



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
INGENIERO AGRÓNOMO

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO
RESISTENTE EN CAMPO DE UN
INVERNADERO TIPO “ALMERÍA”**

ALUMNA:

PATRICIA MARÍN MEMBRIVE

DIRECTORA:

D. ARACELI PEÑA FERNÁNDEZ

ALMERÍA, OCTUBRE DE 2011

En primer lugar me gustaría expresar mi agradecimiento a Araceli, por darme la oportunidad de trabajar junto a ella, apoyarme y guiarme en cada momento.

También querría agradecerles su tiempo y sabiduría a Juan Checa y Juan Herrero, a Alejandro López por sus buenas ideas y ayudarnos en el comienzo, todos compañeros y amigos del departamento de Ingeniería Rural.

Y, por supuesto, a mi familia y a Sergio por estar siempre ahí.

0. ÍNDICE

0. ÍNDICE	1
0.1. ÍNDICE DE FIGURAS	6
0.2. ÍNDICE DE TABLAS	9
0.3. ÍNDICE DE GRÁFICAS	13
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	14
1.1. INTRODUCCIÓN	15
1.2. OBJETIVOS	17
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. LOS INVERNADEROS	19
2.1.1. Evolución de los invernaderos en la provincia de Almería	19
2.1.2. Tipos de estructuras de invernaderos	20
2.1.3. Evolución de las estructuras de los invernaderos.....	23
2.2. INVERNADERO “RASPA Y AMAGADO”	27
2.2.1. Componentes estructurales del invernadero tipo “raspa y amagado” ...	27
2.2.2. Cimentaciones empleadas en los invernaderos tipo “raspa y amagado”	29
2.2.3. Materiales empleados en la construcción de la estructura del invernadero.....	30
2.2.4. Proceso de montaje	32
2.3 LOS ESFUERZOS	33
2.3.1 Esfuerzos en un invernadero “raspa y amagado”	37

3. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. MATERIALES	41
3.1.1. Invernadero	41
3.1.2. Resumen de elementos.....	45
3.1.3. Instrumentos de medida para la determinación de los esfuerzos	46
3.1.4. Diseño experimental	48
3.1.5. Parámetros analizados.....	52
3.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO PARA EL CÁLCULO ANALÍTICO DE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO	52
3.2.1. Acciones consideradas en el cálculo.....	52
3.2.1.1. Acciones variables.....	54
3.2.2. Combinación de acciones.....	57
3.2.3. Metodología para el cálculo de cables, trenzas y alambres	59
3.2.3.1. Cables empleados en estructuras de enrame.....	59
3.2.3.2. Cables empleados en estructuras de cubierta	62
3.2.3.2.1. Cálculo de hilos sometidos a cargas continuas uniformemente repartidas	62
3.2.3.2.2. Cálculo de hilos sometidos a cargas puntuales, iguales y equidistantes	65
3.2.3.2.3. Cálculo de hilos sometidos a cargas puntuales, de valor distinto, simétricas respecto al eje central y equidistantes	68
3.2.4. Reparto de cargas	72
3.2.5. Metodología para el cálculo de soportes verticales o pies derechos.....	73

3.2.6. Metodología para el cálculo de los amagados	78
3.2.7. Metodología para el cálculo de los tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico	79
3.2.7.1. Soportes o pies inclinados	81
3.2.7.2. Tensores.....	82
3.2.8. Metodología para el cálculo de los tensores y soportes perimetrales de extremos de correas	83
3.2.8.1. Soportes o pies inclinados	84
3.2.8.2. Tensores.....	84
3.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	86
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
4.1. RESULTADOS PARA LOS ESFUERZOS MEDIDOS	88
4.1.1 Análisis temporal de los esfuerzos.....	90
4.1.1.1. Evolución de los esfuerzos	90
4.1.1.2. Días puntuales	94
4.1.1.3. Días de máximos y mínimos esfuerzos	97
4.1.1.4. Máximos incrementos.....	99
4.1.2. Distribución de esfuerzos en el invernadero	100
4.1.2.1. Relación entre elementos.....	101
4.1.2.2. Distribución de los máximos y mínimos esfuerzos en el invernadero	103
4.1.3. Resumen de resultados.....	105
4.2. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LA ESTRUCTURA.....	106
4.2.1. Datos para el dimensionamiento	106

4.2.2. Cálculo de acciones con el CTE	106
4.2.2.1. Acciones variables: Sobrecarga de uso	106
4.2.2.2. Acciones variables: Viento	107
4.2.2.3. Acciones variables: Acciones térmicas	115
4.2.2.4. Acciones variables: Nieve	115
4.2.3. Combinación de acciones.....	116
4.2.3.1. Combinación de acciones considerando la estructura cerrada	117
4.2.3.2. Combinación de acciones considerando la estructura abierta	119
4.2.4. Cálculo de la estructura resistente de cubierta	122
4.2.4.1 Correa superior e inferior	122
4.2.4.2. Alambre pórtico superior e inferior	124
4.2.4.3. Malla.....	127
4.2.4.4. Estructura de enrame	128
4.2.4.5. Resumen de elementos calculados	130
4.2.5. Soportes verticales o pies derechos.....	131
4.2.5.1. Combinación de hipótesis para soportes verticales de las naves laterales.....	131
4.2.5.2. Combinación de hipótesis para soportes verticales de las naves centrales.....	132
4.2.5.3. Dimensionado.....	132
4.2.6. Amagados.....	134
4.2.6.1. Combinación de hipótesis.....	134

4.2.6.2. Dimensionado.....	134
4.2.7. Tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico.....	135
4.2.7.1. Combinación de hipótesis.....	136
4.2.7.2. Dimensionado de los soportes	137
4.2.7.3. Dimensionado de los tensores	138
4.2.8. Tensores y soportes perimetrales de extremos de correas	140
4.2.8.1. Combinación de hipótesis.....	140
4.2.8.2. Dimensionado de los soportes	141
4.2.8.3. Dimensionado de los tensores	143
4.2.9 Resumen de elementos calculados.....	145
4.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS	146
4.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	149
5. CONCLUSIONES	153
6. BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	160
I.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA LOS DOS AÑOS	161
I.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA UN DÍA CONCRETO	184

0.1. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variantes de los invernaderos tipo “Almería”. (a) Plano o parral; (b) Raspa y amagado; (c) Asimétrico. (Fuente: Serrano, 1994).....	20
Figura 2: (a) Tendencia en los materiales constructivos empleados; (b) Distribución de los tipos de plásticos sobre la superficie de invernaderos; (c) Incidencia de los sistemas de cultivo en sustrato en la campaña 1999/2000 y 2005/2006 sobre el número y la superficie de invernadero; (d) Variación en la utilización de mallas anti-insectos en relación a la superficie invernada (Pérez Parra <i>et al.</i> , 2008).....	24
Figura 3: Porcentajes de los distintos tipos de invernaderos muestreados (Molina <i>et al.</i> , 2003)	26
Figura 4: Distribución de la superficie de los invernaderos en función de la estructura (Pérez Parra <i>et al.</i> , 2008).....	26
Figura 5: Esquema de los componentes estructurales de un invernadero “raspa y amagado”	27
Figura 6: Cabilla de acero de la cimentación de un amagado (Fuente: www.villegasmoreno.com).....	30
Figura 7: (a) Alambres trefilados; (b) Cordones; (c) Trenzas. (Fuente: www.agroquijano.com)	31
Figura 8: Retenciones. (Fuente: www.agroquijano.com).....	32
Figura 9: Barra prismática en tensión:(a) segmento de la barra antes de cargarlo y (b) segmento de la barra después de cargarlo	34
Figura 10: Alargamiento axial y contracción lateral de una barra prismática en tensión: (a) barra antes de cargarla y (b) barra después de cargarla	35
Figura 11: Esquema de los principales esfuerzos de un invernadero	37
Figura 12: Panorámica y distribución en planta de la Finca Experimental UAL- ANECOOP.....	41

Figura 13: Perspectiva, planta, perfil y alzado del invernadero. Todas las cotas en metros. (Sin escala)	42
Figura 14: Célula de carga CTC 2500 de <i>Dinacell Electrónica</i> . (Fuente: <i>Dinacell Electrónica</i>).....	46
Figura 15: Célula de carga BP-2093 2500 de <i>Dinacell Electrónica</i> . (Fuente: <i>Dinacell Electrónica</i>).....	47
Figura 16: Plano de orientación del invernadero en la finca	49
Figuras 17 y 18: Detalles del sistema de colocación de la célula de tracción	50
Figura 19: Detalle del sistema de colocación de la célula de compresión	50
Figura 20: Plano de distribución de las células en el invernadero	51
Figura 21: Valor básico de la velocidad del viento, vb. (Fuente: DB SE-AE).....	55
Figura 22: Esquema de carga de un hilo en estructuras de enrame (cargas gravitatorias iguales, puntuales y equidistantes).....	59
Figura 23: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas gravitatorias iguales, puntuales y equidistantes).....	59
Figura 24: Esquema de carga en un hilo sometido a una carga continua uniformemente repartida.....	63
Figura 25: Esquema de carga en un hilo sometido a cargas puntuales, iguales y equidistantes.....	65
Figura 26: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas iguales, puntuales y equidistantes)	66
Figura 27: Esquema de carga en un hilo sometido a cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes	68
Figura 28: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas distintas, puntuales, simétricas y equidistantes)	69
Figura 29: Representación esquemática de parte de la cubierta.....	72

Figura 30: Esquema de carga para un soporte vertical.....	74
Figura 31: Esquema de carga para un amagado	78
Figura 32: Esquema de carga para tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico	79
Figura 33: Esquema de carga de los tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico	82
Figura 34: Esquema de carga para tensores y soportes perimetrales de extremos de correas	83
Figura 35: Esquema 1 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas	84
Figura 36: Esquema 2 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas.....	85
Figura 37: Distribución de las células de carga en el invernadero	89
Figura 38: Anejo D. Acción del viento. Tabla D.4 Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento figuras]. (Fuente: DB SE-AE) ...	109
Figura 39: Anejo D. Acción del viento. Tabla D.7 Cubiertas múltiples. [Fragmento imágenes]. (Fuente: DB SE-AE).....	112
Figura 40: Esquema de los elementos que componen la estructura resistente de cubierta.....	122
Figura 41: Esquema para una correa cargada (cargas iguales, puntuales y equidistantes)	123
Figura 42: Esquema para un alambre pórtico cargado (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes).....	125
Figura 43: Esquema de carga de los tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico	139
Figura 44: Esquema 1 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas.....	143

Figura 45: Esquema 2 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas	144
--	-----

0.2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de elementos de la estructura resistente del invernadero construido.....	45
Tabla 2: Especificaciones técnicas de la célula de carga de tracción modelo CTC 2500 y 5000. (Fuente: Dinacell Electrónica)	46
Tabla 3: Especificaciones técnicas de la célula de carga de tracción modelo BP-2093 2500. (Fuente: Dinacell Electrónica)	47
Tabla 4: Valores característicos de las sobrecargas de uso. (Fuente: DB-SE-AE)....	54
Tabla 5: Valores del coeficiente de exposición c_e . (Fuente: DB-SE-AE).....	55
Tabla 6: Coeficientes de presión interior. (Fuente: DB-SE-AE).....	56
Tabla 7: Incremento de temperatura debido a la radiación solar. (Fuente: DB-SE-AE).....	57
Tabla 8: Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones	58
Tabla 9: Coeficientes de simultaneidad (ψ).....	58
Tabla 10: Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	75
Tabla 11: Métodos de cálculo. (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	75
Tabla 12: Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos. [Fragmento]. (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	76
Tabla 13: Curva de pandeo en función de la sección transversal. [Fragmento]. (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	77

Tabla 14: Valores del coeficiente de pandeo (γ). (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	78
Tabla 15: Parámetros verticales.....	80
Tabla 16: Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos. [Fragmento]. (Fuete: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.)	81
Tabla 17: Tensiones máximas, mínimas y medias para el 21 de febrero, todos los datos en kg y para cada elemento a estudiar	97
Tabla 18: Compresiones máximas, mínimas y medias para el 13 de noviembre, todos los datos en kg y para cada elemento a estudiar.....	98
Tabla 19: Tensiones máximas y mínimas durante los dos años de ensayo	98
Tabla 20: Compresiones máximas y mínimas durante los dos años de ensayo.....	98
Tabla 21: Identificación de grupos homogéneos	101
Tabla 22: Diferencias estimadas entre cada par de medias	102
Tabla 23: Tensiones máximas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor	103
Tabla 24: Compresiones máximas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor	104
Tabla 25: Tensiones mínimas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor	104
Tabla 26: Compresiones mínimas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor	105
Tabla 27: Resumen de resultados para elementos medidos.....	105
Tabla 28: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 15° y 30°] (Fuente: DB SE-AE).....	110

Tabla 29: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 5° y 5°] (Fuente: DB SE-AE).....	110
Tabla 30: Coeficiente eólico de presión para alambres pórtico.....	110
Tabla 31: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 15° y 30°] (Fuente: DB SE-AE).....	111
Tabla 32: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 5° y 5°] (Fuente: DB SE-AE).....	112
Tabla 33: Coeficiente eólico de presión para correas	112
Tabla 34: Coeficiente eólico de presión exterior	113
Tabla 35: Coeficiente eólico de presión exterior para viento del oeste y ventanas abiertas	113
Tabla 36: Presión estática del viento para viento del oeste y ventanas cerradas.....	114
Tabla 37: Presión estática del viento para viento del oeste y ventanas abiertas.....	114
Tabla 38: Presión estática del viento más desfavorable en cada caso	114
Tabla 39: Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones. (Fuente: DB SE-AE).....	116
Tabla 40: Coeficientes de simultaneidad (ψ). (Fuente: DB SE-AE)	117
Tabla 41: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad desfavorable y estructura cerrada	117
Tabla 42: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad favorable y estructura cerrada.....	118
Tabla 43: Combinación de acciones para correas, gravedad desfavorable y estructura cerrada.....	118
Tabla 44: Combinación de acciones para correas, gravedad favorable y estructura cerrada.....	119

Tabla 45: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad desfavorable y estructura abierta	119
Tabla 46: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad favorable y estructura abierta.....	120
Tabla 47: Combinación de acciones para correas, gravedad desfavorable y estructura abierta.....	120
Tabla 48: Combinación de acciones para correas, gravedad favorable y estructura abierta.....	121
Tabla 49: Cargas máximas y mínimas en kN/m ² para cada caso.....	121
Tabla 50: Cargas más desfavorables.....	121
Tabla 51: Cálculo de correa (cargas iguales, puntuales y equidistantes)	124
Tabla 52: Resultados finales para correas (cargas iguales, puntuales y equidistantes)	124
Tabla 53: Cálculo de alambre pórtico (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes)	126
Tabla 54: Resultados finales para alambres pórtico (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes)	127
Tabla 55: Resumen de resultados para correas superiores e inferiores	130
Tabla 56: Resumen de resultados para alambre pórtico superior e inferior	130
Tabla 57: Resumen de resultados para la malla superior e inferior.....	130
Tabla 58: Resumen de resultados para la estructura de enrame.	130
Tabla 59: Tabla D.1 Parámetros verticales Coeficiente de exposición en tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico. [Fragmento] (Fuente: Anejo D del DB-SE AE).	135

Tabla 60: Tabla D.1 Parámetros verticales Coeficiente de exposición en tensores y soportes perimetrales de extremos de correas. [Fragmento] (Fuente: Anejo D del DB-SE AE).....	140
Tabla 61: Resumen de elementos verticales calculados.	145
Tabla 62: Elementos finales empleados en la estructura vertical.	145
Tabla 63: Comparación de elementos empleados en la construcción y calculados.....	146
Tabla 64: Comparación de esfuerzos medidos y calculados.	148

0.3. ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Gráficos de serie de tiempo secuenciales para cada elemento estudiado y para los dos años de ensayo.....	91
Gráfica 2: Variación de los esfuerzos medios durante los dos años de ensayo.....	93
Gráfica 3: Representación de la relación tensión (kg)-tiempo (h) para el día 21 de febrero y para cada elemento a estudiar.....	95
Gráfica 4: Representación de la relación compresión (kg)-tiempo (h) para el día 13 de noviembre y para cada elemento a estudiar.	95
Gráfica 5: Representación de los máximos incrementos mensuales de los esfuerzos.	100

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

En las tres últimas décadas la agricultura almeriense ha sufrido una profunda y rápida transformación. En este periodo, se ha pasado de un uso agrícola marginal de grandes áreas como los campos de Dalías y de Níjar, donde la aridez y la falta de recursos hídricos superficiales imposibilitaban su empleo en horticultura, a una actividad agrícola intensiva. La eficacia productiva de los invernaderos hizo que se extendieran a otras zonas donde tradicionalmente se cultivaban hortalizas al aire libre, como las comarcas del Bajo Andarax y del Almanzora (Molina *et al.*, 2003).

Las primeras estructuras para soportar el plástico parten de una adaptación de la tecnología del parral de la zona, este tipo de estructuras planas prevalecieron hasta final de los ochenta, donde el 80,4 % eran tipo parral plano de madera y alambre, el 7,1 % de tubo galvanizado y el 6,9 % de perfiles angulares de hierro (Muñoz *et al.*, 1991).

Al reconvertir los parrales en invernaderos, los elementos constructivos han de soportar nuevos esfuerzos, debidos básicamente a la acción del viento sobre los plásticos. Algunos de estos elementos no poseen la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos añadidos y se rompen. Los montadores reaccionan sustituyéndolos por elementos más resistentes, que son los que utilizarán en adelante. Cada vez que se produce un fallo se utilizará un diámetro superior, hasta que el elemento es resistente, quedando este dimensionado, para las acciones que debe soportar, con un alto grado de acierto, por el método de “ensayo y error” (Pérez *et al.*, 1992).

Aquellos elementos que en su origen tenían algún grado de sobredimensionamiento, lo siguen teniendo en la actualidad pues nadie se ha preocupado de mejorar aquellos elementos que no fallan (Pérez *et al.*, 1992).

El cultivo bajo invernadero de la zona mediterránea se caracteriza por el empleo de estructuras de acero y de cubierta plástica flexible, todas ellas de bajo coste. La evolución hasta llegar al tipo de invernadero que se construye en esta zona, ha venido de la mano de la experiencia empírica de agricultores y constructores de invernaderos,

en la mayoría de los casos empleando materiales disponibles en cada zona y con los que se consiguen los objetivos básicos del cultivo protegido (Wittwer et al., 1995).

En un invernadero convencional una estructura funcional, que cumpla con la misión principal de soporte del material de cerramiento y de las cargas previsibles (nieve, viento, cultivos entutorados e instalaciones adosadas) debe, primordialmente, evitar los sobrecostos y ser de costes de construcción y mantenimiento lo más barato posible y acorde con sus prestaciones agronómicas (Castilla, N. 2005).

Actualmente el sistema hortícola almeriense constituye uno de los sistemas tecnológicos e institucionalmente más complejos y dinámicos de cuantos integran el sector agrario español (Calatrava, 1998) con una intensa y continua demanda e incorporación de conocimientos e innovaciones que contribuyen decisivamente a su competitividad (Pérez Parra *et al.*, 2008).

1.2 OBJETIVOS

La finalidad de este trabajo es comparar los materiales empleados en la construcción de un invernadero tipo “raspa y amagado” y los esfuerzos a los que está sometida la estructura resistente bajo condiciones reales de carga, con los materiales y esfuerzos resultantes del cálculo analítico de éste mediante la adaptación del Código Técnico de la Edificación de 2006 (en adelante C.T.E.), actualmente en vigor.

Para ello, se resolverán cada uno de los objetivos que se detalla a continuación:

- I. Descripción detallada de la estructura de un invernadero tipo “raspa y amagado” construido, determinando de cada elemento resistente: material empleado, dimensiones, características mecánicas y detalles constructivos.
- II. Estudio del comportamiento en campo de la estructura resistente del invernadero bajo condiciones reales de carga y durante dos años, determinando los esfuerzos a los que se encuentran sometidos cada uno de los elementos a estudio.
- III. Desarrollo del cálculo teórico de la estructura resistente del invernadero a estudio en base al C.T.E., determinando de cada elemento resistente: material a emplear, dimensiones, características mecánicas y esfuerzos resultantes del cálculo.
- IV. Discusión sobre las diferencias encontradas entre la estructura construida y medida, con la resultante de aplicar el C.T.E.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. LOS INVERNADEROS

Un invernadero es una estructura usada para el cultivo y/o protección de plantas y cosechas, la cual optimiza la transmisión de radiación solar bajo condiciones controladas para mejorar el entorno del cultivo y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en su interior (UNE-EN-13031-1).

2.1.1. Evolución de los invernaderos en la provincia de Almería

Cronología sobre los hechos más destacados en la evolución de la horticultura almeriense (Mendizábal, 1969; Bosque, 1979; Muñoz *et al.*, 1991; Palomar, 1994; Navarro, 2001; Molina *et al.*, 2003):

1941. Inicio de la transformación agraria. Declaración por el Instituto Nacional de Colonización de parte del Campo de Dalías como “Zona de Interés Nacional”.

1953. Plan General de Transformación con la puesta en regadío de 1760 Ha.

1957. Experimentación de la técnica del enarenado por el INC en Roquetas de Mar.

1958. Ampliación del Plan General de transformación a 2175 Ha.

Proliferación de enarenados.

1960. Primeras experiencias de INC sobre construcción de abrigo plásticos.

1963. Construcción de los primeros invernaderos experimentales por el INC.

1971. Expansión de la superficie de cultivos bajo plástico hasta 1114 Ha.

1979. El crecimiento de cultivos bajo plástico llega a 6386 Ha.

1984. Regulación de las extracciones de aguas subterráneas por la Junta de Andalucía y suspensión de créditos oficiales para la implantación de invernaderos. 11449 Ha bajo plástico.

