

MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN
DEL PROYECTO DE REFERENCIA PII2019SC0011
(ANEXO A ANEXO I)

TÍTULO DEL PROYECTO:

**DISEÑO SISTEMAS DE PROTECCIÓN CAÍDAS EN ALTURA
INVERNADEROS TIPO ALMERÍA**

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

JOSÉ PÉREZ ALONSO

MANUEL LÓPEZ GODOY

ANA ARACELI PEÑA FERNÁNDEZ

ÁNGEL JESÚS CALLEJÓN FERRE

CRISTOBAL VALVERDE LÓPEZ

ISABEL ROSA MENA NAVARRO

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	18/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 19/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. ANTECEDENTES	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	12
1.3. HIPÓTESIS	13
1.4. OBJETIVOS	13
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. NORMATIVA Y TRABAJOS CIENTÍFICOS PARA LA PREVENCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA DE INVERNADEROS	17
2.2. ESTADO DE LA TÉCNICA: PATENTES	23
3. METODOLOGÍA	25
3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	26
3.2. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN LOS INVERNADEROS	26
3.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADEROS	28
3.4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA DE LOS INVERNADEROS	28
3.5. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN IMPLEMENTADOS	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. ALTERNATIVAS GENERADAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN EL INVERNADERO	33
4.2. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADERO GENERADOS	36
4.2.1. LÍNEA DE ANCLAJE FLEXIBLE HORIZONTAL	36
4.2.1.1. Prescripciones Norma EN 795	36
4.2.1.2. Funcionamiento del sistema	40

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	20/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4.2.1.3. Prediseño del cajetín	47
4.2.2. SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE (SSPB)	48
4.2.2.1. Prescripciones Norma UNE EN 13374:2013 + A1	48
4.2.2.2. Prediseño de la barandilla de protección de “clase B”	55
4.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADERO GENERADOS	56
4.3.1. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)	56
4.3.2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE LÍNEAS DE VIDA	62
4.3.2.1. Resultados (EN 795:2012)	77
4.3.2.2. Ensayo dinámico	81
4.3.3. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE BORDE	85
4.3.3.1. Resultados (UNE EN 13374:2013 + A1)	87
4.3.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDA DE LOS TRABAJADORES SOBRE LA MALLA DE ALAMBRE DE LA CUBIERTA	89
4.3.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS	95
4.3.5.1. Sistema de línea de vida	95
4.3.5.2. Sistema de protección de borde	95
4.3.5.3. Estudio comparativo de la disminución del coste del sistema de líneas de vida en invernaderos de mayor superficie	96
4.3.6. SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS	97
4.4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN SELECCIONADOS	97
4.4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE LÍNEAS DE VIDA	97
4.4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE BORDE DE BARANDILLAS..	97
5. CONCLUSIONES	103
6. REFERENCIAS	107

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	21/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo 3D del invernadero U7 tipo ‘raspa y amagado’	33
Figura 2. Alternativa sistema de protección de borde.....	354
Figura 3. Detalle de fijación barandilla perimetral.....	365
Figura 4. Alternativa dispositivos de anclaje.....	345
Figura 5. Alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha) para el cajetín.	356
Figura 6. Esquema de dispositivo de anclaje tipo C (EN 795, 2012).	37
Figura 7. Funcionamiento del sistema de protección contra caída (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2009).	37
Figura 8. Componentes del dispositivo de anclaje tipo C (MultiGarben, 2018).	38
Figura 9. Posiciones en los que se lleva a cabo los distintos estudios (adaptación de EN 795 (2012)).	40
Figura 10. Esquema de fuerzas entre dos anclajes (Línea Prevención, 2020).	41
Figura 11. Disminución de la flecha debido a la instalación de anclajes intermedios (Línea Prevención, 2020).	41
Figura 12. Esquema arriostramiento mediante cables (adaptación de Aroca (2010)).	42
Figura 13. Arriostramiento del sistema línea de vida en invernadero U7 (cable rojo – tensor y cable azul – línea de vida)	43
Figura 14. Diagrama tensión – deformación del cable de arriostramiento (Aroca, 2010).	44
Figura 15. Factores de caída (Línea Prevención, 2020).....	46
Figura 16. Parámetros para el cálculo de la distancia de seguridad (adaptación de MultiGarben (2018)).	47
Figura 17. Dispositivo de anclaje solapado al pie derecho (alternativa 1)	47
Figura 18. Dispositivo de anclaje e instalación en cubierta (alternativa 2).	48

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	22/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Figura 19. Clases para el uso en diferentes ángulos y alturas de caída (UNE-EN 13374, 2013).....	51
Figura 20. Cargas de servicio y carga límite última. Perpendicular y paralelo al sistema de protección (UNE- EN 1334:2013).	53
Figura 21. Carga máxima de viento (hacia dentro/ fuera) y combinación de cargas (FH1 y FH2) (UNE- EN 1334:2013).	54
Figura 22. Carga paralela y cargas accidentales actuando separadamente (UNE- EN 1334:2013).	55
Figura 23. Sistema de protección de borde clase B e instalación en cubierta.....	56
Figura 24. Discretización del modelo (García, 2020).	57
Figura 25. Deformaciones de un elemento finito (Celigüeta, 2008).....	58
Figura 26. Grados de libertad en los nudos (Serna, 2020).....	58
Figura 27. Desplazamiento de nudos del elemento correspondiente a movimiento de sólido rígido (1) y deformaciones unitarias en uniones entre elementos (2) (Celigüeta, 2008).	59
Figura 28. Análisis lineal – no lineal. [K] matriz de rigidez, F vector de fuerzas y d vector desplazamientos (adaptación de Ayuda de SolidWorks (2020)).	60
Figura 29. Diagrama tensión – deformación del material y su linealidad (CIMWORKS, 2020).	61
Figura 30. Ejemplo del muelle no lineal (CIMWORKS, 2020).....	61
Figura 31. Diagrama de cuerpo libre conjunto ángulo – eslinga	63
Figura 32. Representación de fuerzas en zona de contacto ángulo – eslinga despreciando el rozamiento.	64
Figura 33. Representación de fuerzas en zona de contacto ángulo – eslinga sin despreciar el rozamiento.	65
Figura 34. Elemento diferencial de eslinga	65
Figura 35. Descomposición de fuerzas respecto al plano YZ. Caídas en banda oeste	67
Figura 36. Descomposición de fuerzas caso I respecto al plano XZ.....	68
Figura 37. Definición de cargas y sujeciones caso I en SolidWorks Simulation	69


Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	23/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Figura 38. Descomposición de fuerzas caso II respecto al plano XZ.....	70
Figura 39. Definición de cargas y sujeciones caso II en SolidWorks Simulation	71
Figura 40. Descomposición de fuerzas caso III respecto al plano XZ.....	71
Figura 41. Descomposición de fuerzas respecto al plano YZ. Caídas en banda norte.....	72
Figura 42. Descomposición de fuerzas caso IV respecto al plano XZ	73
Figura 43. Definición de cargas y sujeciones caso IV (anclaje intermedio) en SolidWorks Simulation	74
Figura 44. Descomposición de fuerzas caso V respecto al plano XZ	75
Figura 45. Evolución de la tensión máxima Von Mises en función de diferentes tamaños de malla	76
Figura 46. Ejemplo trazado de desplazamientos resultantes (URES). Escala de deformación 76,89	78
Figura 47. Ejemplo trazado de tensiones de von Mises.....	80
Figura 48. Ensayos para prueba de carga dinámica del dispositivo de anclaje	82
Figura 49. Absorbedor de energía en el elemento de amarre.....	83
Figura 50. Dispositivo de anclaje con masa de prueba tras el ensayo 1.....	83
Figura 51. Masa de prueba tras el ensayo 2 (izq.) y cajetín intermedio deformado (dcha.).....	84
Figura 52. Representación de geometría fija (izq.) y, cargas puntuales – azul y distribuida – rojo (dcha.).....	85
Figura 53. Trazado de calidad de malla (cociente de aspecto)	86
Figura 54. Trazado de calidad de malla (Jacobiana).....	87
Figura 15. Cajetín de acero ranurado introducido en el pilar por los huecos de la tapaperforada	97
Figura 26. Cable de acero de la línea de vida instalado sobre cajetines verticales en la vertiente Oeste	98

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	24/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Figura 37. Cable de acero de la línea de vida instalado sobre cajetín final vertical paralelo a la ventana cenital de la vertiente Norte98

Figura 48. Tapa perforada diseñada para que puedan anclarse los cajetines diseñados en el interior de los tubos de los pies derechos99

Figura 59. Cajetín de anclaje diseñado para su instalación en la cabeza de los tubos de los pies derechos99

Figura 60. Elemento de sujeción del cajetín de anclaje para que quede arriostrado. Vista aérea100

Figura 61. Elemento de sujeción del cajetín de anclaje para que quede arriostrado. Vista lateral100

Figura 62. Arriostramiento de cajetín de anclaje de la esquina noroeste del invernadero101

Figura 63. Sistema de protección de borde de barandillas instalado en la vertiente Norte101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos a cumplir por el sistema de protección a diseñar (Rodríguez, 1985). 28

Tabla 2. Formas de ensayo para dispositivo de anclaje tipo C según norma EN 795 (2012) .. 39

Tabla 3. Propiedades del material (Cajetín - sistema línea de vida) 62

Tabla 4. Información de malla (Cajetín – sistema línea de vida) 76

Tabla 5. Propiedades del material (Sistema de protección de borde)..... 85

Tabla 6. Información de malla (Sistema de protección de borde)..... 86

Tabla 7. Resultados de simulaciones para el tipo de cargas de estado límite de servicio..... 87

Tabla 8. Resultados de simulaciones para el tipo de cargas de estado límite último 88

Tabla 9. Descripción de Riesgos a tener en consideración 89

Tabla 10. Ficha resumen de la evaluación de riesgos considerados 90

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	25/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

1. INTRODUCCIÓN

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	26/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	27/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

1. INTRODUCCIÓN


1.1. ANTECEDENTES

A lo largo del tiempo, la agricultura ha experimentado una serie de transformaciones. Estas transformaciones se manifiestan en un modelo “de mercado” basado en la tecnología y tiene como objeto, el de intensificar los cultivos hortícolas (NTP-1001, 2014).

España destaca como el país con mayor número de explotaciones agrícolas bajo plástico (Von Elsner et al., 2000), siendo el modelo hortícola de Almería, basado en invernaderos, referencia internacional (Valenciano et al., 2019). Son más de 32.000 hectáreas la superficie invernada en la provincia (Cajamar, 2019) que puede ser vista a gran altura, formando el famoso “Mar de Plástico” (García-Quñonero, 2011).

Actualmente, los invernaderos se han convertido en auténticas estructuras metálicas, dejando de lado el típico invernadero de parral compuesto de maderas y alambres. Éstas son consideradas auténticas obras de construcción (García-Haro, 2018).

El principal sector socioeconómico de la provincia de Almería es la agricultura basada en el cultivo de productos hortofrutícolas bajo invernadero. Los invernaderos son construcciones agrarias que facilitan las condiciones microclimáticas que necesitan los cultivos. Así en la campaña 2018/19, de acuerdo al análisis de campaña hortofrutícola de Almería (Cajamar, 2019) la producción total de hortalizas frescas fue de 4.853.251,83 toneladas. La Junta de Andalucía estima que actualmente hay una superficie de invernaderos entre las provincias de Almería, Granada y Málaga de 35.839,0 has., de las que 32.048,0 has. pertenecen a la provincia de Almería (Cajamar, 2019). En esta provincia, la tipología de los invernaderos corresponde principalmente al invernadero “Tipo Almería plano y Tipo Almería raspa y amagado” (94,3%) y residualmente los invernaderos de tipo industrial, los denominados multitúnel (Valera et al., 2014). Los invernaderos se dedican casi en su 100% al cultivo de tomate, pimiento, melón, sandía, berenjena, calabacín, pepino y judía (Callejón-Ferre et al., 2011), por lo que el subsector de construcción de invernaderos en Almería es determinante, ya que es el que construye y mantiene la principal infraestructura en la que se basa este sistema productivo. Sin embargo, estos sistemas estructurales de bajo coste presentan ciertos problemas ambientales y sobre todo de siniestralidad laboral (Pérez-Alonso et al., 2011a,b; Pérez-Alonso et al., 2012), al igual que el sector de la construcción general.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	28/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Es de sobra conocido, que el sector de la construcción soporta una alta siniestralidad laboral (Camino et al., 2008; Argilés-Bosch et al., 2014; Chia-Wen y Tsung-Lung, 2016; Reis et al., 2016; Carrillo-Castrillo et al., 2017; Yuan et al., 2018; Hernández-Arriaza et al., 2018, 2020), de forma que, para el conjunto de toda España, para el periodo de Septiembre 2019 a Agosto 2020 (INSST, 2020) el sector de la construcción presentó un índice de incidencia total de 5676,0 seguido por la industria (4549,0), sector agrario (4348) y el sector servicios (1765,0). Asimismo, el subsector de construcción de invernaderos como parte integrante del sector de la construcción soporta también una alta siniestralidad laboral, de forma que Pérez-Alonso et al. (2012) estudiaron el índice de incidencia del sector de la construcción de invernaderos de Almería y lo compararon con el del sector de la construcción de Almería para el periodo 1999-2007, y en todos los años fue superior el de la construcción de invernaderos al de la construcción en Almería, excepto en 2002 y 2005. Se observó una tendencia a la disminución del índice de incidencia de la construcción de invernaderos a lo largo del periodo, pero con altibajos. Actualmente no se dispone de datos de índice de incidencia del subsector de la construcción de invernaderos actualizado, debido a que los datos de siniestralidad no vienen desagregados para subsectores. En este mismo estudio Pérez-Alonso et al. (2012) analizaron las causas de mayor siniestralidad en la construcción de invernaderos en Almería, observándose que las causas de mayor siniestralidad son: contacto con agente material cortante, punzante, duro y rugoso (27,78 %), sobreesfuerzos (21,11 %), caídas de personas a distinto nivel (18,89 %) y caídas de personas al mismo nivel (15,56 %). Finalmente, Pérez-Alonso et al. (2008) estudiaron de forma global los posibles riesgos de los trabajadores en la construcción de invernaderos en función del puesto de trabajo, concluyendo que presentaban calificación de importante o moderado los riesgos de **caída de personas a distinto nivel**, caídas de objetos al mismo y distinto nivel y atropellos o accidentes con vehículos, etc.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Puesto que los trabajadores que construyen y mantienen los invernaderos se encuentran expuestos a diferentes riesgos laborales, destacando el de caída en altura o a distinto nivel como el que provoca mayor número de accidentes mortales o incapacidades a los trabajadores, y no existe conocimiento científico notable de sistemas de protección de los trabajadores de la construcción o mantenimiento de los invernaderos *Tipo Almería* frente al riesgo de caída de altura, mientras que sí existen investigaciones científicas y desarrollos técnicos sobre sistemas de protección de los trabajadores frente a caída de altura en tareas de construcción, edificación, construcciones industriales e ingeniería civil, se justifica plantear la presente investigación, que tiene por objetivo, el desarrollo de, al menos, un sistema de protección de los trabajadores de la construcción y mantenimiento de invernaderos *Tipo Almería* frente a caídas de altura que sea económico para su implantación en los invernaderos ya existentes.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	29/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

1.3. HIPÓTESIS


La hipótesis que se plantea en la presente investigación, se establece en que se puede desarrollar, al menos, un sistema de protección de los trabajadores de la construcción y mantenimiento de invernaderos *Tipo Almería* frente a caídas de altura y que sea económico.

1.4. OBJETIVOS

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo general de la presente investigación, es el desarrollo de, al menos, un sistema de protección de los trabajadores de la construcción y mantenimiento de invernaderos Tipo Almería frente a caídas de altura que sea económico para su implantación en los invernaderos ya existentes.

Para conseguir el objetivo general indicado, se proponen los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar una revisión bibliográfica y estado de la técnica para conocer el estado del conocimiento sobre el tema.
2. Generar alternativas de sistemas de protección de caídas en altura en los invernaderos.
3. Evaluar las alternativas de sistemas de protección de caídas en altura en los invernaderos, así como realizar la selección de la/s alternativa/s mejor evaluadas.
4. Implementar lo/s sistema/s seleccionado/s de protección de caídas en altura en los invernaderos.
5. Evaluar técnica y económicamente lo/s sistema/s de protección implementados.
6. Realizar el informe o memoria final de los resultados obtenidos.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	30/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	31/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	32/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	33/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. NORMATIVA Y TRABAJOS CIENTÍFICOS PARA LA PREVENCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA DE INVERNADEROS

En el sector de la construcción son más de 60.000 los accidentes mortales cada año en el mundo, siendo la caída en altura una de sus principales causas (Chen and Luo, 2016). Muchas de las caídas en este sector son producidas en alturas relativamente bajas (menores o iguales a tres metros) donde se aplican escasas normativas relacionadas con la seguridad, a pesar de ser causa de graves lesiones (Cattledge et al., 1996). Por ello, se hace necesario la protección de operarios encargados de la construcción y posterior mantenimiento de invernaderos.

Son escasos los estudios sobre seguridad laboral en construcción de invernaderos. Éstos se limitan a metodologías constructivas con objeto de limitar el tiempo del trabajador en altura y con ello reducir la probabilidad de caída (Carreno et al., 2012). Aunque los procedimientos más seguros vienen acompañados del uso de nuevas máquinas y dispositivos para su desarrollo (Fernández, 2014), éstos han sido diseñados para implementarlos en invernaderos multitúnel.

Para evitar en lo máximo posible la siniestralidad debido a caídas de operarios a distinto nivel, además del diseño de nuevas metodologías de trabajo, es necesario la integración de sistemas de protección contra caídas (redes de seguridad, dispositivos y líneas de anclaje, barandillas de protección de borde). El diseño de estos sistemas de protección colectivos tiene que abordarse desde tres perspectivas fundamentales como son la seguridad, la eficiencia y la productividad (Zuluaga et al., 2020).

Estos sistemas de protección no siempre garantizan la protección de trabajadores contra caídas. Por ejemplo, analizando casos de falla en líneas de vida, resulta que una de las razones por las que estos dispositivos dejaron de funcionar es que los propios operarios no se encontraban anclados a la línea de vida en el momento de la caída (Issa et al., 2018). De esta forma, se hace evidente la escasa formación en lo relativo a la seguridad para trabajadores en altura (Kissikova and Duglos, 2018).

El diseño de sistemas integrales de prevención frente al riesgo de caída viene acompañado de simulaciones. Estas simulaciones tienen por objeto el garantizar la funcionalidad del sistema instalado, evidenciando aspectos tales como la utilización de EPI (equipos de protección individual) que mitiguen, en la medida de lo posible, la probabilidad de lesión por impacto con elementos externos de la estructura, o incluso, con el propio dispositivo de seguridad (Hino, 2015).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	34/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Mediante simulaciones y analizando variables como el peso del trabajador, además de la rigidez y amortiguación del elemento de retención en el caso de líneas de anclaje, se obtienen valores de fuerzas máximas sobre el accidentado y el propio dispositivo durante el impacto. De este modo, a partir de los resultados en simulaciones con modelos dinámicos de elementos finitos, se demuestra la importancia que tiene la relación entre la altura de caída y la longitud de la cuerda, incluso más determinante que la propia altura (Carrion et al., 2016).

Un aspecto importante en estas simulaciones o ensayos para verificar la eficacia del sistema de seguridad, es realizarlos para los casos más desfavorables como la máxima carga posible (Goh and Love, 2010).

Los sistemas de protección contra caídas que están sometidos a impacto tienen como función el detener la caída en condiciones de seguridad, siendo esto medible a partir de la fuerza máxima de parada (Sulowski, 2006). Las elevadas fuerzas transmitidas al operario como al propio dispositivo hacen necesario la instalación dentro del propio sistema de absorbedores de energía (Argoud, 2019). Por norma se establece como límite una fuerza de parada menor de 6 kN.

Actualmente hay una empresa que intenta aplicar sistemas de protección de caídas en altura ya contrastados en el sector de la edificación, ingeniería civil, ingeniería industrial y en minería a trabajos de la construcción y mantenimiento de invernaderos de tipo multitúnel (García-Haro, 2018). Estos sistemas de protección son fundamentalmente, la instalación de redes en los grandes huecos de la cubierta de estos invernaderos mientras se construyen o se realizan labores de mantenimiento y en la zona perimetral de la cubierta, así como la instalación de líneas de anclaje en los canalones de evacuación de aguas pluviales. Sin embargo no se han adaptado estos sistemas a los invernaderos *Tipo Almería*. Aunque proponen una solución con redes de seguridad bajo forjado para grandes huecos, pero sin implementar en invernadero *Tipo Almería*, y redes de seguridad de "sistema U" para proteger el perímetro, pero el sistema de anclaje propuesto no es válido para invernaderos planos o raspa y amagado de los que se construyen en Almería, sino para invernaderos con tipología estructural de los que se construyen en Murcia.

Finalmente, Pérez-Alonso et al. (2010) desarrollaron un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Educación e Innovación en 2006, mediante el que se diseñó un sistema de líneas de anclaje para realizar trabajos en la cubierta de invernaderos *Tipo Almería* con seguridad, pero que tenía el inconveniente que por su sistema de anclaje en la cabeza de los pies derechos de los invernaderos, no se podía aplicar en las labores de sustitución del plástico de cubierta, por lo que esta importante tarea de mantenimiento no quedaba protegida. Previamente a dicho desarrollo, se realizó una evaluación de riesgos laborales de los puestos de trabajo que intervenían en la construcción y mantenimiento de

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	35/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

los invernaderos, concluyéndose que el riesgo de caída a distinto nivel presentaba un riesgo importante.

Asimismo, es interesante recordar un resumen de las medidas preventivas que hay que adoptar para trabajos en los que exista el riesgo de caída a distinto nivel y los elementos de protección que se disponen. En este sentido, a continuación se transcribe literalmente la propuesta que se realiza en el boletín nº 94 de septiembre – diciembre de 2015 de “ERGA Formación Profesional” (INSHT, 2015) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo:

“Medidas preventivas de carácter general:

1. El método de trabajo debe estudiarse de acuerdo con los factores de riesgo, respetando criterios de eficiencia y calidad en el trabajo.
2. Deben planificarse previamente las tareas, incluyendo la evaluación de los riesgos.
3. Deben elegirse equipos de trabajo que ofrezcan una protección suficiente contra el riesgo de caída.
4. Debe incluirse el estudio para el empleo de las protecciones necesarias y suficientes para cada tipo de tarea, considerando las colectivas (barandillas, redes de seguridad o cobertura de huecos) e individuales (arneses de seguridad).
5. El equipo de protección individual debe estar formado por un sistema anticaídas, constituido por un arnés anticaídas y un subsistema de conexión. En el empleo del arnés de seguridad es necesario prever sus puntos de anclaje.
6. Debe verificarse que los trabajadores hayan recibido la formación e información necesarias para el desarrollo de sus tareas, respecto a los riesgos y a la forma de evitarlos.
7. Los trabajos temporales en altura sólo podrán efectuarse cuando las condiciones meteorológicas no pongan en peligro la seguridad y la salud de los trabajadores.
8. Las aberturas o desniveles que supongan un riesgo de caída de personas se protegerán mediante barandillas u otros sistemas de protección de seguridad equivalente, que podrán tener partes móviles cuando sea necesario disponer de acceso a la abertura.
9. Las plataformas de trabajo deben ser preferentemente metálicas. La utilización de tabloneros está condicionada a que estén limpios, sin defectos y nudos visibles. La anchura mínima debe ser de 60 cm. Si se utilizan tabloneros, éstos deben encajar perfectamente en sus soportes, debiendo sobresalir de los

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	36/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- puntos de apoyo cuando estén sobrepuestos entre 20 cm y 30 cm por cada lado para facilitar su fijación. El espesor de los tablones deberá ser de 5 cm.
10. El ancho mínimo de las pasarelas debe ser de 60 cm y dispondrán de barandillas o rodapiés en ambos lados, aquellas que se encuentren situadas a más de 2 m de altura sobre el suelo o piso.
 11. Los lados abiertos de las escaleras fijas y de servicio que tengan cuatro contrapeldaños o más se protegerán con barandillas.
 12. Las escaleras manuales deberán ser preferiblemente metálicas, se deberán colocar de forma inclinada, sobrepasando 1 m del punto de apoyo superior y se subirá o bajará frente a ella.
 13. Las escaleras de tijera deben tener limitadores de apertura en buen estado. No se debe pasar de un lado a otro por la parte superior ni colocarse a horcajadas en ella.

