesgos</b>	Origen y forma de los riesgos	Factores que se deben tener en cuenta desde el punto de vista de la seguridad para la elección y utilización del equipo
<b>Eficacia protectora insuficiente.</b>	Mala elección del equipo.	Elección del equipo en función de la naturaleza y la importancia de los riesgos y condicionamientos industriales: Respetando las indicaciones del fabricante (instrucciones de uso). Respetando el marcado del equipo (ej.: clases de protección, marca correspondiente a una utilización específica). Elección del equipo en función de los factores individuales del usuario.
	Mala utilización del equipo.	Utilización apropiada del equipo y con conocimiento del riesgo. Respetando las indicaciones del fabricante.

	Suciedad, desgaste o deterioro del equipo.	Mantenimiento en buen estado. Controles periódicos. Sustitución oportuna. Respetando las indicaciones del fabricante.







### Resultados



En base a los factores limitantes estudiados durante esta fase, se decidió que el sistema de líneas de vida estará formado por una serie de cables de acero alineados paralelamente a las correas de cubierta del invernadero de tipología multitúnel. Estos cables, irán tensados en ambos extremos de su longitud, que serán fijados a un sistema de tensionado de los mismos por los el terminal de regulación y fijación que irá mediante pieza homologada de línea de vida atornilladas al nuevo pilar anexo atornillado mediante placas al pilar frontal y arco de la estructura de forma que sea capaz de soportar toda la carga de caída.

Con respecto al equipamiento a emplear, en base a la información recopilada durante las dos primeras actividades, se optó por hacer uso de los siguientes dispositivos.

<b>Placas y postes de acero tratado</b>		
<b>Perfiles de sujeción y anexos a la estructura</b>	Perfiles soldados formados por perfil hueco cuadrado de dimensiones 80*80*3 mm y 80*80*2 mm.	
<b>Bridas de unión entre perfiles auxiliares y pilares frontales y subestructura de sujeción del sistema</b>	Bridas y placas de unión entre pilares frontales y perfiles auxiliares para atornillado	
<b>Anclajes</b>		
<b>Pieza de sujeción del cable</b>	Anclaje extremo.  Cumplimiento de normativa europea EN 795:2012	
<b>Cable de acero galvanizado y accesorios</b>		
Cable	Cable de acero galvanizado 7x19+0	



	<p>Ø10mm</p> <p>Cumplimiento de normativa europea EN 795:2012</p>	
Prensa	<p>Gaza prensada a guardacabos con casquillo.</p> <p>Cumplimiento de normativa europea EN 795:2012</p>	
Termigar	<p>Terminal para regulación y fijación de cables</p> <p>Cumplimiento de normativa europea EN 795:2012</p>	
Tapón	<p>Cápsula protectora para extremo de cables</p>	
<b>Tensores</b>		
Tenso HH	<p>Tensor de acero inoxidable horquilla-horquilla</p> <p>Cumplimiento de normativa europea EN 795:2012</p>	
<b>Arnés</b>		
Arnés MIRA 16	<p>Arnés con dos puntos de enganche (uno en la zona dorsal y otro en la zona esternal).</p> <p>Cuenta con dos puntos de regulación en las piernas.</p> <p>Herraje fabricado en acero inoxidable y acero galvanizado con bandas en cinta de 48 mm.</p> <p>Cumplimiento de normativa europea UNE-EN 361.</p>	
<b>Anticaídas retráctil de cinta</b>		

Dispositivo anticaídas MIRA HB	Dispositivo anticaídas retráctil de 2,5 metros con absorbedor de energía incorporado.  Cumplimiento de normativa europea UNE-EN 360.	
<b>Dummy</b>		
Ruth Lee Duty Range Training Manikin	Dummy homologado para ensayos de PRL	

- Actividad 1.3. **Diseño, cálculo y dimensionamiento de los diferentes elementos que constituyen el sistema de línea de vida.**

Desarrollo de la actividad 1.3.:

Debido a la normativa de aplicación que puede ser aplicada para la construcción de invernaderos y a los desarrollos existentes en el mercado que han sido evaluados en las actividades anteriores, así como al estudio del equipamiento que forma parte de medios de sujeción comerciales, como son el arnés anticaídas, el absorbedor de energía, mosquetón, etc. se plantea el cálculo del prototipo formado por los perfiles, pieza de anclaje homologada y línea de vida. Se dispondrá de un sistema de unión para cada línea de vida anclado al perfil auxiliar diseñado anexo a la

estructura del invernadero en la zona de los pilares frontales, la estructura diseñada está formada por dos pilares de dimensiones 180 mm de longitud formado por un pilar hueco cuadrado 80x80x2 mm en el caso del pilar ubicado en la zona más elevada y coincidente con la correa de cubierta, y 2 o 3 pilares oblicuos a ese pilar central de características 80x80x3 mm. En la zona superior de los pilares auxiliares dispuestos en la zona de la canal se dispondrá el sistema homologado de sujeción y tensión del cable. De igual forma, otro cable será dispuesto en el pilar auxiliar ubicado a la altura de la correa de cubierta de la ventilación del invernadero.

En este caso las 2 líneas de vida están sujetas a pilares anexos al invernadero, quedando la línea de vida en los dos casos por encima de la estructura del invernadero unos 40 cm de longitud, suficiente para el paso y desarrollo de trabajos del operario de forma transversal a través de la escalera que unirá ambas líneas de vida.

Para comprobar el sistema y los valores de esfuerzos, deformaciones o tensiones a los que se someten los pilares auxiliares de la estructura diseñada anexa al invernadero, así como el cable de 10 mm sobre el que caen 2 cuerpos de 83 kg de masa, se comprobará mediante el software de cálculo mediante el método de elementos finitos, se comprobará la flecha máxima del cable así como la estabilidad y resistencia de la estructura auxiliar con las cargas generadas a través del cable cuando caen los 2 cuerpos; para lo que se establecen los siguientes cálculos estructurales de momentos, tensiones y deformaciones para el sistema.

#### **Objetivo general del cálculo:**

El objetivo principal del cálculo mediante software especializado realizado a la estructura auxiliar del sistema anticaída, ha sido obtener los resultados de los esfuerzos y desplazamientos o deformaciones que provoca la carga aplicada debida a la caída de dos cuerpos en el mismo cable, así como la aceleración que dicho cuerpo sufre durante el proceso de caída. De este modo se podrá conocer si el sistema en su conjunto cumple los requisitos que se piden para formar parte del diseño de las líneas de vida que forman el sistema de protección de seguridad aéreo para su implantación en estructuras invernadas de tipología multitúnel.

#### **Diseño y cálculo de matricería:**

Para el cálculo del cable y del sistema auxiliar que se encuentra anexo en los dos frontales del invernadero, cuyo cometido es soportar la carga de dos cuerpos homologados de masa de 70 kg+peso extra hasta alcanzar los 85 kg, así como soportar el peso y momento generado por estas sobre él; se han llevado a cabo una serie de cálculos mediante el Software de diseño y cálculo industrial “Ansys”, el cual realiza los cálculos mediante el método de cálculo de elementos finitos.

#### **Datos iniciales introducidos al software de cálculo:**

Se detallan a continuación las propiedades físicas de los elementos que forman el sistema, los parámetros que utiliza internamente el software para el cálculo de las tensiones, así como las propiedades del material empleado:

**TABLA DEL MATERIAL EMPLEADO: AISI 316**

Se muestra a continuación en la tabla las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del material del que está formado el cable de acero inoxidable de 10 mm de sujeción del sistema:

**Propiedades Físicas**

Densidad (g cm <sup>-3</sup> )	7,96
Punto de Fusión (C)	1370-1400

**Propiedades Mecánicas**

Alargamiento (%)	<60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (J m <sup>-1</sup> )	20-136
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la Tracción (MPa)	460-860

**Propiedades Térmicas**

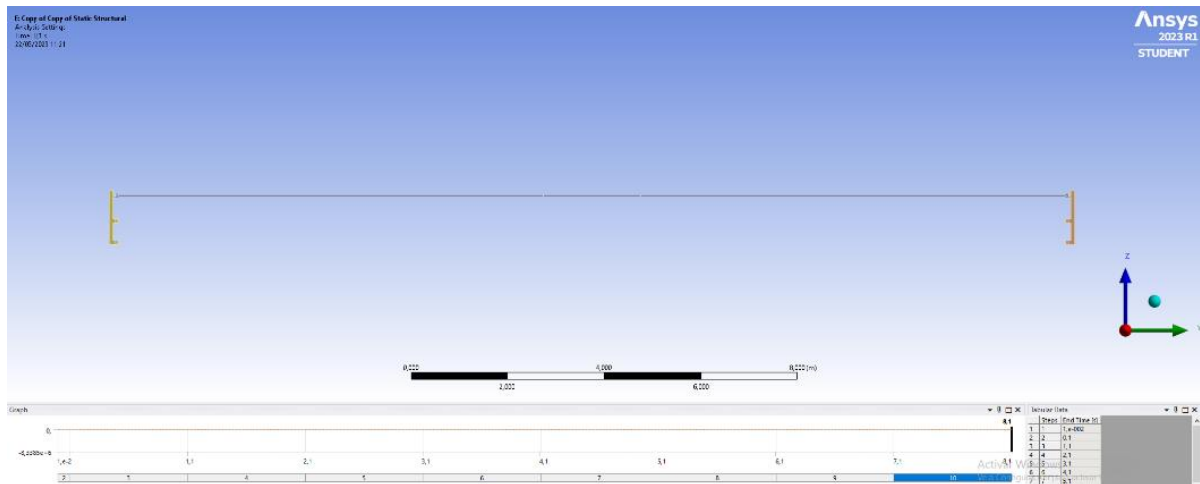
Calor Específico a 23C (J K <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	502
Coefficiente de Expansión Térmica @20-100C (x10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	16-18
Conductividad Térmica a 23C (W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	16,3

Los pilares que han sido empleados en los cálculos poseen como material acero estructural, S235. Para la pieza normalizada se ha empleado acero estructural para los cálculos del software.

## **SIMULACIÓN. CÁLCULO DEL SISTEMA GLOBAL DE LÍNEA DE VIDA**

En primer lugar se ha procedido a realizar los cálculos de resistencia, deformación del cable pilares auxiliares y pieza normalizada, para lo que ha sido considerado la globalidad del sistema anticaída de línea de vida, se han creado en 3 dimensiones todas las piezas que forman el sistema y han sido introducidas en el software de cálculo.