1986. Promulgación del derecho de sobreexplotación del acuífero del Campo de Dalías.

1993. Superficie invernada 23150 Ha.

2003. Se estiman más de 27000 Ha.

Este rápido desarrollo de los cultivos bajo plástico se ha visto acompañado por un paulatino avance en materia fitosanitaria, mejora vegetal, técnicas de cultivo y comercialización. Sin embargo, hasta finales de los años noventa este auge no se tradujo en una mejora de las estructuras y del control climático de los invernaderos, debido fundamentalmente al largo periodo de tiempo necesario para renovar las estructuras, y a la fuerte inversión necesaria para ello (Valera *et al.*, 1999).

El sistema de producción de invernadero de Almería está constituido por explotaciones de pequeño tamaño siendo la superficie media por explotación de 2,5 ha, distribuidas en 1,4 fincas. De la superficie total de la explotación, el 84,9% está ocupado por invernaderos, siendo la superficie media de cada unidad de invernadero de 7538 m² (Pérez-Parra *et al.*, 2008).

2.1.2. Tipos de estructuras de invernaderos

Según la conformación estructural, los principales tipos de invernaderos son:

- Invernaderos tipo “Almería”:

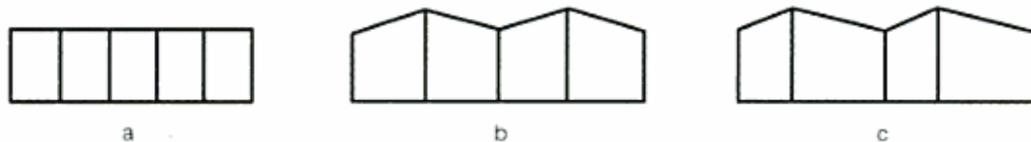


Figura 1: Variantes de los invernaderos tipo “Almería”. (a) Plano o parral; (b) Raspa y amagado; (c) Asimétrico. (Fuente: Serrano, 1994).

“Planos” o “parral” (Valera *et al.*, 2003).

Derivado de los antiguos parrales dedicados al cultivo de la uva de mesa. Está compuesto por dos elementos básicos: una estructura vertical y otra horizontal. La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales o interiores.

La estructura horizontal (plana) flexible está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, tejidas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero, además de formar parte de la estructura del invernadero, sirven para sostener y sujetar la lámina plástica.

Poseen la cubierta horizontal, lo que obliga a perforar el plástico para evitar el colapso de la estructura cuando llueve. Estas perforaciones hacen que este subtipo sea poco hermético, imposibilitando la incorporación de sistemas activos de control climático.

“Raspa y amagado” (Valera *et al.*, 2003).

Apareció para evitar el colapso de las estructuras planas por acumulación de lluvia. Este invernadero posee una altura que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como “raspa”, en la parte más baja, conocida como “amagado”, se unen las mallas de la cubierta con enganches que soportan a su vez el canal de desagüe a alambres y estos se sujetan al suelo mediante cabillas de acero, la altura del amagado oscila entre 2 y 2,8 m y la de las bandas de 2 a 2,5 m.

La separación entre las raspas y los amagados suele ser de 2×4 m, utilizándose también separaciones como 2,5×4, 2×6 ó 2×8 m. el ángulo de cubierta oscila entre 6° y 20°, cuanto mayor es éste mejor intercepta la radiación solar, pero requiere mayor solidez estructural debido a los esfuerzos que le provoca la acción del viento.

“Asimétrico” (Valera *et al.*, 2003).

Difiere del anterior en que las vertientes de la cubierta tienen distinta inclinación, con objeto de aumentar su capacidad de captación de energía solar. La altura de la cubierta varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2,3 a 3 m. La altura de las bandas oscila entre 2,15 y 3 m. la separación de los apoyos interiores suele ser de 2×4 m.

En todos los casos la cubierta suele ser de polietileno de baja densidad, aditivado para aumentar su termicidad, resistencia a la radiación ultravioleta, etc.; pero en algunos casos, para el cultivo de tomate, se utiliza malla permeable de polietileno de alta densidad entre las dos mallas de alambre.

Poseen tanto ventilación lateral, en el perímetro del invernadero, como ventilación cenital, en la cubierta. El efecto conjunto de ambos sistemas de ventilación es muy beneficioso aumentando la tasa de ventilación. En algunos casos las ventanas se encuentran automatizadas utilizando pequeños motores y mecanismos de piñón y cremallera, en otros el accionamiento es manual, incluso existen aberturas cenitales que están casi permanentemente abiertas.

- Invernaderos tipo "Multitúnel" (Valera *et al.*, 2003):

Se caracteriza por la forma semicilíndrica de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. Tiene una mayor capacidad para el control de los factores ambientales ya que es más hermético. Es de mayor coste que el anterior.

Están constituidos en su totalidad por tubos de acero galvanizado, en su mayor parte de sección cilíndrica, con diámetros entre 25 y 60 mm y espesores de 1,5 a 3 mm. La unión entre las diferentes piezas se realiza mediante tornillos y bridas o abrazaderas. El plástico se sujeta a la estructura mediante unos perfiles denominados "omegas", debido a la forma de su sección.

Los túneles presentan anchuras variables de 6,5 a 9 m y la separación entre apoyos bajo las canales suele ser de 4 ó 5 m. el marco más utilizado es de 8x5 m de separación de los soportes interiores. La altura máxima en cumbre oscila entre 4,5 y 6 m y en las bandas laterales y bajo canal se adoptan alturas de 3 a 4 m. Muchos de los invernaderos de este tipo se construyen con cubierta rígida de policarbonato ondulado en el perímetro, presentando mayor resistencia al viento en los laterales y frontales, donde los esfuerzos son mayores.

- Invernaderos tipo “Venlo” (Valera *et al.*, 2003):

Son invernaderos de cristal, conformados por una estructura metálica y una cumbrera en forma de capilla múltiple con una inclinación e 22° en la mayoría de los casos. Se consiguen grandes anchuras de los módulos, entre 6,4 y 12 m, mediante vigas de celosía. Las columnas pueden tener una separación de 3,4 ó 4,5 m y la altura de la cumbrera puede llegar a los 6,5 m. El espesor del vidrio estándares de 4 mm y se sujeta por los cuatro lados, con un ancho máximo de 1,125 m.

Disponen de ventilación cenital mediante pequeñas ventanas de 2 ó 3 vidrios que giran sobre un eje situado en cumbrera. Normalmente las aberturas se presentan de forma discontinua a ambos lados del techo en zonas frías, en zonas cálidas es posible disponer ventanas rectangulares continuas a lo largo de la cumbrera.

2.1.3. Evolución de las estructuras de los invernaderos

Las primeras estructuras para soportar el plástico parten de una adaptación de la tecnología del parral de la zona, este tipo de estructuras planas prevalecieron hasta final de los ochenta, donde el 80,4 % eran tipo parral plano de madera y alambre, el 7,1 % de tubo galvanizado y el 6,9 % de perfiles angulares de hierro (Muñoz *et al.*, 1991).

Durante los años setenta y ochenta, la aplicación de los avances tecnológicos en las estructuras de invernadero es muy lenta o casi inexistente para la mayoría de pequeños agricultores. El sistema productivo se caracterizaba por estructuras de tipo plano con una altura máxima de 2,3 m, los materiales de construcción eran rollizos de madera, el tejido era alambre galvanizado doble en los laterales y la cubierta, el soporte del cultivo se realizaba con cañizo y algo más tarde con rafia de polipropileno. Los sistemas de ventilación eran básicamente laterales y cenitales con apertura estacional de algunas juntas de unión del filme, el sustrato de cultivo era enarenado, se usaban sistemas de fertirrigación localizada por goteo y abonadoras de presión diferencial,

cubierta a base de polietileno tratado de 0,1 mm perforado y equipos para tratamientos fitosanitarios móviles (Navarro, 2001).

Es en la década de los noventa donde se ve una evolución tanto en superficie como en variación del tipo de estructura o en la tecnología de los sistemas y materiales empleados. Se adoptan de forma generalizada estructuras “raspa y amagado”, aparecen nuevas alternativas estructurales como asimétricos o multitúnel, la incorporación de nuevos materiales en construcción como tubos galvanizados o filamentos plásticos, mejora en las condiciones de cultivo debido a una mejora en la ventilación, mecanización y automatización de las estructuras, mejora en la calidad de los materiales de cubierta con filmes de larga duración y propiedades de termicidad y transmisión luminosa, sistemas de fertirrigación automatizados y más precisos, la implantación de cultivos sin suelo y medidas preventivas en control de plagas y enfermedades mediante el uso de mallas, desinfección del suelo, etc. (Navarro, 2001).

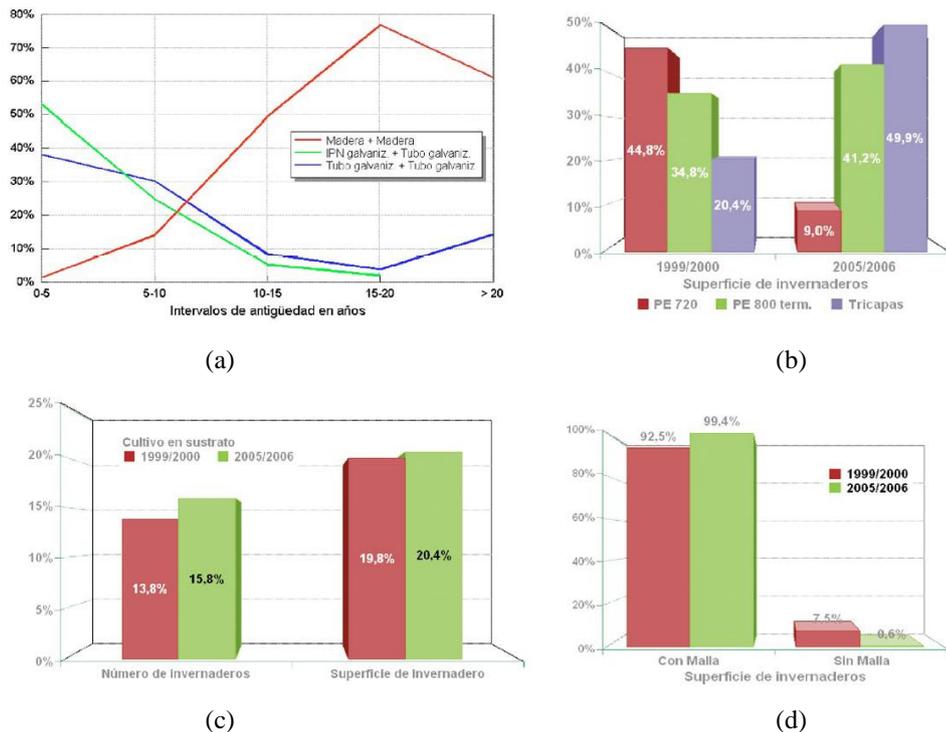


Figura 2: (a) Tendencia en los materiales constructivos empleados; (b) Distribución de los tipos de plásticos sobre la superficie de invernaderos; (c) Incidencia de los sistemas de cultivo en sustrato en la campaña 1999/2000 y 2005/2006 sobre el número y la superficie de invernadero; (d) Variación en la utilización de mallas anti-insectos en relación a la superficie invernada (Pérez Parra *et al.*, 2008).

Otro aspecto importante en la evolución de la estructura, es la altura de los invernaderos. La altura media de los invernaderos en la campaña 2005/2006 está en 3,5 m en la raspa mientras que en la campaña 1999/2000 esta altura media estaba en 3,2 m. Este aspecto constructivo ha sufrido una evolución que se puede considerar positiva, con un incremento gradual en el tiempo. El incremento de la altura de los invernaderos viene motivado por mejoras de tipo microclimático y por las técnicas de manejo de cultivo. En el primer caso, al incrementar el volumen de la estructura se mejora la inercia de la misma con repercusiones positivas en todas las variables climáticas, por otra parte, se atiende a la necesidad de mejorar los entutorados de los cultivos con mayores alturas. La altura ha evolucionado desde invernaderos tipo parral plano con alturas medias de 2m a invernaderos tipo parral multicapilla y multitúnel con alturas medias por encima de los 4m (Pérez Parra *et al.*, 2008).

En la actualidad, en el total de la provincia los invernaderos multitúnel, con cubierta de malla, a dos aguas y asimétricos, representan un pequeño porcentaje. Esto es debido principalmente a que se trata de estructuras recientes, en el primer caso, implantadas en un área muy restringida de la provincia, en el segundo, o de estructura que surgieron hace años y dejaron de construirse posteriormente. Los invernaderos “planos” y en “raspa y amagado” suponían un 92,4% del total de los invernaderos muestreados en 1997, valor que puede incluso haberse incrementado en los últimos años. Además, en estos últimos años se ha producido un progresivo abandono de las estructuras planas, debido a la dificultad que éstas presentan para la implantación de sistemas de control y mejora ambiental. Frente a esta regresión de los invernaderos de tipo plano, se observa un avance paulatino de los invernaderos “raspa y amagado” como consecuencia de sus mejores prestaciones y su bajo coste, en comparación con los invernaderos multitúnel o los de tipo Venlo. (Molina *et al.*, 2003).

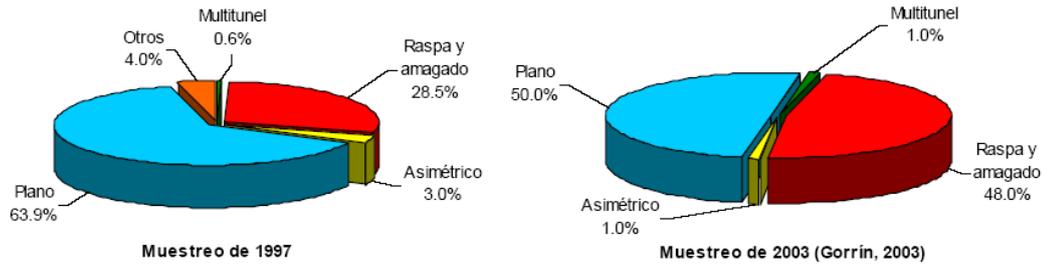


Figura 3: Porcentajes de los distintos tipos de invernaderos muestreados (Molina *et al.*, 2003).

El modelo constructivo predominante es el tipo “Almería” en sus diferentes variantes, con porcentajes por encima del 98% sobre el número de invernaderos y la superficie invernada (Pérez Parra *et al.*, 2008).

El subtipo raspa y amagado es la estructura predominante y, junto al multitúnel, son las dos únicas que han manifestado una variación positiva en los últimos años, tanto en el número de invernaderos como en la superficie invernada. (Pérez Parra *et al.*, 2008).

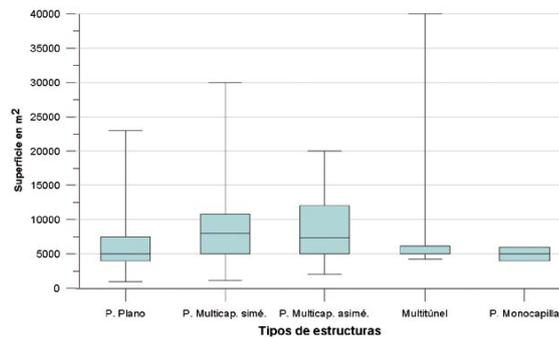


Figura 4: Distribución de la superficie de los invernaderos en función de la estructura (Pérez Parra *et al.*, 2008).

Las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de cubierta y su disponibilidad limitan las opciones a la hora de construir un invernadero (Briassoulis *et al.*, 1997), por lo que existe cierta tendencia entre los agricultores a construir invernaderos tradicionales (Von Elsner. *et al.*, 2000-b).

En sentido amplio se puede decir que las estructuras son un artificio tecnológico que permite adaptar los cultivos para mejorar determinados aspectos productivos de las

plantas de acuerdo con nuestras necesidades: las estructuras pueden actuar directamente sobre el desarrollo del vegetal como ocurre con los entutorados, sobre el clima, sobre la salinidad del cultivo, o sobre el sistema de riego principalmente (Navarro, 1998).

La base de la mejora de la estructura de invernaderos radica en conseguir optimizar las técnicas y materiales, no siempre pretendiendo una disminución de costes, sino el aumento de la rentabilidad (Navarro, 2001).

2.2. INVERNADERO “RASPA Y AMAGADO”

2.2.1. Componentes estructurales del invernadero tipo “raspa y amagado”

En la figura se puede observar el esquema de la estructura de un invernadero “raspa y amagado”. La cubierta del invernadero queda formada, de abajo hacia arriba, por: alambre pórtico inferior, correa inferior, malla inferior, plástico, malla superior, correa superior y alambre pórtico superior.

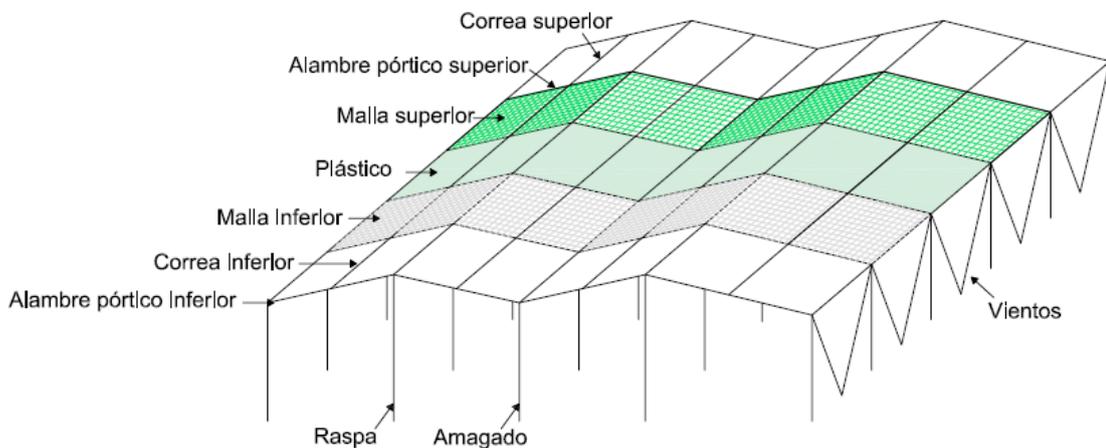


Figura 5: Esquema de los componentes estructurales de un invernadero “raspa y amagado”.

Las correas superiores actúan como colectores de las acciones derivadas de la succión del viento sobre la lámina plástica. Su cometido es transmitir estas acciones a las correas y alambres pórticos inferiores. La malla superior está formada por un mallazo de alambre con un marco de separación de 30 cm normalmente en ambas direcciones.

La malla superior transmite las succiones del viento sobre el plástico a las correas superiores o directamente a los alambres pórtico y correas inferiores, en los puntos de unión entre estos elementos. Inmediatamente por debajo de la malla inferior que apoya sobre las correas inferiores y sobre el alambre pórtico. Su misión es la de evitar la formación de bolsas de agua en el plástico; también puede recibir compresiones debidas a la acción del viento en la vertiente de barlovento. La lámina plástica se encuentra comprendida entre ambos mallazos. Por último, soportando las acciones transmitidas por el resto de elementos, se encuentran las correas inferiores y el alambre pórtico. Los elementos de la cubierta quedan unidos mediante puntos de alambre que se practican en las intersecciones entre las correas y el alambre pórtico o a lo largo de las correas y el alambre pórtico, en los puntos de cruce con las mallas (Valera *et al.*, 2003).

La estructura de cubierta no está formada por elementos rígidos, tanto las correas como los alambres pórtico se construyen con trenzas de alambre y se someten a una tensión inicial, necesaria para conseguir una forma estructural estable (Valera *et al.*, 2003).

Los factores climáticos más importantes que influyen en el diseño estructural y la calidad del microclima interior del invernadero son la temperatura, la radiación solar global, la precipitación y la intensidad del viento. Las condiciones climáticas adversas son la causa más común de colapso de los invernaderos y, por lo tanto, para la realización de un diseño eficiente debe ir de acuerdo al clima local. Cada uno de los mencionados factores climáticos genera una combinación de efectos que tienen una influencia favorable o desfavorable en la funcionalidad y la estabilidad del invernadero en función de las circunstancias locales particulares (Von Elsner *et al.*, 2000-a).

La estructura vertical está formada por soportes rígidos que definen los puntos de cumbrera (“raspas”), por tensores situados en las líneas coincidentes con los puntos de menor cota de la cubierta (“amagado”) y por tensores situados en el perímetro (Valera *et al.*, 2003).

Los soportes del interior del invernadero también se denominan pies derechos y lo normal es que transmitan compresiones a la cimentación, siempre que el ángulo de cubierta no sea nulo o excesivamente pequeño, o el viento no provoque succiones desmesuradas. En el perímetro del invernadero se sitúan otros soportes (pies inclinados) que presentan, normalmente, una inclinación de 60° con respecto a la horizontal. Los tensores perimetrales e interiores reciben el nombre de “vientos”, trabajan transmitiendo tracciones a la cimentación (Valera *et al.*, 2003).

En los invernaderos tipo Almería los cables acerados tensados son los encargados de formar la estructura de la cubierta, los cuales sufren la continua agresión del medio ambiente (viento, altas variaciones de temperatura, etc.). Las consecuencias directas de estos agentes son las modificaciones geométricas y las características mecánicas de los mismos, esto induce una notable reducción de la capacidad portante de los cables con el tiempo y a veces se traducen en su ruptura parcial (Elachachi *et al.* 2005).

2.2.2. Cimentaciones empleadas en los invernaderos tipo “raspa y amagado”

Aunque lo normal al hablar de cimentaciones, en cuanto al suelo se refiere, es determinar su capacidad portante, aparecen algunos casos en los que resulta necesario calcular la resistencia del sistema cimentación-terreno frente a cargas de arrancamiento. (Peña *et al.*, 2003).

En la actualidad las cimentaciones que se ejecutan para anclar las estructuras de los invernaderos son pilotes de escaso diámetro, fabricados de hormigón con un redondo de acero galvanizado en el centro. No se utiliza ningún método de cálculo para su dimensionado sino que, por el contrario, son el resultado de la experiencia adquirida por los técnicos de las empresas constructoras; experiencia basada en secuencias de prueba y error (Peña *et al.*, 2002).