Medidas preventivas. Barandillas de protección:

14. Las barandillas no deben ser quitamiedos, ya que no evitan la caída y debido a su deficiente construcción y falta de resistencia pueden causar un accidente.
15. Deben ser de materiales rígidos, tendrán una altura mínima de 90 cm a partir el nivel del piso y dispondrán de una protección que impida el paso o deslizamiento por debajo de las mismas o la caída de objetos sobre personas.
16. Los rodapiés deben tener una altura mínima de 15 cm sobre el nivel del piso y el hueco existente entre el plinto y la barandilla debe estar protegido por una barra horizontal o listón intermedio o por barrotes verticales con una separación máxima de 15 cm.
17. Se deben revisar los anclajes y las características resistentes con cierta periodicidad.

Medidas preventivas. Redes de seguridad:

18. Deben sujetarse mediante una cuerda perimetral u otros elementos de sujeción o una combinación de ambos.
19. Hay que dar prioridad a las redes que evitan la caída frente a las que sólo limitan o atenúan dicha caída.
20. Se deben eliminar los obstáculos de la zona de recogida de la red para que no lesionen al trabajador que caiga en ella.

Medidas preventivas. Cobertura de huecos:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 37/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

21. La cobertura de los huecos debe ser fija y de resistencia suficiente para garantizar la seguridad de las personas que pueden circular sobre la misma, limitando la circulación de determinadas cargas y debiendo estar señalizada.
22. La cobertura no debe ser fácilmente extraíble y debe encajar perfectamente con el hueco o abertura.
23. Las aberturas en pisos de poco uso podrán estar protegidas por una cubierta móvil que gire sobre bisagras a ras del suelo, en cuyo caso siempre que la cubierta no esté colocada, la abertura estará protegida por una barandilla.

Medidas preventivas. Andamios:

24. Se deben montar, utilizar y desmontar de forma correcta, según el tipo de andamio de que se trate.
25. Deberán cumplir con las condiciones generales y particulares relativas a los materiales, resistencia, estabilidad y seguridad recogidas en el Real Decreto 2177/2004 (ver apartado: "Legislación").
26. Deben proyectarse, montarse, utilizarse y mantenerse teniendo en cuenta los siguientes puntos: el estudio previo del lugar de su instalación, las interferencias y servidumbres anexas, las especificaciones del fabricante, las cargas previsibles debidas al personal, los materiales, los equipos, las herramientas, las actividades que se han de desarrollar, la duración de las tareas, la iluminación artificial, las vibraciones transmitidas a través del terreno y equipos de trabajo, y las condiciones meteorológicas del lugar, en particular, las extremas.
27. Los andamios se montarán, desmontarán o modificarán bajo la dirección de una persona competente y por trabajadores que hayan recibido una formación adecuada y específica que permita lo siguiente: la comprensión del plan de montaje del andamio de que se trate, la seguridad durante el montaje, las medidas de prevención de riesgos de caída de personas y de objetos, las medidas de seguridad en caso de cambio de las condiciones climatológicas que puedan afectar negativamente a la seguridad del andamio, las condiciones de carga admisible, y cualquier otro riesgo que entrañen las operaciones de montaje, desmontaje y transformación".

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	38/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

En cuanto a normativa, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo ha publicado en 2014 dos Notas Técnicas de Prevención (NTP) con medidas de prevención en la construcción y mantenimiento de invernaderos (NTP-1001, 2014; NTP-1002, 2014). Asimismo, la construcción de invernaderos es una obra de construcción, por lo que en la construcción de los mismos se deben aplicar las medidas preventivas dispuestas por el R. D. 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Por ello, para disponer sistemas de protección de los trabajadores para caídas de altura, se deben considerar en el diseño de estos sistemas las principales normas de referencia establecidas legalmente al efecto:

CEN/TS 16415:2013 “Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos de anclaje. Recomendaciones relativas a los dispositivos de anclaje para ser utilizados por varias personas al mismo tiempo”.

EN 795:2012 “Protección contra caídas de altura. Dispositivos de anclaje. Requisitos y ensayos.

NTP 809: 2008. Descripción y elección de Dispositivos de anclaje. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

NTP 843: 2009. Dispositivos de anclaje de Clase C. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

UNE 81652: 2013 “Redes de seguridad bajo forjado, requisitos de seguridad y métodos de ensayo”.

UNE EN 13374:2013 + A1 (2019) “Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto. Método de ensayo”.

UNE EN 1263-1: 2018 “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo”.

UNE EN 1263-2: 2016 “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 2: Requisitos de seguridad para los límites de instalación”.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	39/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

2.2. ESTADO DE LA TÉCNICA: PATENTES

Como se ha indicado en epígrafes anteriores, esta situación de siniestralidad importante de trabajadores que desarrollan su actividad en altura en la construcción y mantenimiento de invernaderos, ha originado que para invernaderos multitúnel se hayan realizado estudios de investigación que han derivado en patentes para proteger a los trabajadores en las labores realizadas en altura.

Así tras la búsqueda realizada en la página web de la Oficina Española de Patentes y Marcas se han identificado las siguientes patentes que están relacionadas con la protección de caída en altura desde invernaderos:

Método constructivo para invernaderos y dispositivo para la puesta en práctica del mismo (P2277484). Año de publicación: 2008. Titular: Novedades Agrícolas S.A.

Equipo para disposición del plástico de cubierta de invernaderos (P2362767). Año de publicación: 2012. Titular: Universidad de Almería.

Método de instalación del film plástico de cubierta para invernaderos (P200803151). Año de publicación: 2012. Titular: Universidad de Almería.

Equipo autónomo para el encalado de cubiertas de invernaderos industriales (P201101255). Año de publicación: 2013. Titular: Universidad de Almería.

Máquina para la construcción y el mantenimiento de la cubierta en invernaderos multitúnel (P201200686). Año de publicación: 2014. Titular: Francisco Fernández Domenech.


Equipo para mantenimiento de invernaderos multitúnel (P201500122). Año de publicación: 2016. Titular: Universidad de Almería.

Asimismo, se han identificado, entre otras, las siguientes patentes o modelos de utilidad de elementos o sistemas de protección en altura, pero no de aplicación exclusivamente en invernaderos:

Barandilla perimetral para obras (U 200302246). Año de publicación: 2003. Titular: José María Caballero Muñoz.

Dispositivo de sustentación para una línea de vida (U 201131280). Año de publicación: 2012. Titular: Miguel Galego Castro.

Dispositivo de absorción de energía para el anclaje de una línea de vida o similar (E 11171596 (7)). Año de publicación: 2019. Titular: VERTIC.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==				
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería		Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA	40/131
				
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==				

En virtud de lo expuesto, mientras que existen investigaciones científicas y desarrollos técnicos sobre sistemas de protección de los trabajadores para protegerlos de caída de altura en tareas de construcción, edificación, construcciones industriales, minería e ingeniería civil, e incluso estudios para invernaderos multitúnel, no existe desarrollo de conocimiento notable adaptado a la actual normativa de sistemas de protección de los trabajadores de la construcción o mantenimiento de los invernaderos frente al riesgo de caída de altura de los invernaderos *Tipo Almería*, que como se ha dicho anteriormente son los más habituales en la provincia de Almería (94,3%).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 41/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

3. METODOLOGÍA

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 42/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	43/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

3. METODOLOGÍA

En el presente epígrafe, se presenta la metodología que se ha seguido para conseguir el objetivo general y los específicos de la presente investigación.

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se ha realizado una revisión bibliográfica y del estado de la técnica sobre sistemas de protección de caídas de trabajadores en altura que sea aplicable a los trabajos de construcción y mantenimiento de invernaderos. Para ello se ha realizado una búsqueda de trabajos científicos mediante el acceso electrónico que la Biblioteca de la Universidad de Almería, ofrece a través de la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECYT), que a su vez gestiona la licencia española de la "Web of Science" (Wos) proporcionada por Thomson Reuters. Para realizar la búsqueda se han seleccionado las palabras clave siguientes: 'safety', 'fall', 'height', 'worker', 'devices', 'greenhouse', 'lifeline' y 'anchoring' y han sido combinadas entre ellas con el operador "AND". Asimismo, se ha realizado la búsqueda de las patentes que existen sobre la temática que se estudia, a través de la página web de la Oficina Española de Patentes y Marcas. La revisión bibliográfica realizada se expone en el epígrafe 2 de la presente Memoria.

3.2. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN LOS INVERNADEROS

A partir de la revisión bibliográfica y estado de la técnica realizado, se han generado varias alternativas de diseño para sistemas de protección de los trabajadores que realizan sus labores en altura mientras se construyen y/o mantienen invernaderos de *Tipo Almería*. Para generar estas alternativas, se ha partido de sistemas basados en la instalación de líneas de anclaje y elementos de protección de borde. En todo caso, siempre protegiendo el área perimetral de la cubierta, ya que es la zona crítica de riesgo de caída en altura en estos invernaderos, puesto que la zona central se encuentra mallada mediante la doble malla de cubierta que sustenta el plástico de cubierta.

El diseño es una actividad proyectual en el que se determinan las propiedades formales de los objetos producidos, entendiendo por propiedades formales, no sólo las características externas del sistema en cuestión, sino, sobre todo, las relaciones funcionales y estructurales exigidos para el uso proyectado (Lafargue, 2002).

Las herramientas CAD, CAE, CAM consiguen integrar las fases de diseño, evaluación y fabricación, acelerando y disminuyendo costes en tiempo y recursos (Lee, 1999). Se utiliza el software "SolidWorks" desarrollado por Dassault Systèmes SE.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	44/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

La metodología en el desarrollo del sistema de protección, según Rodríguez (1985), sigue las siguientes fases:

- I. Planteamiento del problema
- II. Desarrollo proyectual
- III. Fabricación

En el primero (planteamiento del problema) se presentan las necesidades a cumplir por el sistema desarrollado. Éstos pueden ser deseables u obligatorios:

<i>Requerimientos</i>	<i>Subtipo</i>	<i>Obligatorio</i>	<i>Deseable</i>
<i>De uso</i>	Funcionalidad	•	
	Seguridad	•	
	Ergonomía	•	
	Transporte		•
<i>De función</i>	Resistencia	•	
	Garantía	•	
	Versatilidad		•
<i>Requerimientos</i>	<i>Subtipo</i>	<i>Obligatorio</i>	<i>Deseable</i>
<i>Estructurales</i>	Unión	•	
	Nº de componentes		•
<i>Técnico productivo</i>	Materias primas	•	
	Normalización componentes		•
<i>De mercado</i>	Precio		•
<i>Legales</i>	Normas	•	

Tabla 1 Requisitos a cumplir por el sistema de protección a diseñar (Rodríguez, 1985).

Teniendo en cuenta estos requerimientos (Tabla 1) en las siguientes fases, el objetivo es desarrollar uno o más sistemas de protección para invernaderos tipo ‘raspa y amagado’ que reúna la seguridad, la eficiencia y la productividad en su uso (Zuluaga et al., 2020).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	45/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

3.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADEROS

Una vez generadas las diferentes alternativas de sistemas de protección en la etapa anterior, se han evaluado de acuerdo a los requisitos técnicos que dispone la normativa vigente que le son de aplicación de entre la siguiente normativa: CEN/TS 16415, 2013; EN 795, 2012; UNE EN 1263-1, 2018; UNE EN 1263-2, 2018; UNE 81652, 2013; UNE EN 13374, 2013 +A1. Y más concretamente EN 795: 2012 y UNE EN 13374, 2013 +A1. En el epígrafe de Resultados y Discusión se expone esta Evaluación Técnica. Para ello se ha utilizado el programa de ordenador SolidWorks, que permite diseñar y calcular la resistencia y deformación de sistemas mecánicos y estructurales.

Posteriormente, dichas alternativas se han evaluado desde el punto de vista económico, y finalmente se han seleccionado las alternativas generadas que mejor resultado han obtenido en la evaluación técnica y económica, como se muestra en el epígrafe de Resultados y Discusión.

Finalmente, se ha evaluado también el riesgo de daños producidos al caer el trabajador sobre la malla de alambre debido a los huecos de 33*33 cm que conforma la misma para su implementación en el presente proyecto. Para ello se ha utilizado el Método de evaluación de riesgos propuesto por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Hay que notar que Pérez et al. (2008) realizaron una evaluación de riesgos laborales identificando los posibles peligros y valorándolos para cada uno de los puestos de trabajo que realizan los trabajadores de la construcción y mantenimiento de invernaderos. Por lo que en esta Memoria solamente se muestra la evaluación de las principales tareas desarrolladas en altura en la cubierta de los invernaderos por los trabajadores.

3.4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS SELECCIONADOS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA DE LOS INVERNADEROS

Tras la selección de las alternativas con mejores resultados en la evaluación técnica y económica, se han implementado dos de los sistemas de protección seleccionados para su instalación en el invernadero U7 de tipo “raspa y amagado” de la Finca Experimental Universidad de Almería – ANECOOP, en función del coste económico estimado de cada una de las alternativas seleccionadas.

3.5. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN IMPLEMENTADOS

Una vez realizada la instalación de los dos sistemas de protección seleccionados en el referido invernadero U7 de tipo “raspa y amagado”, se ha realizado una evaluación final de tipo técnico y económico de acuerdo al epígrafe 3.3.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería		Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA	46/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==				

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 47/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 48/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 49/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ALTERNATIVAS GENERADAS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN EL INVERNADERO

Puesto que las alternativas generadas y evaluadas se implementarán en el invernadero U7 de la Fundación Finca Experimental Universidad de Almería – ANECOOP, debemos partir de sus dimensiones y características estructurales. En la Figura 1 se muestra un esquema estructural del mismo.

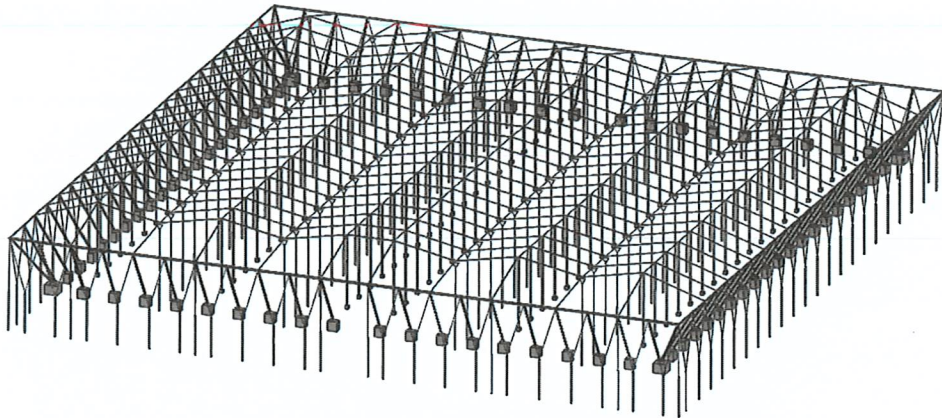


Figura 6. Modelo 3D del invernadero U7 tipo 'raspa y amagado'.

Uno de los requisitos a tener en cuenta en el diseño del sistema de protección es su perfecta unión a la estructura en elementos como pies derechos y pies inclinados, sin que ello comprometa a la seguridad del usuario.

Como se ha indicado en el epígrafe de Metodología, para la generación de las alternativas de diseño, se parte de diseños basados en instalación de sistemas de protección de borde y líneas de vida:

a) Alternativa 1: Línea de anclaje horizontal flexible o línea de vida.

En la Figura 2 se muestra la disposición de las líneas de anclaje en el invernadero.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	50/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

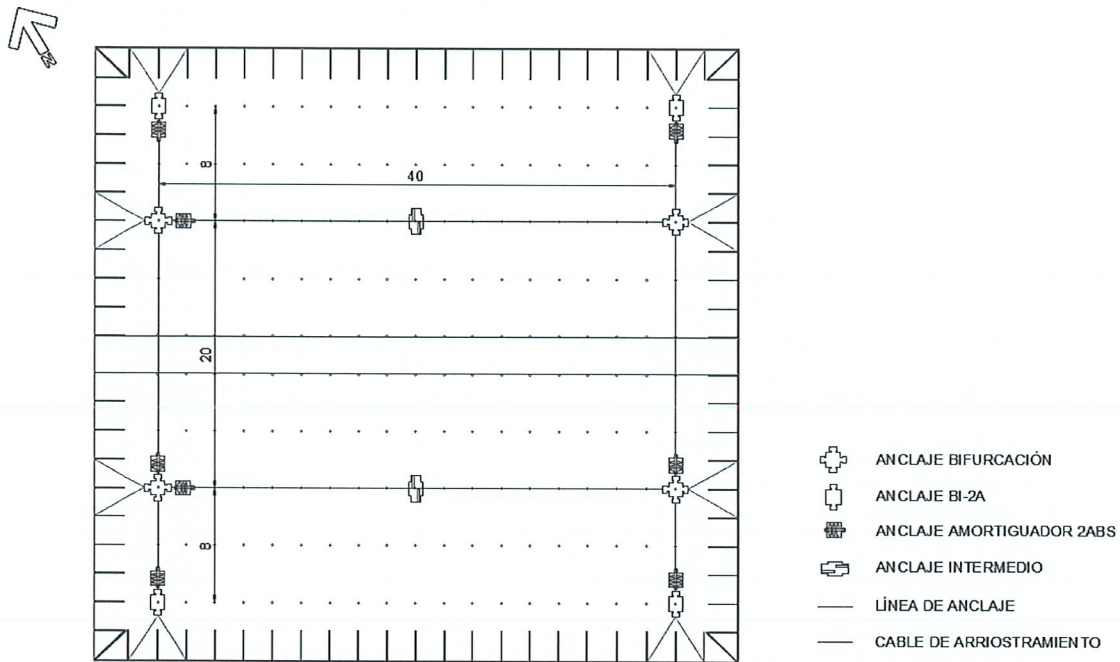


Figura 2. Alternativa dispositivos de anclaje.

Los dispositivos de anclaje que componen este sistema de protección se encontrarían en unos cajetines que quedan integrados en los postes interiores (o pies derechos) de 7,6 cm de diámetro exterior y 1,7 mm de espesor.

A priori, existen dos posibilidades de acoplar el cajetín al poste:

- Alternativa 1.1: solapado al poste mediante una abrazadera.
- Alternativa 1.2: el cajetín se diseña para que pueda meterse dentro del tubo que conforma el poste.

Para lograr embutir el cajetín dentro del poste, se requiere mecanizar la base del cajetín de forma que éste se componga de una especie de patas que logren salvar las trenzas galvánicas que conforman la estructura de cubierta del invernadero.

A su vez, en la placa donde apoyan estos alambres pórtico y correas en la parte cenital del pie derecho, se harían unas ranuras por donde se introducirían estas patas del cajetín (Figura 3).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	51/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			



Figura 3. Alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha) para el cajetín.

b) Alternativa 2: Sistema provisional de protección de borde (SPPB).

En las Figuras 4 y 5, se muestra este sistema provisional de protección de borde (SPPB) compuesto de barandillas, se acoplaría en los postes perimetrales (o pies inclinados) por medio de un cajetín. Estos pies inclinados son perfiles rectangulares huecos de acero de 10 x 5 cm y 3 mm de espesor.

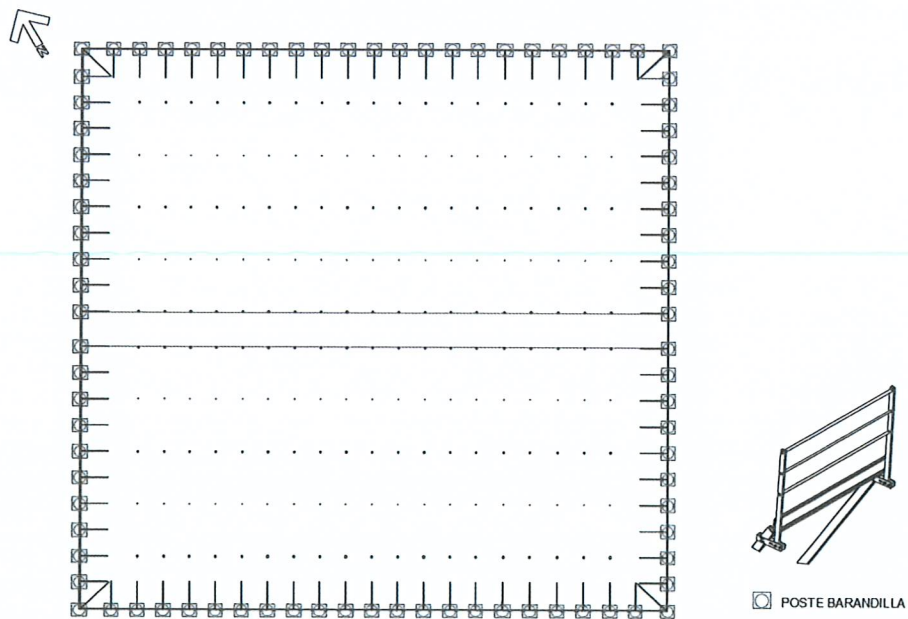


Figura 4. Alternativa sistema de protección de borde.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	52/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

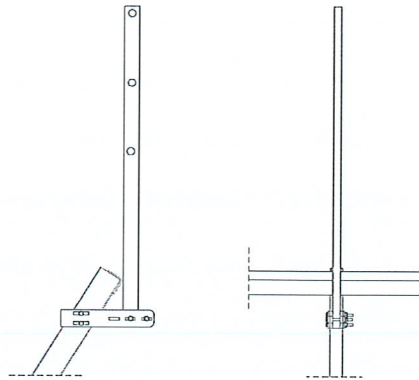


Figura 5. Detalle de fijación barandilla perimetral.

La elección del sistema de protección para caídas en altura debe ir encaminada a evitar la caída o, en el caso de que esta ocurra, disminuir la gravedad de sus consecuencias.

El tipo de trabajo y el lugar que se quiere proteger es un criterio importante a tener en cuenta en la elección del sistema de protección. El uso de una línea de anclaje está indicado cuando el trabajador se debe desplazar paralelo a la línea y necesita estar protegido contra caídas en todo o en varios tramos del recorrido (Línea Prevención, 2020a).

4.2. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADERO GENERADOS

4.2.1. LÍNEA DE ANCLAJE FLEXIBLE HORIZONTAL

4.2.1.1. Prescripciones Norma EN 795.

La Norma EN 795 proporciona requerimientos y formas de ensayo para validar dispositivos de anclaje en protección de caídas.

El uso de estos dispositivos es el de soportar fuerzas dinámicas máximas que se pueden generar en una caída en altura de una persona y su equipo.