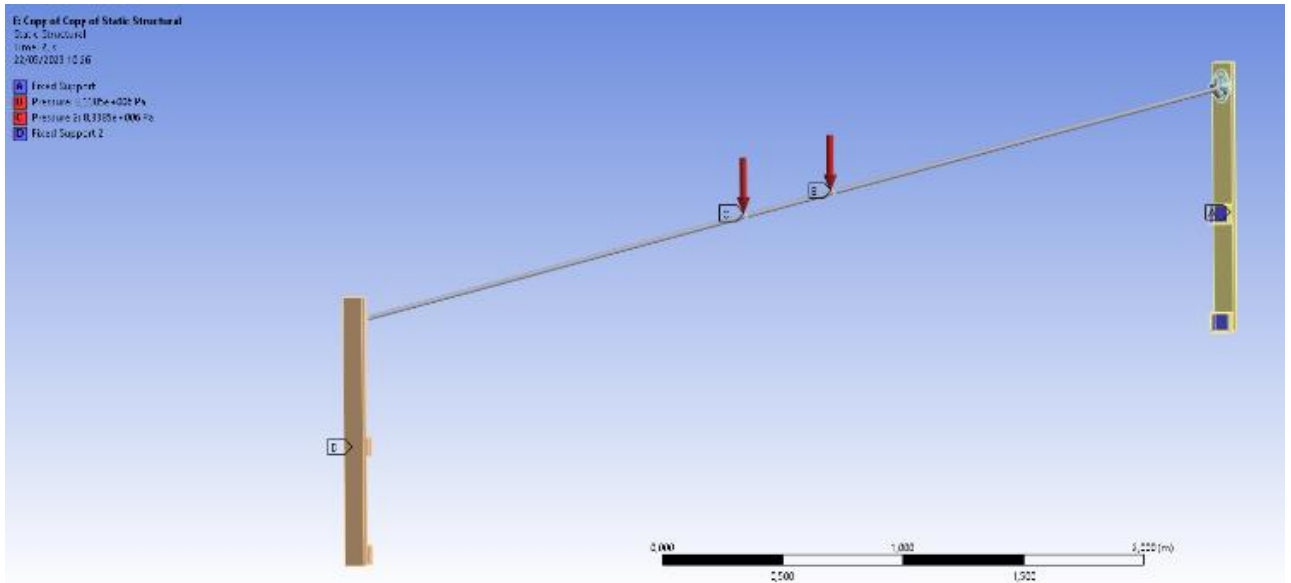
A continuación, se observa el sistema de soporte anticaídas una vez introducido en el software:



Una vez diseñadas las piezas que simulan el sistema anticaída se ha generado la malla para cada uno de los cuerpos que forman el sistema.

Se ha establecido para la ejecución de los cálculos, un modelo estático estructural en el que han sido fijadas las partes interiores de los extremos de los pilares anexos como soportes fijos al invernadero existente, permitiendo de esta forma que el resto del sistema formado por la parte superior del pilar auxiliar, pieza normalizada y cable se puedan deformar en su conjunto en función de la generación de esfuerzos y tensiones generados durante la caída de los dos cuerpos.

Se detallan a continuación las cargas aplicadas al cable, las cargas generales, los signos y los puntos donde han sido introducidas:



**Gravedad:**

Tipo de carga	Gravedad
Magnitud	9810.000 mm/s <sup>2</sup>
Punto (-Z)	General centrado diseño

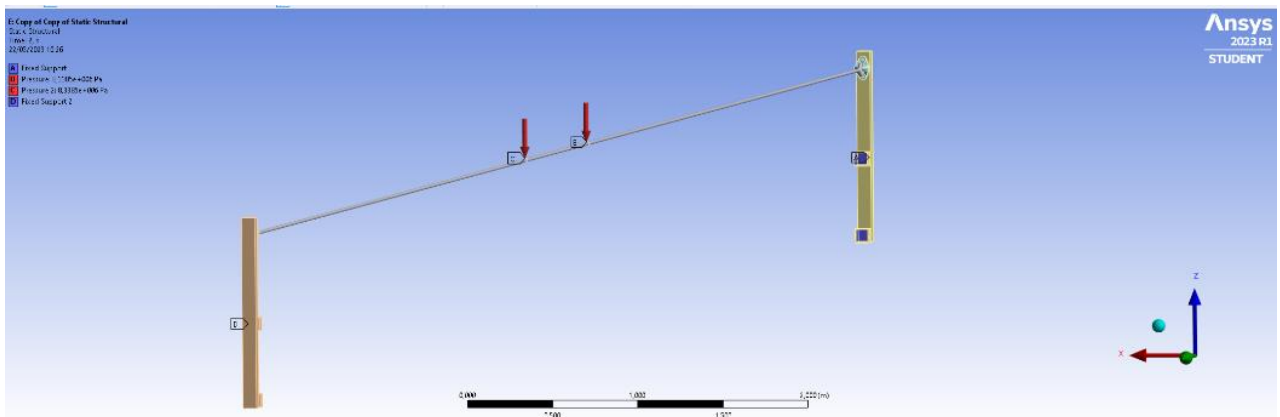


**Cargas de dos cuerpos de 85 kg distanciadas a 2 m:**

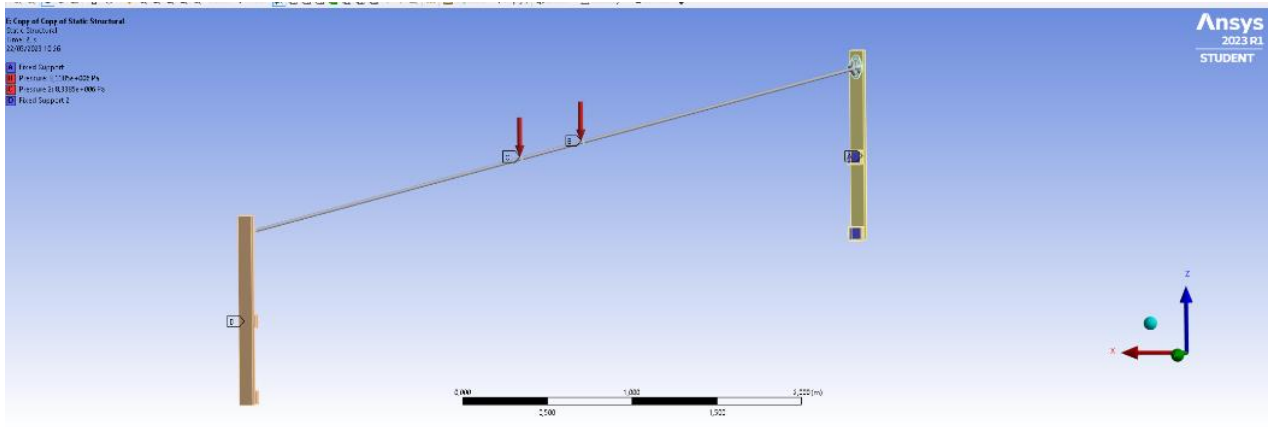
La presión introducida al software ha sido calculada a partir de la masa del cuerpo, de la aceleración de la gravedad y de la superficie de contacto entre el cable y el sistema de sujeción del cuerpo:

Tipo de carga	Presión
Vector X	0.000 Pa
Vector Y	0.000 Pa
Vector Z	-8.338.500 Pa y -8.338.500 Pa

Esta presión de caída debida a la gravedad ha sido aplicada en dos zonas del cable simétricas respecto al punto central del mismo y entre los dos apoyos de los extremos:



**Fuerzas aplicadas al cable:** A continuación, se muestran todas las cargas de presión que han sido aplicadas al cable en la zona de contacto de los cuerpos en el eje Z:



Se han establecido en ambos pilares auxiliares en las zonas de intersección con la estructura existente de invernadero puntos mediante soportes fijos.

### RESULTADOS

Se han establecido 15 pasos siendo el tiempo de cálculo total de 9,5 s. Una vez realizados los cálculos, han sido obtenidos los resultados del sistema. A continuación, se muestran los resultados en gráficos mostrando los datos más relevantes:

#### TENSION VON MISES (Equivalent stress):

En los siguientes gráficos se observan los resultados obtenidos de los cálculos donde la tensión de Von Mises es máxima y mínima:

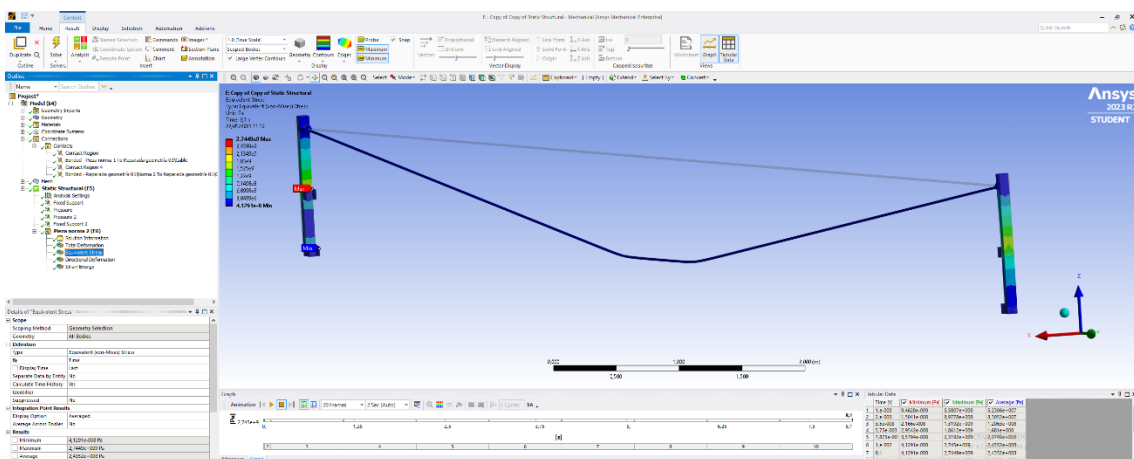


Tabla de resultados:

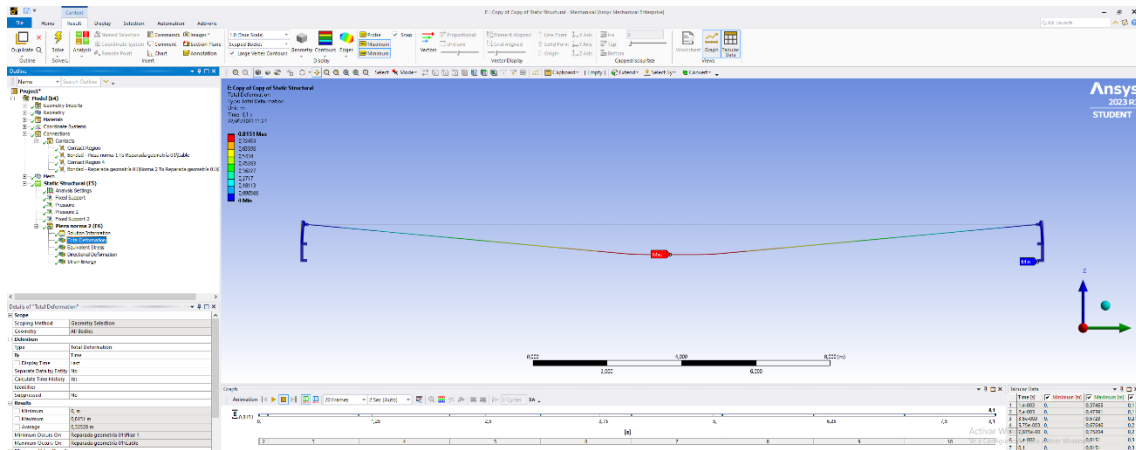
	Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1	5,00E-02	9,46E-09	5,58E+08	5,23E+07
2	0,1	1,50E-08	8,98E+08	8,31E+07
3	0,175	2,17E-08	1,32E+09	1,21E+08

4	0,2875	2,95E-08	1,86E+09	1,68E+08
5	0,39375	3,58E-08	2,32E+09	2,07E+08
6	0,5	4,13E-08	2,75E+09	2,44E+08
7	1,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
8	2,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
9	3,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
10	4,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
11	5,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
12	6,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
13	7,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
14	8,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08
15	9,5	4,13E-08	2,74E+09	2,44E+08

En la figura se observa la tensión equivalente de Von Mises; esta alcanza un valor máximo de 2,75 GPa < 190-210 GPa, por lo que no se alcanza ni supera el límite elástico y de rotura del cable de acero inoxidable de 10 mm en los puntos considerados de caída de los dos cuerpos separados a 2,00 m entre sí y a 9,00 m de cada uno de los extremos del cable.