Figura 6: Cabilla de acero de la cimentación de un amagado (Fuente: www.villegasmoreno.com)

Las profundidades más habituales de enterramiento de los pilotes que anclan las estructuras de los invernaderos se encuentran entre los 150 y 200 cm. Su diámetro tiene un valor en torno a los 10 cm, cuando el cemento trabaja exclusivamente a tracción y es algo mayor (nunca superior a 25 cm) cuando además se le pide resistencia a compresión. Actualmente el procedimiento de perforación del terreno para la instalación de los pilotes, se realiza mediante máquina perforadora, usando el método de rotación, expulsando el material disgregado mediante aire comprimido (Valera *et al.*, 2003).

Puede afirmarse que al aumentar la profundidad de enterramiento del pilote también lo hace la fuerza máxima de tracción que es capaz de soportar, aspecto que también sucede al aumentar el diámetro del mismo. Sin embargo, para el parámetro desplazamiento asociado a la fuerza de tracción, se produce una disminución del valor de éste al aumentar la profundidad para los pilotes de menor diámetro (Peña *et al.*, 2002).

2.2.3. Materiales empleados en la construcción de la estructura del invernadero

En la construcción de invernaderos principalmente se emplean alambres, trenzas y cordones (Figura 7). Las casas comerciales son las encargadas de suministrar el diámetro, la superficie, el peso y la resistencia a rotura.

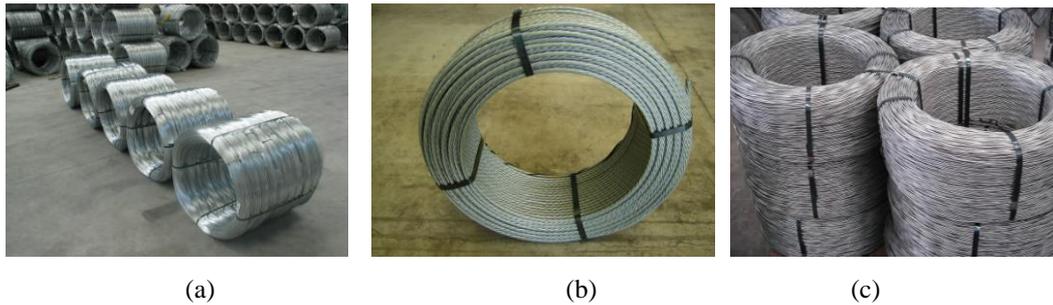


Figura 7: (a) Alambres trefilados; (b) Cordones; (c) Trenzas. (Fuente: www.agroquijano.com).

Otro elemento constructivo es el nudo deslizante, éste se emplea para atar las trenzas aceradas que constituyen el pórtico y correas a los pies laterales. Este nudo se denomina “garrotera”. Consiste en enrollar la trenza acerada sobre sí misma, aumentándole las fuerzas de rozamiento por medio de una compresión exterior que ejerce un alambre dulce fuertemente enrollado sobre la trenza. Esto se hace en dos sentidos contrapuestos. La característica principal de este elemento constructivo es que no se trata de un nudo rígido, si no capaz de deslizarse cuando se sobrepasa un determinado esfuerzo. Este esfuerzo de deslizamiento depende de varios factores tales como la longitud de la garrotera, el diámetro del alambre dulce que ejerce la presión, incluso del celo con que el operario la ejecute. La resistencia al deslizamiento del nudo puede llegar a ser superior a la tensión de rotura de la trenza acerada, rompiéndose ésta antes de que el nudo deslice. En condiciones normales de la longitud de la garrotera, alambre dulce de 4,4 mm de diámetro y un operario medio, el nudo comienza a deslizarse cuando se produce una tensión en el cable en torno a los 2200 kp, inferior a los 3400 kp que aguanta la trenza antes de romper (Pérez *et al.*, 1991).

Actualmente, en algunos invernaderos, la garrotera es sustituida por un elemento denominado retención (Figura 8). La retención se sujeta a la cabeza del pie inclinado por su parte curva y se enrolla primero un lateral sobre la trenza y posteriormente el otro lateral sobre estos dos. Estas retenciones suelen ser de acero recubierto de aluminio, los sub juegos de cada una de las patas tienen un recubrimiento común de neopreno, que ejercen una presión radial pequeña sobre la trenza sin dañarla, evitando el deslizamiento. También se suelen utilizar, en su variante recta, para reparar roturas en los alambres cordones o trenzas.



Figura 8: Retenciones. (Fuente: www.agroquijano.com).

Nunca hasta ahora la calidad de los productos había jugado un papel tan decisivo en la industria. Hoy en día, las grandes empresas del sector tienen sus propios centros de investigación y utilizan modernas herramientas de cálculo numérico para simular los procesos y controlar los factores que pueden influir en los mismos, minimizando los riesgos de rotura del alambre. (Gálvez *et al.*, 2001).

2.2.4. Proceso de montaje

Según Pérez *et al.*, 1991:

- Fase 1: Replanteo y cimentaciones: se sitúan en el terreno las distintas zapatas de hormigón prefabricadas y las cimentaciones a tracción de los vientos o zuncho perimetral.

- Fase 2: Colocación de “esquineros” y tendido del “cerco” que arriostrará a las cabezas de los pies laterales: la inclinación de los esquineros se consigue con un puntal de madera hasta que se equilibran definitivamente con el cerco y vientos.

- Fase 3: Tendido de la malla estructural: los pies laterales se sitúan sobre cada zapata. Se consigue el equilibrio de estos elementos con la tensión del hilo de la malla estructural y del viento. Se ha de conseguir que la cabeza del pie lateral se sitúe tangente al cerco que se dispuso anteriormente.

El hilo de la malla estructural (trenza acerada) se tensa mediante tráctel en un extremo, manteniendo el otro fijo mediante un nudo. El viento, de trenza de acero dulce, se tensa por torsión de la trenza.

- Fase 4: Colocación de pies derechos: los pies derechos, de tubo metálico galvanizado, se encajan entre su cimentación y el alambre pórtico. Esta operación se ejecuta normalmente con el auxilio del hidráulico del tractor. Al aumentar la longitud de alambre pórtico aumenta la tensión del mismo y se produce un deslizamiento del nudo.

- Fase 5: Colocación del amagado: con alambre trenzado dulce se hace bajar el alambre pórtico. Este amagado se cimenta en el suelo. Esta fase, produce igualmente un corrimiento del nudo.

- Fase 6: Colocación de los tejidos inferior y superior: en el primer momento, se mantienen separados ambos unos 10 cm intercalando trozos de madera.

- Fase 7: colocación del plástico entre ambos tejidos.

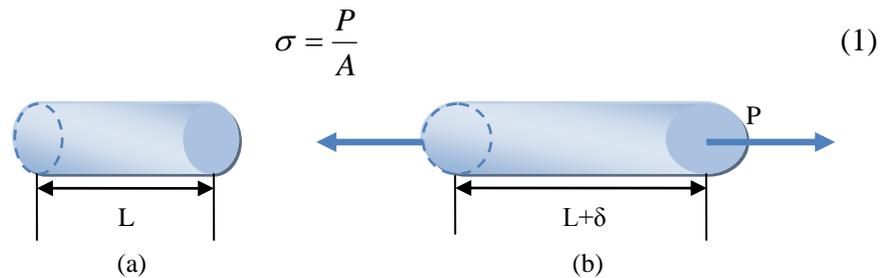
- Fase 8: “Punteo” con trozos de alambre de todo el conjunto de cubierta.

2.3 LOS ESFUERZOS

Desde el punto de vista de la física estática, se define a la “fuerza”, como *aquella que, ejercida sobre un cuerpo produce una deformación, que será tanto más grande como mayor sea la fuerza causante*. La misma fuerza aplicada sobre un mismo objeto producirá efectos distintos en función de la dirección sobre la que la fuerza actúa. Esto es debido a que la fuerza es una magnitud vectorial y, por tanto, es preciso asociar al valor de su intensidad con información relativa a la dirección y sentido de actuación.

El esfuerzo tiene unidades de fuerza por unidad de área, en general, los esfuerzos que actúan sobre una superficie plana pueden ser uniformes en el área o pueden variar de intensidad de un punto a otro. Suponiendo que los esfuerzos (σ) que actúan sobre un

corte transversal están uniformemente distribuidos en el área (A), entonces, la resultante de esos esfuerzos (P) debe ser igual a la magnitud del esfuerzo multiplicada por el área transversal A de la barra; esto es, $P = \sigma A$. En consecuencia, se obtiene la ecuación que expresa la intensidad del esfuerzo uniforme en una barra prismática con carga axial de forma arbitraria en su corte transversal, del siguiente modo (Gere, 2006):

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$


El diagrama ilustra un segmento de una barra prismática en dos estados. En (a), la barra tiene una longitud L y no está cargada. En (b), la barra está cargada con una fuerza axial P aplicada en ambos extremos, lo que resulta en una elongación δ y una longitud total de $L + \delta$. La ecuación $\sigma = \frac{P}{A}$ se muestra arriba de las imágenes.

Figura 9: Barra prismática en tensión (a) segmento de la barra antes de cargarlo y (b) segmento de la barra después de cargarlo.

Cuando la barra se estira debido a las fuerzas P , los esfuerzos son de tensión o esfuerzos de tracción; si las fuerzas tienen dirección contraria y hacen que la barra se comprima, se trata de esfuerzos de compresión. Siempre que los esfuerzos actúen en una dirección perpendicular a la superficie de corte, se llaman esfuerzos normales. Así, los esfuerzos normales pueden ser de tracción o de compresión (Gere, 2006).

La deformación que se produce en un cuerpo, es debida a que las partículas del material se desplazan hasta una posición que permita establecer un equilibrio entre las fuerzas interiores del material y la aplicada exteriormente, y se mantendrá mientras subsista la fuerza actuante externa.

Suponiendo una barra recta, esta cambia de longitud cuando se carga axialmente y se alarga cuando está en tensión y se comprime cuando está en compresión. En general, la elongación de un segmento es igual a su longitud dividida entre la longitud total L y multiplicado por el alargamiento total δ . En consecuencia, una unidad de longitud de la barra tendrá una elongación igual a $1/L$ por δ . A esta cantidad se la llama deformación unitaria y se representa por ϵ . Se ve que la deformación unitaria se expresa con la ecuación (Gere, 2006):

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Si la barra está en tensión, esa deformación se llama deformación unitaria de tensión y representa un estiramiento o alargamiento del material. Si la barra está en compresión, la deformación unitaria es una deformación unitaria en compresión y la barra se acorta. A la deformación unitaria se la llama deformación normal unitaria, porque se relaciona con los esfuerzos normales (Gere, 2006).

La **Ley de Hooke** se define como la *relación lineal entre el esfuerzo y la deformación unitaria en una barra en tensión o compresión simple* y se expresa con la ecuación:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

donde σ es el esfuerzo axial, ε es la deformación unitaria axial y E es una constante de proporcionalidad llamada **módulo de elasticidad o módulo de Young** (Gere, 2006).

La Ley de Hooke establece la proporcionalidad entre fuerzas (acciones) y desplazamientos (efectos) a la relación existente entre tensiones y deformaciones actuantes en un punto. Enunciada de esta forma, se le llama **Ley Hooke generalizada**, y los coeficientes de proporcionalidad que aparecen son constantes características del material, y no dependen de la geometría del cuerpo, ya que el estado tensional y de deformación son propios de un punto (Cervera y Blanco, 2001).

Cuando la barra se carga en tensión, el alargamiento axial se acompaña de una contracción lateral (esto es una contracción normal a la dirección de la carga aplicada). Este cambio de forma queda representado en la figura 10. (Gere, 2006).

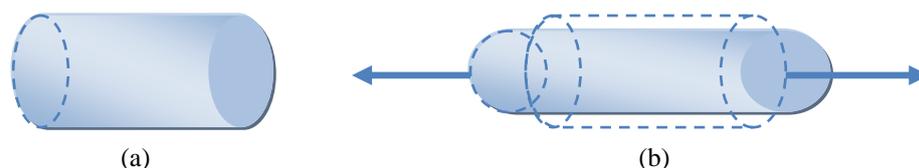


Figura 10: Alargamiento axial y contracción lateral de una barra prismática en tensión: (a) barra antes de cargarla y (b) barra después de cargarla.

La deformación unitaria lateral ε' en cualquier punto de la barra es proporcional a la deformación unitaria axial ε en el mismo punto, si el material es linealmente elástico. La relación de esas deformaciones unitarias es una propiedad del material, que se llama **relación de Poisson (ν)**. Se puede definir como (Gere, 2006):

$$\nu = -\frac{\text{deformación unitaria lateral}}{\text{deformación unitaria axial}} = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \quad (4)$$

El signo menos se intercala en la ecuación para interpretar que las deformaciones unitarias lateral y axial suelen tener signos opuestos.

El lógico requisito de seguridad exigible a las estructuras que se proyectan y se construyen conlleva la definición de un valor superior de la tensión que el material puede alcanzar sin que exista riesgo de que se produzca un fallo estructural, ya sea este total o parcial. Así, se define tensión límite, σ_{lim} , como aquel valor de la tensión al cual el material alcanza su límite de resistencia, y por debajo del cual no se producen ni deformaciones excesivas, ni la rotura del mismo. En consecuencia, se define tensión admisible, σ_{adm} , de la forma:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{n} \leq \sigma_{\text{lim}} \quad (5)$$

donde n es un coeficiente mayor denominado *coeficiente de seguridad*. Las estructuras se diseñan, con el criterio de que la tensión en cualquier punto sea inferior al valor de la tensión admisible; es decir, si σ_{max} es el valor máximo de la tensión en la estructura, debe cumplirse que (Cervera y Blanco, 2001):

$$\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{adm}} \leq \sigma_{\text{lim}} \quad (6)$$

2.3.1 Esfuerzos en un invernadero “raspa y amagado”

En los invernaderos tipo “raspa y amagado” las acciones que afectan a la estructura dan lugar a esfuerzos de tracción y compresión normales, en función de la

dirección de éstos y de la disposición y tipo de componente. En la siguiente figura se puede ver el esquema de los principales esfuerzos:

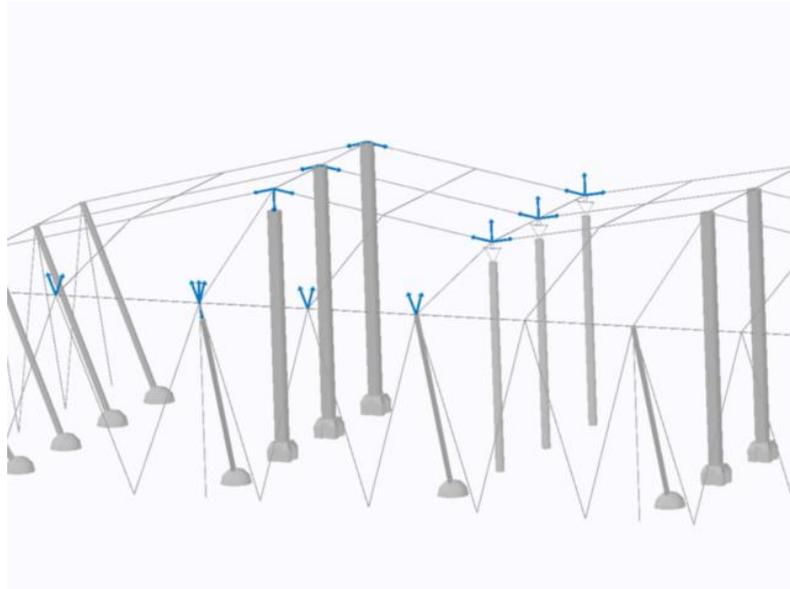


Figura 11: Esquema de los principales esfuerzos de un invernadero.

Los cables, trenzas y alambres forman la estructura primera de los invernaderos. Éstos transmiten las acciones recibidas (gravitatorias, viento, nieve, térmicas...) a los pies derechos, a los amagados y a los vientos (Pérez *et al.*, 1991).

Los cables destinados a soportar los enrames de los cultivos están sometidos exclusivamente a cargas gravitatorias, mientras que en el resto, las principales acciones que reciben son las succiones y compresiones del viento, ya que las cargas gravitatorias (peso propio y plástico de cobertura) son de muy escasa cuantía (Pérez *et al.*, 1991).

En el caso de las cimentaciones se distinguen, aquellos elementos que transmiten un esfuerzo de tracción a la cimentación (vientos y amagados) y los que comprimen la cimentación (pies derechos y perimetrales o inclinados) (Pérez *et al.*, 1991).

Estudiando cómo trabaja cada elemento de forma individual, los elementos que configuran la estructura del invernadero son:

- **Tejido:** es el encargado de sustentar el plástico de la cubierta y transmite las acciones al resto de la estructura. Éste queda dividido en varias partes diferenciadas, en orden ascendente: alambre pórtico inferior, correa, malla inferior y malla superior, correa superior y alambre pórtico superior. Cada uno de los cables de forma individual trabaja a tracción.

Se observa en la malla aspectos que contribuyen a su deterioro o mal funcionamiento (Pérez *et al.*, 1991):

- No todos los alambres de la malla están unidos a las correas.
- Fallan a veces las uniones de la malla superior con la estructural.
- El rozamiento éntrelos alambres de la malla producen pérdida de sección.

La tensión inicial de las correas es muy grande, por lo que lleva a necesitar secciones mayores con el consiguiente coste. Se justifica esto en parte por la necesidad de circular los montadores por encima de la estructura. Por otra parte, no está unida a todos los alambres pórticos, pasa alternativamente una vez por encima y otra por debajo (Pérez *et al.*, 1991).

A veces la inclinación del alambre pórtico es muy pequeña por lo que al entrar en carga por la acción del viento, el ángulo de este supera al inicial y tracciona al pie derecho lo que produce su levantamiento del apoyo inferior (Pérez *et al.*, 1991).

Es típico observar como es necesario retensar el alambre pórtico por deslizamiento excesivo del nudo. Esta operación es debida a que el nudo pierde fuerza con lo que la tensión disminuye a lo largo del tiempo, no sólo por la alternancia en las temperaturas y la acción del viento, sino incluso cuando no aumenta la fuerza de tracción (Pérez *et al.*, 1991).

- **Locas:** Son las encargadas de asegurar la unión del plástico a los tejidos de la cubierta, transmite los esfuerzos al tejido. Trabajan a tracción.

- **Emparrillado:** Encargado de soportar el peso de las hortalizas tutoradas. Trabaja a tracción y transmite los esfuerzos a los amagados, a los pies derechos, a los vientos y a los pies perimetrales.
- **Amagados:** Soporta esfuerzos de tracción transmitidos por el tejido. A su vez transmite los esfuerzos a la cimentación.
- **Pies derechos:** Son los pilares que soportan la estructura, son los encargados de soportar la compresión que se transmite a la cimentación.
- **Vientos:** Transmiten los esfuerzos de tracción de la estructura a la cimentación.
- **Pies inclinados:** Son los pilares que soportan la estructura perimetral, son los encargados de soportar la compresión que se transmite a la cimentación.

En cuanto a la cimentación existen tres tipos:

- Para los amagados: Pozos circulares de hormigón, donde quedan alojadas las cabillas redondas galvanizadas de anclaje. Principalmente trabajan a tracción.
- Para los vientos: Pozos circulares de hormigón, donde quedan alojadas las cabillas redondas galvanizadas de anclaje. Principalmente trabajan a tracción.
- Para los pies inclinados: Hoyos rellenos de hormigón. Principalmente trabajan a compresión.
- Para los pies derechos: Van directamente apoyados sobre peanas de hormigón, por lo que no se puede considerar una cimentación. Trabajan exclusivamente a compresión.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Invernadero

Para la realización del proyecto hemos contado con un invernadero “tipo Almería” o “raspa y amagado”. Éste se encuentra localizado en la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP, ubicada en el paraje “Los Goterones” de la localidad de Retamar (Término Municipal de Almería). La extensión total de la finca es de 14 hectáreas de las que actualmente están invernadas 8, con invernaderos de diferentes características (Figura 12).



Figura 12: Panorámica y distribución en planta de la Finca Experimental UAL-ANECOOP.

El invernadero utilizado es el módulo U8, orientado noroeste-sureste, con una superficie de 2115 m², constituido por 5 raspas de 8,6 metros por 45 m de largo. Como hemos dicho, su estructura es “raspa y amagado” y sus dimensiones y distribución quedan detalladas en las siguientes figuras que representan una vista en perspectiva, planta, alzado y perfil del invernadero.