Los dispositivos de anclaje deben ser capaces de instalarse y desinstalarse, sin que ello comprometa a la funcionalidad del sistema y la seguridad del usuario, e incorpora puntos de anclaje permanentes y desplazables.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	53/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

Componentes del sistema:

La norma EN 795 (2012) distingue cinco tipos de dispositivos de anclaje. Los más utilizados para construcción y mantenimiento de invernadero son los “tipos A, C y D”:

- **Dispositivo de anclaje tipo A:** dispositivos fijados con uno o varios anclajes estructurales (cáncamos).
- **Dispositivo de anclaje tipo C:** dispositivos equipados con líneas de anclaje flexibles horizontales. Permite una inclinación $\leq 15^\circ$ (medido desde el extremo y los anclajes medios en cualquier punto de su longitud).
- **Dispositivo de anclaje tipo D:** dispositivos equipados con líneas de anclaje rígidas horizontales. Permite una inclinación $\leq 15^\circ$ (medido desde el extremo y los anclajes medios en cualquier punto de su longitud).

En el caso que nos acontece, para proteger al trabajador con la mayor eficacia posible, disminuyendo las fuerzas máximas que se puedan producir durante el impacto, se escoge el dispositivo de anclaje C (Figura 6 y 7): “el cable al deformarse actúa como absorbedor de energía disminuyendo la fuerza de impacto que sufre el usuario”.




Figura 6. Esquema de dispositivo de anclaje tipo C (EN 795, 2012).

Desde un punto de vista funcional, se puede decir que es un dispositivo de anclaje que permite a un usuario equipado con arnés y equipo de protección, desplazarse a lo largo de su recorrido estando siempre conectado (INSHT, 2009).



Figura 7. Funcionamiento del sistema de protección contra caída (INSHT, 2009).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	54/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Sus componentes se muestran en la Figura 8 y son:

- | | | |
|---|---------------------------|--|
| 1 | Anclaje extremo |  |
| 2 | Anclaje intermedio |  |
| 3 | Punto de anclaje móvil |  |
| 4 | Línea de anclaje flexible |  |

Figura 8. Componentes del dispositivo de anclaje tipo C (García-Haro, 2018).

Conforme a la instalación prevista para la línea de vida (Figura 2), se requieren ocho líneas de vida con ocho dispositivos de anclaje extremo y dos anclajes intermedios. Todo ello conforma un sistema de línea de vida con vanos de ocho y veinte metros pensado para su óptimo arriostamiento y sujeción mediante cables.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	55/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Por último, el sistema debe incluir anclajes amortiguadores (Argoud, 2019) en cada uno de los anclajes extremos donde se unen las líneas de anclaje además del bloque retráctil con absorbedor (Carrion et al., 2016) de 15 metros según norma UNE-EN 360 (2002) (Figura 8).


Requerimientos y formas de ensayo:

<i>Tipo de ensayo</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Objetivo</i>
<i>Deformación</i>	$0,7_0^{+0,1} \text{ kN}$ durante $1_0^{+0,25} \text{ min}$	Ningún elemento del anclaje extremo, intermedio o esquina que es susceptible de deformarse lo hará en más de 10 mm.
<i>Estático</i>	12_0^{+1} kN durante $3_0^{+0,25} \text{ min}$	Los anclajes no romperán, aguantando la carga.
<i>Dinámico</i>	6 kN	Los sistemas bajo norma EN 795C garantizan que los esfuerzos transmitidos a los anclajes extremos o intermedios no superan esta fuerza.
<i>Frecuencia</i>	100 Hz	La frecuencia natural o de resonancia de la estructura rígida de anclaje en el eje vertical del punto de unión debe ser mayor.

Tabla 2. Formas de ensayo para dispositivo de anclaje tipo C según norma EN 795 (2012)

Cabe destacar:

- El sistema no contendrá bordes afilados ni rebabas que puedan cortar o raspar cualquier parte del mismo ni herir al trabajador. Se recomienda redondear esquinas con radio de al menos 0,5 mm o mediante chaflán de 0,5 mm y ángulo de 45°.
- El peso de cualquier elemento que tenga que ser arrastrado por el operario no será mayor de 25 kg.
- Todos los tipos de conectores, salvo los de clase Q (maillones) deben tener una resistencia mínima de 20 kN en su eje longitudinal con el cierre cerrado y bloqueado.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	56/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- Los dispositivos diseñados para ser usados por varios usuarios deben cumplir con una Especificación Técnica, CEN/TS 16415. (masa de prueba con + 100 kg/usuario en el ensayo dinámico, y + 1kN/usuario en el ensayo estático).
- No es posible la utilización de abrazaderas (“perrillos”) para formar un bucle cerrado.

En la Figura 9, se muestran los puntos de anclaje móvil en los que se ha realizado los estudios:

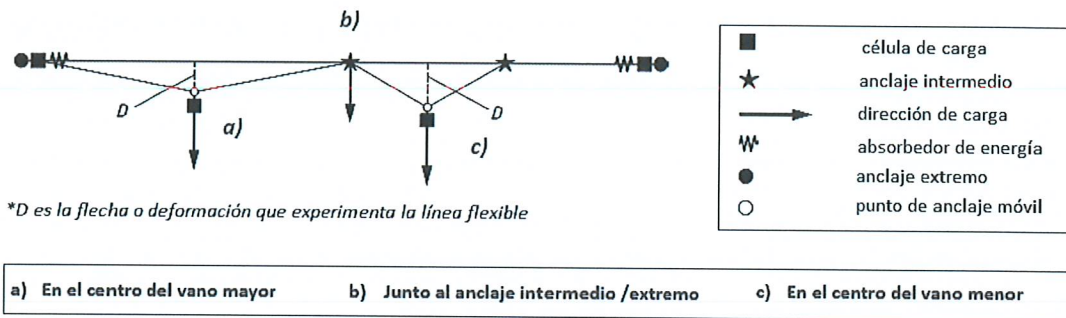


Figura 9. Posiciones en las que se lleva a cabo los distintos estudios (adaptación de EN 795 (2012)).

4.2.1.2. Funcionamiento del sistema

Fuerzas solicitantes (Figura 10):

En el caso de producirse una caída que es detenida por la línea de anclaje, se produciría una deformación de la misma denominada flecha (desviación de su posición de reposo). La fuerza de caída – no superior a 6 kN (Sulowski, 2006) – es soportada por el cable.

El cable sólo puede hacer fuerza en su propia dirección:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	57/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

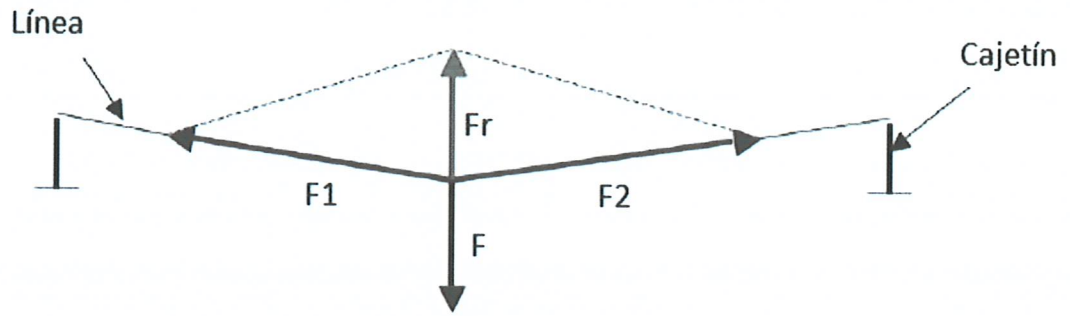


Figura 10. Esquema de fuerzas entre dos anclajes (Línea Prevención, 2020b).

La caída es detenida por dos fuerzas no paralelas a la fuerza de frenado. Esto supone que la fuerza que hace el cable es muy superior a la fuerza producida por la detención de la caída, y será mayor cuanto menos se deforme la línea (menos acusado sea el ángulo) (Del Campo, 2020).

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 \rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_r \quad (1)$$

Para calcular la línea de acuerdo con la norma EN 795 (2012) se debe aplicar un factor de seguridad de dos en todos los elementos.

El absorbedor de energía en la línea (anclaje amortiguador) limita la fuerza que ejerce el cable y que se va a trasladar a los anclajes y cajetín. Este absorbedor no disminuye la fuerza que recibe el usuario, sólo la fuerza que tiene que hacer la línea y los anclajes.

Flecha en el sistema (Figura 11):

Como se ha indicado, la flecha es la deformación que sufre la línea. Si es grande la distancia de caída será mayor. Si para disminuir la flecha se tensa mucho la línea, las fuerzas transmitidas serán muy altas (Del Campo, 2020).

Una manera de disminuir la flecha es colocar anclajes intermedios (Figura 11). El cable no se encuentra bloqueado en estos dispositivos, simplemente pasa por el interior de los mismos.

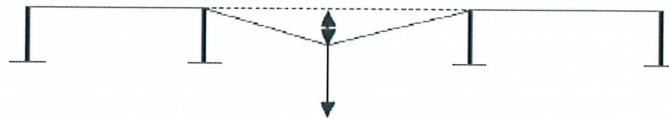


Figura 11. Disminución de la flecha debido a la instalación de anclajes intermedios (Línea Prevención, 2020b).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	58/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Un paso muy corto hace que la línea sea más incómoda de utilizar, encareciendo el coste del dispositivo de anclaje. Por otro lado, si el paso es muy largo es probable que haya dos trabajadores en el mismo vano, y si uno cae puede arrastrar al otro además de que una flecha grande puede dificultar las labores de rescate (INSHT, 2009).

Arriostramiento mediante cables (Figura 12):

Uno de los grandes problemas a la hora de validar el diseño son los enormes esfuerzos a los que se somete la línea de vida (Carrion et al., 2016). En función de la flecha que se origina en el vano, los componentes horizontales tienen unos valores muy superiores a la carga a sostener generando en el cajetín un par de fuerza que lo deforma y rompe.

El arriostramiento consigue estabilizar el sistema mediante la tracción de los cables que generan la fuerza suficiente para restituir la configuración original. En la Figura 13, se muestran los arriostramientos adoptados en el sistema diseñado. En este caso, cualquier movimiento horizontal de la cabeza del cajetín por deformación, estirará al menos un cable (Aroca, 2010).

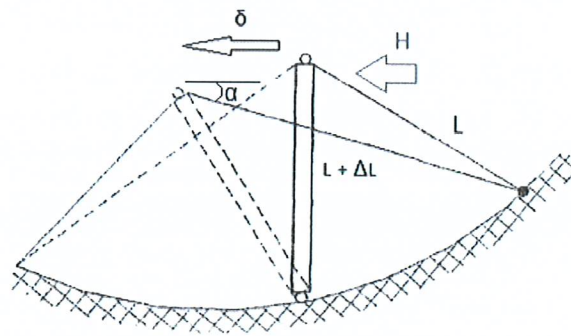


Figura 12. Esquema arriostramiento mediante cables (adaptación de Aroca (2010)).

Tomando el caso de un movimiento δ que hace trabajar a uno de los cables con características:

- inclinación α
- longitud L
- sección A
- módulo de elasticidad E

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	59/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

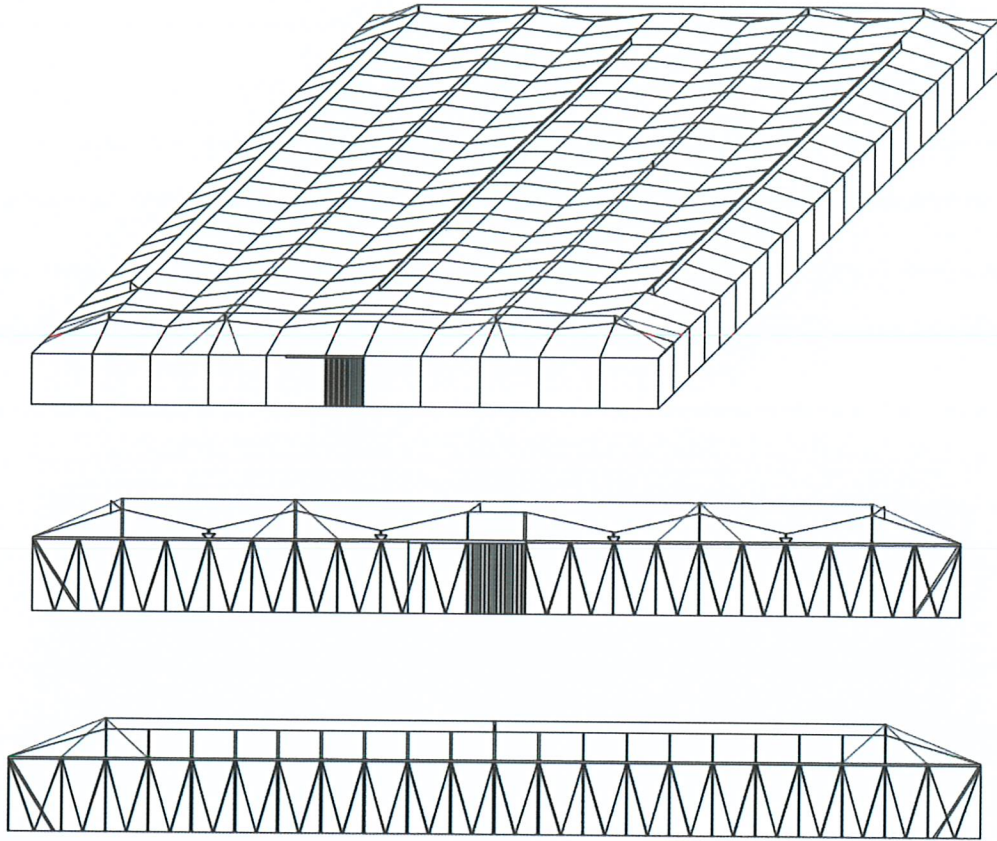


Figura 13. Arriostamiento del sistema de líneas de vida en invernadero U7 (cable rojo – tensor y cable azul – línea de vida)

el movimiento provoca un alargamiento:

$$\Delta L = \delta \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

que se traduce en una deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\delta \cdot \cos \alpha}{L} \quad (3)$$

a la que corresponde una tensión:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	60/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{E}{L} \cdot \delta \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

y una sollicitación:

$$N = \sigma \cdot A = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \delta \cdot \cos \alpha \quad (5)$$

cuya componente horizontal encargada de restablecer la verticalidad en función del ángulo α es:

$$N \cdot \cos \alpha = \frac{E \cdot A}{L} \cdot \delta \cdot \cos^2 \alpha \quad (6)$$

Para asegurar la estabilidad, según Aroca (2010), se debe cumplir:

$$N \cdot \cos \alpha = H \quad (7)$$

El cable de arriostamiento se rompe cuando su tensión σ llega al límite de rotura, σ_u . (Figura 14). Esta tensión en régimen plástico se considera la tensión de límite elástico, σ_e . Llamamos carga última P_u a la menor carga que provoca la rotura del arriostamiento. La carga última se produce para una deformación unitaria ε_e .

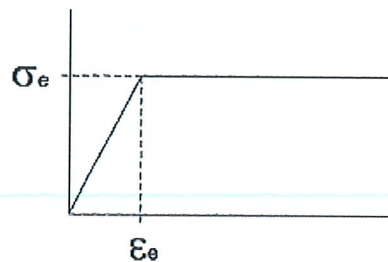


Figura 74. Diagrama tensión – deformación del cable de arriostamiento (Aroca, 2010).

La carga máxima de una estructura arriostada se divide por un factor de seguridad γ (no menor de 2) que limita la carga de servicio:

$$P_s = \frac{P_u}{\gamma} \quad (8)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	61/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Factor de caída (Figura 15):

El factor de caída (Figura 15) es un número adimensional, muy utilizado en trabajos en altura, que se calcula dividiendo la distancia de caída entre la longitud de la cuerda que para la caída.

$$\text{Factor de caída} = \frac{\text{Altura de la caída}}{\text{Longitud de la cuerda que lo para}} \quad (9)$$

El impacto que recibe un trabajador al caer (fuerza de choque) será más o menos grave dependiendo de la altura de la caída, de la masa del usuario y cantidad de cuerda que se requiere en su parada (Carrion et al., 2016). Según la segunda ley de Newton:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración} \quad (10)$$

y la energía que ejerce el sistema de seguridad (trabajo):

$$\text{Trabajo} = \text{fuerza} \times \text{distancia} \quad (11)$$

equivalente a la energía potencial del cuerpo por estar en altura, la cual se transforma en cinética hasta que se detiene principalmente por deformación del cuerpo.

Así, en el caso de tres operarios del mismo peso sobre la misma superficie de trabajo con cuerda de igual medida, la fuerza de choque dependerá de la altura a la que se enganche esta cuerda. Si está amarrado a un punto de cota superior a la cabeza, la distancia de caída es menor y, por tanto, la fuerza de choque:

$$\text{Energía cinética hasta reposo} = \text{fuerza de frenado} \times \text{distancia de frenado} \quad (12)$$

siendo su deceleración:

$$\text{Fuerza de frenado} = \text{masa} \times \text{deceleración} \quad (13)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	62/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Lo habitual es que el factor de caída varíe entre cero y dos:

- Factor 2: la altura de caída es el doble de la longitud de cuerda que la detiene.
- Factor 1: la cuerda queda anclada a la altura del arnés.
- Factor 0: la cuerda queda anclada por encima de él.

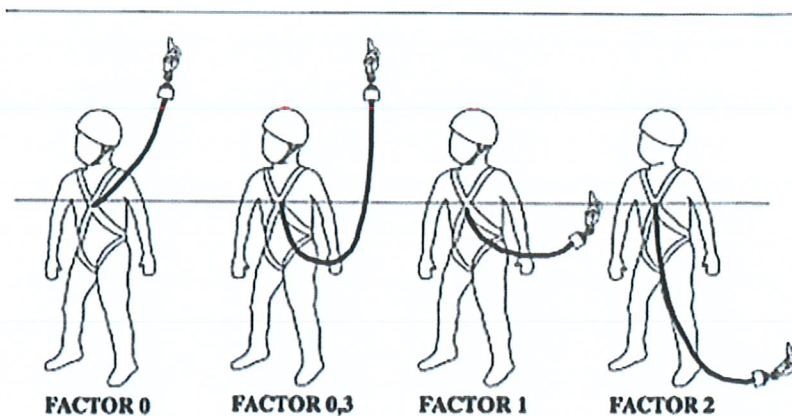



Figura 85. Factores de caída (Línea Prevención, 2020b).

Cuanto menor es el factor de caída, menor será la fuerza de choque ya que la misma caída será detenida por más cuerda.

La longitud del sistema de conexión es de gran importancia ya que, eligiendo un mismo punto de anclaje, si el elemento de conexión es excesivamente largo la caída será mayor que si se utiliza un sistema más corto.

El elemento de unión debe ser el más corto posible siempre que permita desarrollar el trabajo (Línea Prevención, 2020b).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	63/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Distancia de seguridad (Figura 16):

Se debe tener en cuenta la distancia de seguridad necesaria para que, en caso de caída, el usuario no impacte contra el suelo (García-Haro, 2018).

El cálculo de esta distancia de seguridad (D_s) debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

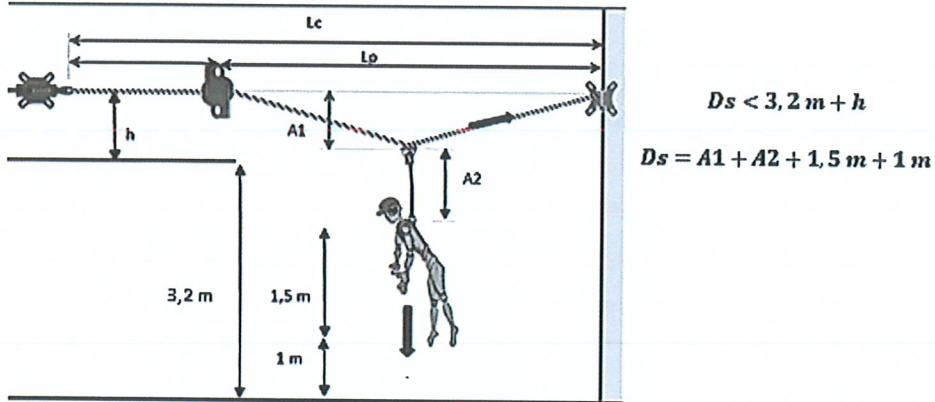


Figura 96. Parámetros para el cálculo de la distancia de seguridad (adaptación de García-Haro (2018)).

4.2.1.3. Prediseño del cajetín

Alternativa 1 (Figura 17):

Para poder solapar el cajetín al pie derecho se requiere de una abrazadera atornillada al poste. El cajetín resulta un perfil cuadrado 70x4 mm unido a la abrazadera por medio de cordones de soldadura y utiliza para su unión un perfil de acero galvanizado LD 40x25x5.

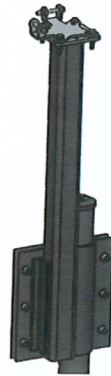


Figura 107. Dispositivo de anclaje solapado al pie derecho (alternativa 1)

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	64/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Alternativa 2 (Figura 18):

Se diseña el cajetín como un tubo de acero galvanizado de diámetro exterior 7 cm y espesor 4 mm, con altura total de 1 m. Dentro del pie derecho queda introducido 0,5 m de este cajetín. Para poder introducirlo, se realizan cuatro ranuras en la tapadera del pie derecho (Figura 3) lo suficientemente amplias para que se puedan introducir las patas que quedan de mecanizar la base del cajetín (Figura 18).

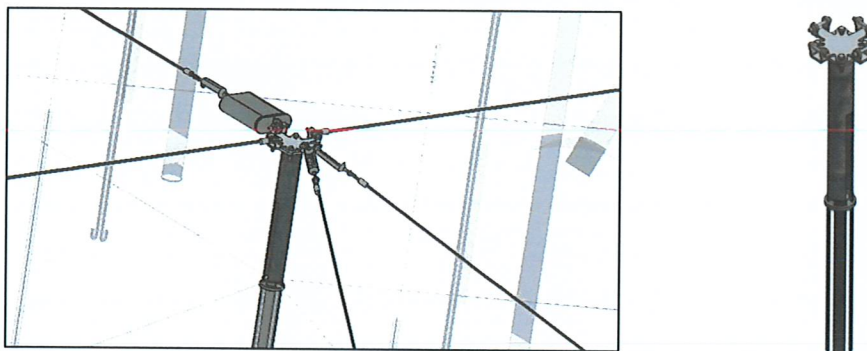


Figura 118. Dispositivo de anclaje e instalación en cubierta (alternativa 2).


Es preferible escoger como forma de acoplar el cajetín al pie derecho del invernadero la alternativa 2 (dentro del poste) ya que de esta forma se evita la creación de un par de fuerza añadido debido a excentricidad con el poste. A su vez, la alternativa 1 requiere de más material que resulta en 15,8 kg de acero respecto a 4,5 kg que posee el cajetín ranurado.

En el caso de producirse una caída, se genera una fuerza en el punto de unión de la línea de vida con el dispositivo de anclaje, en la dirección de la línea (Figura 10). El cajetín choca con las paredes del poste además de rozar con las ranuras de la tapadera. Es por ello recomendable proteger el cajetín en las zonas de contacto del mismo con el poste, tapadera y trenzas galvanizadas (alambres pórtico y correas).

Estos protectores se fabricarán de un material con elevada resistencia al impacto y durabilidad, gran resistencia térmica y química, además de ser flexible y ligero (por ejemplo: PE de alta densidad o PVC flexible).

4.2.2. SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE (SSPB)

4.2.2.1. Prescripciones Norma UNE EN 13374:2013 + A1

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	65/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Esta norma especifica requisitos para los sistemas provisionales de protección de borde y se aplica a superficies horizontales como inclinadas.

Los SPPB se pueden definir como sistemas de protección destinados a evitar caídas a distinto nivel, protegiendo a operarios que transitan por cubierta.