**DEFORMACIÓN TOTAL:**

Se observan a continuación los resultados de los valores máximos y mínimos de la deformación global que sufre el sistema anticaída:



**Tabla de resultados:**

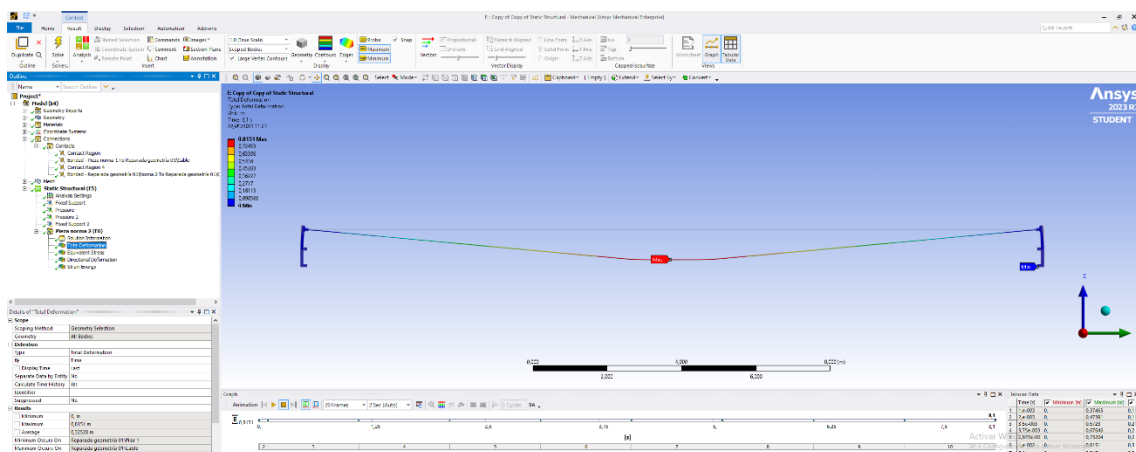
	Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1	5,00E-02	0	0,37465	0,1454
2	0,1	0	0,47391	0,18549
3	0,175	0	0,5723	0,22551
4	0,2875	0	0,67646	0,26814

5	0,39375	0	0,75204	0,29924
6	0,5	0	0,8151	0,32528
7	1,5	0	0,8151	0,32528
8	2,5	0	0,8151	0,32528
9	3,5	0	0,8151	0,32528
10	4,5	0	0,8151	0,32528
11	5,5	0	0,8151	0,32528
12	6,5	0	0,8151	0,32528
13	7,5	0	0,8151	0,32528
14	8,5	0	0,8151	0,32528
15	9,5	0	0,8151	0,32528

El desplazamiento máximo que sufre el sistema anticaída formado por pilares auxiliares unidos a la estructura del invernadero en 2 puntos conexiónados de los pequeños tramos de los pilares que sobresalen del pilar principal desde el frontal y final del túnel que forman el sistema al estar sometidas a la presión ejercida por los dos cuerpos de 85 kg generada por la caída de estos a la vez y a la fuerza de la gravedad; se observa que el desplazamiento máximo posee un valor de 0,8151 m en la zona central del cable, en la zona de contacto entre los cuerpos y el cable, donde ambos cuerpos caen. Se considera un valor aceptable, que se encuentra por debajo del valor del mínimo porcentaje de elongación del cable.

**DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN EJE Z**

Se observan a continuación los resultados de los valores máximos y mínimos de la deformación global que sufre el sistema anticaída en el eje Z:



**Tabla de resultados:**

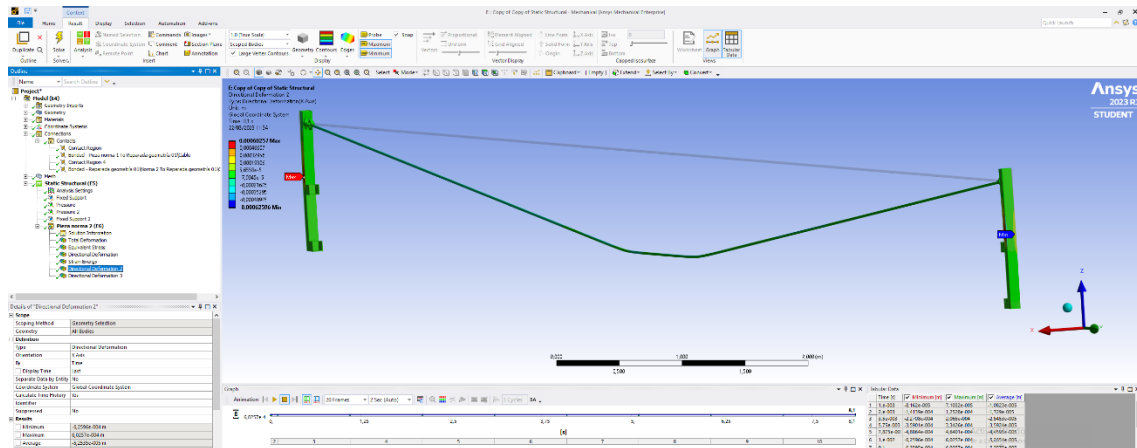
	Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1	5,00E-02	-0,37465	7,04E-04	-0,14474

2	0,1	-0,47391	1,09E-03	-0,18444
3	0,175	-0,5723	1,54E-03	-0,22396
4	0,2875	-0,67646	2,07E-03	-0,26596
5	0,39375	-0,75204	2,48E-03	-0,29652
6	0,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
7	1,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
8	2,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
9	3,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
10	4,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
11	5,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
12	6,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
13	7,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
14	8,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208
15	9,5	-0,8151	2,84E-03	-0,32208

El desplazamiento máximo que sufre el sistema global anticaídas en el eje Z se encuentra en la zona central del cable de 10 mm, en los 2 puntos de contacto del mosquetón del arnés de cada cuerpo de 85 kg; el desplazamiento máximo posee un valor de 0,8151 m en la zona central en los 2 puntos de contacto de caída de los cuerpos. Se considera un valor aceptable, que se encuentra por debajo del valor del mínimo porcentaje de elongación del cable. La elongación del cable en función de la longitud total del cable (que en este caso es 20 m) en % debe ser inferior a 60, por lo que cumple con lo establecido. Se considera por tanto el valor obtenido un valor óptimo.

**DESPLAZAMIENTO EJE X**

Se observan a continuación los resultados de los valores máximos y mínimos de la deformación que sufre el cable en el eje X:



**Tabla de resultados:**

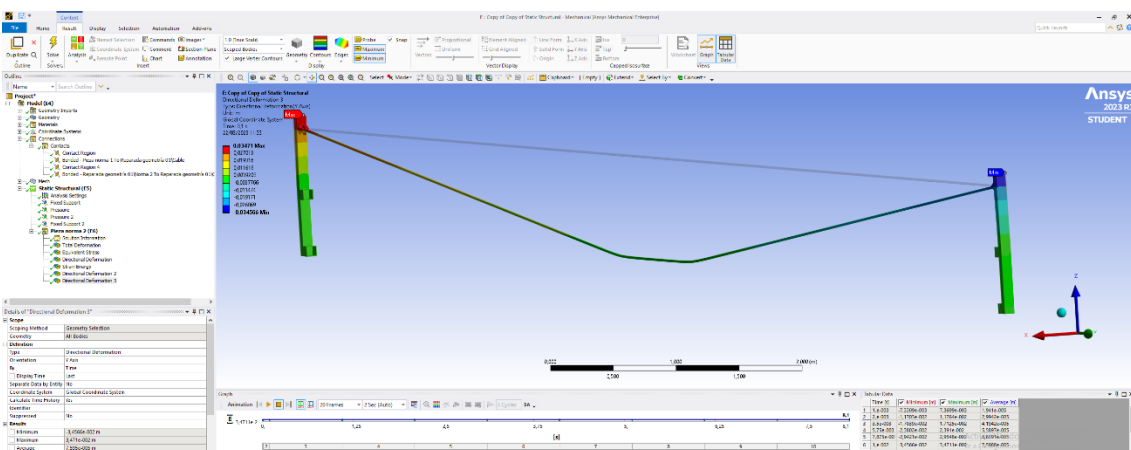
	Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
--	----------	-------------	-------------	-------------

1	5,00E-02	-8,16E-05	7,10E-05	-1,08E-05
2	0,1	-1,41E-04	1,25E-04	-1,73E-05
3	0,175	-2,27E-04	2,07E-04	-2,55E-05
4	0,2875	-3,59E-04	3,34E-04	-3,59E-05
5	0,39375	-4,89E-04	4,64E-04	-4,46E-05
6	0,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,27E-05
7	1,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,26E-05
8	2,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
9	3,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
10	4,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
11	5,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
12	6,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
13	7,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
14	8,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05
15	9,5	-6,26E-04	6,03E-04	-5,25E-05

El desplazamiento máximo en el eje X se produce en las zonas centrales del pilar auxiliar anexo a la estructura en la unión con el subperfil de unión en la zona superior de este siendo su valor de -0,00062596 m. El mínimo valor se muestra en la misma zona del pilar enfrentado. Se considera un valor despreciable.

### DESPLAZAMIENTO EJE Y

Se observan a continuación los resultados de los valores máximos y mínimos de la deformación que sufre el sistema anticaída en el eje Y:



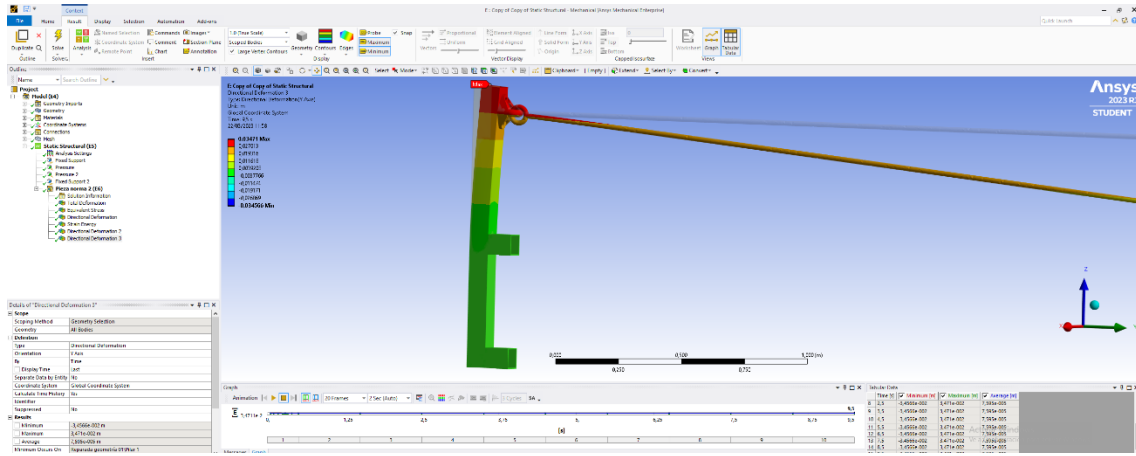


Tabla de resultados:

	Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1	5,00E-02	-7,33E-03	7,37E-03	1,94E-05
2	0,1	-1,17E-02	1,18E-02	2,99E-05
3	0,175	-1,70E-02	1,71E-02	4,19E-05
4	0,2875	-2,38E-02	2,39E-02	5,59E-05
5	0,39375	-2,94E-02	2,95E-02	6,66E-05
6	0,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
7	1,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
8	2,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
9	3,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
10	4,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
11	5,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
12	6,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
13	7,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
14	8,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05
15	9,5	-3,46E-02	3,47E-02	7,60E-05

El desplazamiento máximo y mínimo en el eje Y se produce en la zona superior del pilar auxiliar que forma el sistema siendo su valor de -0,0347 m. Se considera un valor aceptable.