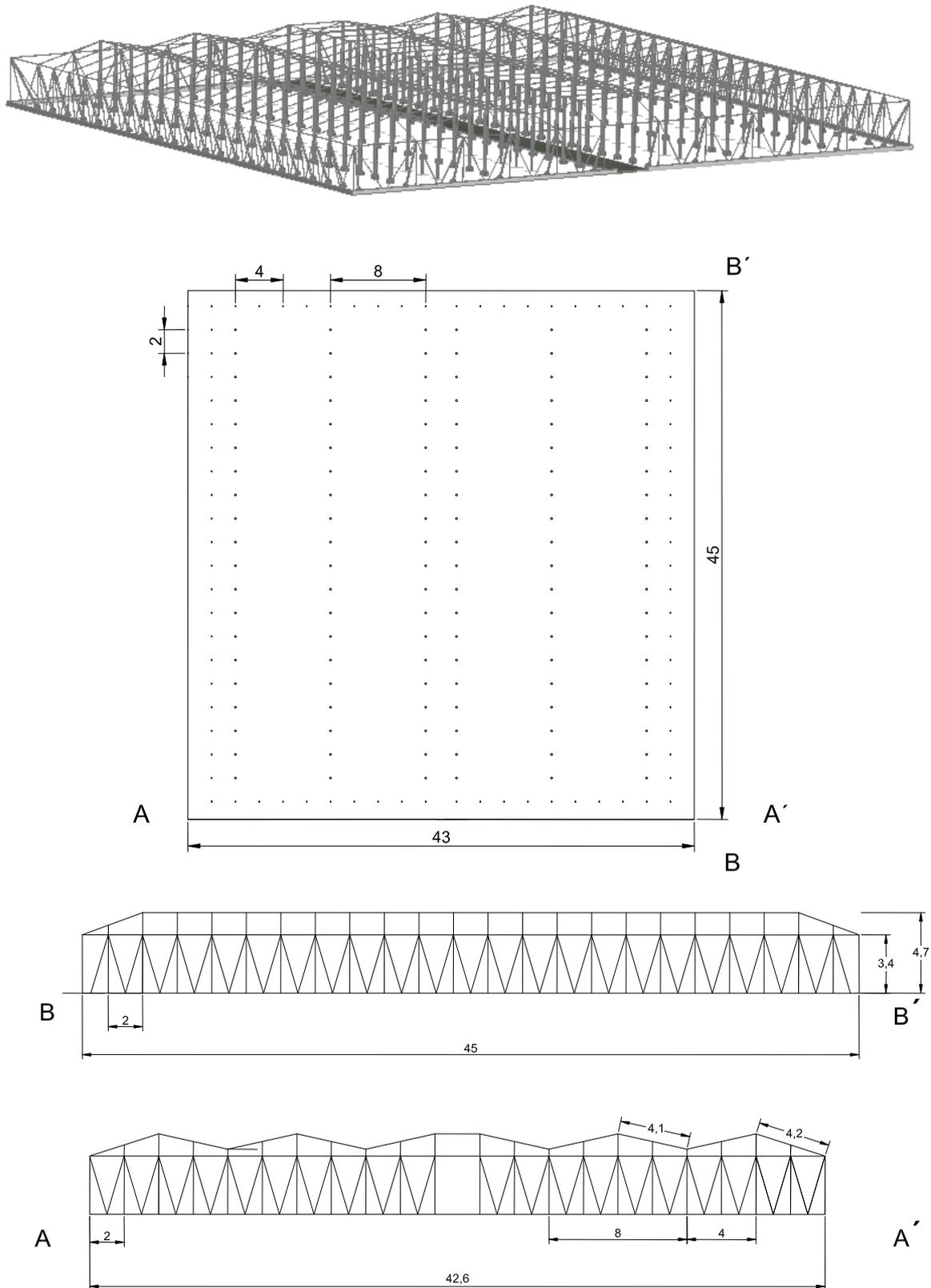


Figura 13: Perspectiva, planta, perfil y alzado del invernadero. Todas las cotas en metros. (Sin escala).

Los elementos que configuran la estructura del invernadero son:

- **Tejido:** es el encargado de sustentar el plástico de la cubierta y transmite los esfuerzos a los pilares. Éste queda dividido en varias partes diferenciadas, en orden ascendente: alambre pórtico inferior (trenza de montaje de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada), correa inferior (trenza de montaje de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada) malla inferior y malla superior (alambre de llaneo de 2.5 mm acerado triple galvanizado y alambre de tejido de 2 mm acerado triple galvanizado)¹, correa superior (trenza de montaje de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada) y alambre pórtico superior (trenza de montaje de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada).

- **Locas:** Para asegurar la unión del plástico a los tejidos de la cubierta, se colocan locas con trenza de 2 hilos (2x2,5 mm) en dirección norte a sur; no colocándose en los amagados al llevar ya en dichos sitios montada la trenza de 3 hilos y tampoco en las raspas al no necesitarlas debido a la presión ejercida hacia abajo por los tejidos existentes en esa zona.

- **Emparrillado**²: Encargado de soportar el peso de las hortalizas tutoradas. Queda partido en los pasillos, con trenza de 2 hilos (2x3 mm) galvanizada en dirección oeste a este, montando una trenza cada 2 m y apoyada sobre los tubos que cubren a cada amagado. Para entutorar el cultivo, se usa alambre de 3 mm galvanizado, en dirección norte a sur; llevando un hilo cada 1 m de separación. Queda a una altura de 3,4 m.

¹ El alambre de llaneo va a una distancia de 33 cm aproximadamente uno de otro, llevando 5 hilos en cada claro de 2 m resultante entre dos vigas, consecutivas de la banda.

El alambre de tejido va a una distancia de 33 cm aproximadamente uno de otro, llevando 5 hilos en cada claro de 2 m resultante entre dos vigas, consecutivas de la banda.

La cuadrícula resultante entre los alambres de llaneo y de tejido será de 33x 33 cm, realizados ambos tejidos; superior e inferior; con iguales características y de forma manual.

² El emparrillado queda reforzado en los pasillos, montando un tubo telescópico entre dos tubos de la misma fila de raspa situados a cada lado del pasillo; mediante bridas, tornillos, arandelas y tuercas autofrenantes. Los tubos de raspa que llevan montados el tubo telescópico, van con anclaje de refuerzo al terreno, mediante ratón y riostra. En los amagados situados a cada lado del pasillo; se montan tubos de 2" y se conectan amagados de la misma fila mediante un tubo rectangular de 25x25 mm en forma de U invertida.

- **Amagados:** Soporta esfuerzos de tracción. La trenza del amagado irá por dentro del tubo y este apoyado en la cabilla del amagado. La trenza es de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada. El amagado se enlaza al tejido de cubierta mediante ganchos galvanizados doble gancho.

- **Pórticos o pies derechos:** Son los pilares que soportan la estructura, son los encargados de soportar la compresión que se transmite a la cimentación, son perfiles redondos huecos de acero galvanizado de 8 cm de diámetro, 4,5 m de altura y 1,7 mm de espesor en las raspas (también denominados raspas o pies derechos). La distancia entre raspas consecutivas es de 8 m, con una altura en la raspa o cumbrera de 4,70 m. (tubo + bloque). La distancia entre tubos (pies derechos) de la misma fila o raspa es de 2 m, así como la distancia entre amagados de la misma fila.

- **Vientos:** Transmiten los esfuerzos de tracción de la estructura a la cimentación. Son perfiles redondos huecos de 30 mm de diámetro, 1,2 mm de espesor en pared y 3,20 m de longitud.

- **Pies inclinados:** Son perfiles rectangulares huecos de acero de 10 x 5 cm, de 4 m de longitud y 3 mm de espesor. La altura en la banda del invernadero será de 3,40 m aproximadamente. Con una distancia entre postes (pies perimetrales) consecutivos de la banda de 2 m, en aquellas bandas que formen ángulos rectos, y de más de 2 m en las bandas con descuadre o con ángulo de más de 90 grados.

- Para enlazar cada poste al de la banda al siguiente, hay soldado un ángulo de acero galvanizado en L de 70/6/6.

En cuanto a la cimentación existen tres tipos (Figura 13):

- Para los amagados: Pozos circulares de hormigón de 9 cm de diámetro y 1,7 m de longitud, donde quedan alojadas las cabillas redondas galvanizadas de 14 mm de diámetro a 1,7 m de anclaje.

- Para los vientos (muertos): Pozos circulares de hormigón de 9 cm de diámetro y 2,5 m de longitud, donde quedan alojadas las cabillas redondas galvanizadas de 14 mm de diámetro a 6 m de anclaje.
- Para los pies inclinados: Hoyos rellenos de hormigón de 40x60x60 cm. También incluyen un marmolillo de protección con mortero de hormigón para protegerlos de agentes físicos y químicos agresivos y dotarlos de una mayor resistencia y durabilidad. .
- Para los pies derechos: Van directamente apoyados sobre peanas de hormigón, por lo que no se puede considerar una cimentación.

3.1.2. Resumen de elementos

Correas superiores e inferiores	Trenza galvanizada de 3 hilos (3x3 mm)
Locas	Trenza galvanizada de 2 hilos (2x2,5 mm)
Alambre pórtico superior e inferior	Trenza galvanizada de 3 hilos (3x3 mm)
Malla superior e inferior	Alambre acerado triple galvanizado de 2.5 mm
Estructura de enrame	Trenza galvanizada de 2 hilos (2x3 mm)
Pies derechos	Redondo hueco 8 cm de diámetro y 1,7 cm de espesor
Amagados	Trenza de 3 hilos (3x3 mm) galvanizada
Soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico y de correas (pies inclinados)	Perfil rectangular hueco de acero de 10x5 cm y 3 mm de espesor
Tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico y de correas (vientos)	Perfil redondo hueco de 30 mm de diámetro, 1,2 mm de espesor

Tabla 1: Resumen de elementos de la estructura resistente del invernadero construido.

3.1.3. Instrumentos de medida para la determinación de los esfuerzos

Para la realización de los ensayos utilizamos quince células de carga, de las cuales doce son de tracción, con una capacidad individual de 5000 kg seis de ellas y 2500 kg las otras seis; las tres restantes corresponden a células de compresión con una capacidad de 2500 kg cada una.

Para la medida de los esfuerzos de tracción de las distintas correas analizadas, se utilizaron células de carga CTC 2500 y 5000 de *Dinacell Electrónica* (Figura 14) previamente calibradas, estas células están especialmente diseñadas para trabajar a tracción o compresión, se fabrican en acero aleado con tratamiento anticorrosión de níquel químico o acero inoxidable, según necesidades. En total se analizaron doce elementos directamente.



Figura 14: Célula de carga CTC 2500 de *Dinacell Electrónica*. (Fuente: *Dinacell Electrónica*).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Sensibilidad	2 mV/V	Efecto temp. en cero	< 0,016 % / 5 °C
Ajuste tolerancia sensibilidad	0,1 %	Margen compensado de temp.	- 10 °C / + 40 °C
Ajuste tolerancia de cero	1 % F.Escala	Resistencia de entrada	380 Ω ± 10 Ω
Tensión de excitación	≤ 12 V	Resistencia de salida	350 Ω ± 3 Ω
No linealidad	<0,015%F.E.	Resistencia de aislamiento (V.Test=100V)	> 5000·106 Ω
No repetibilidad	<0,011%F.E.	Máxima carga de trabajo	150% F.E.
Error combinado	<0,027%F.E.	Límite de carga sin perder características	200% F.E.
Histéresis	<0,009%F.E.	Carga de rotura	>300% F.E.
Fluencia en 30 minutos	<0,025%F.E.	Cable	Flexible 4x0,25mm
Efecto temp. en sensibilidad	<0,023%F.E.	Protección	IP 66

Tabla 2: Especificaciones técnicas de la célula de carga de tracción modelo CTC 2500 y 5000. (Fuente: *Dinacell Electrónica*).

Para la medida de la compresión, se usaron células de carga BP-2093 2500 de *Dinacell Electrónica* (Figura 15) previamente calibradas. En total se analizaron tres elementos directamente.



Figura 15: Célula de carga BP-2093 2500 de *Dinacell Electrónica*. (Fuente: *Dinacell Electrónica*).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Sensibilidad	2 mV/V \pm 0,5 %	Efecto temp. en cero	< \pm 0,0023% / °C
Ajuste tolerancia de cero	< 0,25% F.Escala	Margen compensado de temp.	- 10 °C / + 40 °C
Tensión de excitación	5.24V(máx.35V)	Resistencia de entrada	700 Ω \pm 10 Ω
No linealidad	<0,015%F.E.	Resistencia de salida	700 Ω \pm 1 Ω
No repetibilidad	<0,015%F.E.	Resistencia de aislamiento (V.Test=100V)	> 5000·10 ⁶ Ω
Error combinado	<0,03%F.E.	Máxima carga de trabajo	150% F.E.
Histéresis	<0,02%F.E.	Límite de carga sin perder características	200% F.E.
Fluencia en 30 minutos	<0,016%F.E.	Carga de rotura	>300% F.E.
Fluencia en 4 horas	<0,05%F.E.	Cable	Flexible 4x0,34mm
Efecto temp. en sensibilidad	< \pm 0,0015% / °C	Protección	IP 68

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la célula de carga de tracción modelo BP-2093 2500. (Fuente: *Dinacell Electrónica*).

3.1.4. Diseño experimental

A la hora de estudiar el comportamiento y la distribución de las cargas que aparecen en el invernadero tipo “raspa y amagado”, inicialmente hay que tener en cuenta que un invernadero no es una estructura sólida común, sino que nos encontramos ante una estructura con huecos y porosa.

Existen estudios que demuestran que, el flujo de viento a través de una estructura modifica la distribución de la presión, en general se observa que las cargas en estructuras porosas son inferiores a las de una estructura sólida, estando el coeficiente de pérdida en función de la porosidad y de la construcción (Richards, *et al.*, 1999); también queda de manifiesto que los coeficientes aerodinámicos externos son influenciados por la posición o el tamaño de las ventanas y los coeficientes aerodinámicos internos y las presiones totales de viento en la estructura dependen fundamentalmente de la configuración de las ventanas (Mistriotis, *et al.*, 2002).

Por todo ello, en función de la zona del invernadero en la que nos encontremos el comportamiento esperado será distinto. Se monitorizaron diversas partes, en concreto las que consideramos más representativas para su estudio.

Para la determinación de las zonas ensayadas, se tuvo en cuenta el tipo de invernadero, la altura de éste, que tipo de ventanas existen y dónde se encuentran, la orientación del invernadero en la finca (Figura 16), los elementos adyacentes a éste y los vientos predominantes de la zona, siendo éstos SSW y SW en primavera, otoño y verano, y N, NNW y NNE en invierno (Capel, 1990).

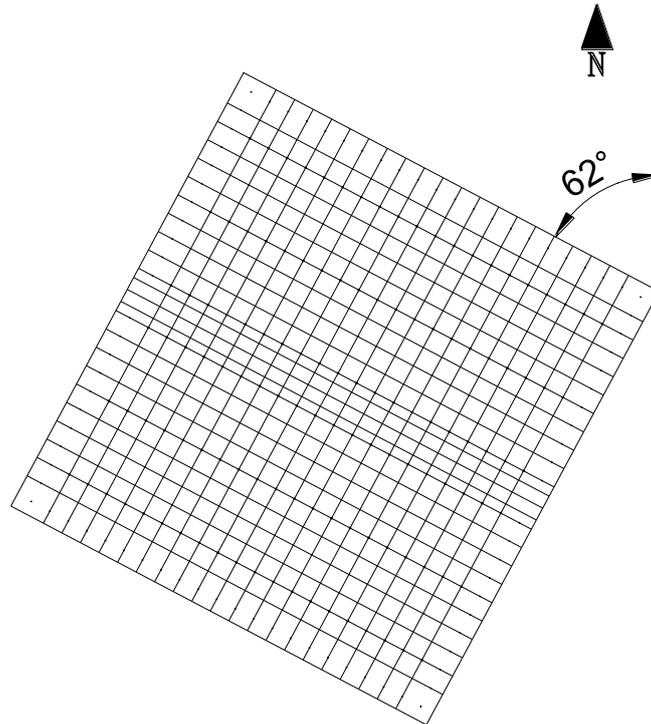


Figura 16: Plano de orientación del invernadero en la finca.

Antes de la disposición final de las células de carga en el invernadero, se procedió a calibrarlas, el método consistió en aplicarles una fuerza conocida con ayuda de una grúa, en el caso de células de tracción elevando distintos pesos y en el caso de células de compresión colocándolos sobre ellas, así de manera progresiva hasta tener valores suficientes para conseguir la recta de calibrado para cada una de ellas. Este trabajo se realizó en la nave de construcciones del edificio Científico técnico II-A de la Universidad de Almería.

Como hemos dicho, la medida de los elementos que trabajan a tracción se llevó a cabo mediante la colocación de células de carga, en total doce, de las cuales seis tienen una capacidad de 5000 kg y el resto 2500 kg.

La técnica para la colocación de las células se fundamentó en conseguir que la tensión del cable, pasase al sistema formado por la célula y sus correspondientes elementos de unión (Figuras 17 y 18), para ello se dobló el cable original con la ayuda de un tráctel y se acoplaron a éste dos sujeciones de acero, en las cuales se engancharon las células de carga. Es una técnica no destructiva, ya que al finalizar los ensayos, se

quitaron las sujeciones laterales de las células de carga y la tensión volvió a pasar al cable original.



Figuras 17 y 18: Detalles del sistema de colocación de la célula de tracción.

En el caso de la medida de compresión, usamos tres células de compresión con una capacidad de 2500 kg cada una. Como podemos observar en la figura 19, la célula pasa a formar parte de la estructura, midiendo la compresión que ejerce el pilar sobre la peana, con un adaptador colocado bajo el pilar para conseguir derivar todo el esfuerzo hasta el punto de medida de la célula de carga. Para la colocación de estas células de carga, se levantó el pilar a estudiar para adaptarle el sistema de medida mientras otro pilar auxiliar soportaba la estructura. Al igual que en el caso anterior, se trata de una técnica no destructiva, ya que al finalizar los ensayos se realiza el mismo proceso quedando la estructura como estaba originalmente:



Figura 19: Detalle del sistema de colocación de la célula de compresión.

Las células fueron distribuidas teniendo en cuenta, a parte de todo lo anterior, de forma que abarquen los distintos elementos estructurales, en un número suficiente para cerciorarnos de la correcta medición de éstas. Quedando de la siguiente forma: para tracción, tres en líneas de amagados, dos en líneas de pórticos, cuatro en líneas situadas entre estas dos anteriores (locas) y tres transversalmente a todas ellas; para compresión, tres entre los pilares y su correspondiente peana.

A continuación podemos ver en el plano (Figura 20) como quedaron localizadas finalmente:

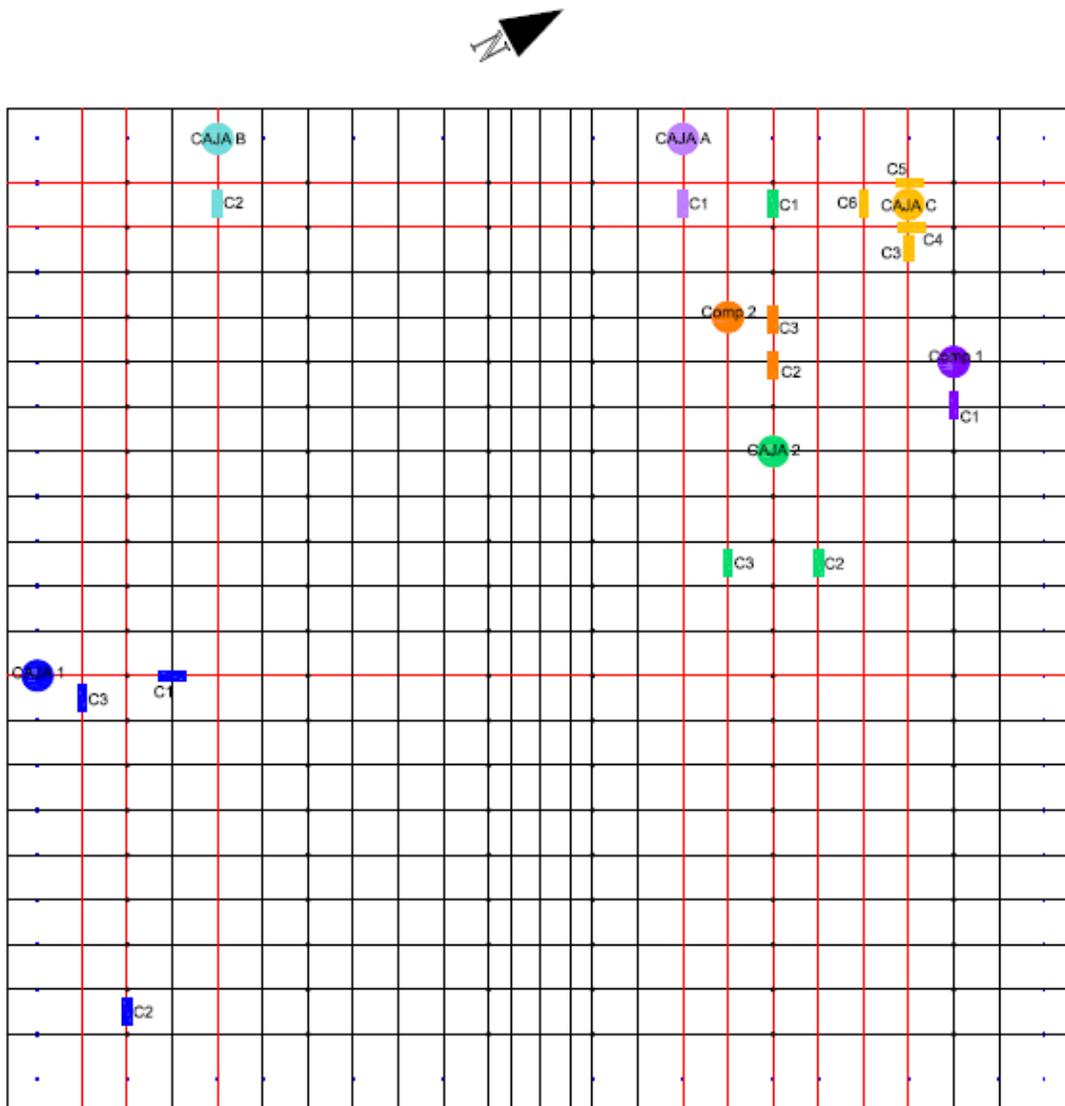


Figura 20: Plano de distribución de las células en el invernadero.

3.1.5. Parámetros analizados

En los ensayos fueron estudiados dos tipos de esfuerzos: tracción y compresión, para distintos componentes estructurales.

Las medidas de tracción del tejido se realizaron en tres líneas distintas de amagados, en dos líneas distintas de raspas, en cuatro cordadas situadas entre las dos anteriores denominadas locas y tres perpendiculares a éstas conocidas como alambres pórticos.

La medida de compresión se midió en la base de los pilares, esfuerzo transmitido por el tejido a la cabeza del pilar y éste a su vez al bloque de hormigón.

El periodo de realización de los ensayos abarca la totalidad de los años 2009 y 2010.

3.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO PARA EL CÁLCULO ANALÍTICO DE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO

3.2.1. Acciones consideradas en el cálculo

Las acciones que en general afectan a una estructura, según el Documento Básico SE-AE (Seguridad estructural-Acciones en la edificación) de Marzo de 2006, se clasifican en:

- Acciones Permanentes:

- *Peso propio:* No se tendrá en cuenta dada la ligereza de la estructura.
- *Pretensado:* No es de aplicación, ya que es referida al hormigón.
- *Acciones del terreno:* No es de aplicación, ya que los invernaderos tipo “Almería” se colocan sobre el terreno.