Términos y definiciones:


- Barandilla principal: larguero o elemento continuo que forma la parte superior del sistema.
- Barandilla intermedia: larguero ubicado entre la barandilla principal y la superficie de trabajo.
- Plinto o rodapié: elemento vertical cuya misión es la de prevenir la caída o deslizamiento de personas y materiales fuera de una superficie.
- Poste: soporte vertical al cual se sujetan las barandillas y el plinto.
- Altura de caída: distancia entre el plano de trabajo y el punto más bajo de la protección destinada a detener la caída.
- Altura de protección de borde: distancia entre el punto más alto de la barandilla principal y la superficie de trabajo medido perpendicularmente.
- Superficie de trabajo: lugar sobre el cual una persona está posicionada, camina o trabaja.

Clasificación:

En todos los sistemas de protección de borde deben encontrarse una barandilla principal y al menos una intermedia.

Tiene que ser posible instalarle al sistema un plinto, y éste se sitúa a una distancia igual o superior a 150 mm. Si en el plinto hay huecos, una esfera de 20 mm no debe pasar por ninguno de ellos.

La altura de protección de la barandilla tiene que ser al menos de un metro.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	66/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Dependiendo del tipo de acción a resistir, la altura de caída y la inclinación del plano de trabajo, las barandillas se clasifican en tres clases: Clase A, Clase B o Clase C (Figura 19).

▪ Clase A

La protección clase A proporciona resistencia solo para cargas estáticas.

La inclinación del sistema no debe desviarse de la vertical más de 15° hacia fuera o hacia dentro. Si dispone de barandilla intermedia, cualquier hueco se dimensiona para que no deje pasar una esfera de 470 mm de diámetro.

La clase A puede utilizarse si el ángulo de la superficie de trabajo es menor a 10°.

▪ Clase B

Se utiliza para soportar a una persona que se apoya sobre la protección y detenerla en caso de que se deslice o caiga por una superficie inclinada.

Su inclinación no debe desviarse de la vertical más de 15° hacia dentro o hacia fuera.

Cualquier hueco no debe dejar pasar una esfera de 250 mm de diámetro.

La clase B puede utilizarse si el ángulo de superficie de trabajo es menor de:

- 30° sin limitación de altura
- 60° y la altura de caída es menor de 2 m

▪ Clase C:

Proporciona resistencia para fuerzas dinámicas elevadas basadas en requisitos de seguridad para prevenir la caída de una persona que resbala en una superficie de gran pendiente.

Sus huecos no deben dejar pasar una esfera de diámetro 100 mm, y su inclinación debe estar comprendida entre una línea vertical y la perpendicular a la superficie.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	67/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Esta clase puede utilizarse si el ángulo de la superficie de trabajo con respecto a la horizontal es:

- entre 30° y 45° sin limitación de altura de caída
- entre 45° y 60° la altura de caída es menor de 5 m

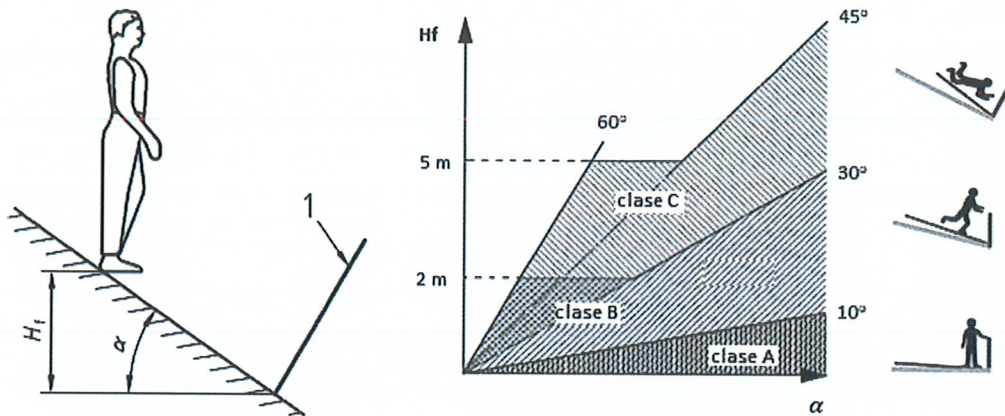


Figura 129. Clases para el uso en diferentes ángulos y alturas de caída (UNE-EN 13374, 2013).

En el invernadero tipo Almería donde se quiere implantar el sistema de protección contra caídas, el ángulo de la superficie de trabajo con la horizontal es de aproximadamente 18° en el borde de cubierta, por lo que, en el caso de instalar un sistema de protección de borde, éste deberá ser una barandilla de clase B.

Los pies perimetrales del invernadero a los que se acoplan los postes de este sistema tienen una inclinación de aproximadamente 32° respecto a la vertical. Esto se traducirá en la necesidad de diseñar un cajetín de forma que la barandilla cumpla con la desviación máxima de 15° según UNE-EN 13374 (2013).

Cálculo estructural:

El cálculo se efectúa siguiendo el método de los estados límite:

1. Estado límite último:

$$E_d \leq R_d \quad (14)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	68/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- E_d valor de cálculo del efecto de las acciones (resistencia a flexión, fuerza interna o momento)
- R_d valor de cálculo de la resistencia

El valor de E_d debe establecerse desde el valor de cálculo de las acciones Q_d basado en el valor característico de la acción Q_k :

$$Q_{d,i} = \gamma_{F,i} \times Q_{k,i} \quad (15)$$

- $Q_{d,i}$ es el valor de cálculo de la acción
- $Q_{k,i}$ es el valor característico de la acción i
- $\gamma_{F,i}$ es el coeficiente parcial de seguridad

El valor de cálculo de la resistencia $R_{d,i}$ debe calcularse utilizando:

$$R_{d,i} = R_{k,i} / \gamma_{M,i} \quad (16)$$

- $R_{k,i}$ es el valor característico de la resistencia para el material "i"
- $\gamma_{M,i}$ es el coeficiente parcial para el material "i"

II. Estado límite de servicio:

$$\text{flecha elástica} \leq \text{requisito de flecha} \quad (17)$$

Por otro lado, las cargas puntuales pueden actuar en cualquier parte a lo largo del sistema, por ejemplo en el poste o entre los postes.

Las cargas puntuales deben asumirse distribuidas en un área como máximo 100x100 mm.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	69/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

En las Figuras 20 a 22 se muestran un resumen de las posibles solicitaciones de carga sobre el elemento según UNE-EN 13374: 2013).

Estado límite de servicio	Carga puntual (N)	γ_F	Requisitos
Nivel plinto (F_{T2})	200	1	Máx. flecha elástica de 55 mm
Nivel barandillas (F_{T1})	300		

Estado límite último	Carga puntual (N)	γ_F	Requisitos
Nivel plinto (F_{H2})	200	1'5	$E_d \leq R_d$
Nivel barandillas (F_{H1})	300		

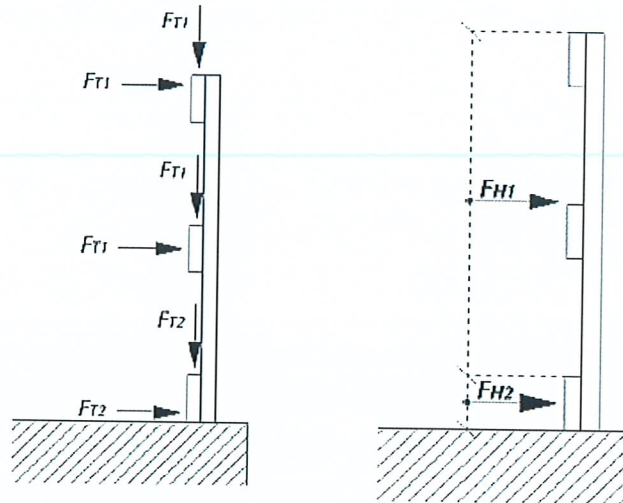


Figura 20. Cargas de servicio y carga límite última. Perpendicular y paralelo al sistema de protección (UNE- EN 1334:2013).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	70/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Estado límite último	Carga distribuida q_i (N/m ²)	γ_F	Requisitos
Viento máximo (Q_{MW})	600	1'5	$E_d \leq R_d$

Estado límite último	Carga puntual (N)	Carga distribuida (N/m ²)	γ_F	Requisitos
Combinación de cargas nivel plinto ($Q_{WW} + F_{H2}$)	200	200	1'5	$E_d \leq R_d$
Combinación de cargas en otras partes ($Q_{WW} + F_{H1}$)	300			

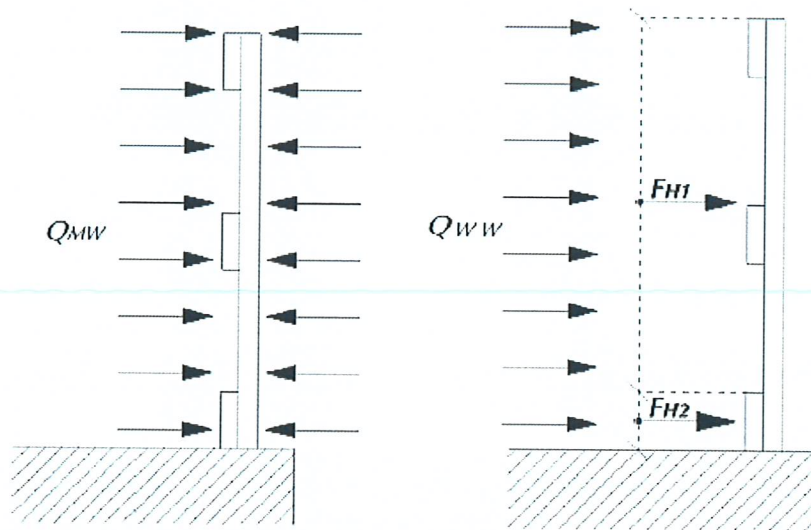



Figura 213. Carga máxima de viento (hacia dentro/ fuera) y combinación de cargas (F_{H1} y F_{H2}) (UNE- EN 1334:2013).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	71/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Estado límite último	Carga puntual (N)	γ_F	Requisitos
Paralelo (F_{H3})	200	1'5	$E_d \leq R_d$

Estado límite último	Carga puntual (N)	γ_F	Requisitos
Cargas accidentales (F_D)	1250	1	$E_d \leq R_d$ Máx. flecha durante la aplicación de la carga 300 mm

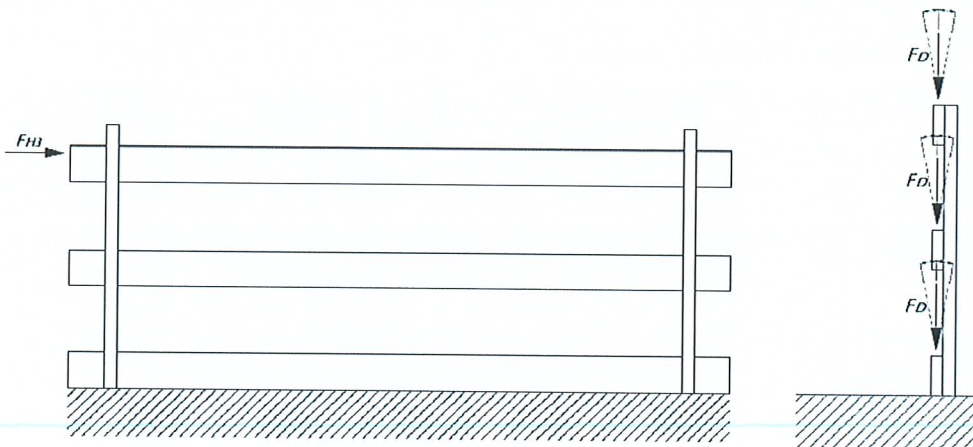



Figura 22. Carga paralela y cargas accidentales actuando separadamente (UNE- EN 1334:2013).

4.2.2.2. Prediseño de la barandilla de protección de “clase B”

Los componentes que forman el sistema (Figura 23) son:

- postes de acero galvanizado sección rectangular 60x30 mm, espesor 1,5 mm y altura de 1.300 mm al que se soldan dos pletinas para su posterior atornillado con el cajetín.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	72/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- barandilla principal y dos intermedias de acero galvanizado, diámetro de 30 mm
- rodapié conformado por perfil C de acero galvanizado
- cajetín para acople en perfil metálico 100x50 mm mediante tornillería fija M 10x100 mm

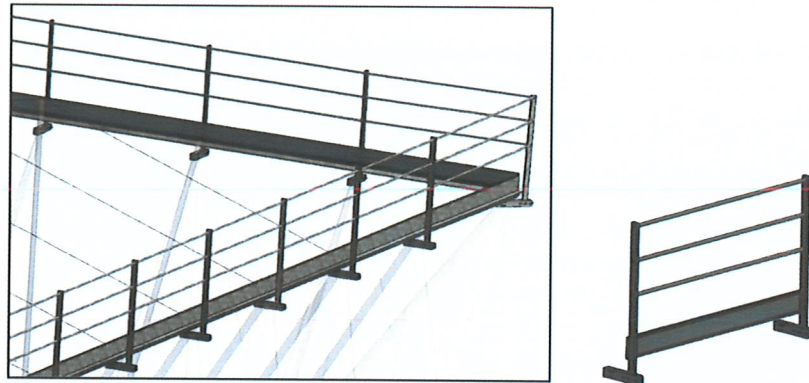


Figura 23. Sistema de protección de borde clase B e instalación en cubierta.

4.3. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE CAÍDAS EN ALTURA EN INVERNADERO GENERADOS


4.3.1. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

SolidWorks Simulation es una herramienta de validación de diseño integrada en el programa informático SolidWorks que permite simular el comportamiento de piezas mediante la aplicación del Análisis por Elementos Finitos (Gómez, 2010).

Según Hughes (2000), el método permite resolver sistemas continuos, es decir, modelos imposibles de separar en un número finito de elementos estructurales discretos. Si se coge una parte cualquiera de la estructura, el número de puntos de unión entre ésta y el resto de la estructura es infinito.

Estos problemas requieren del estudio de las propiedades de los materiales, además de poseer geometrías complejas y cargas no distribuidas que imposibilitan su solución analítica mediante expresiones matemáticas. Se precisa de ecuaciones diferenciales (parciales u ordinarias) imposibles de resolver:

$$\vec{F}_1 \left[r_1(t), r_2(t), r_3(t), \dots, r_n(t), \frac{dr_1(t)}{dt}, \frac{dr_2(t)}{dt}, \frac{dr_3(t)}{dt}, \dots, \frac{dr_n(t)}{dt}, t \right] = \frac{d^2 r_1(t)}{dt^2} \quad (18)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	73/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$\vec{F}_2 \left[r_1(t), r_2(t), r_3(t), \dots, r_n(t), \frac{dr_1(t)}{dt}, \frac{dr_2(t)}{dt}, \frac{dr_3(t)}{dt}, \dots, \frac{dr_n(t)}{dt}, t \right] = \frac{d^2 r_2(t)}{dt^2}$$

...

$$\vec{F}_n \left[r_1(t), r_2(t), r_3(t), \dots, r_n(t), \frac{dr_1(t)}{dt}, \frac{dr_2(t)}{dt}, \frac{dr_3(t)}{dt}, \dots, \frac{dr_n(t)}{dt}, t \right] = \frac{d^2 r_n(t)}{dt^2}$$

La formulación propuesta por el método de elementos finitos nos da la posibilidad de plantear el problema mediante ecuaciones algebraicas de forma simultánea (Serna, 2020). Se pueden generar valores aproximados de cada una de las incógnitas que se plantean tras la necesidad de “discretizar” el modelo.

La discretización consiste en la modelación de un cuerpo dividiéndolo de forma equivalente en un sistema de cuerpos más pequeños (Gómez, 2010), conectados por puntos comunes que forman superficies y se comportan como volúmenes de control independientes. Éstos se ven afectados por las condiciones frontera.

No se intenta resolver el problema como un todo, si no dividiendo el problema en un número finito de elementos, de forma simultánea y obteniendo el resultado para todo el cuerpo formado por cada una de las soluciones de los elementos finitos (Figura 24).

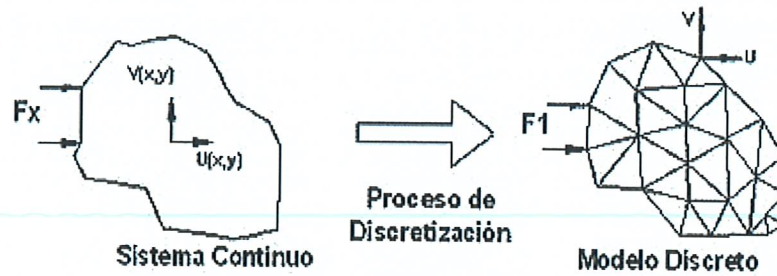



Figura 144. Discretización del modelo (García, 2020).

Esta discretización se basa en las siguientes premisas (Celigüeta, 2008):

- El sistema continuo se divide en formas geométricas sencillas y normalizadas.
- Estos elementos finitos se unen entre sí en un número finito de puntos, nudos.
- Los desplazamientos de estos nudos son las incógnitas básicas. Sólo estos desplazamientos nodales se consideran independientes.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	74/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- El desplazamiento de cualquier punto dentro del elemento viene determinado por los desplazamientos de sus nudos. Para ello se definen unas funciones de interpolación.
- Estas funciones de interpolación y desplazamientos nodales definen el estado de deformaciones unitarias en el interior del elemento (Figura 25). Éstas, mediante ecuaciones constitutivas del material, definen el estado de tensiones en el elemento.
- Para cada elemento, existe un sistema de fuerzas concentradas en los nudos, que equilibran a las tensiones en el contorno, y a las fuerzas exteriores que actúan sobre él.

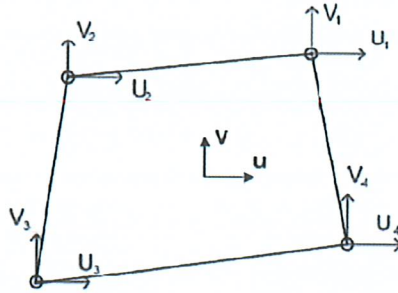


Figura 155. Deformaciones de un elemento finito (Celigüeta, 2008).

- Los nudos de un elemento tienen una serie de grados de libertad, que corresponden a los valores que adopta en ellos el campo de desplazamientos (Figura 26).

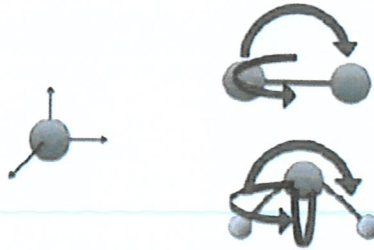


Figura 166. Grados de libertad en los nudos (Serna, 2020).

Hay que hacer hincapié sobre dos importantes hipótesis (Celigüeta, 2008):

- 1) La función solución es aproximada de forma independiente en cada elemento. Puede utilizarse ecuaciones de interpolación distintas para cada elemento, pero cumpliéndose condiciones de compatibilidad en las fronteras entre elementos.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	75/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- 2) La función solución se apoya en un número finito de parámetros, que son los valores de dicha función en los nudos y a veces sus derivadas.

Siguiendo a Celigüeta (2008), respecto a las funciones de interpolación, deben cumplir unos criterios (Figura 27):

- ✓ Cuando los desplazamientos de los nudos corresponden a un movimiento de sólido rígido, no aparecen tensiones en el elemento.
- ✓ Cuando los nudos correspondan a un estado de tensión constante, este estado tensional se alcanza en realidad en el elemento.
- ✓ Las deformaciones unitarias que se produzcan en las uniones entre elementos finitos deben ser finitas. Debe existir continuidad de desplazamientos en la unión, aunque puede haber discontinuidad en las deformaciones unitarias (y, por tanto, en las tensiones).

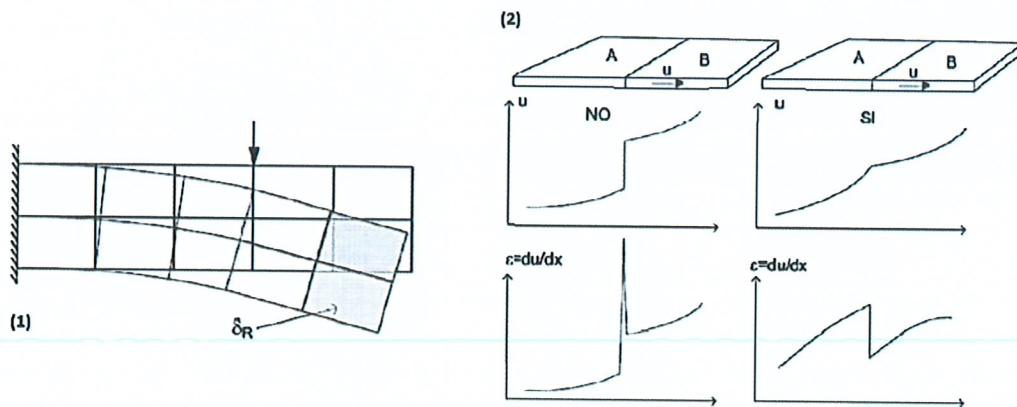



Figura 177. Desplazamiento de nudos del elemento correspondiente a movimiento de sólido rígido (1) y deformaciones unitarias en uniones entre elementos (2) (Celigüeta, 2008).

Procedimiento:

Son tres las fases en que se puede dividir el análisis asistido por ordenador (Serna, 2020):

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	76/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

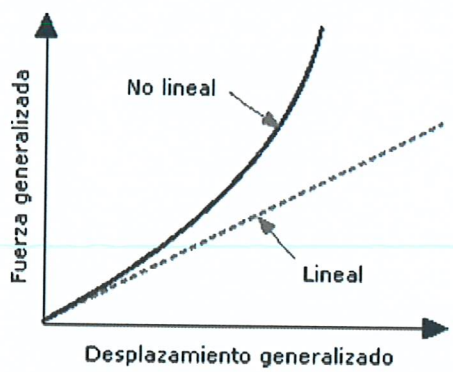
- I. **Pre proceso:** se construye el modelo y una vez creado la geometría, se divide en pequeños elementos que forman la malla con sus respectivos nodos. Nodos identificados en el modelo.
- II. **Cálculo:** implica procesos como ensamble de la matriz de rigidez (K) o del vector de fuerzas (F), y su resolución mediante solver (directo o iterativo)

$$K \cdot d = F \tag{19}$$

- III. **Post proceso:** se visualizan resultados de tensiones, desplazamientos o deformaciones representados en un modelo tridimensional mediante una gama de colores.

Análisis lineal y análisis no lineal (Figura 28):

En función de la tensión máxima alcanzada y el límite elástico del material, se considera realizar la simulación mediante un estudio lineal o no lineal.



Relación Fuerza – Desplazamiento

$$\{F\} = [K] \cdot \{d\}$$

Problemas lineales:

- ✓ [K] es independiente de {F} y {d}

Problemas no lineales:

- ✓ [K] es dependiente de {F} y {d}

Figura 188. Análisis lineal – no lineal. [K] matriz de rigidez, {F} vector de fuerzas y {d} vector desplazamientos (adaptación de Ayuda de SolidWorks (2020)).

Si la tensión alcanzada no supera el límite elástico el modelo vuelve a su forma original tras aplicar la carga (Figura 29). En este caso la deformación elástica es proporcional a la fuerza ejercida y su relación viene dada por el módulo elástico o módulo de Young, E. Se lleva a cabo el estudio lineal.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	77/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Alcanzado el límite elástico el material pasa a la zona plástica, es decir, cuando cesa la carga el material queda deformado permanentemente. Se lleva a cabo el estudio no lineal (Figura 30).

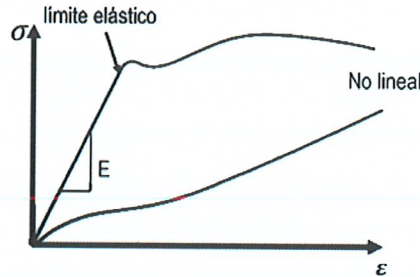


Figura 199. Diagrama tensión – deformación del material y su linealidad (CIMWORKS, 2020).