**ENERGÍA DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA**

Se observan a continuación los resultados de los valores máximos y mínimos de la energía de deformación elástica que sufre el sistema anticaída:

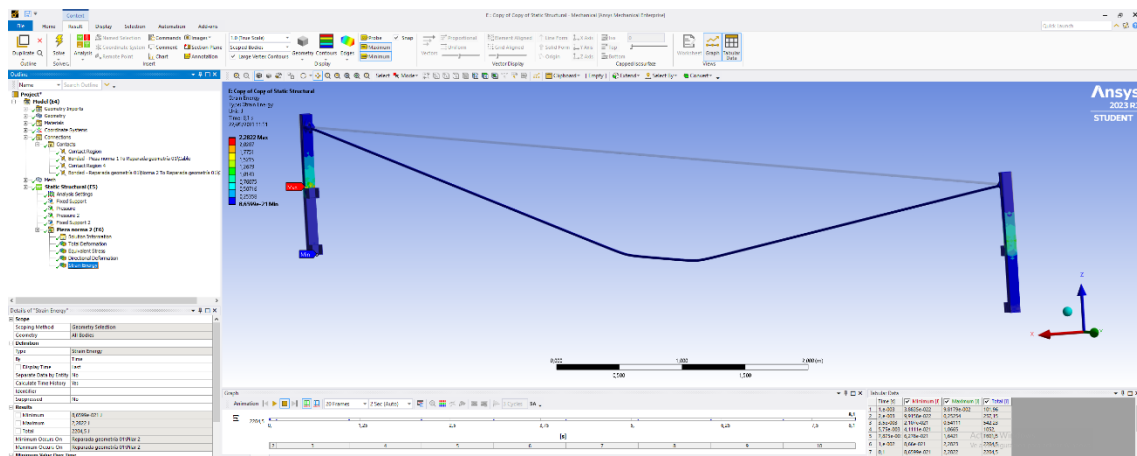


Tabla de resultados:

	Time [s]	Minimum [J]	Maximum [J]	Total [J]
1	5,00E-02	3,88E-22	9,82E-02	101,96
2	0,1	9,92E-22	0,25254	257,15
3	0,175	2,11E-21	0,54111	542,23
4	0,2875	4,11E-21	1,0665	1052
5	0,39375	6,28E-21	1,6421	1601,5
6	0,5	8,66E-21	2,2823	2204,5
7	1,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
8	2,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
9	3,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
10	4,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
11	5,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
12	6,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
13	7,5	8,66E-21	2,2822	2204,5



14	8,5	8,66E-21	2,2822	2204,5
15	9,5	8,66E-21	2,2822	2204,5

El valor máximo absoluto de deformación elástica se produce en la zona media del pilar auxiliar en la parte superior del tramo de pilar que se encuentra anexo a la estructura invernada, siendo su valor de 2,2822 J.

## **ACTIVIDAD 2. FASE DE PROTOTIPADO**

- **Desarrollo de la actividad 2.1: Desarrollo y testeo de prototipos a pequeña escala del sistema de líneas de vida completo y del sistema portante del material plástico.**

En el análisis han sido incorporados parte de los sistemas y equipamiento que serán objeto de la selección de los elementos que forman la línea de vida del sistema aéreo anticaída.

Del equipamiento que ha sido seleccionado, diseñado e introducido al software de cálculo simplificado, se ha estudiado la resistencia y estabilidad tanto del cable como de la estructura auxiliar global que forma el sistema, así como del método de montaje y piezas que formarán parte del sistema móvil entre cables, además del anclaje del sistema de giro para el material plástico.

Para poder desarrollar esta actividad se ha adquirido el material auxiliar necesario para el montaje entre perfiles de piezas sueltas y sistema de anclaje del sistema móvil transversal de sujeción, estos desarrollos se han analizado en prototipos que han ido adaptándose in situ.

Además, se ha procedido a equipar a los dos maniqués (ambos cuerpos homologados para ensayos de caídas de idénticas características) con los equipos ancaídas que han sido seleccionados de los existentes en el mercado y que fue seleccionado y definido en la actividad 1; un equipo formado por arnés anticaídas, mosquetón, absorbedor de energía, que se espera que absorba parte de la energía de impacto durante la caída del cuerpo, además del equipamiento que forman parte del nuevo sistema de línea de vida que han sido seleccionadas para la validación en campo en un prototipo de invernadero.

Una vez validado mediante software el sistema que se pretende implantar en el prototipo de campo, han sido adquiridos los elementos necesarios para realizar los ensayos, la sensorística así como pequeños elementos auxiliares de medida para el montaje de los sistemas de toma de datos que serán instalados en cada uno de los cuerpos. Durante el desarrollo de esta actividad se ha procedido a validar el lenguaje de programación mediante software para la toma de datos de los dos acelerómetros que serán implantados a cada maniquí, uno en la cabeza y otro en el abdomen. Se han buscado pesas para compensar la falta de peso de los maniqués hasta completar en cada cuerpo 85 kg.

A continuación, se muestran materiales y métodos empleados en la realización del software de toma de datos de la aceleración para los cuerpos.

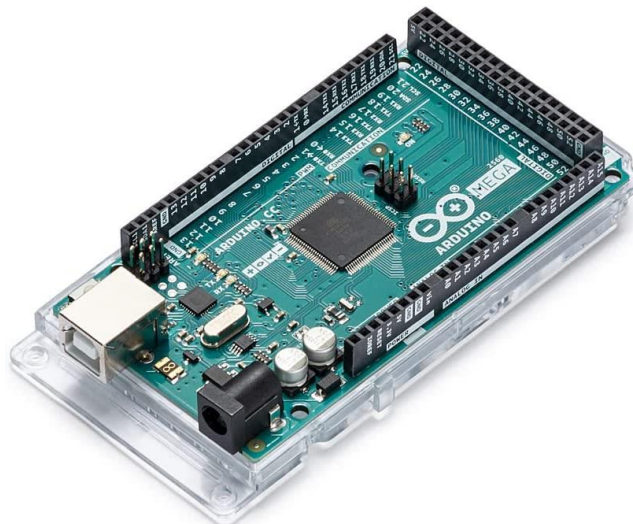
Para la toma de datos de la aceleración se han realizado una serie de pasos que han dado lugar al montaje de un dispositivo que facilitará este proceso. Obteniendo a partir de un código creado anteriormente se lleva a cabo la validación y ajustes del nuevo código de programación ejecutable para cada uno de ellos. Los pasos que se ejecutaron se describen a continuación:

- 1) En primer lugar, se hará una validación y montaje de dos acelerómetros. Para ello se necesitarán los siguientes elementos:

Para tomar los datos de fuerza máxima que soporta el cuerpo durante su caída, se han comprado las piezas necesarias para poner 2 acelerómetros en el cuerpo de cada maniquí; se pondrá un acelerómetro en la parte del abdomen del maniquí (que es la zona del cuerpo donde se observará la fuerza que el arnés transmite al cuerpo) y el otro acelerómetro se dispondrá en la cabeza de forma que se pueda ver la fuerza que es ejercida a la cabeza del cuerpo durante su caída.

Para el desarrollo del dispositivo acoplado al maniquí que se encargó de almacenar los datos de la caída en todo momento, se ha utilizado el siguiente material:

- **2 Arduino MEGA 2560 REV3:** Es el microcontrolador seleccionado para el desarrollo software del dispositivo encargado de tomar los datos de aceleración.



- **2 TP-Link:** Este módulo se utilizó conectado a arduino para el almacenamiento continuo de los datos en una tarjeta micro-sd durante el lanzamiento de los muñecos.

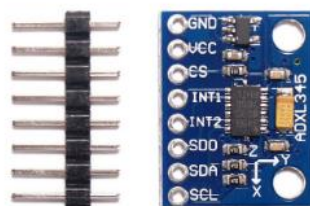


- **1 PHPoC:** Este modulo se utilizó como protector para Arduino.



El resto de materiales que se describen a continuación fueron reutilizados de ensayos anteriores:

- **Acelerómetro ADXL345:** Es un acelerómetro de 3 ejes pequeño, de baja potencia con mediciones de alta resolución (13 bits) de hasta  $\pm 16$  g. Los datos de salida digital están formateados como dos bits de 16 bits complementarios y son accesibles a través de una interfaz digital SPI (3 o 4 hilos) o I2C. Se han utilizado 4 módulos de esta placa para medir la aceleración dinámica resultante del movimiento o impacto. Dos por cada uno de los muñecos, uno para la cabeza y otro para la cintura.



- **Multiplexor I2C TCA9548A:** Este multiplexor de 8 canales permite usar dispositivos I2C con la misma dirección en los mismos pines SDA/SCL para la placa de Arduino.



- **Transformador Boost/Bust:** Es el convertidor encargado de tranformar a 5v la entrada de la batería.

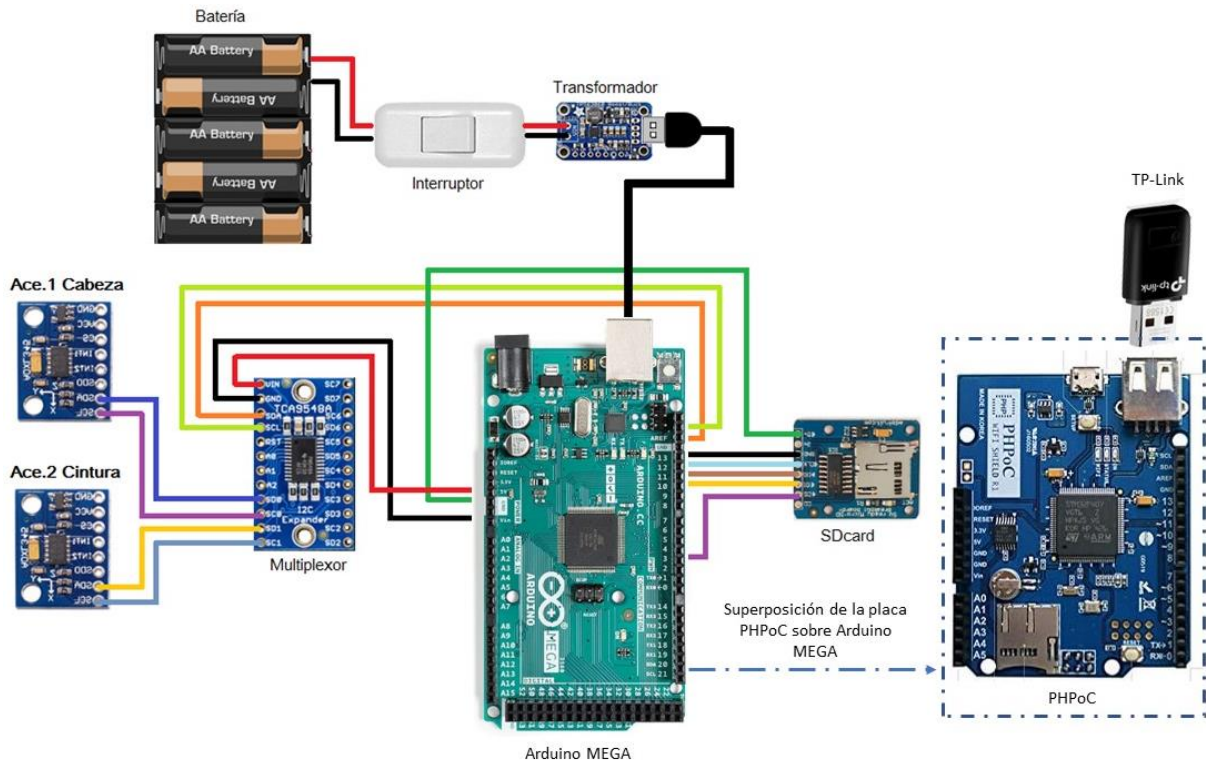


- **Batería:** La alimentación del dispositivo cuenta con un portapilas de 5 pilas AA de 1.5v cada una, lo que ha proporcionado 7.5v. De esta forma se ha obtenido un dispositivo independiente que puede instalarse en cualquier parte del muñeco.