- Acciones Variables:

- *Sobrecarga de uso: La sobrecarga de uso es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.*
- *Viento: La distribución y el valor de las presiones que ejerce el viento sobre un edificio y las fuerzas resultantes dependen de la forma y de las dimensiones de la construcción, de las características y de la permeabilidad de su superficie, así como de la dirección, de la intensidad y del racheo del viento.*
- *Acciones térmicas: Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico. Es de gran importancia en este tipo de estructura de invernadero, fundamentalmente en los alambres, trenzas y cables acerados que constituyen los pórticos, correas y vientos, ya que en su colocación se someten a un tensión inicial de tensado que puede verse incrementada sustancialmente por el efecto de la retracción térmica.*
- *Nieve: La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.*

- Acciones Accidentales:

- *Sismo: La acción sísmica se considera según la norma NCSR-02 “Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación”. En el epígrafe 1.2.2. “Clasificación de las construcciones”, de dicha norma, las edificaciones se dividen en tres tipos. Los invernaderos se podrían considerar como construcciones de moderada importancia y según el epígrafe 1.2.3. “Criterios de aplicación”, en las construcciones de este tipo no es necesario considerar la acción sísmica.*
- *Incendio: Las acciones debidas a la agresión térmica del incendio están definidas en el DB-SI. No es de aplicación en nuestro caso.*

- *Impacto*: No es de aplicación en nuestro caso.
- *Otras acciones accidentales*: No es de aplicación en nuestro caso.

3.2.1.1. Acciones variables

Sobrecarga de uso

Se determinará según la tabla 3.1 del DB-SE-AE. Refiriéndose a cubiertas accesibles únicamente para conservación, (*Entrada G1; Tabla 3.1: Valores característicos de las sobrecargas de uso*).

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾	2
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 4: Valores característicos de las sobrecargas de uso. (Fuente: DB-SE-AE).

Aunque no se contemplen en esta tabla, en los invernaderos se puede incluir en este apartado la acción provocada por las hortalizas de enrame, actuando directamente sobre los pies derechos del invernadero. Ensayos realizados por *Pérez et al., 1992*, cifran esta acción en 10 kp/m².

Viento

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (7)$$

siendo:

q_b la presión dinámica del viento: De forma simplificada, como valor en cualquier punto del territorio español, puede adoptarse $0,5 \text{ kN/m}^2$. Pueden obtenerse valores más precisos mediante el anejo E, en función del emplazamiento geográfico de la obra:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 \tag{8}$$

Donde δ es la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento (Anejo D: Velocidad del viento. Figura D.1: Valor básico de la velocidad del viento, v_b . Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación).

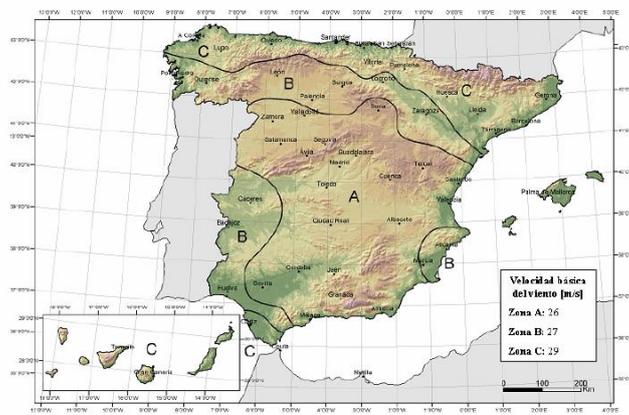


Figura 21: Valor básico de la velocidad del viento, v_b . (Fuente: DB SE-AE).

c_e el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3. El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se puede tomar de la tabla 3.3 (Tabla 3.3: Valores del coeficiente de exposición c_e . Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación), siendo la altura del punto considerado la medida respecto a la rasante media de la fachada a barlovento.

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 5: Valores del coeficiente de exposición c_e . (Fuente: DB-SE-AE).

c_p el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor se establece en 3.3.5.

A efectos del cálculo de la estructura, del lado de la seguridad se podrá utilizar la resultante en cada plano de fachada o cubierta de los valores del Anejo D.2, que recogen el pésimo en cada punto debido a varias direcciones de viento.

El edificio presenta grandes huecos, por lo que la acción de viento genera, además de presiones en el exterior, presiones en el interior, que se suman a las anteriores.

El coeficiente eólico de presión interior, c_{pi} , se considera único en todos los paramentos interiores del edificio. Para la determinación de la presión interior, en edificios de una sola planta, se considerará como coeficiente de exposición el correspondiente a la altura del punto medio del hueco, salvo que exista un hueco dominante, en cuyo caso el coeficiente de exposición será el correspondiente a la altura media de dicho hueco.

El c_{pi} se toma de la *Tabla 3.5 Coeficientes de presión interior. Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación.*

Esbitez en el plano paralelo al viento	Área de huecos en zonas de succión respecto al área total de huecos del edificio											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
≤1	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-0,5	
≥4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	

Tabla 6: Coeficientes de presión interior. (Fuente: DB-SE-AE).

Acciones térmicas

Los efectos globales de la acción térmica pueden obtenerse a partir de la variación de temperatura media de los elementos estructurales, en general,

separadamente para los efectos de verano, dilatación, y de invierno, contracción, a partir de una temperatura de referencia, cuando se construyó el elemento y que puede tomarse como la media anual del emplazamiento o 10°C.

Las temperaturas ambiente extremas de verano y de invierno pueden obtenerse del Anejo E.

Para elementos expuestos a la intemperie, como temperatura mínima se adoptará la extrema del ambiente. Como temperatura máxima en verano se adoptará la extrema del ambiente incrementada en la procedente del efecto de la radiación solar, según la *Tabla 3.6. Incremento de temperatura debido a la radiación solar. Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación.*

Orientación de la superficie	Color de la superficie		
	Muy claro	Claro	Oscuro
Norte y Este	0 °C	2 °C	4 °C
Sur y Oeste	18 °C	30 °C	42 °C

Tabla 7: Incremento de temperatura debido a la radiación solar. (Fuente: DB-SE-AE).

Nieve

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (9)$$

siendo:

μ coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3.

s_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2.

3.2.2. Combinación de acciones

Según el *Aparatado 4: Verificaciones basadas en coeficientes parciales del DB-SE*. “El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación

persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (10)$$

es decir, considerando la actuación simultánea de:

- todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);
- una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;
- el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$)".

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la *tabla 4.1 del Documento Básico-Seguridad Estructural* para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente Peso propio, peso del terreno	1.35	0.80
	Variable	1.50	0.00

Tabla 8: Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, ψ , se establecen en la *tabla 4.2 del Documento Básico-Seguridad Estructural*.

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0.0	0.0	0.0
Nieve			
• para altitudes ≤ 1000 m	0.5	0.2	0.0
Viento	0.6	0.5	0.0
Temperatura	0.6	0.5	0.0
Acciones variables del terreno	0.7	0.7	0.7

Tabla 9: Coeficientes de simultaneidad (ψ)

3.2.3. Metodología para el cálculo de cables, trenzas y alambres

3.2.3.1. Cables empleados en estructuras de enrame

Las cargas se van a considerar puntuales, equidistantes y de la misma magnitud.

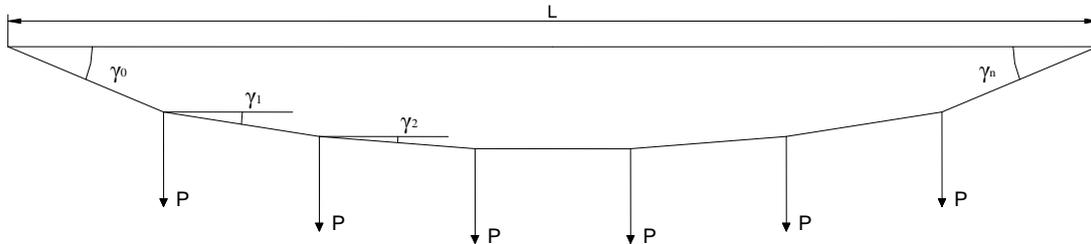


Figura 22: Esquema de carga de un hilo en estructuras de enrame (cargas gravitatorias iguales, puntuales y equidistantes).

En esta situación, el cable soporta un número de cargas “n”, cada una de valor “P”, lo cual provoca una deformación del cable dando lugar a n+1 tramos, los cuales forman un ángulo con respecto a la horizontal γ_i .

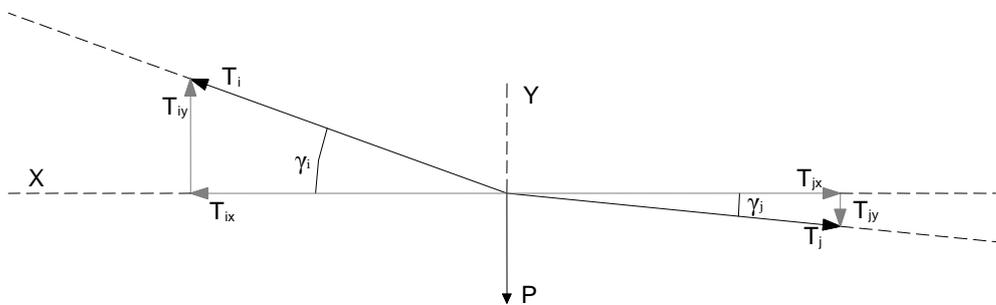


Figura 23: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas gravitatorias iguales, puntuales y equidistantes).

Estableciendo el equilibrio de fuerzas respecto al eje X se tiene:

$$T_0 \cos \gamma_0 = T_1 \cos \gamma_1 = \dots = T_n \cos \gamma_n = K \quad (11)$$

El equilibrio de fuerzas respecto al eje Y resulta:

$$T_0 \operatorname{sen} \gamma_0 = P + T_1 \operatorname{sen} \gamma_1 \quad (12)$$

$$T_1 \operatorname{sen} \gamma_1 = P + T_2 \operatorname{sen} \gamma_2 \quad (12)$$

...

$$T_i \operatorname{sen} \gamma_i = P + T_{i+1} \operatorname{sen} \gamma_{i+1} \quad (12'')$$

...

$$T_{n-1} \operatorname{sen} \gamma_{n-1} = P + T_n \operatorname{sen} \gamma_n \quad (12''')$$

Sumando ambos miembros y teniendo en cuenta la simetría de la estructura ($\gamma_n = -\gamma_0 : T_0 = T_n$) resulta:

$$2T_0 \operatorname{sen} \gamma_0 = n P \quad (13)$$

de donde:

$$T_0 = \frac{nP}{2} \operatorname{sen} \gamma_0 \quad (14)$$

De las igualdades anteriores y el valor de T_0 se deduce:

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \frac{P(n-2i)}{2K} \quad (15)$$

O bien puede expresarse como:

$$K = \frac{P(n-2i)}{2 \operatorname{tg} \gamma_i} \quad (16)$$

Por otra parte, la compatibilidad de las deformaciones implica que la proyección del cable deformado sobre el cable sin deformar debe de ser igual a la longitud inicial. De ahí el planteamiento de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{L}{n+1} \left[\left(1 + \frac{\sigma_0 - \sigma_{in}}{E} \right) \cos \gamma_0 + \dots + \left(1 + \frac{\sigma_i - \sigma_{in}}{E} \right) \cos \gamma_i + \dots + \left(1 + \frac{\sigma_n - \sigma_{in}}{E} \right) \cos \gamma_n \right] \quad (17)$$

donde σ_{in} es la tensión inicial del cable y E su módulo de elasticidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos poner:

$$L = \frac{L}{n+1} \left[\left(1 - \frac{\sigma_{in}}{E} \right) (\cos \gamma_0 + \dots + \cos \gamma_i + \dots + \cos \gamma_n) + \frac{(n+1)K}{AE} \right] \quad (18)$$

Para resolver esta ecuación se forma la función:

$$F = \frac{1}{n+1} \left[\left(1 - \frac{\sigma_{in}}{E} \right) \sum_{i=0}^n \cos \gamma_i + \frac{(n+1)K}{AE} \right] - 1 \quad (19)$$

El valor de esta expresión debe aproximarse a cero, lo que se consigue por aproximaciones sucesivas, dando valores al ángulo γ_0 hasta que se anule F. Con esta expresión y dada la sección del cable, se puede determinar la tensión que éste soporta.

Sabiendo que:

$$\frac{K}{A} = \frac{T_{adm}}{A} \cos \gamma_0 = \sigma_{adm} \cos \gamma_0 \quad (20)$$

obtenemos

$$F = \frac{1}{n+1} \left[\left(1 - \frac{\sigma_{in}}{E} \right) \sum_{i=0}^n \cos \gamma_i + \frac{\sigma_{adm} \cos \gamma_0}{E} \right] - 1 \quad (21)$$

Con esta expresión y conocida la tensión admisible σ_{adm} podemos calcular la sección mínima.

Para determinar el término que recoge la suma de todos los cosenos, usamos la siguiente expresión resultante de la ecuación (16):

$$\sum_{i=0}^n \cos \gamma_i = \sum_{i=0}^n \frac{2K}{\sqrt{4K^2 + P^2(n-2i)^2}} \quad (22)$$

3.2.3.2. Cables empleados en estructuras de cubierta

Cada elemento que compone la cubierta va a soportar cargas distribuidas de forma distinta, esto va depender de su colocación durante el montaje y del elemento a estudiar. De forma general se van a presentar tres casos diferenciados:

- Cargas continuas uniformemente repartidas.
- Cargas puntuales de la misma magnitud con separaciones constantes entre ellas.
- Cargas puntuales de distinta magnitud con separaciones constantes.

En general el peso propio de los elementos resistentes de cubierta y el peso de la lámina plástica son despreciables si se comparan con los valores que resultan de la acción del viento.

Por ello el cálculo que sigue se va a realizar sólo para las acciones del viento sobre la estructura. Estas acciones del viento son siempre normales a la cubierta.

3.2.3.2.1. Cálculo de hilos sometidos a cargas continuas uniformemente repartidas

Esta situación se puede aplicar a los hilos que forman las mallas y dependiendo de la distribución de uniones durante el montaje, podría aplicarse también a las correas superiores.

La acción que el viento provoca sobre la lámina plástica es transmitida a la malla y a las correas superiores, los hilos que forman estos elementos quedan sometidos a una carga continua uniformemente repartida en su longitud.

Teniendo en cuenta que la acción del viento es normal a la cubierta “q”, la deformada del hilo de longitud inicial “L”, será un arco de circunferencia con radio R y un semiángulo α .

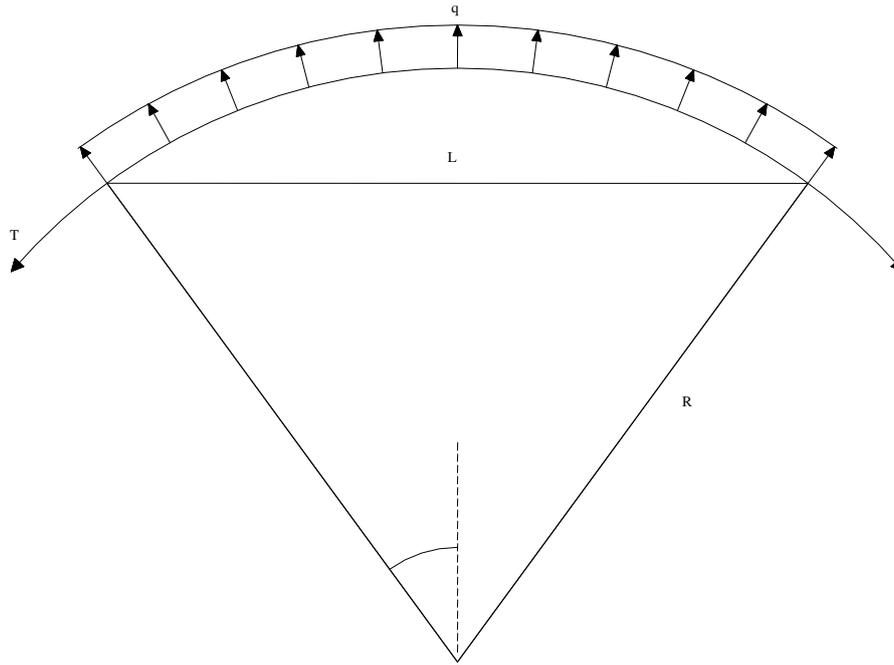


Figura 24: Esquema de carga en un hilo sometido a una carga continua uniformemente repartida.

La sollicitación T vale:

$$T = qR \quad (23)$$

La longitud del hilo cuando no soporta carga viene dada por:

$$L = 2R \operatorname{sen} \alpha \quad (24)$$

La longitud del hilo cuando está cargado es:

$$L' = L + \Delta L = L \left(1 + \frac{\sigma}{E} \right) \quad (25)$$

donde ΔL es la diferencia entre el valor de la longitud inicial del hilo y la longitud de su deformada; σ es la tensión que se deriva como resultado de la carga y E es el módulo de elasticidad del material que compone el hilo.

La longitud "L" de un arco de circunferencia definido por un radio "R" y un ángulo 2α , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L' = \frac{\pi R \alpha}{90} \quad (26)$$

Igualando las expresiones (25) y (26) y utilizando el valor de "L" dado en la expresión (24) se tiene que:

$$2 \operatorname{sen} \alpha \left(1 + \frac{\sigma}{E} \right) = \frac{\pi \alpha}{90} \quad (27)$$

Reordenando los términos queda la siguiente expresión:

$$F = 1 + \frac{\sigma}{E} - \frac{\pi \alpha}{180 \operatorname{sen} \alpha} \quad (28)$$

Para la resolución del problema se puede optar por dos posibilidades:

1. Conocidas las acciones "q" para la determinación de "T" mediante la ecuación (23) y la tensión admisible " σ_{adm} ", calcular la sección mínima:

$$A_{min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} \quad (29)$$

2. Conocida la sección "A" y las acciones "q", calcular la tensión del hilo:

$$\sigma = \frac{qL}{2A \operatorname{sen} \alpha} \quad (30)$$

En ambos casos puede resolverse por aproximaciones sucesivas en las que se supone un valor de α hasta anular el valor de F en la ecuación (28).

3.2.3.2.2. Cálculo de hilos sometidos a cargas puntuales, iguales y equidistantes

Esta situación puede corresponder a las correas y al alambre pórtico, los cuales están sometidos a una tensión inicial con el fin de conseguir la forma estructural final del invernadero y mantenerla estable.

Se parte de un hilo de longitud L con una tensión inicial σ y al que se aplican n cargas de viento iguales y equidistantes de valor P .

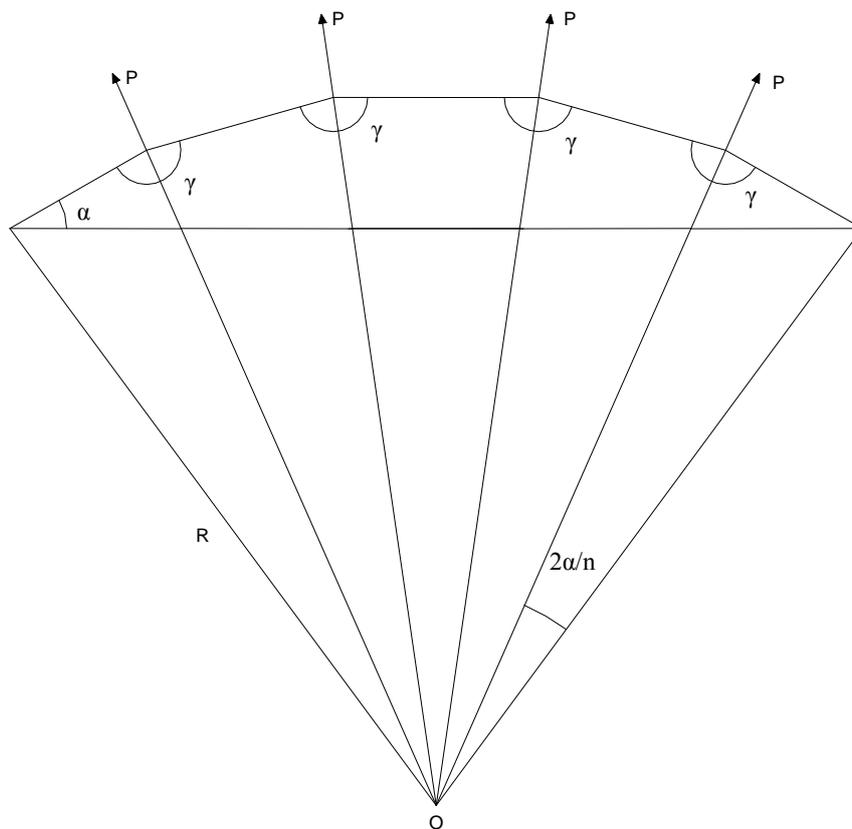


Figura 25: Esquema de carga en un hilo sometido a cargas puntuales, iguales y equidistantes.

Al ser cargas producidas por el viento, tomarán la dirección de la bisectriz del ángulo que se forma en cada nudo y por ser todas iguales, estas bisectrices se cortarán todas en un punto O .

A continuación se muestran las fuerzas que actúan sobre un nudo y la descomposición de las fuerzas “ T ” en sus dos componentes:

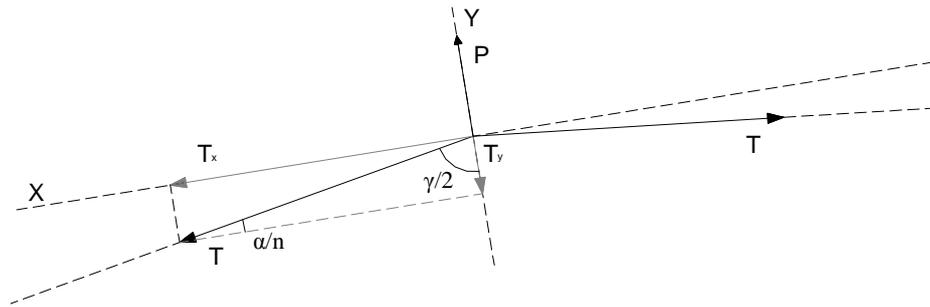


Figura 26: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas iguales, puntuales y equidistantes).