Para resolver el análisis no lineal se utiliza un método incremental e iterativo (Ayuda de SolidWorks, 2020).

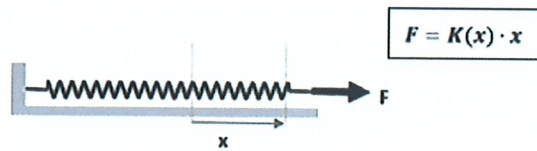


Figura 30. Ejemplo del muelle no lineal (CIMWORKS, 2020).

- i. La fuerza se incrementa en pasos pequeños. Para el primer incremento de fuerza, se resuelve el desplazamiento:

$$x_0 = F_0 / K(0) \quad (20)$$


- ii. El equilibrio no se satisface:

$$r_0 = F_0 - K(x_0) \cdot x_0 \neq 0 \quad (21)$$

- iii. Se busca la corrección:

$$\Delta x_0 = r_0 / K(x_0) \quad (22)$$

- iv. Nuevo desplazamiento:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	78/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$\Delta x_0 + x_0 \quad (23)$$

- v. Se comprueba si se satisface el equilibrio con este nuevo desplazamiento. En caso de que no se cumpla, se repiten los dos últimos pasos anteriores hasta que se cumpla el equilibrio.

4.3.2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE LÍNEAS DE VIDA

La norma EN 795 (2012) certifica la resistencia de la línea y ésta comprende los elementos situados entre los elementos de conexión unidos a los terminales de cada extremo (cable, absorbedor, anclajes de esquina, extremos e intermedios), pero el sistema para unir la línea a la estructura de recepción, es decir, el cajetín se debe calcular de forma separada (también con un factor de seguridad 2).

Las fuerzas transmitidas por la línea de anclaje son mayores en unas direcciones que en otras puesto que se dirigen en unas direcciones concretas. Los cajetines extremos de la línea reciben tensión principalmente en la dirección de la línea, mientras que los intermedios en la dirección perpendicular.

Los cajetines a su vez son componentes esbeltos. Al tener una sección menor en comparación con su longitud, éstos experimentan deformaciones laterales cuando se cargan axialmente. Por ello, sería comprensible estudiar el comportamiento del cajetín ante la acción de pandeo.

Se estudia el cajetín para la **alternativa 2** (Figura 18) al ser la más recomendable.


a) Propiedades del material: las propiedades se muestran en la Tabla 3.

Acero galvanizado	
Criterio de error	Tensión de Von Mises
Límite elástico	203,943 N/mm ²
Límite de tracción	356,901 N/mm ²
Módulo elástico	200.000 N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,29
Densidad	7,87 g/cm ³

Tabla 3. Propiedades del material (Cajetín - sistema línea de vida)

b) Cargas y sujeciones:

- Geometría fija (restringiendo cualquier movimiento de traslación o rotación en las caras externas del cajetín en contacto con la cara interna del poste o pie derecho).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	79/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- El arriostamiento se define como restricciones del movimiento en el plano XZ en la cara superior del cajetín donde se une el dispositivo de anclaje.
- En cuanto a las cargas, éstas serán remotas con la suposición de unión rígida respecto a la cara superior del cajetín (donde se une el dispositivo de anclaje con el cajetín).

Las fuerzas son de distinta magnitud y dirección en función del caso que se produzca.

Efecto de rozamiento en la cuerda o eslinga de sujeción:

Atendiendo al diagrama de sólido libre correspondiente al conjunto cerco – eslinga (Figura 31), se omite el cálculo de las reacciones que realiza el ángulo galvanizado debido a la fuerza que ejerce la cuerda o eslinga que sujeta al operario, así como el propio peso del cerco.

Se considera la eslinga un sólido funicular (o hilo), por lo que cualquier sección transversal sólo trabaja a tracción.

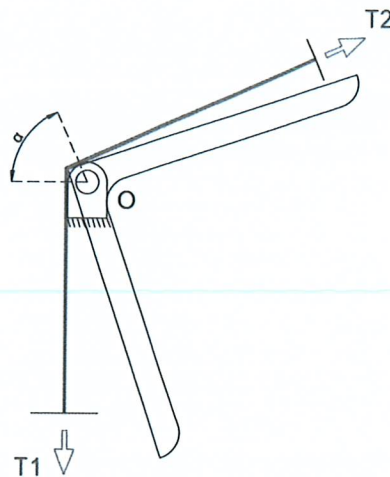


Figura 31. Diagrama de cuerpo libre conjunto ángulo – eslinga

Si se desprecia el rozamiento entre la eslinga y el ángulo galvanizado (Figura 32), las tensiones T1 y T2 son iguales. Esto se demuestra considerando equilibrio de momentos respecto al punto O:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	80/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

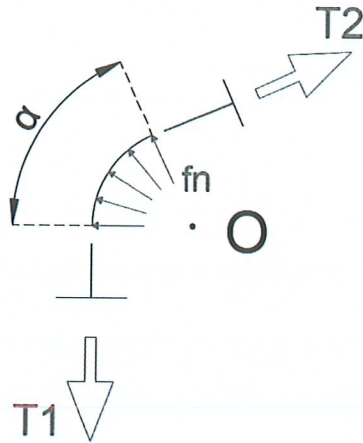


Figura 320. Representación de fuerzas en zona de contacto ángulo – eslinga despreciando el rozamiento.


Para abordar los cálculos en este conjunto se simplifica el problema considerando la esquina del ángulo por donde desliza la eslinga como una pequeña polea fija.

$$\sum M_O = -T_1 \cdot R + T_2 \cdot R = 0 \rightarrow T_1 = T_2 \quad (24)$$

donde 'R' es el radio de la polea supuesta.

En el caso de que el rozamiento no se desprecie (Figura 33), existirá una diferencia entre tensiones de la eslinga $T_1 > T_2$.

La eslinga estará en equilibrio considerando la reacción del ángulo galvanizado sobre ella. Esta reacción está compuesta por dos fuerzas (fn y fr) distribuidos a lo largo del tramo de eslinga en contacto con la polea supuesta.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	81/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

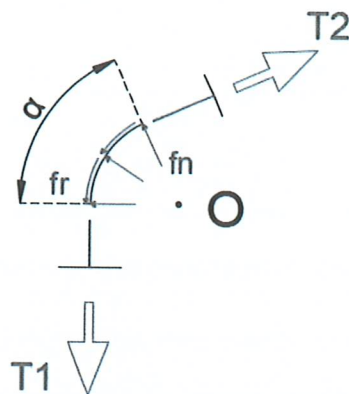


Figura 33. Representación de fuerzas en zona de contacto ángulo – eslinga sin despreciar el rozamiento.

Considerando un elemento diferencial de eslinga en la zona de contacto (Figura 35):

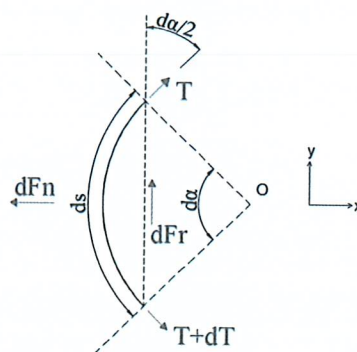


Figura 214. Elemento diferencial de eslinga

Aplicando ecuaciones de equilibrio:


$$\sum F_{ix} = 0 \rightarrow -dF_n + (T + dT) \cdot \text{sen}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + T \cdot \text{sen}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (25)$$

$$\sum F_{iy} = 0 \rightarrow dF_r - (T + dT) \cdot \text{cos}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + T \cdot \text{cos}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (26)$$

Cuando el deslizamiento es inminente, se cumple:

$$dF_r = \mu \cdot dF_n \quad (27)$$

Aproximando para un diferencial de ángulo:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	82/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$\cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \cong 1 \quad (28)$$

$$\operatorname{sen}\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \cong \frac{d\alpha}{2} \quad (29)$$

se obtienen las siguientes expresiones:

✓ Equilibrio de fuerzas en el eje y:

$$dF_r - (T + dT) + T = 0 \leftrightarrow dF_r = dT \leftrightarrow \mu \cdot dF_n = dT \quad (30)$$

✓ Equilibrio de fuerzas en el eje x:

$$-dF_n + (T + dT) \cdot \left(\frac{d\alpha}{2}\right) + T \cdot \left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \quad (31)$$

despreciando los infinitésimos de segundo orden:

$$-dF_n + T \cdot \left(\frac{d\alpha}{2}\right) + T \cdot \left(\frac{d\alpha}{2}\right) = 0 \leftrightarrow dF_n = T \cdot d\alpha \quad (32)$$

Combinando ambos resultados:

$$\frac{dT}{T} = \mu \cdot d\alpha \quad (33)$$

e integrando:

$$\ln T = \mu \cdot \alpha + K \quad (34)$$

'K' es una constante de integración. Ésta se determina mediante la condición de contorno ($T = T_2$ si $\alpha = 0$):

$$K = \ln(T_2) \rightarrow \ln\left(\frac{T}{T_2}\right) = \mu \cdot \alpha \quad (35)$$

Para un ángulo de contacto α , el valor de tensión es $T = T_1$. Finalmente se obtiene la siguiente relación:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \cdot \alpha} \quad (36)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	83/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

En el caso que se está analizando, aunque el contacto entre la eslinga y el cerco es puntual, se realiza la aproximación de contacto angular con una polea fija pequeña considerando los siguientes parámetros:

- $\alpha \cong 60^\circ$
- $\mu = 0,12$ (fibras de poliéster)

$$T_2 \cong 0,87 \cdot T_1 \quad (37)$$

* En el caso de que la eslinga sujete la carga en la banda norte o sur, la tensión en el tramo final que se une a la línea de vida será menor debido al rozamiento que implica también la primera línea de raspa (Figura 41). En cualquier caso, la diferencia entre tensiones es pequeña.

Para el cálculo de la carga en el cajetín (F), se supondrá que no hay rozamiento.

- I. **Caída en el borde de la banda oeste / este y en el centro del vano de 20 metros (Figura 35):**

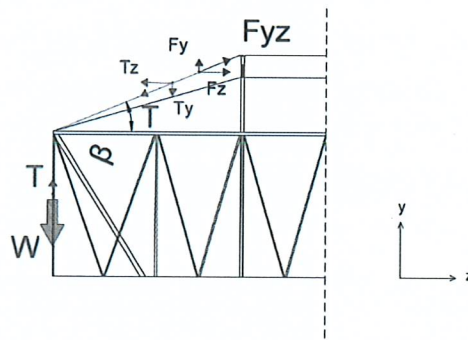


Figura 225. Descomposición de fuerzas respecto al plano YZ. Caídas en banda oeste

La sollicitación (W) se transmite a la cuerda que sujeta al operario por el arnés a la línea de vida (T). Ésta a su vez se descompone según dos direcciones:

$$W = T \leftrightarrow T_y = T \cdot \text{sen}(\beta) \quad (38)$$

$$T_z = T \cdot \text{cos}(\beta) \quad (39)$$

siendo β el ángulo que forma la línea de vida con el plano horizontal XZ de cubierta en el borde:

$$\beta = 23'96'' \quad (40)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	84/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

La fuerza a sostener (W) es de igual magnitud que la fuerza que ejerce la cuerda o eslinga que sujeta al operario (T), y ésta se reparte entre los dos cajetines que conforman el vano (F) (Figura 10):

$$F_{(yz)} = T/2 \leftrightarrow F_y = F_{yz} \cdot \text{sen}(\beta) \quad (41)$$

$$F_z = F_{yz} \cdot \text{cos}(\beta) \leftrightarrow F_z = F_{xz} \cdot \text{sen}(\gamma) \quad (42)$$

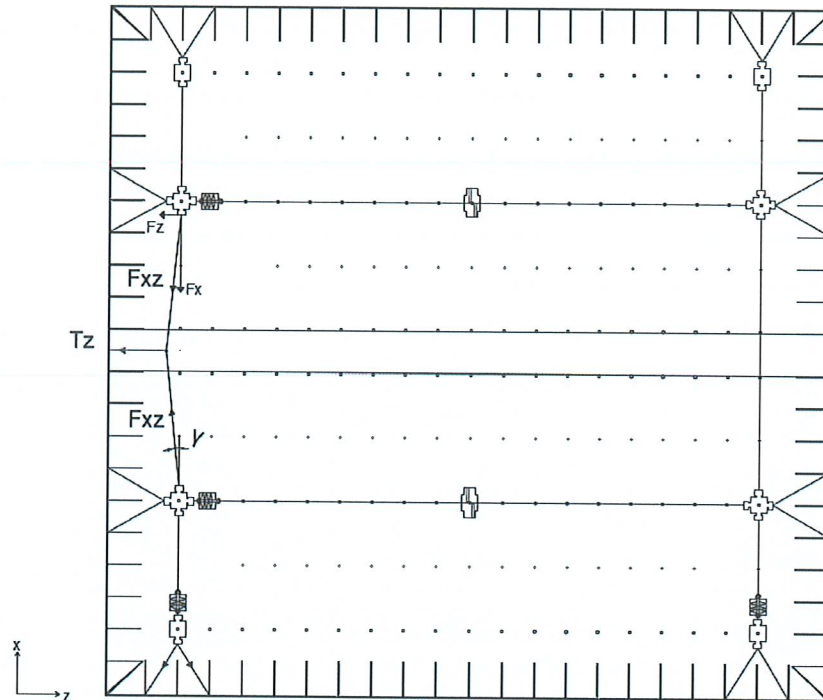


Figura 236. Descomposición de fuerzas caso I respecto al plano XZ

Por último, el esfuerzo que se produce en la línea de vida en dirección longitudinal (Fx) (Figura 36) resulta:

$$F_x = F_{xz} \cdot \text{cos}(\gamma) \quad (43)$$

siendo el ángulo que forma la línea de vida respecto al plano vertical YX:

$$\tan(\gamma) = \frac{f_z}{10 \text{ m}} \quad (44)$$

* fz = proyección horizontal de la flecha que experimenta la línea de vida (Figura 36)

$$f_z = f \cdot \text{cos}(\beta) \quad (45)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	85/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

si la flecha para un vano de 20 m es de aproximadamente 30 cm, su proyección horizontal es de 27 cm y el ángulo γ será $1'57^\circ$

Finalmente, la fuerza resultante que se transmite al cajetín en su parte más alta será:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (46)$$

Para simular el comportamiento del cajetín en función de los diferentes estudios según especifica la norma EN 795 (2012), se calculan y definen las componentes de la fuerza (F) a partir de (W) (magnitud de la sollicitación que indica la forma de ensayo correspondiente) y aplicando un factor de seguridad de 2 (Figura 37).

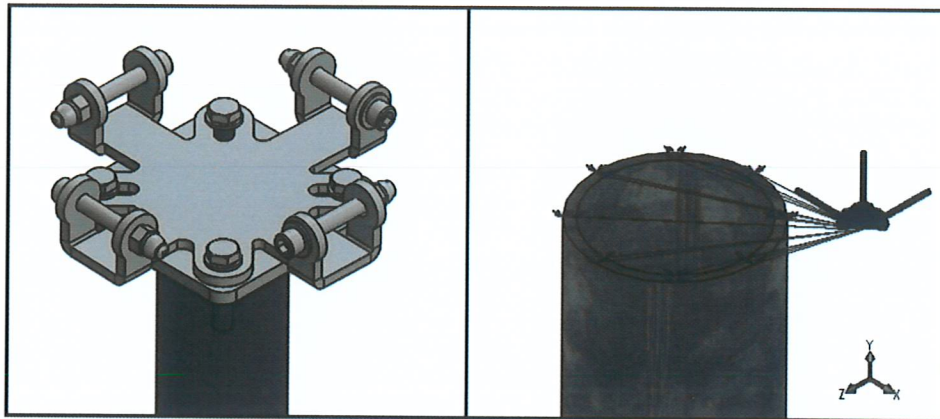


Figura 247. Definición de cargas y sujeciones caso I en SolidWorks Simulation

II. Caída en el borde de la banda oeste / este y junto anclaje extremo (Figuras 38 y 39):

En el caso de que el punto de anclaje móvil se encuentre junto a un anclaje extremo o intermedio, no existirá componente de fuerza en dirección longitudinal a la línea de vida (Figura 38).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torrealblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 86/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

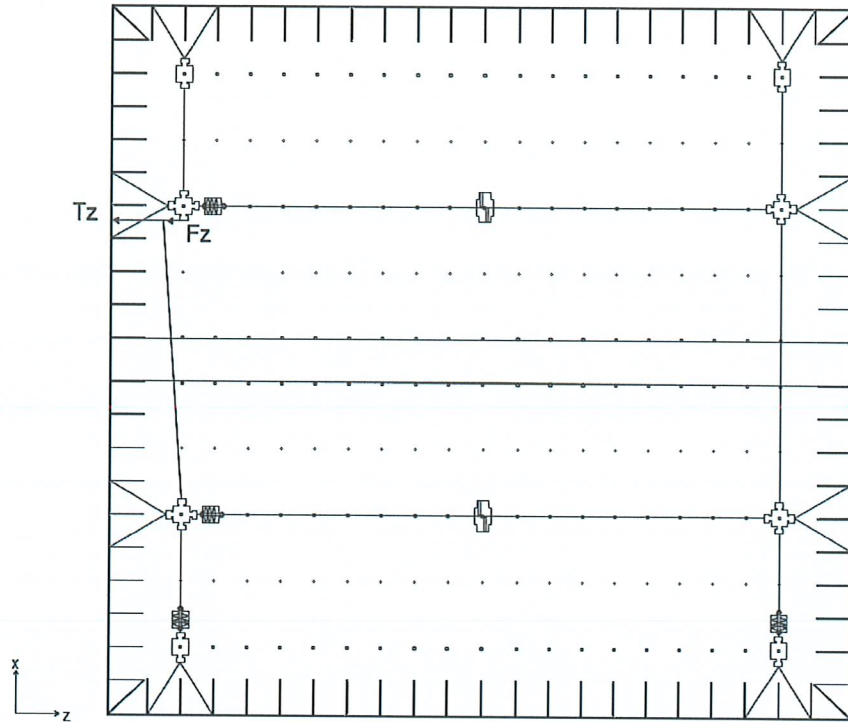


Figura 258. Descomposición de fuerzas caso II respecto al plano XZ

El esfuerzo que percibe la cuerda que une el arnés con la línea de vida (T) es del mismo valor y dirección que la carga transmitida al cajetín por la línea de vida (F):

$$F = T \tag{47}$$

$$F_y = T \cdot \text{sen}(\beta) \tag{48}$$

$$F_z = T \cdot \text{cos}(\beta) \tag{49}$$

siendo su fuerza resultante:

$$F = \sqrt{F_y^2 + F_z^2} \tag{50}$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	87/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

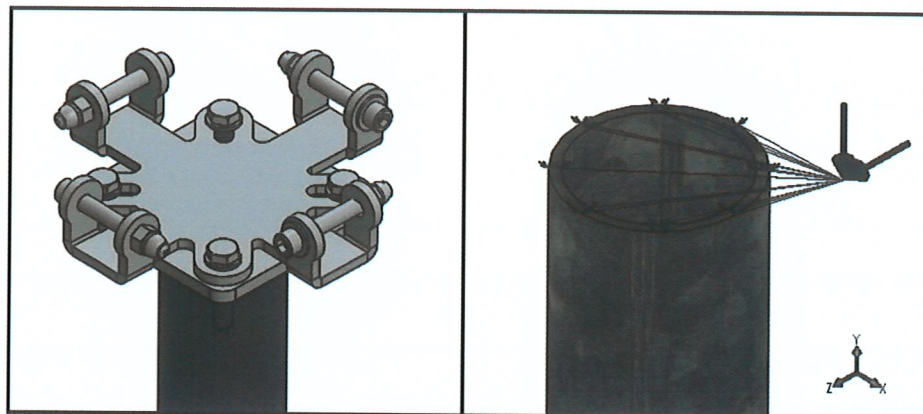


Figura 269. Definición de cargas y sujeciones caso II en SolidWorks Simulation

III. Caída en el borde de la banda oeste / este y en el centro del vano de 8 metros (Figura 40):

Al ser la longitud de la línea de vida menor, la flecha que se produce es también menor. Esto favorece a la caída que se pueda producir, ya que el operario se mantiene más alejado del suelo una vez finalice la caída (apdo. 4.2.1.2. – distancia de seguridad).

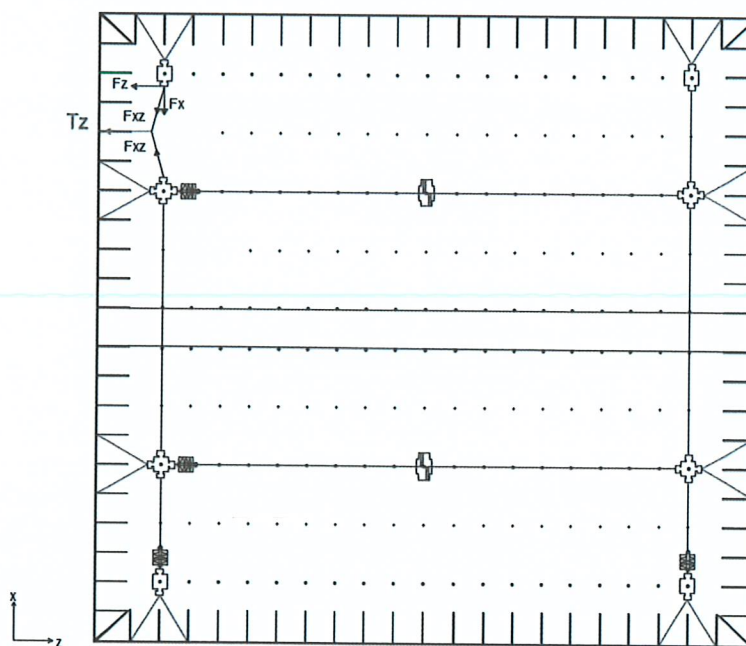



Figura 40. Descomposición de fuerzas caso III respecto al plano XZ

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	88/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

En este caso, para un ángulo γ de $1'57^\circ$ resulta una flecha de 13 cm.

Las cargas a definir se calculan igual que en el caso I: caída en el borde de la banda oeste y en el centro del vano de 20 metros.

IV. Caída en el borde de la banda norte / sur y en el centro del vano de 20 metros (Figuras 41 y 42):

El esquema de fuerzas en el plano YX resulta (Figura 41):

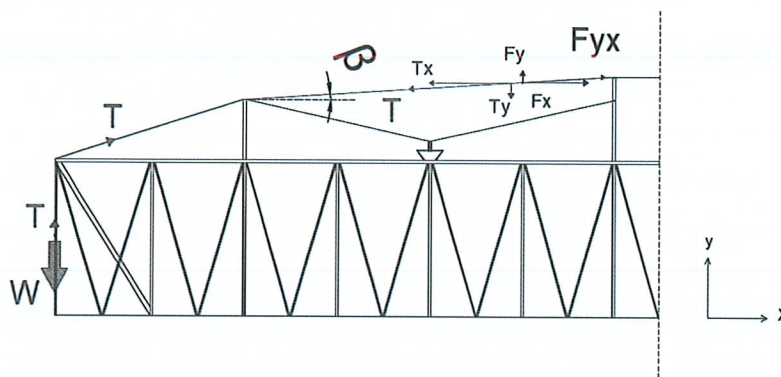


Figura 41. Descomposición de fuerzas respecto al plano YZ. Caídas en banda norte

La peculiaridad que presenta el invernadero U7 de la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP es que tanto en la primera fila de rasps como en la última hay ventanas cenitales, por lo que obliga a colocar los cajetines y dispositivos de anclaje en la fila de rasps siguiente (Figura 41).