A parte de estos materiales se han usado cables de conexión, un interruptor para activar la alimentación y una carcasa de protección donde se han integrado todos los componentes conexionados.

La configuración de la conexión resultante es la siguiente:



Para la toma de datos de la aceleración en la caída, hemos creado el siguiente programa en el IDE de Arduino llamado **acelerometros.ino**:

```

acelerometros Arduino 1.8.8
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
acelerometros
//Creado 22-04-2019
//Programa para la toma y escritura datos de aceleración en la caída

#include <Wire.h>
#include <ADXL345.h>
#include <Arduino.h>
#include <SD.h>

ADXL345 adx1; //variable adx1 is an instance of the ADXL345 library
ADXL345 adx2; //variable adx1 is an instance of the ADXL345 library

#define TCAADDR 0x70 // Se define la dirección del multiplexor
int x1,y1,z1;
int x2,y2,z2;

const int chipSelect = 4;

unsigned long previousMillis=0;

unsigned long currentMillis = millis();
unsigned long tiempo=currentMillis-previousMillis;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  adx1.powerOn();
  adx2.powerOn();

  //set activity/ inactivity thresholds (0-255)
  adx1.setActivityThreshold(75); //62.5mg per increment
  adx1.setInactivityThreshold(75); //62.5mg per increment
  adx1.setTimeInactivity(10); // how many seconds of no activity is inactive?

  adx2.setActivityThreshold(75); //62.5mg per increment
  adx2.setInactivityThreshold(75); //62.5mg per increment
  adx2.setTimeInactivity(10); // how many seconds of no activity is inactive?

  //look of activity movement on this axes - 1 == on; 0 == off
  
```

Arduino/Genuino Uno en COM41

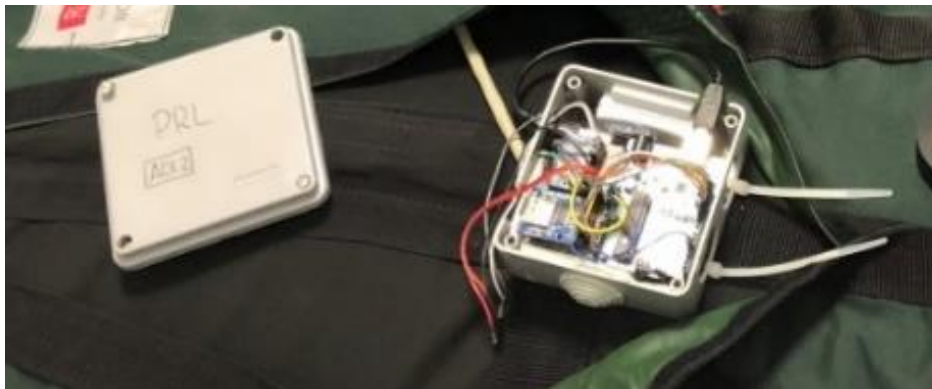
Dicho programa obtiene los datos de dos acelerómetros, uno situado en la cabeza que corresponde a la señal del dato y reloj (SD0, SC0) y el otro situado en el abdomen, para las señales (SD1, SC1). El multiplexor instalado gestionará la comunicación con uno y con otro dándonos la señal de dato y reloj común para ser interpretada por el código creado en Arduino.

A continuación, se muestran las imágenes de ambos dispositivos preparados para implantarlos en los maniqués:





*Imagen 01. Montaje final de los dispositivos para medir la aceleración de la caída*



*Imagen 02. Integración de los dispositivos independientes en cada uno de los muñecos*



*Imagen 03. Acelerómetro situado en la parte superior del muñeco (cabeza)*

Una vez dispuestos los dispositivos a ambos maniqués se procede a prepararlos para ser con los pesos que han sido considerados para realizar las pruebas de caída. En este caso se cargan con 15 kg extra mediante mochilas y pesas.



*Imagen 04. Maniqué con mochila y peso extra*



Además de los prototipos que formarán parte del cuerpo del maniquí o de los sistemas de toma de datos para poder tomar referencia del sistema, así como de la evaluación de la globalidad del equipamiento seleccionado, se han llevado a cabo pruebas de montaje y adaptación de ruedas para el sistema móvil. En las siguientes imágenes se observa el montaje y adaptación del sistema móvil:











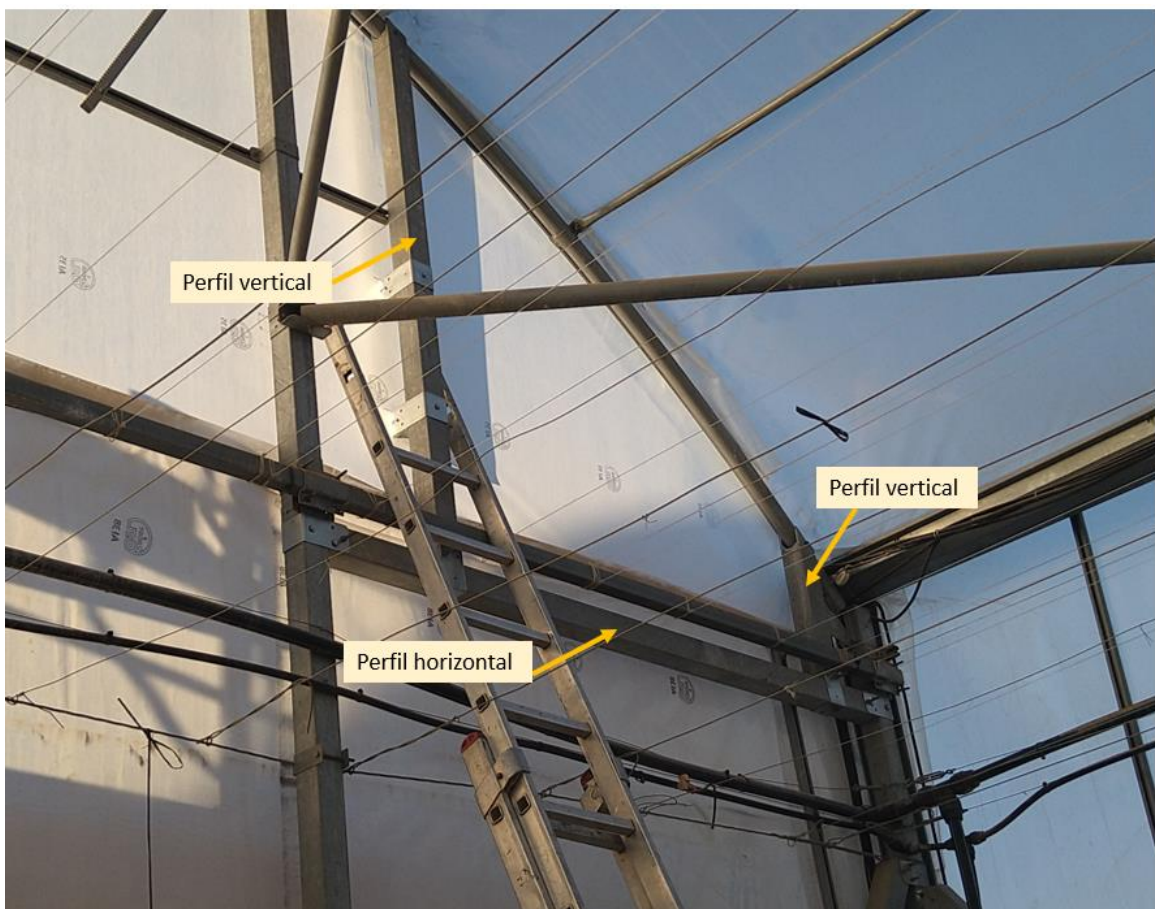
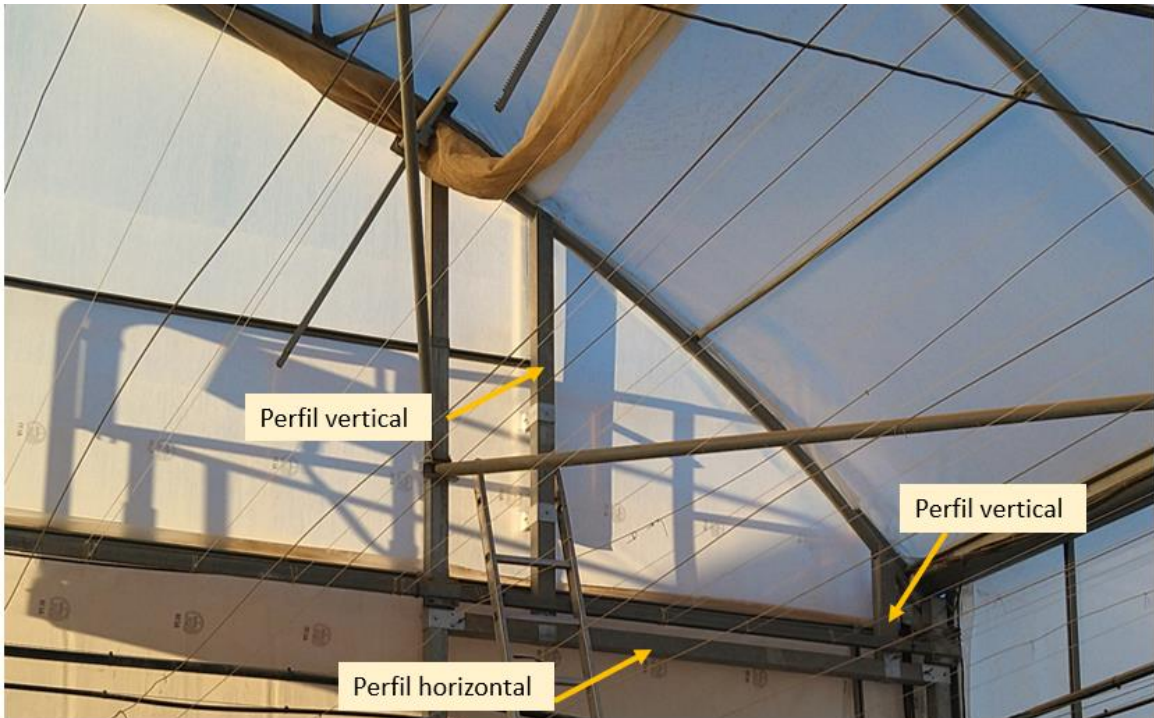
El prototipo está formado por 4 perfiles auxiliares ubicados a ambos lados de los 2 frontales de un invernadero multitúnel con 2 y 3 tramos de perfiles soldados a estos se servirán de nexo de unión a la estructura principal. A estos perfiles además se atornillarán los soportes homologados de línea de vida donde se unirán a los dos extremos cada cable que forma parte de la línea de vida.