Para que el conjunto se encuentre en equilibrio estático, la resultante de fuerzas en ambas direcciones debe ser nula. La condición de equilibrio respecto al eje X es la siguiente:

$$P = 2T \operatorname{sen} \frac{\alpha}{n} \quad (31)$$

Por otra parte, la longitud inicial del hilo, antes de la deformación es:

$$L = 2R \operatorname{sen} \left[\frac{\alpha(n+1)}{n} \right] \quad (32)$$

La longitud del tramo una vez deformado es:

$$\frac{L'}{(n+1)} = L'_i = 2R \operatorname{sen} \frac{\alpha}{n} \quad (33)$$

La longitud total del hilo después de la deformación, teniendo en cuenta que hay n+1 tramo, vale:

$$L + \Delta L = L' = 2R(n+1) \operatorname{sen} \frac{\alpha}{n} \quad (34)$$

La deformación unitaria longitudinal del cable es:

$$\varepsilon = \frac{L' - L}{L} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{2R(n+1)\text{sen}\frac{\alpha}{n} - 2R\text{sen}\left[\frac{\alpha(n+1)}{n}\right]}{2R\text{sen}\left[\frac{\alpha(n+1)}{n}\right]} = \frac{(n+1)\text{sen}\frac{\alpha}{2}}{\text{sen}\left[\frac{\alpha(n+1)}{n}\right]} - 1 \quad (35)$$

Despejando de la ley de Hooke, la deformación unitaria longitudinal también se puede escribir:

$$\varepsilon = \frac{T - T_0}{AE} = \frac{\sigma - \sigma_0}{E} \quad (36)$$

Igualando ambas expresiones:

$$\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 = \frac{(n+1)\text{sen}\frac{\alpha}{n}}{\text{sen}\left[\frac{\alpha(n+1)}{n}\right]} \quad (37)$$

Operando y teniendo en cuenta que:

$$2T \text{sen}\frac{\alpha}{n} = P \quad \text{y} \quad T = \sigma A \quad (38) \text{ y } (39)$$

Con las expresiones anteriores se consigue un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Al igual que en los casos anteriores, el problema se puede resolver mediante dos caminos:

1. Conocidas las cargas P y el número de ellas, calcular la sección mínima del hilo para que la tensión no supere el valor admisible y el valor del ángulo α .
2. Conocido el valor de las cargas P, el número de ellas y las sección A, calcular la tensión del hilo y el ángulo α .

En cualquiera de los casos, despejando de una ecuación y sustituyendo en la otra, se obtiene una ecuación en la que al variable queda expresada de forma implícita por lo que ha de resolverse por aproximaciones sucesivas. En el caso de la segunda alternativa, la expresión quedaría del siguiente modo:

$$F = \operatorname{sen} \left[\frac{\alpha(n+1)}{n} \right] - \frac{(n+1) \operatorname{sen} \frac{\alpha}{n}}{\left(\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 \right)} \quad (40)$$

3.2.3.2.3. Cálculo de hilos sometidos a cargas puntuales, de valor distinto, simétricas respecto al eje central y equidistantes

Normalmente este caso es aplicable al cálculo del alambre pórtico, ya que actúan sobre él las cargas producidas por la malla y las correas, siendo estas distintas aunque simétricas respecto al eje central.

En este caso el esquema de carga es el siguiente:

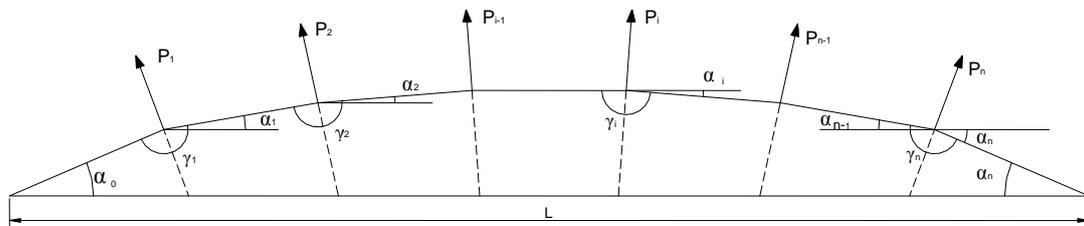


Figura 27: Esquema de carga en un hilo sometido a cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes.

El cable de longitud L es sometido a una tensión inicial σ_0 , cargado con “ n ” acciones puntuales, equidistantes y de distinto valor. Las fuerzas P_1, P_2, \dots, P_n , provocadas por el viento, tomarán la dirección de la bisectriz.

Proyectando sobre la perpendicular a la bisectriz, para que el sistema se encuentre en equilibrio, la resultante de fuerzas en ambas direcciones debe ser nula.

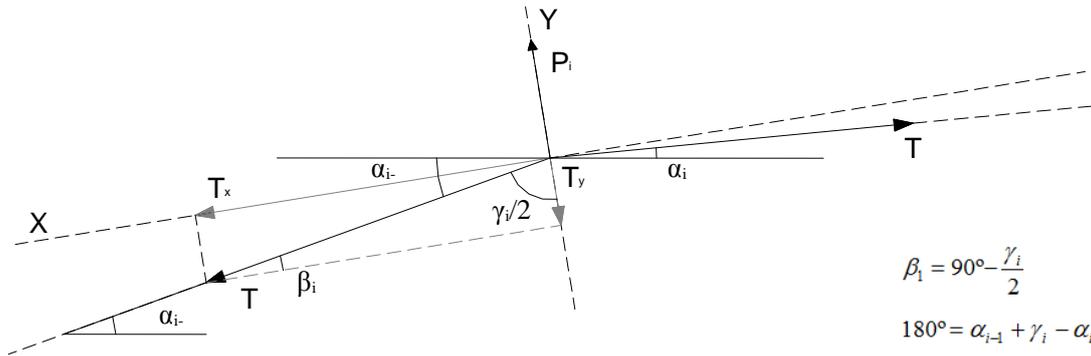


Figura 28: Diagrama de fuerzas en un nudo (cargas distintas, puntuales, simétricas y equidistantes).

La condición de equilibrio respecto al eje Y, es la siguiente:

$$P_i = 2T \operatorname{sen} \beta_i = 2T \operatorname{sen} \left(90^\circ - \frac{\gamma_i}{2} \right) = 2T \cos \left(\frac{\gamma_i}{2} \right) \quad (41)$$

La deformación de cada tramo debida a la actuación del viento es:

$$\varepsilon = \frac{L'_i - L_i}{L_i} = \frac{L'_i}{L_i} - 1 \quad (42)$$

Como en el caso anterior, despejando de la ley de Hooke la deformación unitaria e igualando a la expresión anterior, se tiene:

$$L'_i = \frac{L}{(n+1)} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 \right) \quad (43)$$

Expresando L'_i en función del ángulo formado en cada nudo entre la horizontal y a deformada obtenemos:

$$L'_i = \frac{L_i}{\cos \alpha_{i-1}} \quad (44)$$

Igualando las dos expresiones anteriores:

$$L_i = \frac{L}{(n+1)} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 \right) \cos \alpha_{i-1} \quad (45)$$

Particularizando para cada nudo y sumando, la ecuación quedaría:

$$L = \frac{L}{(n+1)} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 \right) \sum_{i=0}^n \cos \alpha_i \quad (46)$$

Necesitamos conocer los ángulos α_i y la tensión final σ , por lo que, según el diagrama de fuerzas en un nudo, podemos escribir:

$$\frac{\gamma_i}{2} = 90 - \frac{(\alpha_{i-1} - \alpha_i)}{2} \quad (47)$$

Al sustituir el valor de $\frac{\gamma_i}{2}$ en la expresión (41), obtenemos:

$$P_i = 2T \cos \left[90 - \frac{(\alpha_{i-1} - \alpha_i)}{2} \right] = 2T \operatorname{sen} \left(\frac{\alpha_{i-1} - \alpha_i}{2} \right) \quad (48)$$

de donde:

$$\alpha_{i-1} = \alpha_i + 2 \operatorname{arcsen} \frac{P_i}{2T} \quad (49)$$

por tanto:

$$\alpha_0 = \alpha_1 + 2 \operatorname{arcsen} \frac{P_1}{2T} \quad (50)$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 + 2 \operatorname{arcsen} \frac{P_2}{2T} \quad (50')$$

.....

$$\alpha_{n-1} = \alpha_n + 2 \operatorname{arcsen} \frac{P_n}{2T} \quad (50'')$$

sumando:

$$\alpha_0 = \alpha_n + 2 \sum_{i=1}^n \operatorname{arcsen} \frac{P_i}{2T} \quad (51)$$

Por la simetría de la figura, $\alpha_0 = -\alpha_n$, por lo que:

$$\alpha_0 = \sum_{i=1}^n \arcsen \frac{P_i}{2T} \quad (52)$$

Conocido este valor, podemos despejar el resto de ángulos:

$$\alpha_1 = \alpha_0 - 2 \arcsen \frac{P_1}{2T} \quad (53)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - 2 \arcsen \frac{P_2}{2T} \quad (53')$$

.....

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} - 2 \arcsen \frac{P_n}{2T} \quad (53'')$$

Volviendo a la expresión (46), se puede construir la siguiente igualdad:

$$F = \left[\frac{L}{(n+1)} \left(\frac{\sigma - \sigma_0}{E} + 1 \right) \sum_{i=0}^n \cos \alpha_i \right] - 1 \quad (54)$$

Como en las situaciones anteriores, podemos resolver el problema mediante dos alternativas:

1. Conocido el valor de las cargas P_i , obtener el valor de la sección mínima del cable para no superar la tensión admisible y el valor del ángulo α_0 .
2. Conocido el valor de las cargas P_i y de la sección del cable A , obtener la tensión final que soporta el hilo y el ángulo α_0 .

En ambos casos se hará por aproximaciones sucesivas hasta anular el valor de F .

3.2.4. Reparto de cargas

El reparto de cargas se realiza en función de los puntos de unión practicados en los elementos de la cubierta, existe la posibilidad de que estos puntos sólo existan entre los alambres pórtico y las correas o, como en nuestro caso, que existan uniones a lo largo de estos dos con la malla.

Para estudiar este caso se considera la cubierta del invernadero dividida en rectángulos. Las dimensiones de los lados de estos rectángulos serán las longitudes correspondientes a la separación entre pórticos (L_p) y entre correas (L_c).

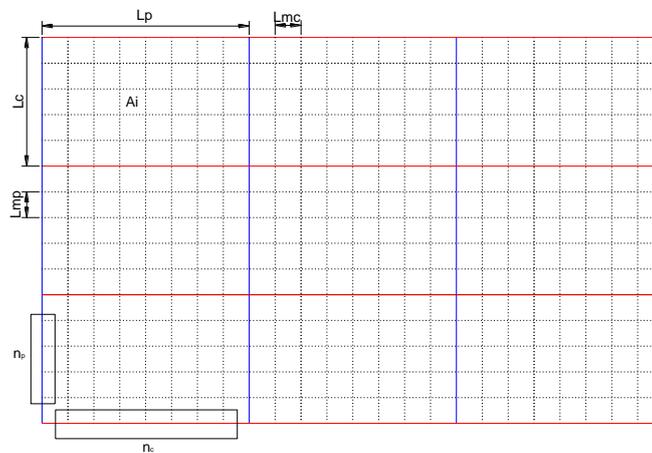


Figura 29: Representación esquemática de parte de la cubierta.

Cuando actúa el viento aparece sobre la cubierta una fuerza uniformemente distribuida por toda su superficie. Al multiplicar esta fuerza por el área del rectángulo, A_i , obtenemos una fuerza puntual equivalente, cuyo punto de aplicación lo podríamos suponer en el centro del rectángulo. Repartiendo esta carga puntual obtenemos:

$$P_L = \frac{pA_i}{2(L_p + L_c)} \quad (55)$$

donde p es la acción del viento en N/m^2 .

La carga puntual que actúa sobre cada lado será:

$$p_1 = p_L L_c \quad (56)$$

$$p_1 = p_L L_p \quad (56')$$

Dividiendo estas cargas entre el número de puntos de unión que existen en cada tramo considerado:

$$p_{i1} = \frac{p_1}{n_p + 1} = \frac{p_L L_c}{n_p + 1} = p_L L_m \quad (57)$$

$$p_{i2} = \frac{p_2}{n_c + 1} = \frac{p_L L_p}{n_c + 1} = p_L L_m \quad (57')$$

donde n_p y n_c son el número de cargas que actúan sobre el tramo de pórtico y de correa respectivamente.

La carga puntual que transmite la malla al alambre pórtico o a las correas será:

$$p_{ip} = 2p_{i1} = 2p_L L_m \quad (58)$$

$$p_{ic} = 2p_{i2} = 2p_L L_m \quad (58')$$

suponiendo L_{mp} y L_{mc} iguales.

3.2.5. Metodología para el cálculo de soportes verticales o pies derechos

Los soportes verticales o pies derechos en los invernaderos, son piezas que normalmente están diseñadas para trabajar a compresión, no obstante existe la posibilidad de que, por la acción del viento, se produzca una pequeña sollicitación de tracción, la cual, levantaría el soporte y lo desplazaría de su posición provocando el desplome del invernadero. Para prevenir esta situación existen otros elementos denominados tensores que se estudiarán más adelante.

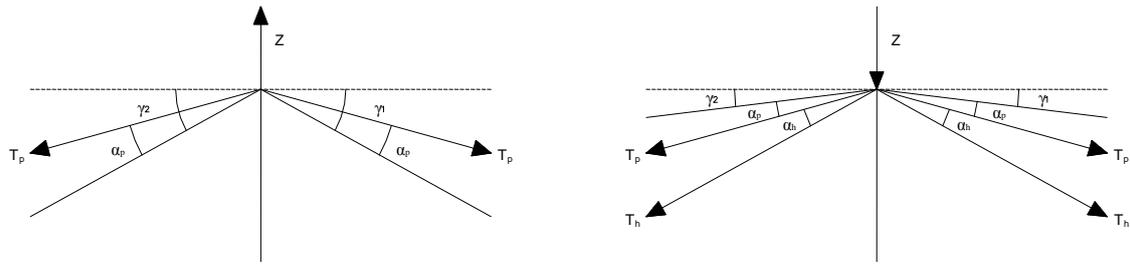


Figura 30: Esquema de carga para un soporte vertical.

Esfuerzo máximo de compresión:

$$N = 2 \cdot T_c \cdot \text{sen} \alpha_c + 2 \cdot T_h \cdot \text{sen} \alpha_h + 2 \cdot T_p \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_p) \quad (59)$$

Esfuerzo de succión:

$$N = -2 \cdot T_c \cdot \text{sen} \alpha_c + 2 \cdot T_p \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_p) \quad (60)$$

siendo:

Z: Acción del viento.

γ_1 y γ_2 : Ángulos que forma la cubierta respecto a la horizontal (1: naves interiores y 2: naves exteriores).

T_c : Tensión en las correas.

α_c : Ángulo que formarán las correas respecto a su posición original, debido a la aplicación de la tensión.

T_p : Tensión en el alambre pórtico.

α_p : Ángulo que formará el alambre pórtico respecto a su posición original, debido a la aplicación de la tensión.

T_h : Tensión en el alambre de enrame.

α_h : Ángulo que formará el alambre de enrame respecto a su posición original, debido a la aplicación de la tensión.

Una vez conocidos los esfuerzos, el dimensionado se realizará según el *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero* para un esfuerzo de compresión.

Según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección solicitada por un momento flector, esta se clasifica en una de las cuatro clases siguientes:

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos.
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Semicompacta o Elástica	En la fibra más comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida.

Tabla 10: Clasificación de secciones transversales solicitadas por momentos flectores (Fuente: *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*).

Para la verificación de la seguridad estructural se deberá emplear uno de los métodos de cálculo definidos en la siguiente tabla, en concordancia con la clase de las secciones transversales.

Clase de sección	Método para la determinación de las solicitaciones	Método para la determinación de la resistencia de las secciones
Plástica	Plástico o Elástico	Plástico o Elástico
Compacta	Elástico	Plástico o Elástico
Semicompacta	Elástico	Elástico
Esbelta	Elástico con posible reducción de rigidez	Elástico con resistencia reducida

Tabla 11: Métodos de cálculo. (Fuente: *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*).

Para definir las Clases 1, 2 y 3 se utilizan en los elementos comprimidos de las secciones los límites de las tablas 5.3 y 5.4 del *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*

Los soportes verticales son redondos huecos de acero, por lo que para su cálculo será necesario determinar la clase a la que pertenece a partir de la siguiente tabla:

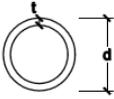
		Clase 1	Clase 2	Clase 3
sección tubular 	Compresión			
	Flexión simple	$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 70\epsilon^2$	$\frac{d}{t} \leq 90\epsilon^2$
	Flexocompresión			
Factor de reducción $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$				
1) $\psi \leq -1$ es aplicable a los casos con deformaciones unitarias que superen las correspondientes al límite elástico				

Tabla 12: Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos. [Fragmento]. (Fuente: *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*).

Resistencia de las secciones a compresión:

La resistencia de las secciones a compresión, $N_{c,Rd}$, será:

$$N_{m\acute{a}x} \leq N_{c,Rd} (N_{pl,Rd}) = A \cdot f_{yd} \quad (61)$$

Siendo:

A área de la sección transversal.

$$f_{yd} \text{ resistencia de cálculo del acero, tomando } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (62)$$

Resistencia de las barras

La resistencia de las barras a compresión, $N_{c,Rd}$, no superará la resistencia plástica de la sección bruta, $N_{pl,Rd}$, calculada según la ecuación (61), y será menor que la resistencia última de la barra a pandeo, $N_{b,Rd}$, calculada según se indica a continuación.

Como capacidad a pandeo por flexión, en compresión centrada, de una barra de sección constante, puede tomarse:

$$N_{m\acute{a}x} < N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \quad (63)$$

Siendo:

A área de la sección transversal.

f_{yd} resistencia de cálculo del acero.

χ coeficiente de reducción por pandeo:

Se denomina esbeltez reducida λ , a la relación entre la resistencia plástica de la sección de cálculo y la compresión crítica por pandeo, de valor:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (64)$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I \quad (65)$$

Siendo:

E módulo de elasticidad;

I momento de inercia del área de la sección para flexión en el plano considerado;

L_k longitud de pandeo de la pieza, equivalente a la distancia entre puntos de inflexión de la deformación de pandeo que la tenga mayor.

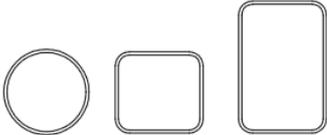
Tipo de sección	Tipo de acero Eje de pandeo ⁽¹⁾	S235 a S355		S450	
		y	z	y	z
Tubos de chapa simples o agrupados					
	laminados en caliente	a	a	a ₀	a ₀
	conformados en frío	c	c	c	c

Tabla 13: Curva de pandeo en función de la sección transversal. [Fragmento]. (Fuente: *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*).

Esbeltez reducida	Curva de pandeo				
	a ₀	a	b	c	d
Coefficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
≤ 0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 ⁽¹⁾	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 ⁽¹⁾	0,19	0,19	0,18	0,17	0,15
2,40 ⁽¹⁾	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 ⁽²⁾	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 ⁽²⁾	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

⁽¹⁾ esbeltez intolerable en los elementos principales
⁽²⁾ esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

Tabla 14: Valores del coeficiente de pandeo (γ). (Fuente: Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.).

3.2.6. Metodología para el cálculo de los amagados

En estos elementos se tendrá en cuenta las dos situaciones más desfavorables, es decir cuando trabajen a succión los alambres pórtico y cuando las fuerzas que se produzcan sean de presión, ya que estos elementos no están diseñados para tal situación.

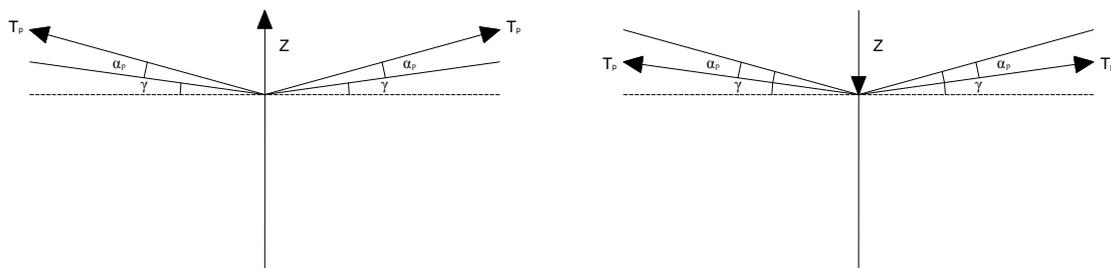


Figura 31: Esquema de carga para un amagado.

Esfuerzo de succión:

$$M = 2 \cdot T_c \cdot \text{sen} \alpha_c + 2 \cdot T_p \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_p) \tag{66}$$

Esfuerzo de compresión:

$$M = -2 \cdot T_c \cdot \text{sen} \alpha_c + 2 \cdot T_p \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_p) \quad (67)$$

Mediante las características del cable, diámetro y resistencia, se predimensiona el elemento hasta que cumpla con el coeficiente de seguridad, según las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{calculada} = \frac{M}{A} \quad (68)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{calculada}} > 1 \quad (69)$$

3.2.7. Metodología para el cálculo de los tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico

La hipótesis de carga máxima tanto para la compresión en los pies inclinados como para la tracción en los vientos, se produce cuando actúan las cargas de presión sobre la correa y el alambre pórtico y la estructura de enrame está cargada.

La hipótesis de carga para la compresión mínima en el pie inclinado y la succión mínima en los viento, se produce cuando actúan las cargas de succión sobre el alambre pórtico y las correas y la estructura de enrame no está cargada.