El ángulo β que forma la línea de vida con el plano horizontal XZ de cubierta es:

$$\beta = 3'58^\circ \quad (51)$$

Este valor tan bajo de β resulta en una fuerza (F) excesivamente elevada:

$$F_y = W/2 \cdot \text{sen}(\beta) \leftrightarrow F_y = F_{xy} \cdot \text{sen}(\beta) \quad (52)$$

$$F_x = F_{xy} \cdot \text{cos}(\beta) \leftrightarrow F_x = F_{xy} \cdot \text{sen}(\gamma) \quad (53)$$

El ángulo γ que forma la línea de vida respecto al plano vertical YZ se calcula igual que en el caso de caída en la banda oeste para un vano de 20 metros:

$$f_x = f \cdot \text{cos}(\beta) = 30 \text{ cm} \cdot \text{cos}(3,58) = 29,94 \text{ cm} \quad (54)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	89/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$\tan(\gamma) = \frac{f_x}{10 \text{ m}} = 0,03 \rightarrow \gamma = 1,72^\circ \quad (55)$$

Resulta un mismo ángulo γ debido a que se está trabajando con un valor muy bajo de la flecha en la línea de vida respecto a su longitud.

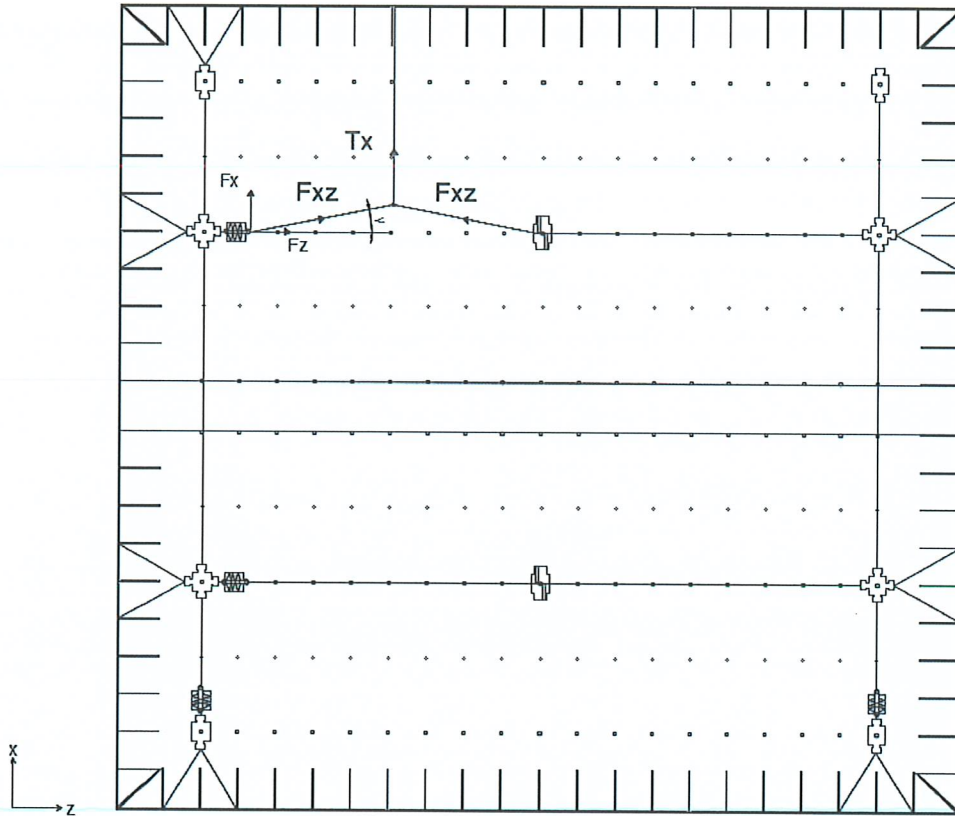


Figura 42. Descomposición de fuerzas caso IV respecto al plano XZ

Por tanto:

$$F_z = F_{xz} \cdot \cos(\gamma) \quad (56)$$

La magnitud de fuerza resultante transmitida a un anclaje será:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (57)$$

En el caso de caída en el borde de la banda norte y en mitad del vano, la fuerza de caída es detenida por dos cajetines con diferentes dispositivos de anclaje.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	90/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Hasta ahora se han definido cargas remotas para anclajes extremos, sin embargo, en anclajes intermedios la cuerda que une el arnés del operario a la línea de vida no se amarra a este dispositivo de anclaje sino que pasa por ella (Figura 43). Por tanto, el punto donde se transmite aproximadamente la carga a la cara más alta del cajetín se encuentra en el centro de ésta.

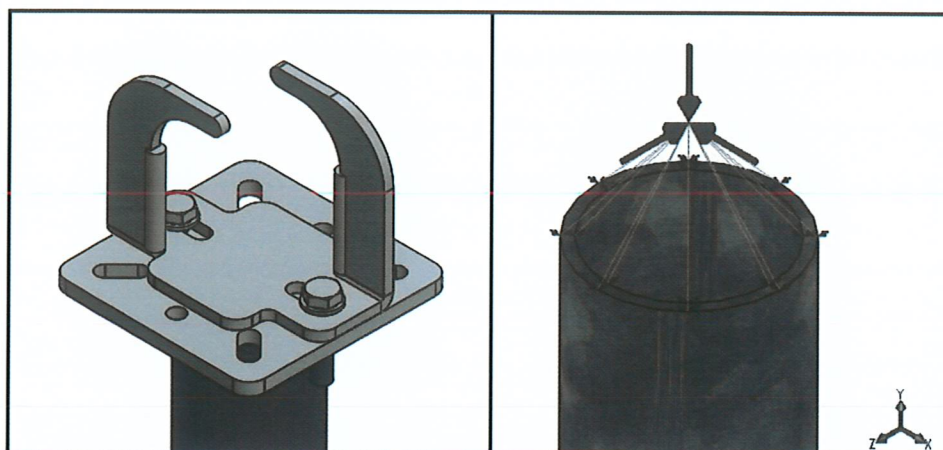


Figura 427. Definición de cargas y sujeciones caso IV (anclaje intermedio) en SolidWorks Simulation

V. Caída en el borde de la banda norte y junto anclaje intermedio (Figura 44):

En éste no existe componente de fuerza en el eje longitudinal de la línea de vida al igual que en el caso de caída junto al anclaje en la banda oeste (Figura 44). Las cargas a definir se calculan de la misma forma que en el caso II.

$$F = T \quad (58)$$

$$F_y = T \cdot \text{sen}(\beta) \quad (59)$$

$$F_x = T \cdot \text{cos}(\beta) \quad (60)$$

siendo su fuerza resultante:

$$F = \sqrt{F_y^2 + F_x^2} \quad (61)$$

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	91/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

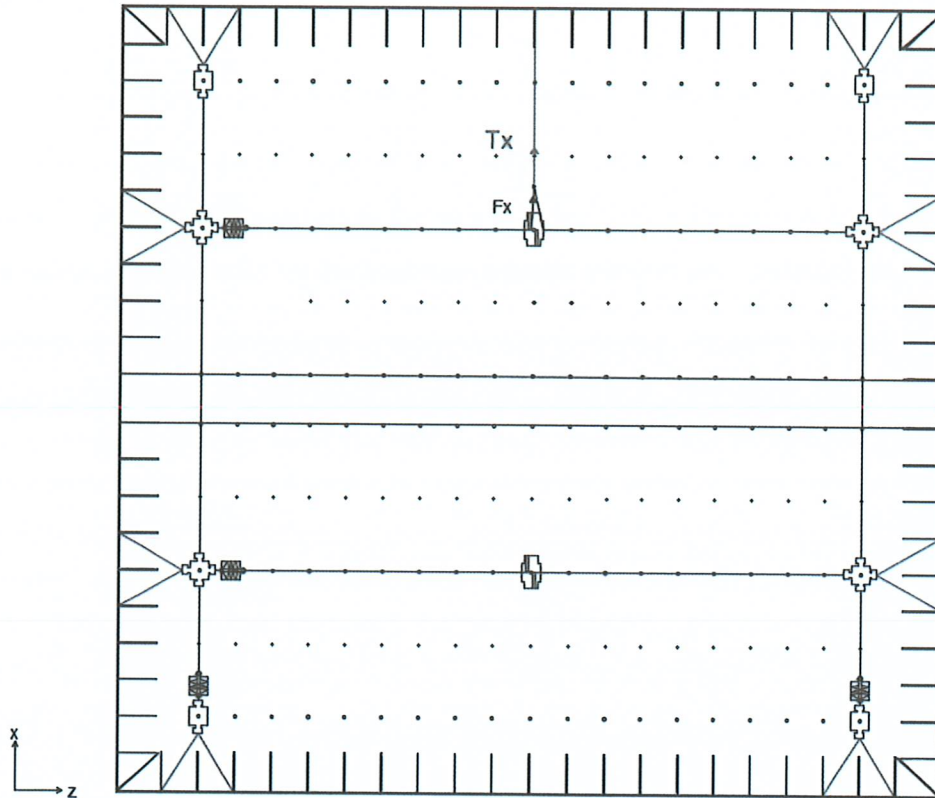


Figura 284. Descomposición de fuerzas caso V respecto al plano XZ

VI. Caída en el borde de la banda norte/ sur y junto anclaje extremo

Como ocurre en los casos en que la caída se produce con el punto de anclaje móvil junto al cajetín, la fuerza que se ejerce en la línea de vida se descompone únicamente en dos direcciones:

$$F = T \quad (62)$$

$$F = \sqrt{F_y^2 + F_x^2} \quad (63)$$

Los valores de estas cargas son iguales que en el caso anterior (junto al anclaje intermedio) aunque, como se ha visto anteriormente, al ser distinto dispositivo de anclaje, es otro el punto donde transmite la fuerza a la cara superior del cajetín.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	92/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

c) Mallado

El mallado debe ser capaz de capturar tensiones y deformaciones reales (Figura 45). En la Tabla 4 se muestran los valores de los parámetros que definen la malla utilizada.

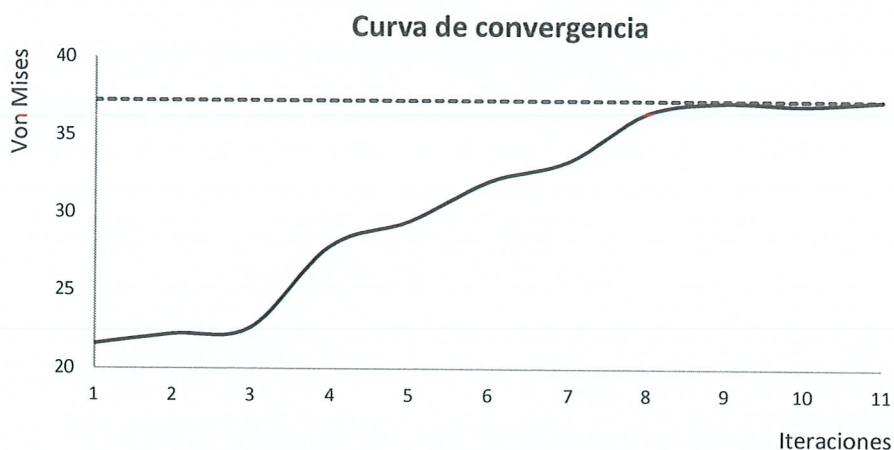



Figura 295. Evolución de la tensión máxima Von Mises en función de diferentes tamaños de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	6 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	76267
Número total de elementos	37221
Cociente máximo de aspecto	7,1076
% elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	94,9
Tamaño control de malla	2,5 mm

Tabla 4. Información de malla (Cajetín – sistema línea de vida)

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	93/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			


4.3.2.1. Resultados (EN 795:2012)

Una vez se definen las condiciones de contorno (material, cargas, sujeciones, conexiones, mallado) se obtienen los resultados en forma de trazados.

Análisis de deformación:

- Con una carga de 0,7 kN y factor de seguridad 2.

CASO DE CAÍDA	DESCRIPCIÓN	ANCLAJE DE ESTUDIO	DEFORMACIÓN MÁXIMA (MM)	DEFORMACIÓN PERMANENTE (MM)
CASO I	Banda OESTE - centro vano 20 m	extremo	0,137	0
CASO II	Banda OESTE - junto anclaje	extremo	0,027	0
CASO III	Banda OESTE - centro vano 8 m	extremo	0,137	0
CASO IV	Banda NORTE - centro vano 20 m	extremo	0,377	6,114E-05
		intermedio	0,66	4,594E-04
CASO V	Banda NORTE - junto anclaje	intermedio	1,307	7,961E-05
CASO VI	Banda NORTE - junto anclaje	extremo	0,009	0

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	94/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

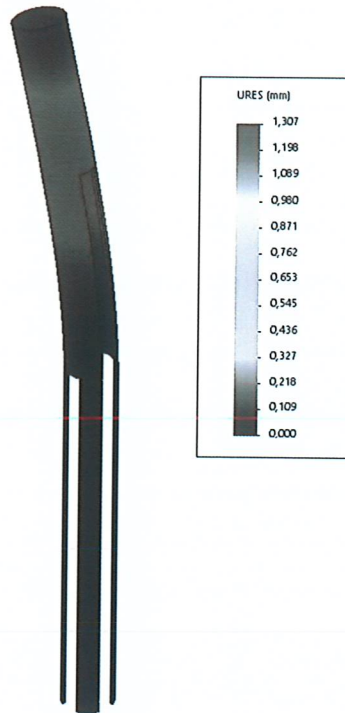



Figura 306. Ejemplo trazado de desplazamientos resultantes (URES). Escala de deformación 76,89

Los casos de mayor deformación se producen cuando el punto de anclaje móvil se encuentra en la línea de vida paralela a la banda norte o sur (Figura 46).

Los anclajes intermedios no se encuentran arriostrados directamente en dirección perpendicular al borde de caída mediante cable de arriostamiento o línea de vida que una los dos cajetines intermedios del dispositivo. Por tanto, para su simulación se define la restricción de desplazamiento en este eje de forma que el cajetín pueda deformar en esta dirección como máximo la flecha de la línea de vida.

La mayor deformación se produce cuando el punto de anclaje móvil se encuentra junto al anclaje intermedio ya que la componente de fuerza transmitida en el eje x (F_x) es mayor. A pesar de ello, en este caso la resultante de la fuerza que se ejerce sobre el cajetín (F) es más pequeña que si la caída se produce con el punto de anclaje móvil en mitad del vano y su deformación permanente resulta menor.

La deformación en todos los casos es inferior a 10 mm cumpliendo con la norma EN 795 (2012).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	95/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Análisis de carga estática:

- Suponiendo la utilización del sistema con 2 usuarios, la carga definida según especificación técnica CEN/TS 16415 es de 12 + 1 kN y factor de seguridad 2.


Según las diferentes simulaciones llevadas a cabo, la tensión máxima alcanzada resulta mayor que el límite elástico por lo que el material del cajetín alcanza el régimen plástico y llega a deformar de forma permanente.

Al superar este límite elástico resulta necesario analizar los distintos casos mediante estudio no lineal.

En la Figura 47 se observa que la tensión se acumula en puntos concretos. Éstos se localizan en la línea del cajetín donde termina de introducirse al pie derecho y junto a las ranuras.

Los casos más desfavorables se producen en los casos IV y V correspondientes al anclaje intermedio. Esto se debe a la falta de un arriostamiento directo en la dirección perpendicular al borde, y que permite al modelo deformar hasta la flecha máxima que experimenta la línea de vida. A pesar de ello, en ninguna de las simulaciones el cajetín llega a romper (límite de rotura del material es aproximadamente de 500 N/mm²) cumpliendo así con lo marcado en la norma EN 795 (2012).

CASO DE CAÍDA	DESCRIPCIÓN	ANCLAJE DE ESTUDIO	TENSIÓN MÁXIMA (MPA)
CASO I	Banda OESTE - centro vano 20 m	extremo	287,427
CASO II	Banda OESTE - junto anclaje	extremo	211,805
CASO III	Banda OESTE - centro vano 8 m	extremo	287,427
CASO IV	Banda NORTE - centro vano 20 m	extremo	310,397
		intermedio	466,173
CASO V	Banda NORTE - junto anclaje	intermedio	490,580
CASO VI	Banda NORTE - junto anclaje	extremo	180,919

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	96/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

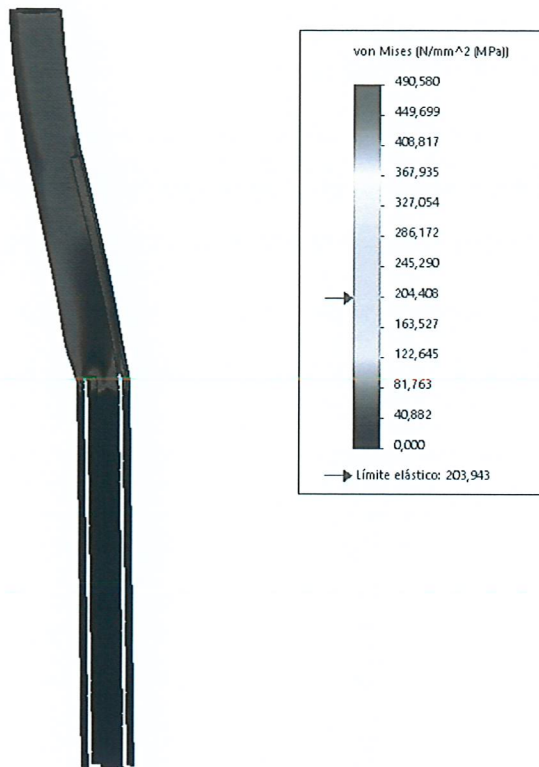


Figura 317. Ejemplo trazado de tensiones de von Mises.

Frecuencia:

Atendiendo a la norma EN 795 (2012), la frecuencia de resonancia de la estructura a la que se acoplan los anclajes, debe ser superior a 100 Hz. Realizando el estudio de frecuencia para el cajetín, su frecuencia natural resulta ser de 125,91 Hz (> 100 Hz).

Pandeo:

El cajetín, al ser una estructura esbelta, si se aplica una carga de compresión en la dirección de su eje longitudinal tenderá a doblarse ya que así almacena menos energía que acortándose.

La carga crítica de pandeo (P_{cr}) se define según la ecuación de Euler como:

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	97/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

$$P_{cr} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2} \quad (64)$$

donde:

- E = módulo elástico del material
- I = momento de inercia
- L_p = longitud equivalente del cajetín
- n = forma modal de pandeo (en este caso n=1)

La longitud equivalente (L_p) tendrá un valor u otro en función de las condiciones de borde (apoyado, empotrado, libre). Su valor se calcula como:

$$L_p = L \cdot \beta \quad (65)$$

siendo:

- L = longitud del cajetín susceptible a pandear (~0,5 m)
- β = factor de forma (siendo empotrado – libre este factor es 2)

La carga axial necesaria para que ocurra este fenómeno de pandeo será de 345'71 kN, siendo este valor mayor que la máxima carga axial al que se somete el modelo (> 10'5 kN) y, por tanto, él cajetín no pandeará.

4.3.2.2. Ensayo dinámico

Para la evaluación del comportamiento dinámico del sistema, se instaló la línea de vida en el invernadero U7 de la Fundación Finca Experimental Universidad de Almería – ANECOOP.

Las pruebas se realizaron según la siguiente disposición en cubierta (Figura 48):

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	98/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

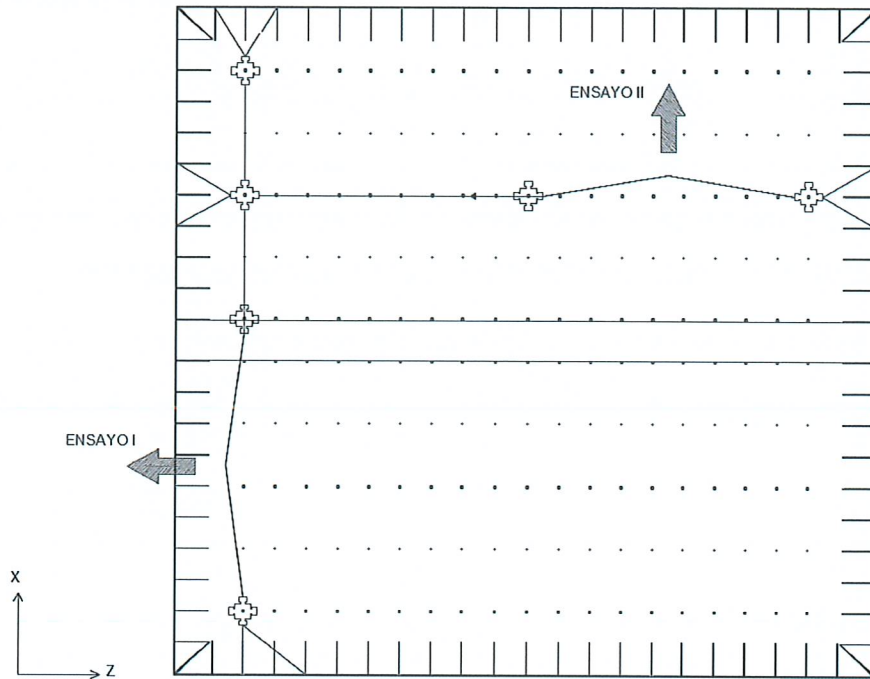


Figura 328. Ensayos para prueba de carga dinámica del dispositivo de anclaje

Según la instalación de la línea de vida para su evaluación, se llevaron a cabo los ensayos en las posiciones del punto de anclaje móvil más desfavorables como son en mitad del vano de 20 metros entre un anclaje extremo y un anclaje intermedio (el primer ensayo con caída de la masa de prueba en el borde de la banda oeste, y el segundo ensayo en la banda norte).

Los datos de los que se parten para la evaluación son:

- masa de prueba: 120 kg
- línea de vida: 8 mm (diámetro nominal)
- cables de arriostamiento: 8 mm (diámetro nominal)
- flecha de la línea de vida: 30 cm
- distancia horizontal a la que se deja caer la masa: 0,3 m

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	99/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			



Figura 49. Absorbedor de energía en el elemento de amarre

Una vez realizadas ambas pruebas se obtienen los siguientes resultados:

Ensayo 1 (banda oeste):

- ✓ La masa de prueba se mantiene alejado del suelo unos 50 cm (Figura 50).
- ✓ El absorbedor de energía que incorpora el elemento de amarre no llega a desplegarse, por lo que el impacto no supera el máximo de 6 kN (Figura 49).
- ✓ El cajetín intermedio queda deformado tras el ensayo.



Figura 50. Dispositivo de anclaje con masa de prueba tras el ensayo 1

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	100/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Ensayo 2 (banda norte):

- ✓ La masa de prueba se mantiene alejado del suelo unos 30 cm (Figura 51, izq.).
- ✓ El impacto no alcanza el máximo de 6 kN, aunque el absorbedor se despliega un poco más respecto al ensayo anterior.
- ✓ También se deforma el anclaje intermedio de forma permanente, siendo esta deformación mayor que en el caso anterior (Figura 51, dcha.).