Para la instalación de las líneas de vida sobre el prototipo, se ha estudiado desde el punto de vista de los materiales que suelen ser empleados en la construcción de invernaderos en mercado y en función de la experiencia técnica de la empresa de montaje de invernaderos que nos ha ayudado a la toma de decisiones y distribución de las líneas en los puntos clave considerados para su instalación así como la forma en la que deben ser instaladas para que en un futuro se puedan realizar labores de mantenimiento, en especial labores de cambio de plástico, sin que las líneas supongan un estorbo para el montaje de plástico u otras labores a realizar en cubierta y que además estén ubicadas en un lugar lo suficientemente accesible para que los operarios se puedan sujetar a las líneas de vida sin ningún problema.

Con anterioridad a proceder al montaje del sistema anticaídas, se observa por parte de la empresa de invernaderos la necesidad de adaptar la propia estructura del invernadero para poder instalar los perfiles auxiliares mediante bridas atornilladas del sistema anticaídas, debido a que el invernadero en el punto coincidente de la correa de cubierta no posee pilar frontal, se contempla la instalación por una parte de un perfil horizontal que une los dos pilares frontales del invernadero del arco, al que se atornillan mediante bridas 2 perfiles verticales, los cuales van dispuestos desde el perfil horizontal hasta el propio arco del invernadero en el eje de la canal y en el eje de la correa de ventilación cenital.

En la siguiente imagen se observan los perfiles auxiliares que han debido ser instalados como medio para la disposición para la posterior instalación del nuevo sistema anticaída:





*Imagen 01. Detalle montaje interior de perfil horizontal auxiliar y perfiles verticales para montaje de nuevo sistema anticaída.*

Se ha procedido al montaje de un sistema completo anticaída en la mitad de un arco multicapilla de un invernadero multitúnel. A continuación, se muestra el proceso del montaje del prototipo de sistema anticaídas, del sistema móvil trasversal y del sistema rotatorio para la instalación del nuevo material plástico de cubierta:

- a) Montaje de perfiles auxiliares del sistema anticaídas:



b) Montaje de piezas homologadas para sujeción del cable del sistema de línea de vida:



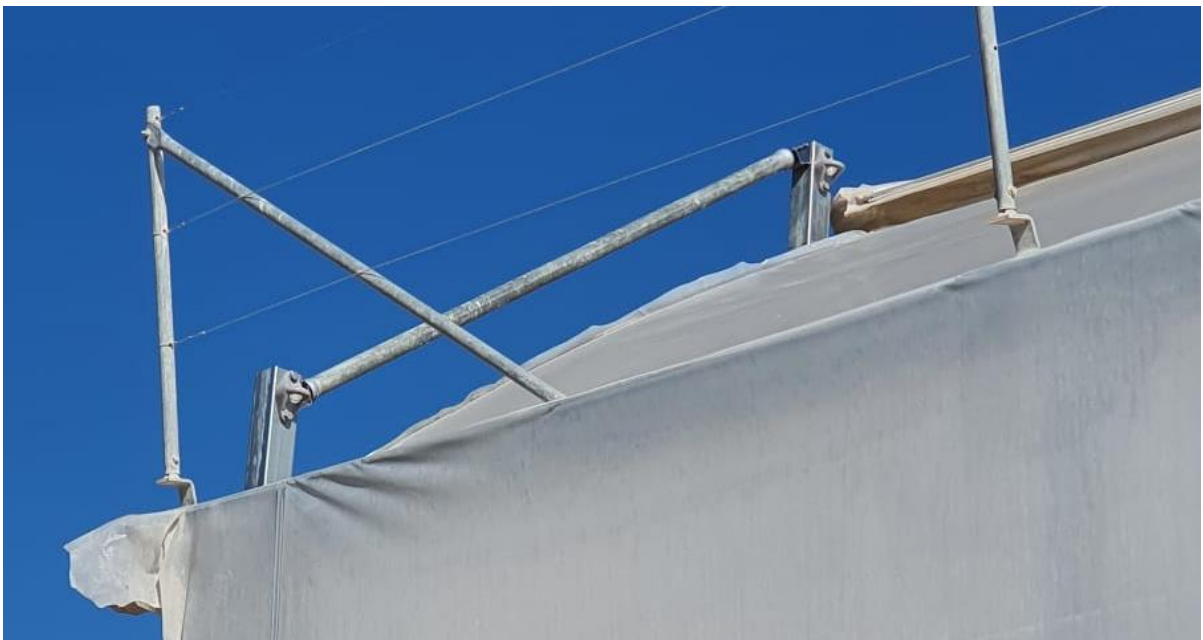




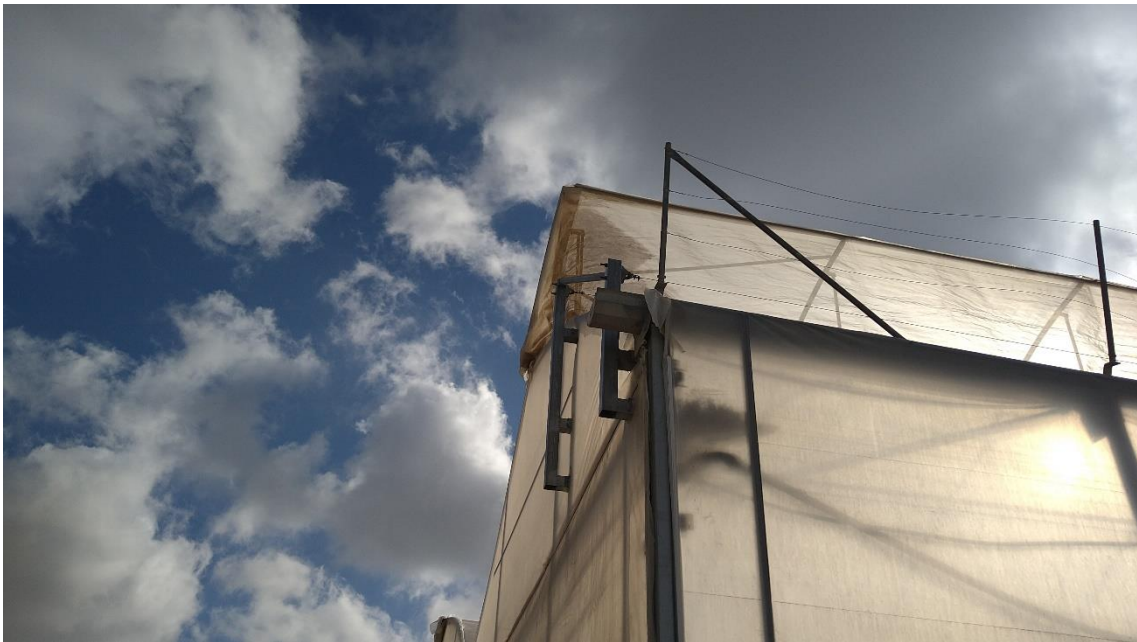




- c) Montaje del sistema rotatorio para despliegado de material plástico en frontal norte del invernadero:









- d) Una vez instalado parte del sistema anticaídas se ha procedido a instalar mediante equipos para el tensionado con tráctel del cable trenzado en primer lugar de 3 mm, (aunque los cálculos se han ejecutado para cable de 10 mm) debido a que la empresa de invernaderos ha solicitado expresamente llevar a cabo una primera prueba de resistencia con el cable de 3 mm, ya que este cable es el más empleado en la construcción de invernaderos.





Se empleará una plataforma elevadora de tijera con la que se puedan subir los dos maniqués, anclarlos mediante el equipo de seguridad adquirido para cada uno de ellos a la línea y dejarlo caer por su propio peso en dos puntos lo más separados que permita la plataforma, en este caso 2 m. Según indicaciones del personal especializado de la empresa subcontratada de invernaderos para asesorar tanto en la ejecución de los trabajos de instalación y montaje del prototipo y sistema anticaída, así como del equipamiento necesario en temas de prevención de riesgos laborales y como medidas de seguridad sobre las personas que van a realizar la subida y la caída de los dos maniqués, para subir los maniqués y dejarlos caer una vez situados en la zona de la banda del invernadero se ha planteado un sistema mediante polea con tiras y perfiles, de esta forma permite la subida de los maniqués de un a forma más eficiente y sencilla para el personal de invernaderos.

## **RESULTADOS**

Ha sido validado tanto el software de toma de datos como los acelerómetros que serán dispuestos a cada uno de los dos maniqués. Ambos sistemas han sido validados y funcionan correctamente.

Ha sido instalado con éxito el nuevo sistema de línea de vida, así como el sistema rotatorio de ayuda al extendido del plástico de la bobina y el sistema de paso transversal entre cables contiguos o paralelos de las líneas de vida al invernadero seleccionado, además de las piezas de tensionado de los cables que forman parte del sistema, y los propios cables que completan el sistema anticaída.



A partir de este momento se podrá comenzar con la fase de validación en campo.

### ACTIVIDAD 3. VALIDACIÓN EN CAMPO

- Desarrollo de la actividad 3.1: Validación en campo.

Para la validación en campo, una vez finalizado el prototipo de sistema anticaídas con pieza rotacional de ayuda al extendido del material plástico de cubierta y del sistema de paso transversal entre cables contiguos de líneas de vida con el material seleccionado, se ha procedido a disponer un andamio o plataforma elevadora de tijera 4x4 para poder cargar los dos maniquís, con la ayuda de la empresa colaboradora, que posee técnicos capacitados para realizar dichas labores, se ha procedido a instalar 2 perfiles huecos cuadrados en la plataforma con un sistema de polea en cada una de ellos mediante cintas de sujeción, que ayudará al operario a subir con facilidad al maniquí en cada caso, se posicionará de forma que los pies queden a la altura del perímetro del lateral del invernadero, para una vez posicionados proceder al lanzamiento de los dos maniquís en sus lugares establecidos, dejándolos descolgados de la línea de vida. La validación ha sido realizada en el lateral este del invernadero, ya que es el caso más desfavorable que podemos encontrar en cuanto al montaje de material plástico en el invernadero.

Para poder evaluar el funcionamiento de las líneas de vida, han sido elevados dos maniquís de 70 kg de peso cada uno de ellos (+ 15 kg en mochila), con un total del peso de cada uno de ellos de 85 kg, hasta la línea de vida ubicada en el eje de la canal del invernadero. Se han dispuesto dos personas en una plataforma elevadora, en ella se han colocado 2 perfiles y el sistema de poleas en cada uno de ellos, cargado los maniquís y se han elevado hasta conectarlos en dos puntos diferentes a través del mosquetón del dispositivo retráctil conectado a su vez al arnés a la misma línea de vida; se ha seleccionado este método para el descuelgue de los maniquís ya que la plataforma elevadora es la mejor opción desde el punto de vista de la seguridad para los trabajadores. De este modo y por estos motivos ha sido dispuesta una plataforma elevadora en la zona exterior de la línea, este método ha sido considerado la forma más fiable para realizar las pruebas sin que supongan un riesgo para el resto del personal de la empresa colaboradora durante el proceso de descuelgado de los maniquís.

Durante el ensayo de validación en campo, se ha procedido a realizar el descuelgue de los dos maniquís a la vez en la misma línea de vida separados físicamente en dos ensayos, por una parte en primer lugar se ha procedido a la simulación de la caída de ambos maniquís desde la canal sujetos por un cable de 3 mm y otro ensayo con cable de 10 mm. Han sido obtenidos valores de los acelerómetros, en este caso de los dos sensores que han sido instalados, uno en su cabeza y otro en el abdomen, en cada cuerpo de cada uno de los maniquís.