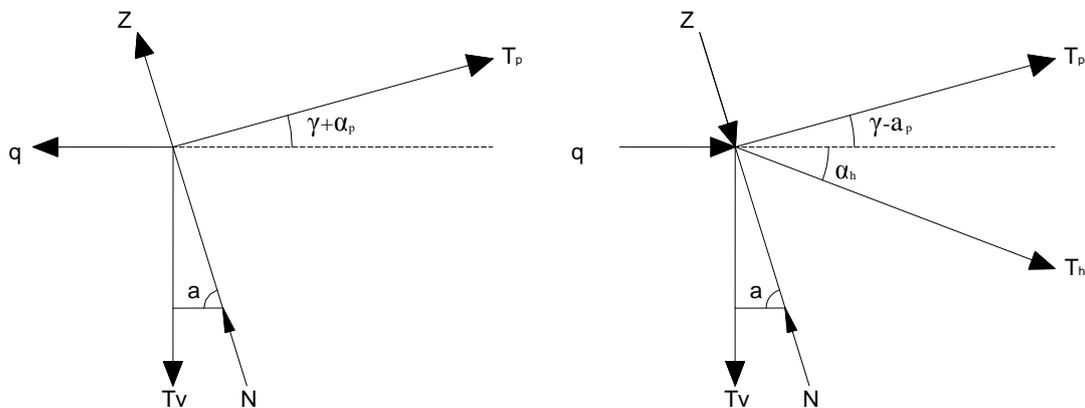
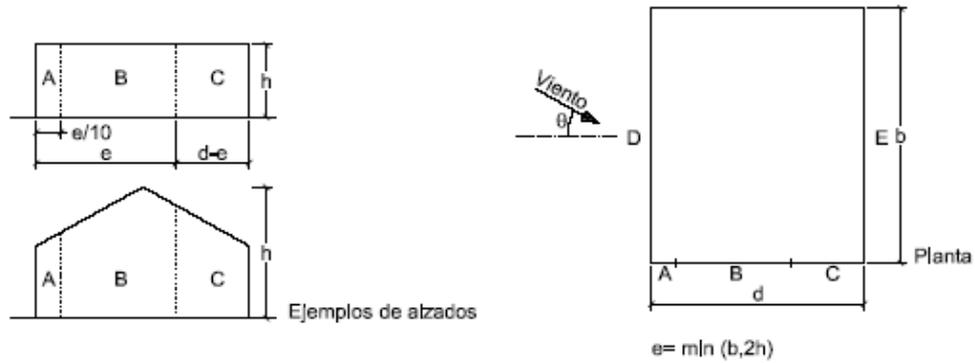


Figura 32: Esquema de carga para tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico.

Para el cálculo del coeficiente de exposición, nos basamos en el *Anejo D del DB-SE Acciones en la edificación: Tabla D.1 Parámetros verticales*.



A (m ²)	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	$\leq 0,25$	"	"	"	"	-0,3

Tabla 15: Parámetros verticales.

Mínimo esfuerzo de tracción y máximo compresión (con viento a compresión y con enrame)

$$-N \cdot \cos a + T_p \cdot \cos(\gamma - \alpha_p) + T_h \cdot \cos \alpha_h - T_c \cdot \sin(\gamma - \alpha_p) + q = 0 \quad (70)$$

$$-T_v + N \cdot \sin a + T_p \cdot \sin(\gamma - \alpha_p) - T_c \cdot \cos(\gamma - \alpha_p) - T_h \cdot \sin \alpha_h = 0 \quad (71)$$

Máximo esfuerzo de tracción y mínimo de compresión (con viento a succión y sin enrame)

$$-N \cdot \cos a + T_p \cdot \cos(\gamma + \alpha_p) - T_c \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_p) - q = 0 \tag{72}$$

$$-T_v + N \cdot \text{sen} a + T_p \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_p) + T_c \cdot \cos(\gamma + \alpha_p) = 0 \tag{73}$$

3.2.7.1. Soportes o pies inclinados

En nuestro caso usaremos perfiles rectangulares, por lo que la tabla para determinar la clase será la siguiente:

Geometría				
Solicitación	Elemento plano	Límite de esbeltez: c/t máximo		
Compresión + Tracción -		Clase 1	Clase 2	Clase 3
Flexocompresión $\psi \geq -1$		$\frac{396e}{13\alpha - 1}$	$\frac{456e}{13\alpha - 1}$	$\frac{42e}{0,67 + 0,33\psi}$
		$\alpha \geq 0,5$	$\alpha \geq 0,5$	

Tabla 16: Límites de esbeltez para elementos planos, apoyados en dos bordes, total o parcialmente comprimidos. [Fragmento]. (Fuete: *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero. C.T.E.*).

Las comprobaciones son iguales que en el caso de pies derechos.

3.2.7.2. Tensores

Los tensores se dimensionaran con dos redondos de acero según la figura siguiente:

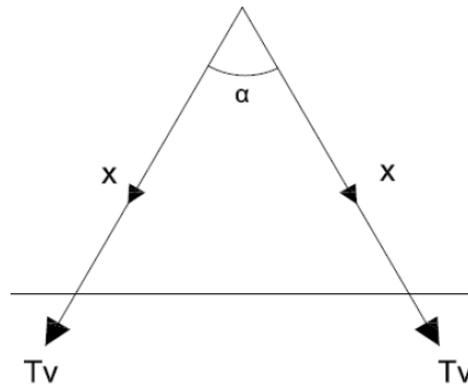


Figura 33: Esquema de carga de los tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico.

La tracción en cada redondo será:

$$X = \frac{T_v}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (74)$$

Resistencia de las secciones a tracción

Como resistencia de las secciones a tracción, $N_{t,Rd}$, puede emplearse la plástica de la sección bruta sin superar la última de la sección neta:

$$N_{t,Rd} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} \quad (75)$$

$$N_{t,Rd} \leq N_{u,Rd} = 0.9 \cdot A_{neta} \cdot f_{ud} \quad (76)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} \quad f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (77) \text{ y } (78)$$

Resistencia de las barras

La resistencia a tracción pura de la barra, $N_{t,Rd}$, será la resistencia plástica de la sección bruta, $N_{pl,Rd}$, calculada según las ecuaciones anteriores.

3.2.8. Metodología para el cálculo de los tensores y soportes perimetrales de extremos de correas

La hipótesis de carga máxima tanto para la compresión en los pies inclinados como para la tracción en los vientos, se produce cuando actúan las cargas de presión sobre la correa.

La hipótesis de carga para la compresión mínima en el pie inclinado y la succión mínima en los viento, se produce cuando actúan las cargas de succión sobre las correas.

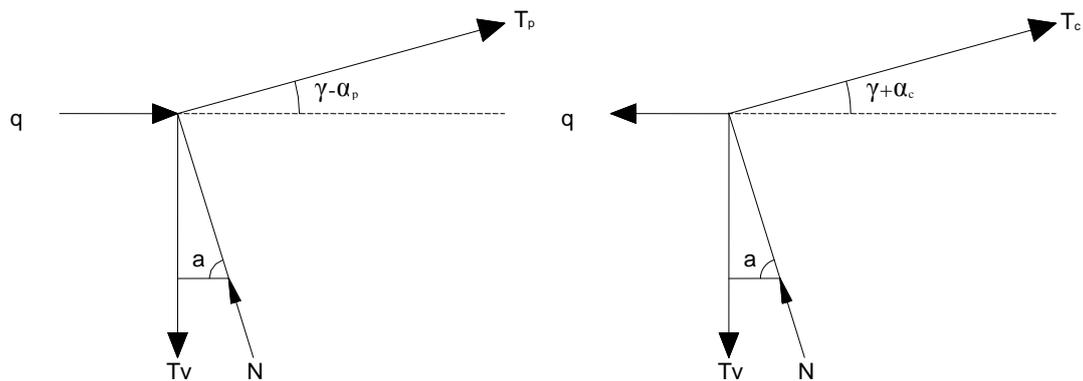


Figura 34: Esquema de carga para tensores y soportes perimetrales de extremos de correas.

Máximo esfuerzo de tracción y compresión

$$-N \cdot \cos a + T_c \cdot \cos(\gamma - \alpha_c) + q_p = 0 \quad (79)$$

$$-T_v + N \cdot \text{sena} + T_c \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_c) = 0 \quad (80)$$

Mínimo esfuerzo de tracción y compresión

$$-N \cdot \cos a + T_c \cdot \cos(\gamma + \alpha_c) - q_s = 0 \quad (81)$$

$$-T_v + N \cdot \text{sena} + T_c \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_c) = 0 \quad (82)$$

3.2.8.1. Soportes o pies inclinados

Se calculan igual que los soportes perimetrales de extremos de alambres pórtico.

3.2.8.2. Tensores

En el caso de los tensores que vienen en la dirección de las correas, tenemos dos configuraciones, para el caso de los que vienen de correas y amagados, será igual que en caso anterior.

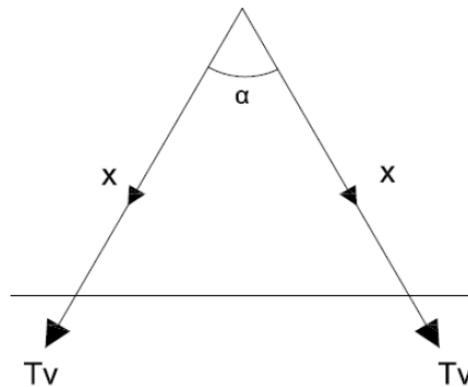


Figura 35: Esquema 1 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas.

La tracción en cada redondo será:

$$X = \frac{T_v}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (83)$$

En el caso de los tensores que vienen de las cabezas de las rasps, su configuración será como indica la figura siguiente:

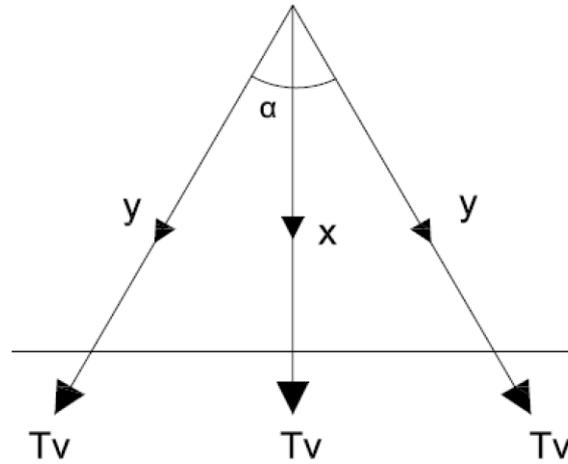


Figura 36: Esquema 2 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas

Hilo central:

$$X(N) = \frac{T_v(N)}{1 + 2 \cdot \cos^3 \alpha} \quad (84)$$

Hilos laterales:

$$Y(N) = X(N) \cdot \cos^2 \alpha \quad (85)$$

Lo dimensionaremos para el caso más desfavorable y se hará igual que en caso de tensores de extremos de alambres pórtico.

3.3. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos se realizó con el programa STATGRAPHICS, así como con utilidades de software proporcionados por Word y Excel.

Los tratamientos se realizaron para cada elemento, relacionando elementos iguales y considerando la totalidad de ellos con el análisis que procedió en cada caso.

El primer análisis es *Autocorrelaciones Estimadas*, la autocorrelación en el rezago k mide la fuerza de la correlación entre las observaciones durante k períodos de tiempo. La autocorrelación muestral del rezago k se calcula de la siguiente manera:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (86)$$

El cuadro de *Autocorrelaciones* muestra las autocorrelaciones muestrales junto con los errores estándar de los rezagos grandes y los límites de probabilidad del 95,0% alrededor de 0. Si los límites de probabilidad a un retraso particular no contienen el coeficiente estimado, hay una correlación estadísticamente significativa a ese retraso al nivel de confianza del 95,0%.

El segundo análisis es *Prueba de Aleatoriedad*, éste realiza tres pruebas para determinar si el elemento estudiado es una secuencia aleatoria de números, o no. Se realizan tres pruebas:

3. *Datos encima y debajo de la mediana*: calcula el número de veces que la serie va arriba o debajo de su mediana. Este número se compara con el valor esperado para una serie de tiempo aleatoria. Pequeños P-values (menos que 0.05 si se opera en un nivel de significancia de 5%) indican que la serie de tiempo no es puramente aleatoria.

4. *Datos encima y debajo*: calcula el número de veces que la serie sube y baja. Éste número se compara con el valor esperado para una serie de tiempo aleatoria. Pequeños P-values indican que la serie de tiempo no es puramente aleatoria.
5. *Prueba de Box-Pierce*: construye una prueba estadística basada en las primeras k autocorrelaciones muestrales al calcular:

$$Q = n \sum_{i=1}^k r_i^2 \quad (87)$$

Éste estadístico se compara con una distribución chi-cuadrada con k grados de libertad. Como con las otras dos pruebas, pequeños P-values indican que la serie de tiempo no es puramente aleatoria (véase Anexo I).

Otro análisis que determinará si existe relación entre elementos iguales será *Pruebas de Rango Múltiple*. Con el que se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

El análisis genera una tabla donde se muestran las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se coloca un asterisco junto al par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. Se identifican los grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS PARA LOS ESFUERZOS MEDIDOS

Como se ha dicho, se pretende determinar la tracción a la que quedan expuestos distintos cables que conforman la estructura del invernadero y la compresión que se transmite desde éstos hasta los pilares, y éstos a su vez a las peanas de hormigón.

Los elementos a estudiar en este capítulo quedan señalados en la figura 37. Podemos ver marcados con líneas rojas los cables estudiados a tensión y con círculos los pilares estudiados a compresión.

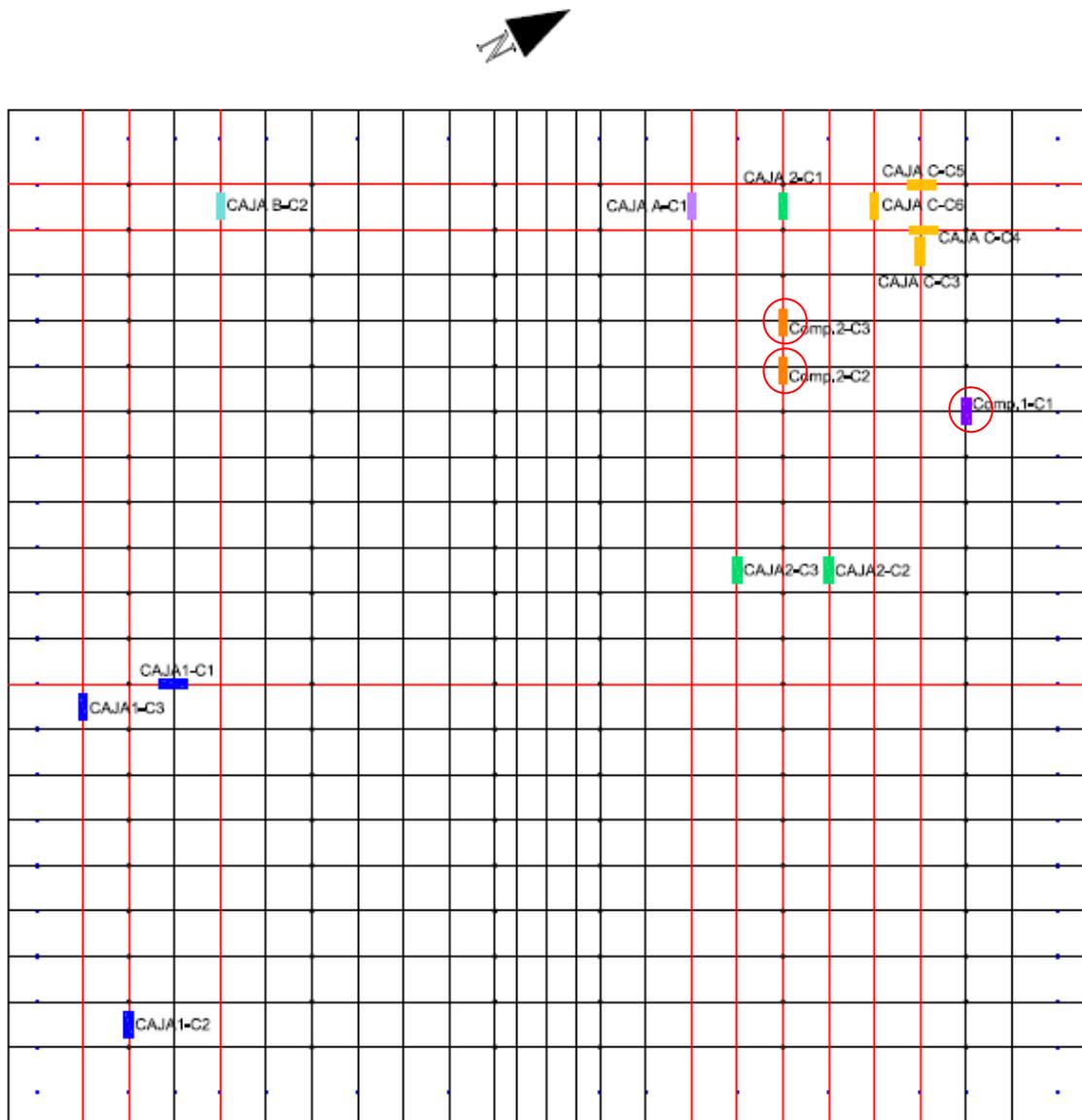


Figura 37: Distribución de las células de carga en el invernadero.

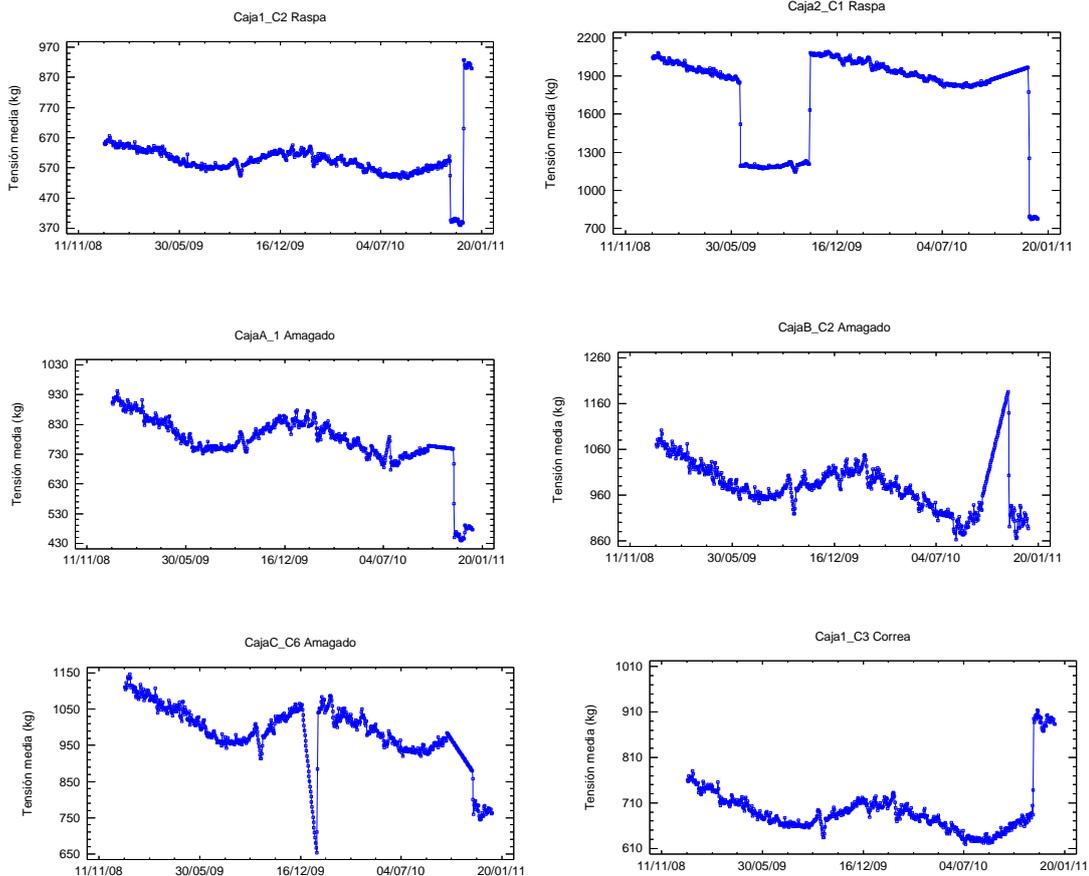
4.1.1 Análisis temporal de los esfuerzos

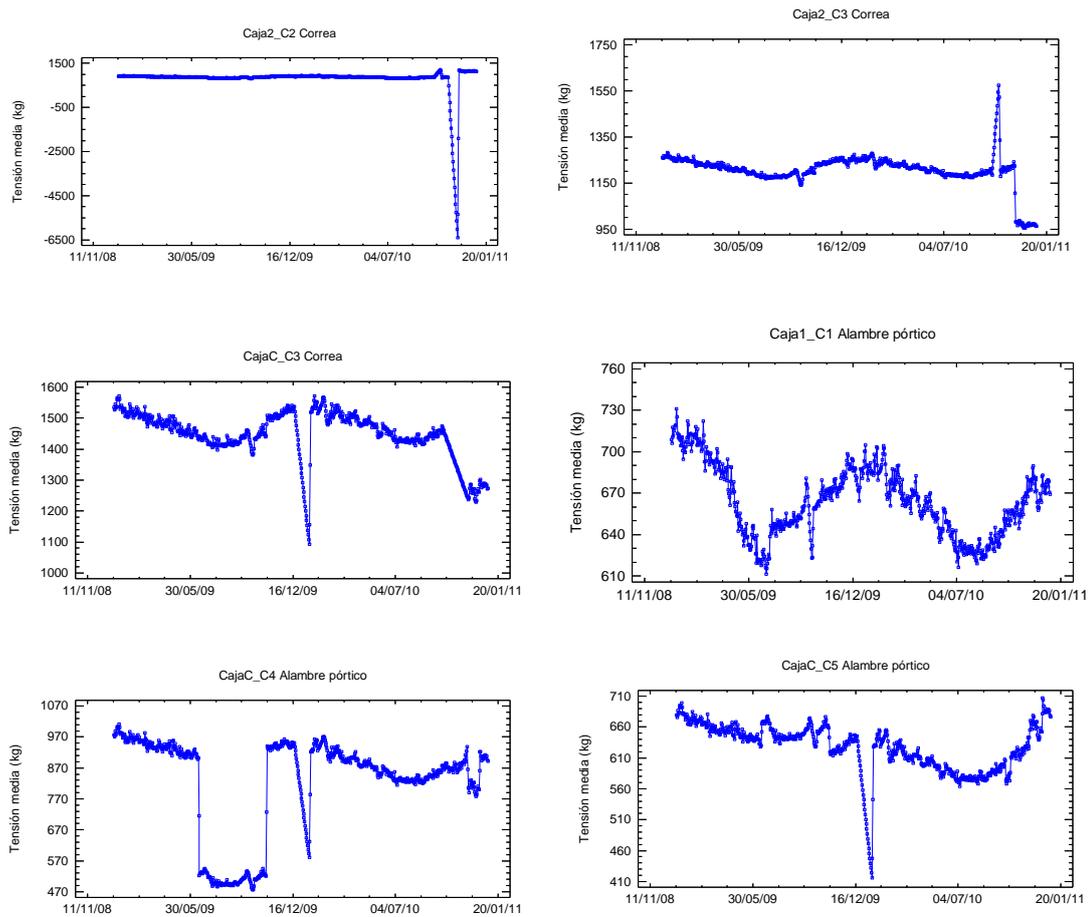
4.1.1.1. Evolución de los esfuerzos

La secuencia temporal de datos registrados corresponde a los periodos desde enero de 2009 hasta diciembre de 2010 en el caso de las células de tracción; y desde octubre de 2009 a diciembre de 2010 en el caso de las células de compresión.