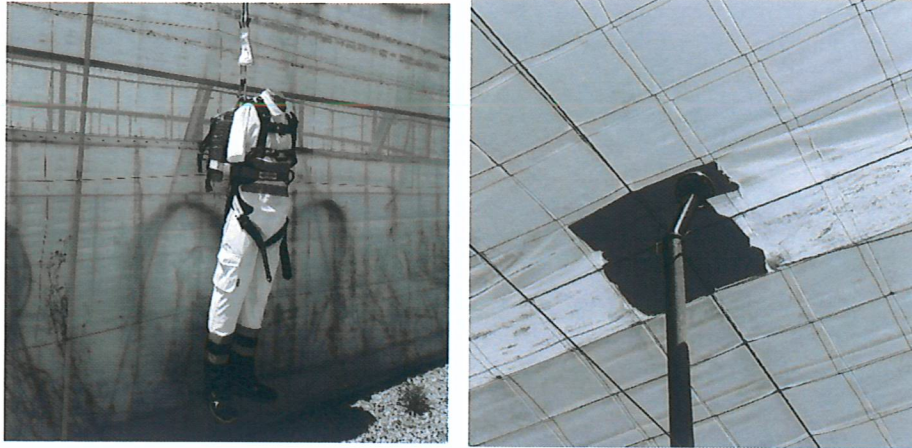


Figura 51. Masa de prueba tras el ensayo 2 (izq.) y cajetín intermedio deformado (dcha.)

Tras la ejecución de ambas pruebas son varias las conclusiones obtenidas. La más importante es el éxito que ha tenido el dispositivo instalado ya que ha sido capaz de detener la masa de prueba sin que ésta impacte contra el suelo.

La forma en que se ha llevado el ensayo representa una simulación de caída que no es acorde a la realidad. Si cayera el operario en cubierta, éste caería desde la superficie de trabajo y no desde el aire como ocurre en los ensayos, por lo que el efecto de frenado por rozamiento de la eslinga no existe en estas pruebas.

Por último, cabe destacar la adecuación de los diámetros de cable utilizados tanto para la línea de vida como para arriostramientos, ya que tras los ensayos no se han apreciado signos de rotura.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	101/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4.3.3. CÁLCULO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN DE BORDE

Para validar el diseño de la barandilla de protección clase B según cálculo estructural (Figura 52), éste deberá cumplir con los requisitos de carga estática (apdo. 4.2.2.1.)

a) Propiedades del material:

Acero galvanizado	
Criterio de error	Tensión de Von Mises
Límite elástico	203,943 N/mm^2
Límite de tracción	356,901 N/mm^2
Módulo elástico	200.000 N/mm^2
Coeficiente de Poisson	0,29
Densidad	7,87 g/cm^3

Tabla 5. Propiedades del material (Sistema de protección de borde)

b) Cargas y sujeciones:

- ✓ Geometría fija (restringiendo cualquier movimiento de traslación o rotación en las caras internas del cajetín donde se acopla al pie inclinado mediante tornillos).
- ✓ Las cargas serán puntuales (en un área como máximo 100x100 mm) o distribuidas.

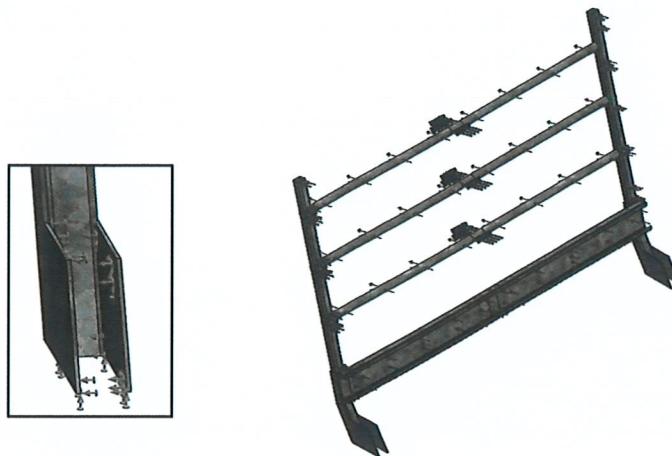


Figura 52. Representación de geometría fija (izq.) y, cargas puntuales – azul y distribuida – rojo (dcha.)

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por

Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería

Fecha

18/12/2020

ID. FIRMA

blade39adm.ual.es

5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

PÁGINA

102/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

c) **Mallado:**

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elementos	50 mm
Tamaño mínimo de elementos	10 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	169027
Número total de elementos	87031
Cociente máximo de aspecto	40,339
% elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	49,9
Tamaño control de malla	2,5 mm

Tabla 6. Información de malla (Sistema de protección de borde)

Para evaluar la calidad del mallado (Tabla 6) se puede consultar los trazados de calidad de malla:

- ✓ Cociente de aspecto: menor de 40 en zonas de mayor tensión (Figura 53).

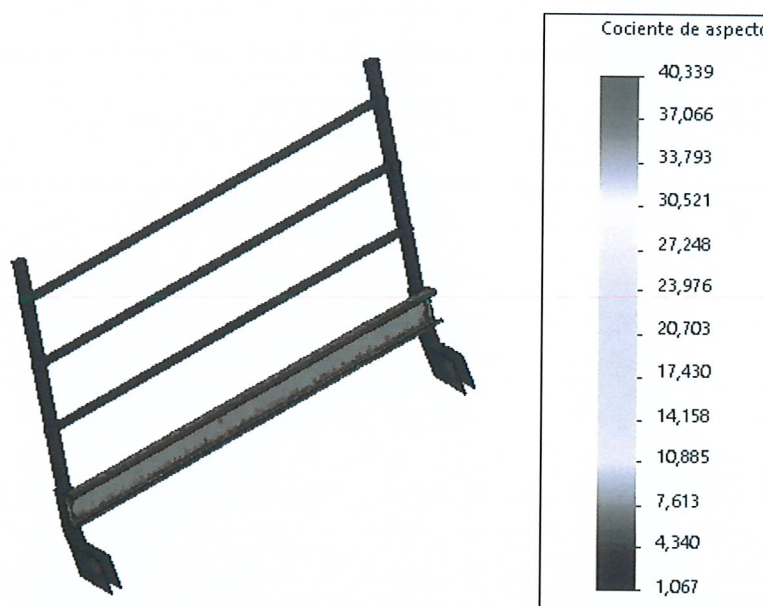



Figura 53. Trazado de calidad de malla (cociente de aspecto)

- ✓ Jacobiana: su valor máximo no debe exceder de 50 (Figura 54).

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	103/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

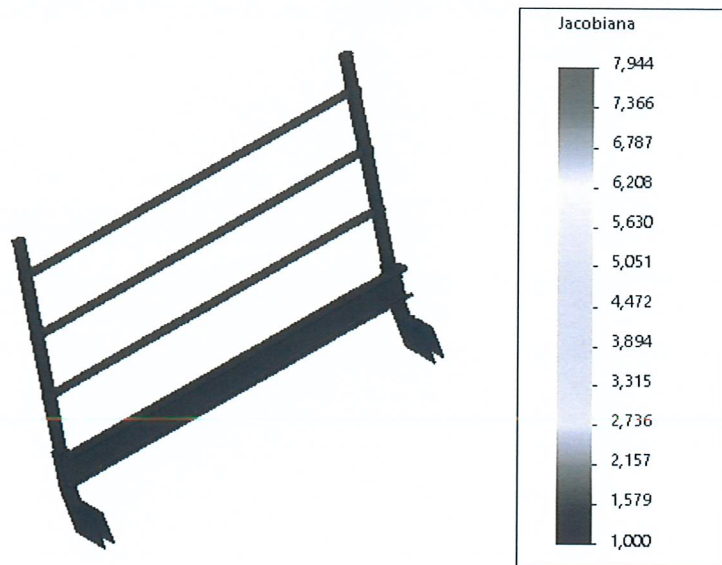


Figura 334. Trazado de calidad de malla (Jacobiana)


4.3.3.1. Resultados (UNE EN 13374:2013 + A1)

I. Estado límite de servicio:

Como se muestra en la Tabla 7, en ningún caso se alcanza una flecha elástica superior a 55 mm, siendo la máxima deformación puntual de 4,497 mm en la barandilla principal con carga de 300 N hacia abajo paralela al sistema de protección.

Tipo de carga	Descripción	Carga puntual [N]	γf	Deformación máxima [mm]
Nivel plinto FT2	paralelo entre postes	200	1	0,734
	perpendicular entre postes			0,575
	paralelo junto al poste			0,087
	perpendicular junto al poste			0,268
Nivel barandilla principal FT1	paralelo entre postes	300	1	2,064
	perpendicular entre postes			0,829
	paralelo junto al poste			4,497
	perpendicular junto al poste			0,418

Tabla 7. Resultados de simulaciones para el tipo de cargas de estado límite de servicio

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	104/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

II. Estado límite último:

Como se puede observar en la Tabla 8, las máximas tensiones se producen en el rodapié con cargas accidentales junto al poste. La máxima tensión resulta de 199'59 MPa, inferior en todo caso al límite elástico de 203'943 MPa para el acero galvanizado, cumpliendo así con la norma UNE-EN 13374 (2013).

Tipo de carga	Descripción	Carga puntual [N]	Carga distribuida [N/mm ²]	f _f	Tensión máxima [MPa]
Nivel plinto FH2	entre postes	200	-	1,5	55,812
	junto al poste				9,828
Nivel barandillas FH1	entre postes	300	-	1,5	68,820
	junto al poste				34,482
Viento máximo QMW	hacia fuera	-	600	1,5	82,844
	hacia dentro				49,382
Combinación de cargas QWW + FH2	entre postes	200	200	1,5	83,748
	junto al poste				44,980
Combinación de cargas QWW + FH1	entre postes	300	200	1,5	149,900
	junto al poste				84,127
Carga paralela FH3	barandilla principal	200	-	1,5	15,521
Carga accidental nivel plinto FD	entre postes (15º hacia fuera)	1250	-	1	183,634
	entre postes (0º)				171,639
	entre postes (15º hacia dentro)				166
	junto al poste (15º hacia fuera)				198,170
	junto al poste (0º)				199,590
	junto al poste (15º hacia dentro)				197,078
Carga accidental nivel barandilla FD	entre postes (15º hacia fuera)	1250	-	1	59,157
	entre postes (0º)				58,157
	entre postes (15º hacia dentro)				61,958
	junto al poste (15º hacia fuera)				17,150
	junto al poste (0º)				16,975
	junto al poste (15º hacia dentro)				30,315

Tabla 8. Resultados de simulaciones para el tipo de cargas de estado límite último

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	105/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4.3.4. EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAÍDA DE LOS TRABAJADORES SOBRE LA MALLA DE ALAMBRE DE LA CUBIERTA

Partiendo de que Pérez et al. (2008) realizaron una evaluación de riesgos laborales identificando los posibles peligros y valorándolos para cada uno de los puestos de trabajo que realizan los trabajadores de la construcción y mantenimiento de invernaderos. En el presente trabajo, solamente se muestran las principales tareas desarrolladas en altura en la cubierta de los invernaderos por los trabajadores que pueden producir caída de los mismos sobre la cubierta de plástico, ya que con relación a la caída por el perímetro, precisamente se han generado sistemas de protección que la impedirían.

Las tareas que se desarrollan habitualmente en la cubierta de los invernaderos *Tipo Almería*, son la colocación o cambio del plástico de cubierta (por la cuadrillas especializadas de colocación de plástico), el encalado o desencalado de la cubierta para disminuir la radiación solar que entra en el interior del invernadero en época de alta radiación (por personal especializado en el encalado o eliminación de la cal), otras labores de mantenimiento como arreglo de ventanas o canaletas de evacuación de pluviales (por personal especializado en estas labores). En todas estas tareas, de los 33 peligros considerados en la evaluación que se exponen en la Tabla 9, se consideran relevantes los que se muestran en rojo en dicha Tabla 9 y se expone simplificada su evaluación en la Tabla 10.

PELIGROS	
1. Caída de personas al mismo nivel.	18. Contactos con sustancias cáusticas y/o corrosivas
2. Caída de personas a distinto nivel.	19. Exposición a radiaciones.
3. Caída de objetos por desplome.	20. Explosiones.
4. Caída de objetos en manipulación	21. Incendios
5. Caída de objetos desprendidos.	22. Causados por seres vivos.
6. Pisadas sobre objetos.	23. Atropellos o golpes con vehículos.
7. Golpes contra objetos inmóviles.	24. " In itinere "
8. Golpes y contactos con elementos móviles	25. Causas naturales
9. Golpes o cortes por objetos o herramientas	26. Manipulación manual de cargas
10. Proyección de fragmentos o partículas	27. Movimientos repetitivos.
11. Atrapamientos o aplastamiento por y entre objetos.	28. Posturas inadecuadas.
12. Atrapamientos por vuelco de máquinas	29. Pantallas de visualización de datos.
13. Sobreesfuerzos	30. Causas psicosociales.
14. Exposición a temperaturas extremas	31. Agentes químicos.
15. Contactos térmicos.	32. Agentes físicos.
16. Contactos eléctricos	33. Agentes biológicos.
17. Inhalación o ingestión de sustancias nocivas	

Tabla 9. Descripción de Riesgos a tener en consideración en la evaluación

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	106/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

FICHA EVALUACIÓN DE RIESGOS											
PELIGROS	Consecuencias			Probabilidad			Estimación del riesgo				
	LD	D	ED	B	M	A	T	TO	MO	I	IN
1. Caída de personas al mismo nivel.			X		X				X		
2. Caída de personas a distinto nivel.		X			X					X	
4. Caída de objetos en manipulación		X			X				X		
6. Pisadas sobre objetos.		X			X			X			
7. Golpes contra objetos inmóviles.	X				X			X			
8. Golpes y contactos con elementos móviles		X		X				X			
9. Golpes o cortes por objetos o herramientas		X			X				X		
13. Sobreesfuerzos		X			X				X		
14. Exposición a temperaturas extremas		X			X				X		
18. Contactos con sustancias cáusticas y/o corrosivas*		X			X				X		
19. Exposición a radiaciones.		X			X				X		

Tabla 10. Ficha resumen de la evaluación de riesgos considerados
(* Únicamente para la tarea de encalado de la cubierta)

Una vez evaluados los riesgos, es necesario adoptar medidas preventivas que los minimicen o los eviten. Por ello, para controlar estos riesgos, se proponen las siguientes actuaciones:

Caída de personas al mismo nivel:

- Se debe procurar colocar todos los materiales y equipos necesarios para el trabajo en la cubierta en un lugar destinado para ello, diseñando zonas de acopio separadas de las de tránsito y trabajo, debiendo estar debidamente señalizado, balizado y delimitado.
- Se debe utilizar calzado de seguridad homologado que sea adecuado al tipo de superficie en la que trabajan, en este caso la cubierta flexible del invernadero, provisto de suela antideslizante y que sujete el pie adecuadamente. Y además cuando se muevan los trabajadores deben pisar en los cruces de los alambres de las mallas de cubierta, para evitar la posible rotura del plástico.
- Se debe mantener la zona de trabajo en adecuado orden y limpieza de acuerdo al Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, y el Real Decreto

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	107/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

486/1997 de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

Caída de personas a distinto nivel:

- Los trabajos en altura solamente se realizarán con la ayuda de equipos concebidos a tal fin o utilizando dispositivos de protección colectiva como barandillas, redes de seguridad, plataformas elevadoras, etc.
- Los andamios, pasarelas y plataformas, desniveles, huecos y aberturas (tanto verticales como horizontales) que supongan riesgo de caída de altura para los trabajadores superior a 2 m se protegerán mediante barandillas o cualquier otro sistema de protección colectiva de seguridad equivalente.
- Las escaleras de mano utilizadas deben cumplir con las condiciones de diseño y utilización señaladas en el R. D. 486/97, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- El manejo de escaleras de mano debe ser tal que deben estar ancladas a la parte superior y dispondrá de dispositivos antideslizantes en su base, superando siempre un metro el punto superior de apoyo. Cuando se asciende y desciende por la misma hay que realizarlo mirando a la escalera, nunca se debe realizar de espaldas.
- La manipulación manual de cargas se debe realizar preferentemente sobre superficies estables en las que sea difícil perder el equilibrio.
- En el caso de que se realice cualquier trabajo en el que no se haya podido evitar el riesgo de caída en altura con un equipo de protección colectiva se utilizará un equipo de protección individual formado por: punto de enganche fijo y seguro, cuerda con absorbedor de energía y arnés de trabajo.

Caída de objetos en manipulación:

- En ningún caso se izarán cargas por encima de los trabajadores.
- En la colocación de elementos prefabricados los operarios instaladores se separarán de la zona de recepción y no regresarán hasta que las piezas hayan sido descargadas y estén junto a la zona de colocación.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería		Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA	108/131
				
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==				

- Los ganchos, cadenas y eslingas estarán en buen estado de conservación, serán de características adecuadas al peso a mover y poseerán la certificación correspondiente.

Pisadas sobre objetos:

- Mantener la la cubierta ordenada durante todo el tiempo que se realizan las obras o mantenimiento, diseñando zonas de acopio separadas de las de tránsito y trabajo.
- Los trabajadores utilizarán botas de seguridad adecuadas al tipo de superficie en el que estén trabajando.

Golpes contra objetos inmóviles:

- Mantener la cubierta del invernadero ordenada, diseñando zonas de acopio separadas de las de tránsito y trabajo.
- Los trabajadores utilizarán botas de seguridad adecuadas al tipo de superficie en el que estén trabajando.
- Para que los operarios realicen con adecuada seguridad su trabajo, se dispondrá de zona adecuada delimitada y acotada para la colocación de los equipos de trabajo.

Golpes y contactos con elementos móviles:

- Las zonas de trabajo de maquinaria en la cubierta deben estar balizadas y bien señalizadas para impedir el paso del personal.
- Las reparaciones se realizarán con los materiales y las condiciones adecuadas y siempre por técnicos autorizados.
- Los trabajadores se distribuirán en los tajos de cubierta de tal forma que no se estorben entre sí.

Golpes o cortes por objetos o herramientas:

- Se utilizarán herramientas en buen estado de conservación, desechando las que tengan mangos astillados o rotos.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Camelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

- Cada herramienta se utilizará únicamente para los trabajos para los que ha sido concebida.
- Los operarios recibirán las instrucciones necesarias para el correcto uso de las herramientas.
- Los operarios dispondrán de cinturón portaherramientas cuando realicen su trabajo con las mismas.
- Los operarios utilizarán los EPIS adecuados a las tareas que estén realizando, como norma general: botas de seguridad, ropa de trabajo, casco y guantes.
- Los equipos de trabajo cuando no se utilizan se deben guardar siempre en su habitáculo de protección.

Sobresfuerzos:

- Cada trabajador realizará los trabajos físicos de acuerdo con su capacidad.
- Las máquinas cumplirán unas condiciones mínimas desde el punto de vista ergonómico: posición de trabajo, absorción de vibraciones, etc.
- Los trabajadores al realizar sus tareas deben evitar realizar esfuerzos desmesurados, movimientos continuos y repetitivos.
- Los trabajadores deben evitar al realizar sus tareas en las que hay que realizar esfuerzo las torsiones del tronco y desplazamientos laterales.
- Hay que establecer pausas en tareas de esfuerzo a lo largo de la jornada diaria de trabajo, como ocurre en las tareas de colocación del plástico y soldadura en altura.
- Los trabajadores que deban realizar manejo manual de cargas lo realizarán de acuerdo al Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, de manipulación manual de cargas, y a la Guía de manipulación manual de cargas.
- La carga en manipulación manual se debe agarrar con ambas manos y pegarla al cuerpo manteniendo la espalda recta.
- El movimiento de cargas en vertical se debe evitar realizarlo manualmente, para ello se utilizarán elementos elevadores de cargas.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 110/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Exposición a temperaturas extremas:

- Los trabajadores dispondrán de ropa de trabajo en función del clima del lugar y de la época del año en que se realice el trabajo.
- Los trabajadores deben evitar la ingesta de alcohol para acudir al trabajo.
- En época de alta temperatura, los trabajadores deben cubrirse la cabeza con un gorro, aplicarse crema con protección solar y beber mucho agua o bebidas isotónicas.
- En caso de temperaturas extremas se debe suspender el trabajo hasta que cambien.
- Realizar rotaciones de trabajadores para disminuir el tiempo de exposición a temperaturas extremas y contemplar descansos de 5 a 10 minutos cada 2 horas de trabajo.

Contactos con sustancias cáusticas y/o corrosivas:

Para el caso de los trabajadores que realizan el enclado y desenclado de la cubierta de los invernaderos, se deben considerar las siguientes medidas preventivas:

- Si se han de manipular líquidos corrosivos o tóxicos se usarán los EPI adecuados al riesgo, certificados.
- Los trabajadores que han de aplicar la solución para enclado deben utilizar mascarillas, botas altas de goma, guantes y traje impermeable.

Exposición a radiaciones:

- Los trabajadores deben utilizar los EPIS preceptivos, certificados para el riesgo.
- Los operarios de la cuadrilla de soldadura que puedan realizar labores en la cubierta debe utilizar gafas especiales con cristales filtrantes.
- Los operarios deben utilizar gorros, gafas de sol y protegerse con cremas solares adecuadas.
- Los trabajadores deben utilizar la ropa de trabajo propia de la época del año en que se realiza la tarea. Se debe evitar trabajar en épocas de mayor radiación solar sin camiseta.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	111/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4.3.5. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

De las dos alternativas generadas y evaluadas anteriormente que se seleccionaron para su evaluación técnica, se realizó un análisis económico consistente en cuantificar el coste de implantación de cada una de ellas sobre el invernadero tipo raspa y amagado, y en los subepígrafes siguientes se expresa el coste en euros por metro lineal de sistema de protección (€/m) y por metro cuadrado de invernadero (€/m²). Como se puede observar, la alternativa más económica es instalar líneas de vida para la protección del perímetro de la cubierta del invernadero, que además desde el punto de vista técnico es más factible que la otra alternativa. El coste por m² de invernadero del sistema de protección de borde de la barandilla es un 85 % más caro que el sistema de líneas de vida.

4.3.5.1. Sistema de línea de vida

El coste de los elementos que constituyen el sistema de línea de vida y de su instalación se obtiene mediante la suma de los siguientes conceptos:

Coste de los elementos estructurales con IVA (21%) para 152 m: 4927,12 €

Coste de la mano de obra especializada de apoyo al montaje con IVA (21%): 237,16 €

Obteniéndose un coste total de 5164,28 €.

Puesto que este coste se corresponde con 152 m de instalación, el coste por metro lineal es de 33,97 €/m. Y si se expresa el coste por m² de invernadero, el coste es de 2,67 €/m², sabiendo que el invernadero tiene una superficie de 1935 m².

4.3.5.2. Sistema de protección de borde

El coste (IVA incluido (21%)) de los elementos que constituyen el sistema de protección de borde (barandilla) más la mano de obra de su instalación es de 2609,67 €. Puesto que se ha instalado solamente 48 metro lineales de barandilla en su viento Norte (incluye la ejecución de la esquina noroeste), el coste por metro lineal es de 54,37 €/m. el coste por m² de invernadero hay que estimarlo a partir de este dato sabiendo que el perímetro del invernadero es de 176 m y su superficie de 1935 m². Si se hubiera instalado la totalidad del

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	112/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

perímetro del invernadero U7, el coste hubiese sido de 9569,12 €, que expresado por m2, sería de 4,94 €/m2.

4.3.5.3. Estudio comparativo de la disminución del coste del sistema de líneas de vida en invernaderos de mayor superficie

Debido a que el invernadero U7 presenta una superficie pequeña de 1935 m2, dado su carácter experimental, el coste por m2 que se ha obtenido sería superior al que se obtendría para un invernadero de mayor superficie, como por ejemplo 1 o 2 has, que son superficies muy comunes en las explotaciones de Almería. Por ello, se expone a continuación una estimación del coste por m2 en cada uno de estos dos casos, partiendo del coste unitario que se ha obtenido en el invernadero U7 para el sistema de líneas de vida.