En cada caída se pretenden obtener los valores de aceleración que absorbe cada cuerpo en cada uno de los dos puntos donde se ubican los acelerómetros (cabeza y torso).

A continuación, se muestra el proceso de validación:

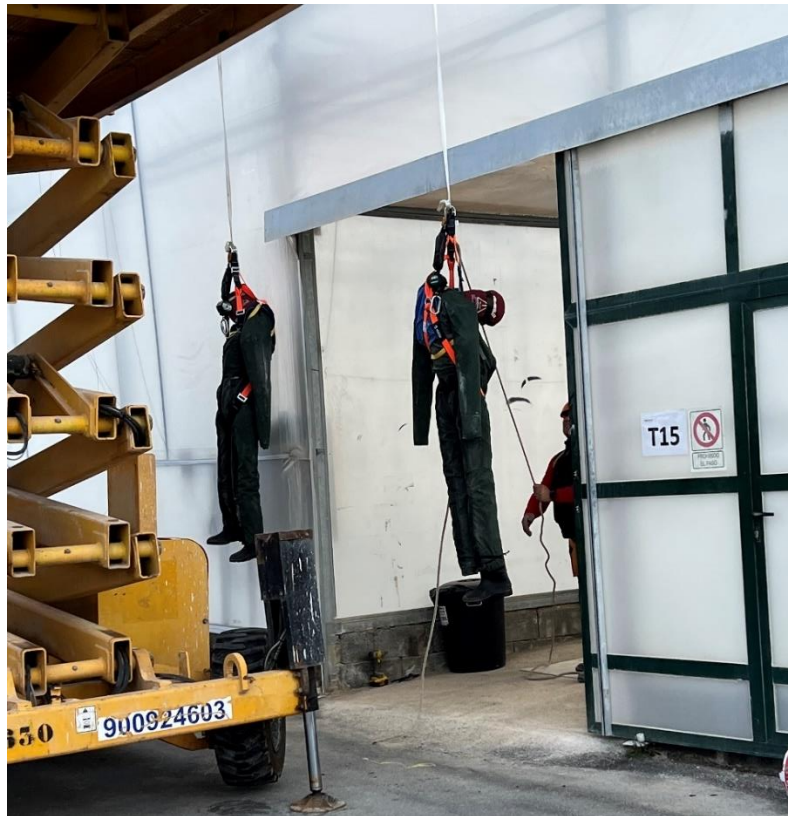
Caída de los dos maniquís desde la línea de vida ubicada en el eje de la canal lateral del sistema anticaída

La plataforma se ha instalado en la zona central del lateral este del invernadero, los dos perfiles se han ubicado en la plataforma para que en ese punto se suban y dejen caer los dos maniquís.

A continuación, se observan los pasos del proceso llevado a cabo en las dos de las caídas y las imágenes de la forma de caída de cada maniquí en el sistema sujeto mediante el arnés y el resto del equipamiento a la línea de vida aérea:

- Se ha procedido a subir con la plataforma elevadora a los dos maniquís hasta que se han apoyado las piernas de estos sobre el lateral del invernadero.





*Imagen 01. Elevación del maniquí hasta el lateral del perímetro del invernadero*





*Imagen 02. Disposición de los maniqués en la canal para ensayo con cable de 3 mm*

- Una vez que se encuentra el maniqué en posición y es asegurado a la línea de vida se coloca la altura de sus pies por encima de la línea de vida. Es en ese momento cuando se deja caer el cuerpo. En la siguiente secuencia de imágenes se observa la caída con cable de 3 mm a la que se someten los dos maniqués:















*Imagen 03. Secuencia de imágenes de caída de los dos maniqués desde la línea de vida del lateral del invernadero con cable de 3 mm trenzado*

- Caída de maniqués con cable de acero inoxidable de 10 mm: A continuación, se llevó a cabo la misma prueba de caída de los dos cuerpos pero se procedió al cambio del cable de 3 mm por un cable de 10 mm, en las siguientes imágenes se observa la secuencia de la caída:



























## RESULTADOS

Los datos que han sido obtenidos a partir de la caída de los maniqués desde el lateral del invernadero en la situación evaluada son los que se muestran a continuación:

### **Caída de los dos maniqués desde la línea de vida de 3 mm.**

Para realizar las pruebas se ha llevado a cabo 1 caída, realizada con una tensión a tracción del cable de aproximadamente 85 Kg considerada como la tensión de muestra óptima.

En este caso el cable se partió justo en la caída por lo que queda corroborado que ese cable no es válido para formar parte de un sistema anticaídas, aunque la carga de fábrica que es capaz de soportar el cable es de 1000 kg la realidad es que no es lo mismo cargar 1 cable con por peso fijo estable, que un peso de caída de un cuerpo, cómo ya se indicó en la propia memoria cuando un cuerpo cae la fuerza ejercida viene dada por su peso y la aceleración de la gravedad, además no es lo mismo 1 caída a una altura desde la misma canal cuando el cuerpo está sujeto al cable a la altura de 40 cm de la canal frente a alturas superiores por encima de su cabeza, ya que en este caso el factor de caída es 0 y en el caso que nos ocupa posee un valor 2.

### **Caída de los dos maniqués desde la línea de vida de 10 mm.**

Las partes aéreas de los equipos y materiales auxiliares que forman la globalidad de las líneas de vida han sufrido pequeñas deformaciones y desplazamientos, siendo estos irreversibles debido a que han girado sobre los perfiles interiores del invernadero, en concreto en la unión con el arco que ha sufrido el desplazamiento y ha generado que el resto del sistema sufra el mismo desplazamiento en la parte aérea exterior al invernadero. Aunque el sistema ha conseguido que ambos cuerpos no caigan al suelo ni se ha roto o desprendido ninguno de los sistemas y una vez finalizado el ensayo se volvió a fijar el sistema anticaída ya que no había zonas rotas o deformadas de forma permanente.

A continuación, se muestran las imágenes de los desplazamientos que han sufrido los perfiles auxiliares anexos a la estructura de invernadero existente en la línea del sistema en el que se ha llevado a cabo el ensayo de caída:











Este proceso de caída desde la canal se ha llevado a cabo 1 vez. El único punto que ha sufrido daños ha sido la zona superior del perfil auxiliar, sufriendo éste un desplazamiento hacia el interior del sistema debido a las cargas sufridas y al propio desplazamiento del arco del invernadero donde se había establecido un punto de conexión con el sistema.

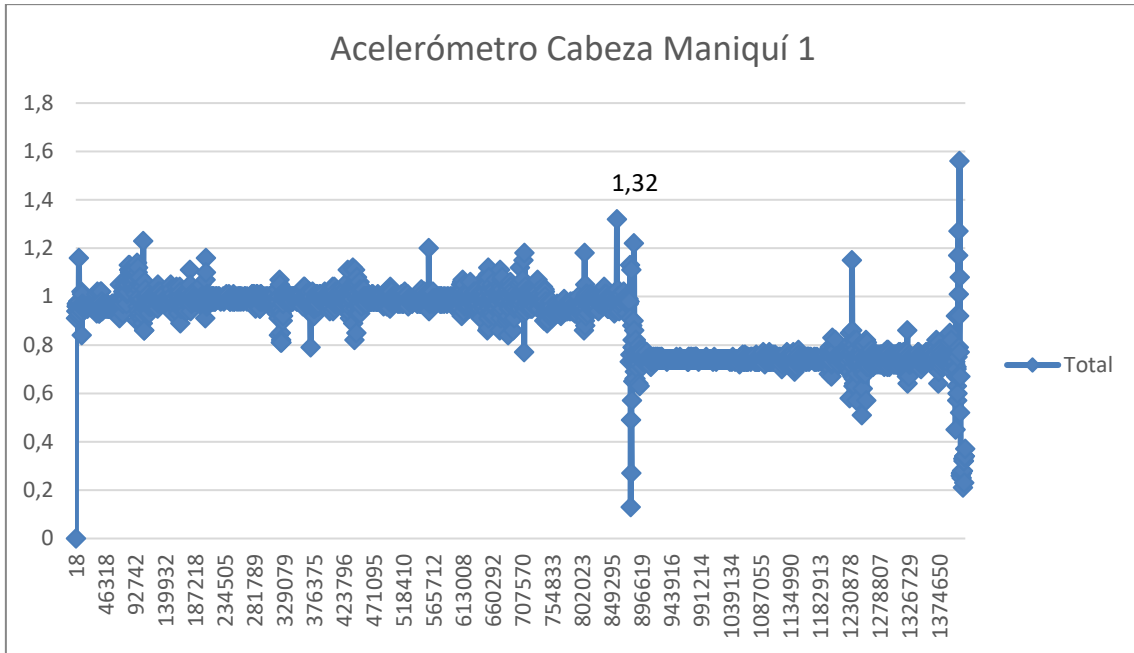
Para el ensayo han sido nombrados los dos maniqués como 1 y 2, la distancia que ha sido medida en el proceso de comprobación en la caída de los cuerpos ha sido la distancia al suelo desde la parte inferior del cuerpo, siendo estos valores en el 1 de 1,23 m y en el 2 de 1,18 m de distancia libre hasta el suelo. Si se contempla que la fecha para el maniquí 1 es de 0,613 m y para el maniquí 2 es de 0,638 m.



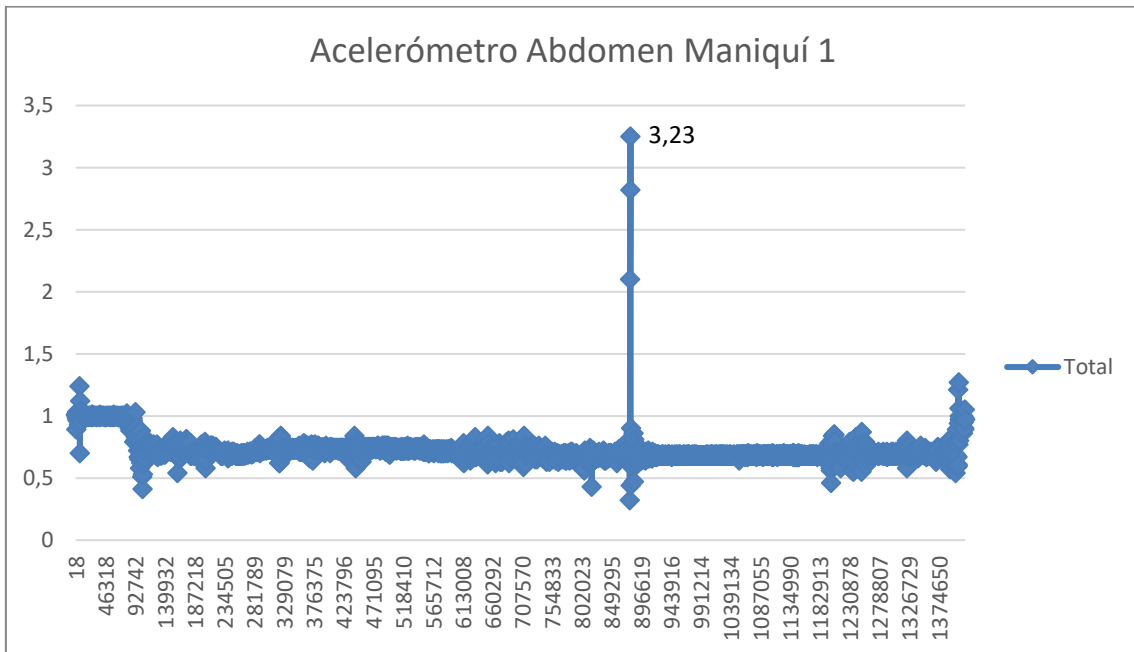
Los resultados obtenidos a partir del tratamiento de los datos registrados por el acelerómetro situado en la cabeza y en el abdomen del maniquí 1 se muestran a continuación:

Gráfico resumen de datos del acelerómetro ubicado en la cabeza del Maniquí 1:





**Caída número 1 (Valor máximo)**

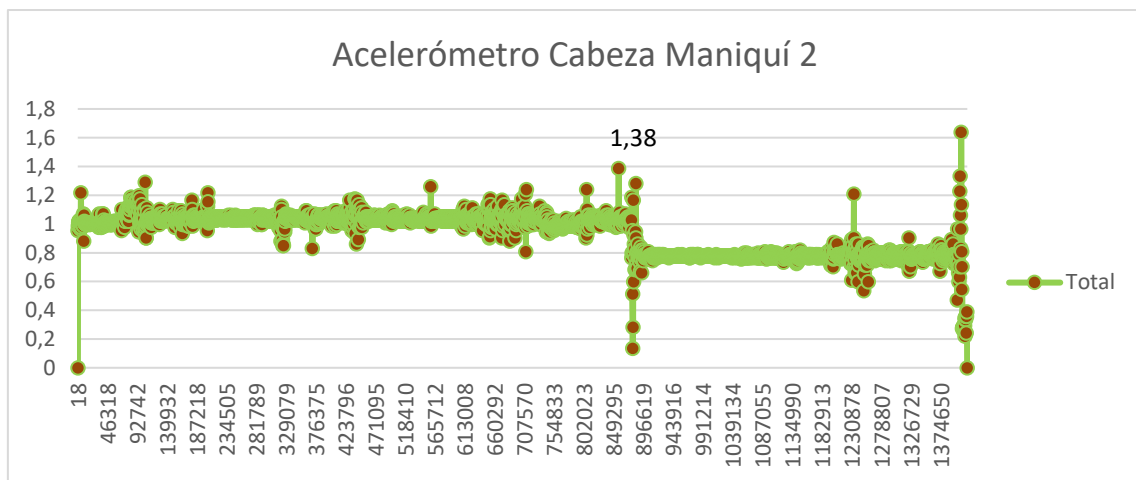


**Caída número 1 (Valor máximo)**

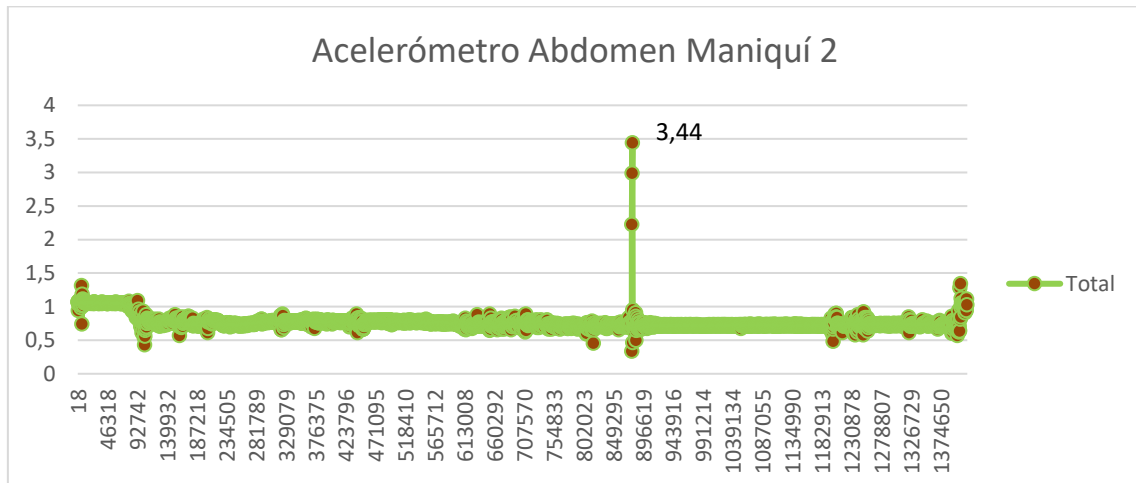
Aceleración Cabeza (G)	Aceleración Abdomen (G)
1,32	3,23

Como se muestra en los gráficos y en la tabla los valores máximos obtenidos tienen un valor de 3,23 G y se alcanzan en la zona del abdomen. La aceleración que se observa en la zona de la cabeza del maniquí resulta hasta un 60% inferior.

Gráfico resumen de datos del acelerómetro ubicado en la cabeza del Maniquí 2:



**Caída número 1 (Valor máximo)**



**Caída número 1 (Valor máximo)**

Aceleración Cabeza (G)	Aceleración Abdomen (G)
1,38	3,44

Como se muestra en los gráficos y en la tabla, los valores máximos se alcanzan en la zona del abdomen, siendo este valor de 3,44 G. La aceleración que se observa en la zona de la cabeza posee un valor máximo inferior al 60% del que se encuentra en el abdomen.

Tabla resumen de datos obtenidos e incidencias observadas durante la caída:

Número de caída//Número maniquí	Cable tipo	Flecha (m) 1	Distancia al suelo (m)	INCIDENCIAS/ OBSERVACIONES
C1/ M1 Y M2	3 mm	0	0	En este caso el cable se parte justo en la caída. La estructura no sufre ningún daño.
C2/ M1	10 mm	0,613	1,23	-
C2/ M2	10 mm	0,638	1,18	-

Después de realizar el ensayo de caída de los maniqués se procedió a evaluar el sistema de movimiento entre cables y el sistema rotatorio de ayuda al extendido del plástico.

#### Validación del sistema de extendido del material plástico:

En primer lugar, se procedió a quitar el material plástico de cubierta del tramo existente entre las 2 líneas de vida que forman el sistema anticaída. Una vez quitado el material plástico se procedió a disponer en el suelo el sistema habitual que los operarios que extienden el plástico emplean para el extendido.



Inmediatamente después se procedió a disponer el andamio en la zona sur del invernadero para subir de forma segura a los operarios a la canal y correa y proceder al extendido del nuevo plástico.

En las siguientes imágenes se observa cómo se llevan a cabo los trabajos de quitar el plástico:





En las siguientes imágenes se observa el extendido mediante el nuevo sistema de ayuda giratorio del material plástico de cubierta:















**Validación del sistema móvil entre líneas de vida:**

En las siguientes imágenes se muestra cómo un operario sube por el sistema móvil desde la canal hasta la siguiente línea de vida:















### **3. CONCLUSIONES**

#### **Conclusiones obtenidas de la actividad 1:**

La evaluación de los distintos materiales y métodos empleados en la construcción de invernaderos ha permitido determinar los pilares y piezas que formarán parte de la estructura y qué diseño será dispuesto al sistema.

El estudio de la normativa y el estado de la técnica en lo referente a los dispositivos de prevención de riesgos laborales ha permitido establecer un enfoque sobre qué legislación regula cada uno de los distintos elementos de los que consta, así como disponer de un conocimiento general sobre los dispositivos a emplear y metodología a seguir.

De los resultados obtenidos de la simulación llevada a cabo, tanto la tensión de Von Mises así como de las deformación global y parcial, y en cada uno de los ejes que forman cada uno de los dos sistemas en su caso más desfavorable, tanto el sistema anticaída como el propio cable cumplen con los valores de límite elástico y de rotura y de máxima elongación establecidos en la tabla de propiedades mecánicas del material que será empleado en el diseño del prototipo para realizar la validación en campo.

#### **Conclusiones obtenidas de la actividad 2:**

No se han presentado imprevistos a la hora de construir el sistema anticaída, así como el equipo que ha sido atornillado tanto a los pilares estructurales de los frontales del invernadero como a los arcos del mismo, no se ha visto inconvenientes tampoco en la instalación de los cables y el resto de materiales que forman la globalidad del sistema.

El software y sistemas desarrollados para la toma de datos, tanto para el esfuerzo generado por la caída de los dos cuerpos como para la aceleración que absorbe cada cuerpo en su caída, han sido validados en el prototipo. Por lo que se pudo dar paso a la fase de validación en campo.

### **Conclusiones obtenidas de la actividad 3:**

Respecto a la línea de vida instalada entre frontales del invernadero, se ha comprobado que soporta al menos 1 caída de dos cuerpos de 85 kg, el cable de 10 mm no ha sufrido daños de rotura ni se observan deformaciones plásticas; además las piezas que forman el sistema de línea de vida, los pilares auxiliares y refuerzos tampoco han presentado deformaciones ni roturas; exceptuando el problema generado en la unión del pilar auxiliar con el arco del invernadero; este problema se observa que puede ser debido a que el anclaje debería ser más resistente o se debería disponer de un refuerzo capaz de contrarrestar el esfuerzo ejercido por la caída de los 2 maniquís, por lo que se recomienda para futuras actuaciones como mejoras al sistema disponer de refuerzos al arco.

Por estos motivos se establece que el sistema de línea de vida auxiliar a invernaderos de tipo multitúnel funciona para un solo y único uso en principio, es decir, es capaz de soportar la carga de dos cuerpos de 85 Kg cada uno de ellos en una caída simultánea de uno de los laterales desde la canal.

Se observa que los datos obtenidos de los acelerómetros registran un máximo durante la caída en el zona abdominal con valor de 3,44 g. La fuerza de aceleración que sufre el cuerpo, viene dada en "g", que será positivo en caso de que sea en sentido ascendente y negativos si es en sentido descendente, hay que considerar que los datos máximos obtenidos son datos positivos, esto indica que el cuerpo debe soportar 3,44 g positiva, es decir, 3,44 g vertical ascendente (sentido contrario a la caída), se debe a la aceleración que sufre el cuerpo a través del arnés o equipo anticaidas justo en el momento de impacto en el que el cuerpo deja de caer o es parada su caída por dicho equipo, en este sentido un cuerpo no preparado físicamente es capaz de soportar según bibliografía hasta 6 g positiva; lo que significa que cumple y que el cuerpo es capaz de soportar dicha aceleración.

Además, se observa que el sistema deberá ser revisado en cuanto a uniones que deben establecerse entre los pilares auxiliares y la unión a la estructura, en concreto al arco. En el resto del sistema de la línea de vida y los propios pilares auxiliares y piezas que forman el sistema no se observan deformaciones plásticas ni roturas, tanto el cable que se volvió a tensar una vez finalizó el ensayo como el sistema de pilares auxiliares/arco que se volvieron a disponer en su lugar no mostrando deformaciones plásticas irreversibles.

El equipamiento ha permitido en cada caso que el cuerpo nunca llegue a tocar con el suelo, por lo que el sistema salvaría la vida de las dos personas de 85 kg.

El sistema de paso móvil entre líneas de vida permite la movilidad segura entre ellas y soporta la carga de un operario mientras sube o baja por el sistema móvil.

Respecto al sistema de ayuda la extendido del material plástico, se observa que mejora en parte su extendido, facilitando el mismo, pero se observa que podría mejorarse ya que al tener cierta pendiente el plástico se desplaza por gravedad a la zona de menor altura lo que no es conveniente.

**En este caso de línea de vida mediante perfiles auxiliares en los frontales anexos al invernadero existente, el sistema de ayuda al extendido plástico y el sistema móvil entre líneas de vida para este tipo de invernaderos suponen un medio de seguridad en el trabajo validado para los trabajos a realizar en altura en invernaderos siendo estas de un solo uso, aunque la unión de anclaje entre le pilar auxiliar y el arco del invernadero deberá ser reforzada y el sistema de extendido de plástico mejorado.**