Invernadero de 1 ha de dimensiones 100*100 m:

Longitud total de líneas de vida: $95 \cdot 4 = 380$ m

Coste total de las líneas de vida: $33,97 \text{ €/m} \cdot 380 \text{ m} = 12908,6 \text{ €}$

Coste por m2 de invernadero: $12908,6 \text{ €} / 10000 \text{ m}^2 = 1,29 \text{ €/m}^2$

Disminución del coste por m2 de invernadero respecto del coste experimental: 51,68%

Invernadero de 2 ha de dimensiones 100*200 m:

Longitud total de líneas de vida: $95 \cdot 2 + 195 \cdot 2 = 580$ m

Coste total de las líneas de vida: $33,97 \text{ €/m} \cdot 580 \text{ m} = 19702,6 \text{ €}$

Coste por m2 de invernadero: $19702,6 \text{ €} / 20000 \text{ m}^2 = 0,98 \text{ €/m}^2$

Disminución del coste por m2 de invernadero respecto del coste experimental: 63,29%

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	113/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

4.3.6. SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EVALUADAS

Del análisis técnico realizado en los epígrafes 4.3.3. y 4.3.4. y del análisis económico realizado en el epígrafe 4.3.5 se desprende que el sistema de protección de líneas de vida es técnicamente y económicamente más factible, por lo que se selecciona como opción a proponer para su instalación e implementación el sistema de líneas de vida diseñado y evaluado. Aunque, a pesar de ello, a modo de prueba y exposición, del sistema de protección de borde de barandillas, se ha implementado también en el invernadero U7, en su viento norte y esquina noroeste, 48 m de este sistema de protección.

4.4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN SELECCIONADOS

En el presente epígrafe se expone mediante fotografías la implementación en el invernadero U7 de los dos sistemas de protección de caída en altura propuestos.

4.4.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMAS DE LÍNEAS DE VIDA

Inicialmente el sistema de protección de líneas de vida se instaló para proteger los lados Norte y Oeste de la cubierta del invernadero (Figuras 55, 56 y 57), de forma que se utilizó en los vientos de anclaje de los cajetines verticales cable de 6 mm. Y en este sistema de líneas de vida se realizó el ensayo dinámico.

Posteriormente, se sustituyeron los dos postes deformados al realizar el ensayo dinámico (vease epígrafe 4.3.2.2.), y se instaló el sistema completo de líneas de vida para proteger los cuatro lados de la cubierta del invernadero. Y en este caso, ya para todos los vientos de anclaje de los cajetines verticales con cable de 8 mm.



Figura 345. Cajetín de acero ranurado introducido en el pilar por los huecos de la tapaperforada

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 114/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==



Figura 356. Cable de acero de la línea de vida instalado sobre cajetines verticales en la vertiente Oeste

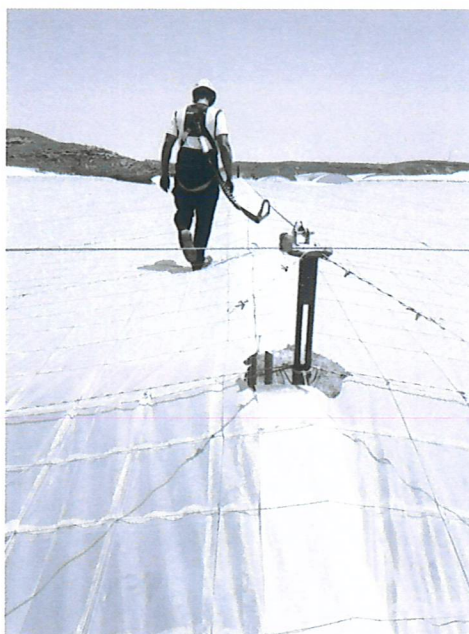



Figura 367. Cable de acero de la línea de vida instalado sobre cajetín vertical paralelo a la ventana cenital de la vertiente Norte

Pero previamente a la instalación de los cajetines, hubo que destensar una línea de cables de amagado para eliminar la tapa que disponen los pilares de la raspa del invernadero (pies derechos) en su cabeza, para sustituirlos por la tapas perforadas diseñadas

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	115/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

expresamente para este sistema de protección, para que se pùeda introducir el cajetin vertical en el interior del perfil tubular del pilar, por su cabeza. Se puede observar esta tapa perforada diseñada en la Figura 58.



Figura 378. Tapa perforada diseñada para que puedan anclarse los cajetines diseñados en el interior de los tubos de los pies derechos

En la Figura 59 se puede sobobservar un cajetín de anclaje diseñado antes de su instalación en la cubierta del invernadero sobre uno de los pies derechos. Obsérvese como el cajetín se encuentra ranurado en su mitad inferior, para que pueda penetrar a través de las ranuras practicadas en la nueva tapa de los pies derechos diseñadas (Figura 58).



Figura 389. Cajetín de anclaje diseñado para su instalación en la cabeza de los tubos de los pies derechos

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	116/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

En las Figura 60 y 61, se observa un detalle del elemento de sujeción del cajetín mediante tensores a la estructura perimetral del invernadero para que quede arriostrado.

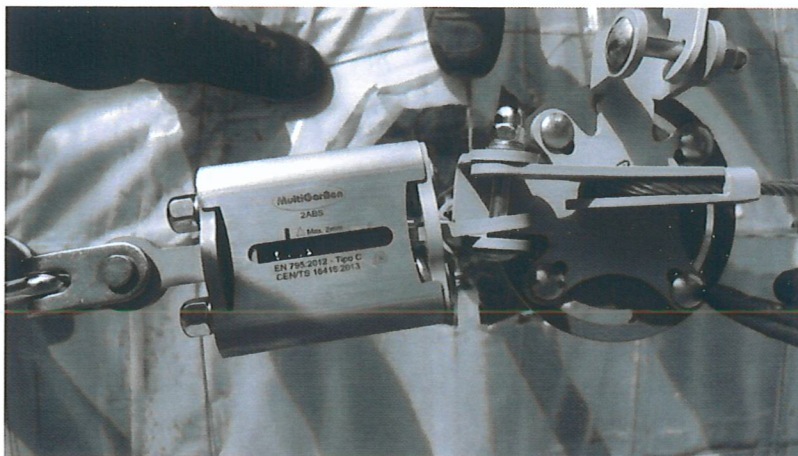


Figura 60. Elemento de sujeción del cajetín de anclaje para que quede arriostrado. Vista aérea

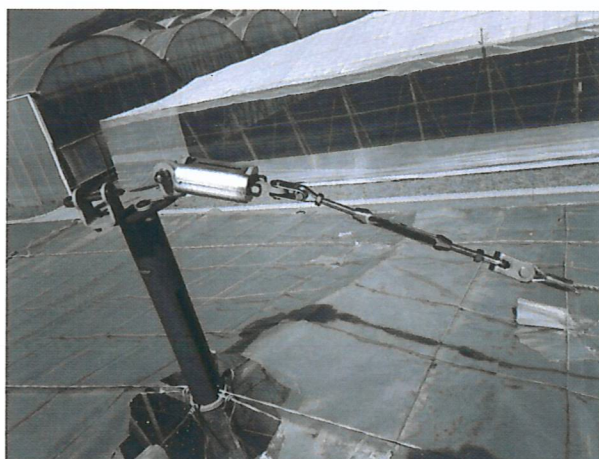


Figura 61. Elemento de sujeción del cajetín de anclaje para que quede arriostrado. Vista lateral

Y en la Figura 62 se muestra el arriostramiento mediante dos cables tensores (vientos) de uno de los cajetines extremos en la zona noroeste.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	117/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

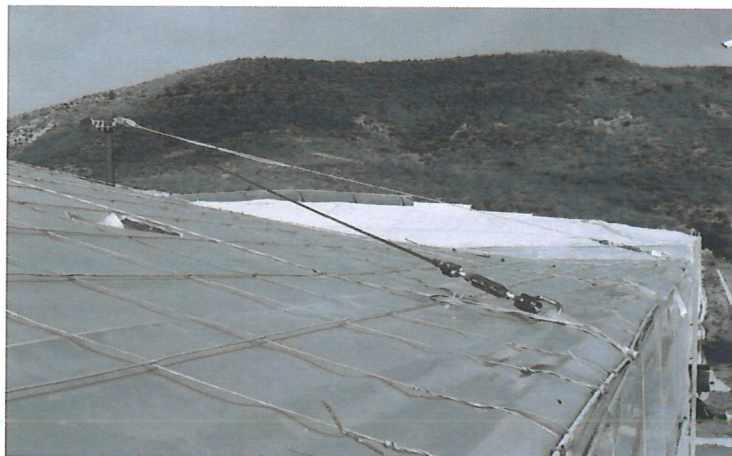


Figura 62. Ariostramiento de cajetín de anclaje de la esquina noroeste del invernadero

4.4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE BORDE DE BARANDILLAS

Como se ha indicado anteriormente, a pesar de que la alternativa elegida es la de protección mediante líneas de vida descrita en el epígrafe anterior, a modo de prueba y exposición, del sistema de protección de borde de barandillas, se ha implementado también en el invernadero U7, en su viento norte y esquina noroeste, 48 m de este sistema de protección. En la Figura 63 se muestra ya instalado el sistema de protección de borde de barandillas en su viento norte, donde se observa la conformación del mismo incluido su rodapié y el cajetín de ensamble de los tubos a los pilares perimetrales del invernadero.



Figura 63. Sistema de protección de borde de barandillas instalado en la vertiente Norte

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	118/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 119/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

5. CONCLUSIONES

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	120/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	121/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

5. CONCLUSIONES

Tras el diseño, evaluación e implementación de los sistemas de protección colectivos contra caídas propuestas en la presente Memoria Técnica, se extraen las siguientes conclusiones:

1. El cajetín para la línea de vida se ha diseñado para que se encuentre embutido dentro del pie derecho (alternativa 1.1.), siendo mejor opción que solapado al poste (alternativa 1.2.).
2. El sistema de protección de borde de barandilla, según la inclinación de la superficie de trabajo, condicionada por la pendiente de la cubierta del invernadero, debe ser una barandilla clase B.
3. Tanto la línea de vida como la barandilla de protección han sido validadas conforme a la actual normativa de referencia.
4. El sistema de protección de borde se utilizaría para trabajo en retención.
5. En cuanto al sistema de línea de vida con anclaje flexible horizontal, a priori se puede utilizar para trabajo en retención o para detener la caída. Sin embargo, tras el ensayo dinámico realizado, no asegura una distancia desde los pies del posible trabajador que cayera desde el borde al suelo de mínimo 1 metro (García-Haro, 2018) por lo que su uso se limita al de trabajo en retención.
6. Para evitar posibles errores de uso, el dispositivo de anclaje ha sido testado para condiciones de detención de caída.
7. La instalación de la barandilla de protección tiene mayor dificultad en su instalación, además de requerir más material y mayor mano de obra.
8. La instalación del sistema de línea de vida resulta bastante más económica que la barandilla de protección.
9. Se debería seguir analizando y evaluando ambos sistemas de protección desarrollados, con la finalidad de buscar mejoras que redunden en una mayor seguridad y los hagan más económicos.

Finalmente, cabe destacar que los sistemas expuestos en este proyecto han sido diseñados para el invernadero U7 de la Fundación Finca Experimental Universidad de Almería – ANECOOP. Para cualquier otro invernadero, en función de la altura y demás

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	122/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

dimensiones del invernadero donde se vaya a instalar un sistema de protección anticaídas, éste podría necesitar un ajuste para su adecuado funcionamiento.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 123/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

6. REFERENCIAS

107

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==	PÁGINA 124/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	125/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

6. REFERENCIAS

Argilés-Bosch, J.M., Martí, J., Monllau, T., García-Blandón, J., Urgel, T. 2014. Empirical analysis of the incidence of accidents in the workplace on firms' financial performance. *Saf. Sci.* 70, 123–132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.05.012>.

Argoud, M. 2019. Dispositivo de absorción de energía para el anclaje de una línea de vida o similar. Nº Publicación: 2 731 597. Oficina Española de Patentes y Marcas. Patente Europea. E 11171596 (7). 2019-18-11.

Aroca, R. 2010. Arriostramiento. Cuadernos del instituto Juan de Herrera. Madrid.

Ayuda de SolidWorks. 2020. Análisis estático no lineal. <http://help.solidworks.com/> (acceso 28 de Mayo 2020).

Cajamar. Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2018/2019. Cajamar Caja Rural. <<https://infogram.com/analisis-de-la-campana-hortofruticola-1hd12y9wyv3x6km>>. (acceso 21 de Octubre 2020).

Callejón-Ferre, A.J., Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Velázquez-Martí, B. 2011. Indices of ergonomic-psychosociological workplace quality in the greenhouses of Almería (Spain): Crops of cucumbers, peppers, aubergines and melons. *Safety Sci.* 49(5), 746-750.

Camino-López, M. A., Ritzel, D. O., Fontaneda, I., González-Alcántara, O. J. 2008. Construction industry accidents in Spain. *Journal of Safety Research* 5(5), 497–507. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsr.2008.07.006>.

Carreño, A., Pérez, J., Vázquez, J., Callejón-Ferre, A.J. 2012. A safer method of constructing multi-span greenhouses. *Informes de la Construcción* 64 (525), 93 – 102. doi: 10.3989/ic.09.050.

Carrillo-Castrillo, J.A., Trillo-Cabello, A.F., Rubio-Romero, J.C. 2017. Construction accidents: identification of the main associations between causes, mechanisms and stages of the construction process. *Int. J. Occup. Saf. Ergo.* 23, 240–250. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2016.1245507>.

Carrion, E.A., Irlés, R., Segovia, E.G., Pomares, J.C. 2016. Personal fall arrest systems under impact. Numerical simulations. *Informes de la Constuccion* 68 (542), e141. doi: 10.3989/ic.15.050.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	126/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

Cattledge, G.H., Schneiderman, A., Stanevich, R., Hendricks, S., Greenwood, J. 1996. Nonfatal occupational fall injuries in the West Virginia construction industry. *Accident Analysis and Prevention* 28 (5), 655 – 663. doi: 10.1016/0001-4575(96)00026-7.

Celigüeta, J. 2008. *Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural*. Unicopia. San Sebastián.

CEN/TS 16415:2013 “Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos de anclaje. Recomendaciones relativas a los dispositivos de anclaje para ser utilizados por varias personas al mismo tiempo”.

Chen, H.N., Luo, X.W. 2016. Severity Prediction Models of Falling Risk for Workers at Height. 5th Creative Construction Conference (CCC 2016) 164, 439 – 445. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.642.

Chia-Wen, L., Tsung-Lung, Ch. 2016. Reducing occupational injuries attributed to in attentional blindness in the construction industry. *Saf. Sci.* 89, 129–137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.06.010>.

CIMWORKS. 2020. eTip: Cálculo Lineal vs No Lineal - SOLIDWORKS SIMULATION. <https://www.cimworks.es/> (acceso 28 de Mayo 2020)

Del Campo, H. 2020. Triángulo de fuerzas: lo que hay que saber. <https://www.granvertical.com/2015/06/27/triangelos-de-fuerzas-lo-que-hay-que-saber/> (acceso 28 de Mayo 2020).

EN 795. 2012. Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de anclaje (EN 795:2012). AENOR. pp 44.

Fernández, D. 2014. Máquina para la construcción y el mantenimiento de la cubierta en invernaderos multitúnel. N^o Publicación: 2 452 765: Oficina Española de Patentes y Marcas. Patente. 201200686. 2014-02-04.

García, J. 2020. Empleo de la modelación por elemento finito (MEF) en la solución de problemas ingenieriles. <https://www.monografias.com/trabajos82/aplicacion-mef-soldadura/aplicacion-mef-soldadura2.shtml> (acceso 28 de Mayo 2020).

García-Haro, J.A.. 2018. Sistema de seguridad para la construcción y mantenimiento de invernaderos 2006-2018. Ed. Carta Gráfica. Murcia.

García-Quñonero, F. 2010. El Mar De Plásticos; Revista de la Consejería de educación en Reino Unido e Irlanda. Ireland, UK. pp. 1–4.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	127/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

Goh, Y.M., Love, P.E.D. 2010. Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers. Safety Science 48 (6), 747-754. doi: 10.1016/j.ssci.2010.02.020.

Gómez, S. 2010. SolidWorks Simulation. Ra-Ma. Madrid.

Hernández-Arriaza, F.A., Pérez-Alonso, J., Gómez-Galán, M., Salata, F. 2018. The Guatemalan Construction Industry: Approach of Knowledge Regarding Work Risks Prevention. Int. J. Environ. Res. Public Health 15, 2252. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102252>.

Hernández-Arriaza, F.A., Pérez-Alonso, J., Gómez-Galán, M., Salata, F., Callejón-Ferre, A.J. 2020. The Guatemalan Construction Characterization of the Perceived Risk by Managers of Suffering work accidents. Journal of Civil Engineering and Management 26 (8), 705-716. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.13727>.

Hino, Y. 2015. Safety performance of the full harness in various falling postures of wearer. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, AHFE 2015 3, 327-331. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.164.

Hughes T. 2000. The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis. Dover Publications. New York, USA.

INSHT. 2009. Dispositivos de anclaje de clase C. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

INSHT. 2015. Caídas a distinto nivel. ERGA FP nº 94 (septiembre-diciembre). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

INSST. 2020. Siniestralidad laboral en cifras. Observatorio estatal de condiciones de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Disponible online: <https://www.insst.es/home-el-observatorio> (acceso 14 de octubre 2020).

INSST. 2020. Siniestralidad mensual. Observatorio estatal de condiciones de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Disponible online: <http://www.oect.es/portal/site/Observatorio/menuitem.755e5ddd739c225b0d144976805053a0/?vgnnextoid=9036a5fc318b6410VgnVCM1000008130110aRCRD> (acceso 20 de septiembre 2020).

Issa, S.F., Nour, M.N., Field, W.E. 2018. Utilization and Effectiveness of Harnesses and Lifelines in Grain Entrapment Incidents: Preliminary Analysis. Journal of Agricultural Safety and Health 24 (2), 59 – 72. doi: 10.13031/jash.12170.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	128/131



5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==

Kissikova, L., Duglos, I. 2018. Comprehensive evaluation of the work at height. Acta Metallurgica Slovaca 24 (1), 100 – 106. doi: 10.12776/ams.v24i1.1006.

Lafargue, J., Sanz, F. 2002. Diseño industrial. Desarrollo del producto. Thomson-Paraninfo. Madrid, Spain.

Lee, K. 1999. Principles of CAD/CAM/CAE Systems. Addison-Wesley. Seattle, USA.

Línea Prevención. 2020a. Conceptos generales. <http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS42/html/cap-2/cap-2.html> (acceso 28 de Mayo 2020).

Línea Prevención, 2020b. Líneas de anclaje flexibles horizontales. <http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS42/html/cap-8/cap-8-5.html> (acceso 28 de Mayo 2020).

NTP 809. 2008. Nota Técnica de Prevención. “Descripción y elección de Dispositivos de anclaje”. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

NTP 843. 2009. Nota Técnica de Prevención. “Dispositivos de anclaje de Clase C”. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

NTP-1001. 2014. Nota Técnica de Prevención. “Invernaderos artesanales: riesgos de seguridad en su construcción y mantenimiento (I)”. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

NTP-1002. 2014. Nota Técnica de Prevención. “Invernaderos artesanales: riesgos de seguridad en su construcción y mantenimiento (II). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.

Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, A.J., Carreño-Ortega, A., Sánchez-Hermosilla, J. 2011a. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. Build. Environ. 46(8): 1725-1734.

Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Callejón-Ferre, A.J., Salinas-Andujar, J.A., Martín-Gil, J., Sánchez-Hermosillas, J., Pérez-Parra, J.J., Rubio-Gámez, M.C., Vázquez-Cabrera, F.J. 2010. Sistemas de prevención para el trabajo en altura en invernaderos Tipo Almería. X Congreso Andaluz de Seguridad y Salud Laboral. Preveexpo 2010/Prevencia 2010. Granada.

Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Callejón-Ferre, A.J., Vázquez-Cabrera, F.J. 2011b. Preventive activity in the greenhouse-construction industry of south-eastern Spain. Safety Sci. 49(2): 345-354.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	129/131
 5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Salinas-Andújar, J.A., Martín-Gil, J., Pérez-Parra, J.J., Rubio-Gámez, M.C., Sánchez-Hermosilla, J., Callejón-Ferre, A.J., López-Díaz, G. 2008. Análisis de riesgos laborales de los procedimientos constructivos de los invernaderos Tipo Almería. 6th International Conference on Occupational Risk Prevention. 14-16 may, La Coruña.

Pérez-Alonso, J., Carreño-Ortega, A., Vázquez-Cabrera, F.J., Callejón-Ferre, A.J., 2012. Accidents in the Greenhouse-Construction Industry of SE Spain. Appl. Ergon. 43(1): 69-80.

Reis, C.M., Machado, T.L., Mieirol, M.A.A., Oliveira, C. 2016. Safety coordinator specific on a road construction. Occupational safety and hygiene IV, 519-522. <https://doi.org/10.1201/b21172-99>.

Rodríguez, G. 1985. Manual de diseño industrial. Gustavo Gili. Ciudad de México, México.

Serna, J. 2020. Simulación y análisis avanzado de piezas y ensamblajes por el método de los elementos finitos con SolidWorks Simulation. <https://www.cadems.es/cursos-solidworks/simulation/> (acceso 28 de Mayo 2020)

Sulowski, A.C. 2006. How good is the 8 kN Maximum Arrest Force limit in Industrial Fall Arrest Systems? Seattle: WA: International Society for Fall Protection.

UNE 81652: 2013 “Redes de seguridad bajo forjado, requisitos de seguridad y métodos de ensayo”.

UNE EN 1263-1: 2018 “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 1: Requisitos de seguridad y métodos de ensayo”.

UNE EN 1263-2: 2016 “Equipamiento para trabajos temporales de obra. Redes de seguridad. Parte 2: Requisitos de seguridad para los límites de instalación”.

UNE-EN 13374. 2019. Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto. Métodos de ensayo (UNE-EN 13374:2013 + A1). AENOR. pp 39.

UNE-EN 360. 2002. Equipos de protección individual contra caídas de altura. Dispositivos anticaídas retráctiles (UNE-EN 360:2002). AENOR. pp 12.

Valenciano, J.D., Uribe-Toril, J., Milan-Garcia, J., Ruiz-Real, J.L., Arriaza, J.A.T. 2019 Auxiliary Companies of the Horticultural Sector as a Competitiveness Element: The Case of Almeria (Spain). International Journal of Environment Research and Public Health 16 (14), 2575. doi: 10.3390/ijerph16142575.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección: https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			
Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	130/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			

Valera, D.L.; Belmonte, L.J.; Molina-Aiz, F.D.; López, A. 2014. Los invernaderos de Almería: Análisis de su Tecnología y rentabilidad. Cajamar. Almería.

Von Elsner, B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Gratraud, J., Russo, G., Suay-Cortes, R. 2000. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries, part I: design requirements. Journal of Agricultural Engineering Research 75 (1), 1-16. doi:10.1006/jaer.1999.0502.

Yuan, J., Yi, W., Miao, M., Zhang, L., 2018. Evaluating the impacts of health, social network and capital on craft efficiency and productivity: A case study of construction workers in China. Int. J. Environ. Res. Public Health 15, 345. <https://doi.org/10.3390/ijerph15020345>.

Zuluaga, C.M., Albert, A., Winkel, M.A. 2020. Improving Safety, Efficiency, and Productivity: Evaluation of Fall Protection Systems for Bridge Work Using Wearable Technology and Utility Analysis. Journal of Construction Engineering and Management 146 (2), 04019107. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001764.

Puede verificar la autenticidad, validez e integridad de este documento en la dirección:
<https://verificarfirma.ual.es/verificarfirma/code/5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==>

Firmado Por	Carmelo Rodríguez Torreblanca - Rector de la Universidad de Almería	Fecha	18/12/2020
ID. FIRMA	blade39adm.ual.es	PÁGINA	131/131
			
5QbeCgNr8uCrJ51cmWko/Q==			