Para analizar las tensiones y compresiones medias recogidas durante los dos años de estudio, se utilizarán *Métodos de Series de Tiempo Descriptivos*, con el programa *Statgraphics*.

A continuación se representan los gráficos de serie de tiempo secuenciales para cada elemento estudiado:





Gráfica 1: Gráficos de serie de tiempo secuenciales para cada elemento estudiado y para los dos años de ensayo.

En general, los datos recogidos contienen una característica muy interesante, se observa una ciclicidad regular anual, con un pico en los meses de invierno. Por ello realizaremos análisis que nos corroboren si las distintas series de tiempo son aleatorias o no.

De acuerdo con los resultados que se observan en el Anexo I, los datos registrados no son aleatorios, sino que responden a una pauta.

Con carácter general vemos en las gráficas anuales como los esfuerzos de los distintos elementos disminuyen progresivamente hasta alcanzar los mínimos en los meses de julio y agosto, con el posterior aumento hasta las máximas iniciales que se alcanzan en enero, para los dos años estudiados. Estos incrementos, en los casos más

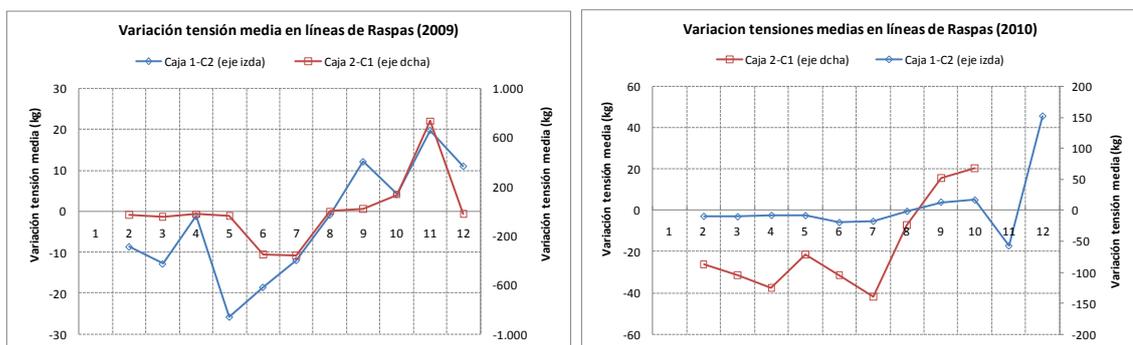
acusados, llegan a alcanzar los 200 kg, sin tener en cuenta los casos concretos señalados anteriormente.

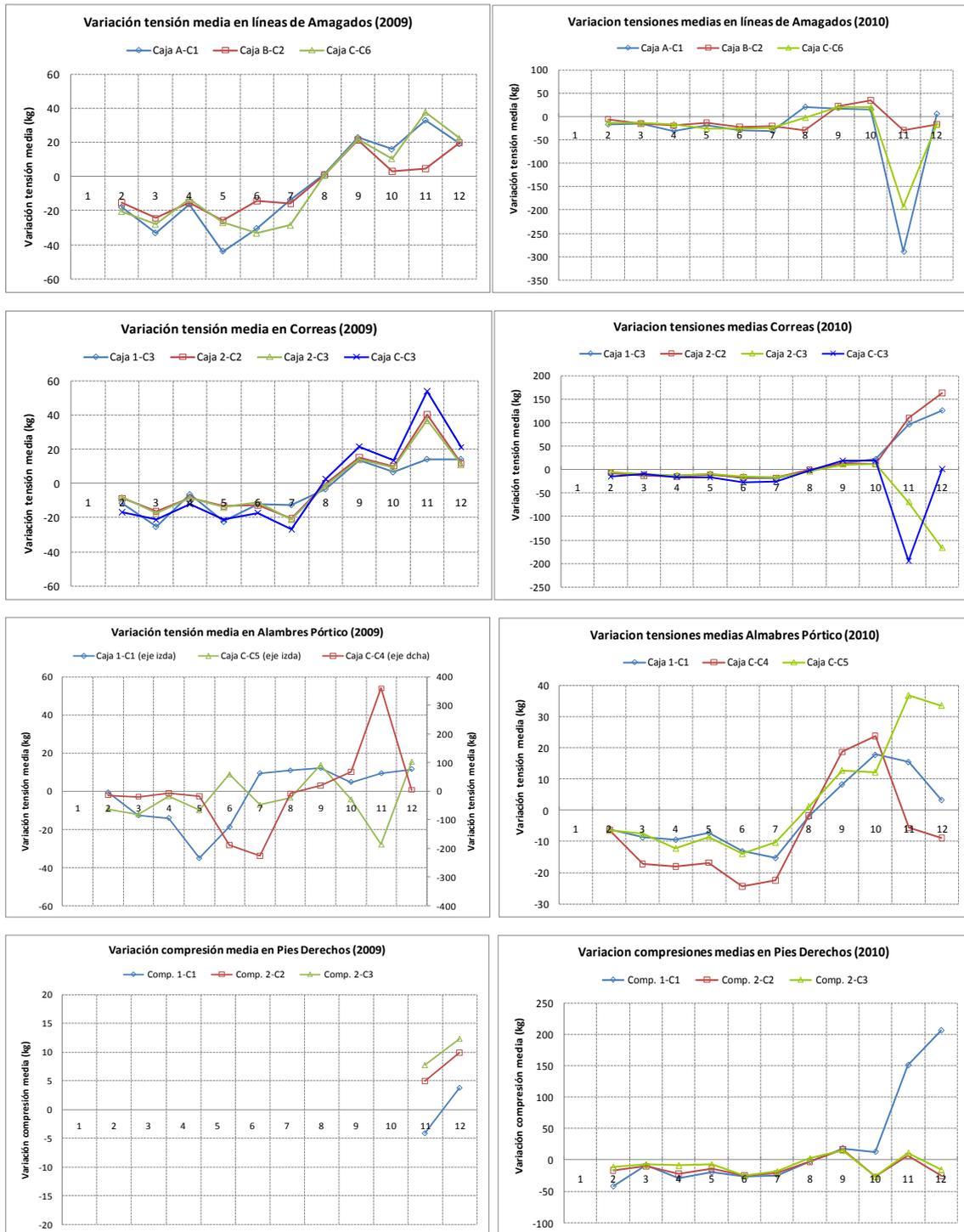
Observando gráficas del mismo elemento medido, las diferencias oscilan desde 300 kg en amagados, alambres pórtico y pies derechos y 800 kg en correas; hasta 1500 kg en las raspas.

En todos los cables se mantiene una regularidad, a excepción de varios casos puntuales, uno en junio de 2009 donde se aprecia una bajada brusca de tensión en dos cables concretos, en octubre de 2009 donde éstos dos elementos vuelven a aumentar su tensión hasta el estado inicial y en octubre de 2010 observamos como quedan modificados los esfuerzos en casi todos los elementos, estas situaciones corresponden a daños producidos en la estructura.

Se puede apreciar como el comportamiento de los esfuerzos en el invernadero, independientemente de situaciones extremas que hagan que se altere el equilibrio, sigue una pauta cíclica anual, en la que observamos cambios progresivos en los esfuerzos.

Observando la evolución de la variación de los esfuerzos medios durante los dos años, se puede ver de forma más clara lo expuesto anteriormente. Vemos cómo la tendencia es disminuir hasta llegar a agosto y con el posterior aumento, ya que hasta agosto los incrementos son negativos y a partir de este mes se hacen positivos.



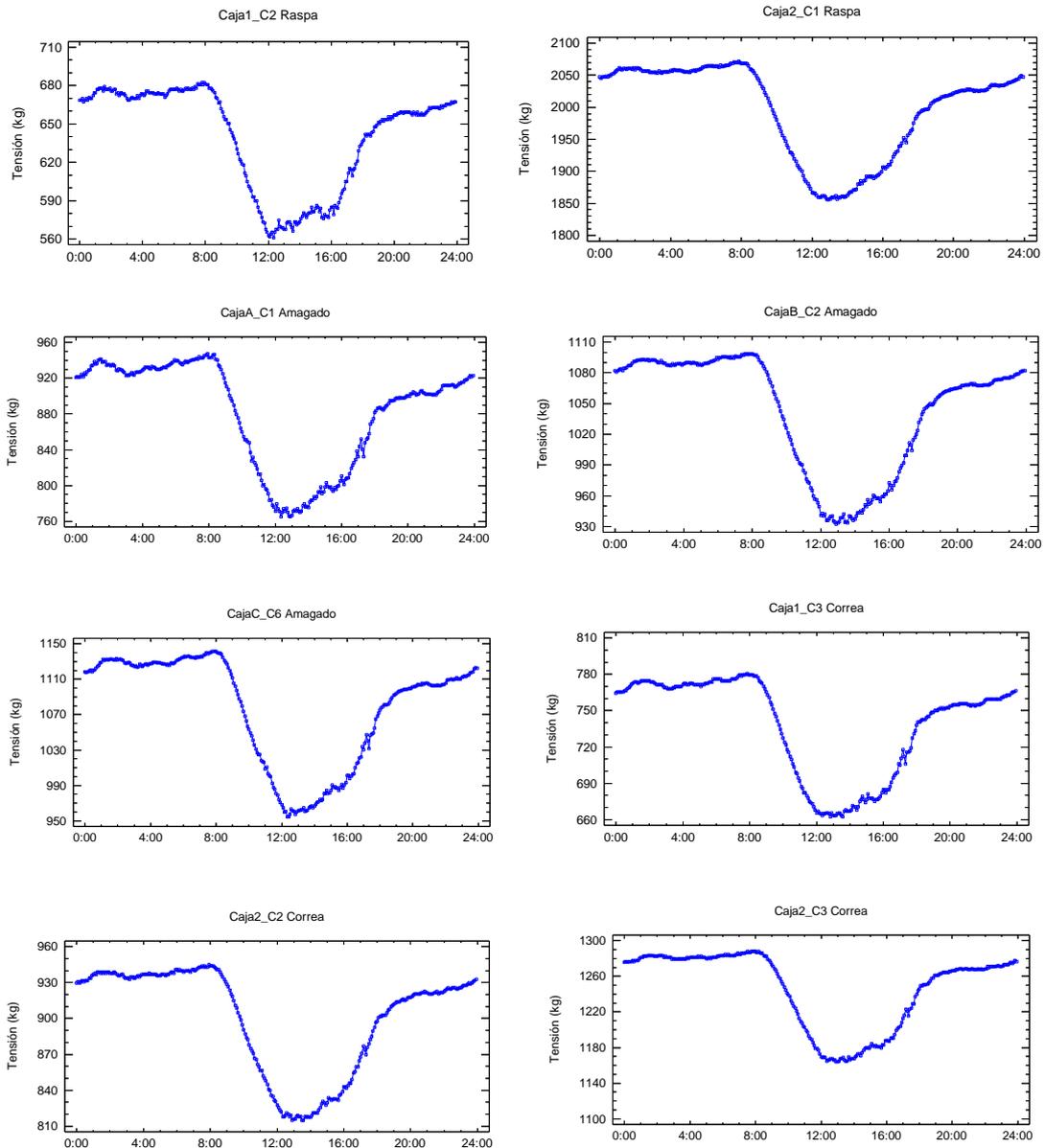


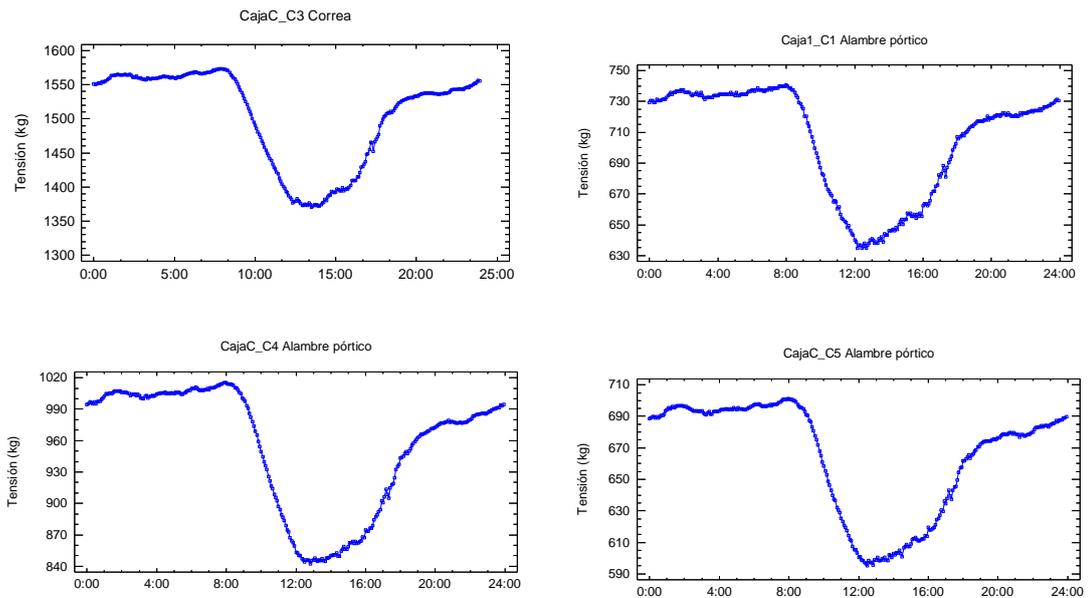
Gráfica 2: Variación de los esfuerzos medios durante los dos años de ensayo.

4.1.1.2. Días puntuales

Fijándonos en un día, vemos como la tendencia de los esfuerzos es mantenerse constante hasta primeras horas de la mañana, donde empieza a descender hasta el medio día, donde vuelve a aumentar.

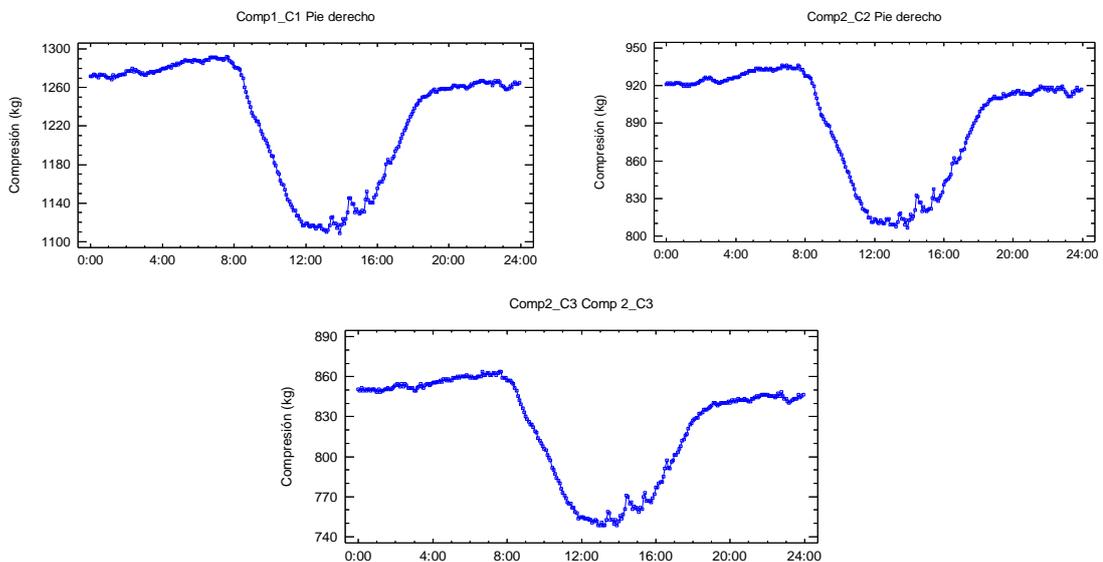
Si nos centramos en el 21 de febrero de 2009:





Gráfica 3: Representación de la relación tensión (kg)-tiempo (h) para el día 21 de febrero y para cada elemento a estudiar.

Para observar la compresión en un día, nos fijaremos en el 13 de Noviembre de 2009:



Gráfica 4: Representación de la relación compresión (kg)-tiempo (h) para el día 13 de noviembre y para cada elemento a estudiar.

En todos los casos se mantiene la misma tendencia, va disminuyendo la tensión a partir de las primeras horas de la mañana hasta las 12h, a partir de este momento vuelve a aumentar. El mínimo absoluto aparece siempre entre las 12h y 14h y el máximo absoluto a primeras horas de la mañana.

Al igual que en el apartado anterior, realizaremos análisis que nos corroboren si las distintas series de tiempo son aleatorias o no (véase Anexo I).

De acuerdo con los resultados que se observan en el Anexo I, los datos observados no son aleatorios, sino que responden a una pauta.

Esta pauta sería además de anual, como hemos visto en el apartado anterior, donde en los meses de verano la tensión es mínima y en los meses de invierno máxima; también corresponde a una pauta horaria, donde a horas centrales del día encontramos los mínimos y a primeras horas de la mañana los máximos como hemos observado en las gráficas.

Deteniéndonos más detalladamente en este día, vemos como según el elemento estructural estudiado, el comportamiento es ligeramente diferente.

Aquí se presenta el detalle de tensiones máximas, mínimas y medias para el día 21 de febrero de 2009:

CAJA 1								
C1			C2			C3		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
738,70	659,45	716,47	678,05	580,38	648,69	776,05	674,15	746,16

CAJA 2								
C1			C2			C3		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
2071,67	1855,18	1995,91	945,13	815,16	900,35	1287,99	1163,98	1246,41

CAJA A						CAJA B		
C1			C2			C2		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
947,07	765,54	881,09	1098,77	932,42	1042,52			

CAJA C					
C3			C4		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
1573,52	1370,50	1504,25	1015,07	842,34	953,90

CAJA C					
C5			C6		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
701,22	595,12	664,23	1141,03	954,36	1076,74

Tabla 17: Tensiones máximas, mínimas y medias para el 21 de febrero, todos los datos en kg y para cada elemento a estudiar.

Aquí se presenta el detalle de tensiones máximas, mínimas y medias para el día 13 de noviembre de 2009:

Compresión 1			Compresión 2					
C1			C2			C3		
Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	Media
1292,08	1108,56	1228,11	936,50	806,41	890,88	863,48	748,73	822,77

Tabla 18: Compresiones máximas, mínimas y medias para el 13 de noviembre, todos los datos en kg y para cada elemento a estudiar.

El comportamiento del resto de días es similar, tanto para células de tensión como de compresión.

Comparando los distintos elementos, vemos como las mayores tensiones se alcanzan en los cables correspondientes a la caja 2, células 1, 2 y 3; caja B, célula 2 y caja C, células 3, 4 y 6. En el caso de los elementos de compresión, las máximas se alcanzan en la C1, seguida de la C2.

4.1.1.3. Días de máximos y mínimos esfuerzos

En este apartado se determinarán los esfuerzos máximos y mínimos observados, los elementos a los que corresponden y los días que quedaron registrados a lo largo de los dos años de estudio.

Máximas y mínimas tensiones detectadas durante los dos años de ensayos:

LÍNEAS DE RASPAS							
Caja 1-C2				Caja 2-C1			
Máxima (kg)		Mínima (kg)		Máxima (kg)		Mínima (kg)	
986,83		334,34		2152,287		683,76	
17/12/10		9/12/10		13/12/09		31/12/10	

LÍNEAS DE AMAGADOS					
Caja A-C1		Caja B-C2		Caja C-C6	
Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)
983,3264	380,86	1134,804	702,74	1187,068	637,83
11/1/09	9/12/10	11/1/09	12/8/10	11/1/09	9/12/10

CORREAS							
Caja 1-C3		Caja 2-C2		Caja 2-C3		Caja C-C3	
Máxima (kg)	Mínima (kg)						
939,62	536,60	1187,66	737,81	1307,394	885,69	1615,804	1113,08
17/12/10	27/6/10	27/11/10	12/8/10	11/1/09	9/12/10	11/1/09	7/12/10

ALAMBRES PÓRTICO					
Caja 1-C1		Caja C-C4		Caja C-C5	
Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)
753,1274	547,38	1046,186	396,858	737,06	437,21
11/1/09	12/8/10	11/1/09	21/7/09	17/12/10	19/11/10

Tabla 19: Tensiones máximas y mínimas durante los dos años de ensayo.

Podemos ver como en más de la mitad de los elementos, el día registrado de máximas tensiones fue el 11 de enero de 2009 (aparecen las fechas, en la tabla, rodeadas con un cuadro rojo); en cuanto al día de mínimas tensiones también se repite en varios elementos aunque en menor medida, correspondiendo esta fecha al 9 de diciembre de 2010 (aparecen las fechas, en la tabla, rodeadas con un cuadro azul).

Máximas y mínimas compresiones detectadas durante los dos años de ensayos:

COMPRESIÓN EN PIES DERECHOS					
Comp. 1-C1		Comp. 2-C2		Comp. 2-C3	
Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)	Máxima (kg)	Mínima (kg)
1507,80	894,22	944,7373	637,08	873,5034	636,84
22/11/10	12/8/10	14/12/09	13/10/10	14/12/09	13/10/10

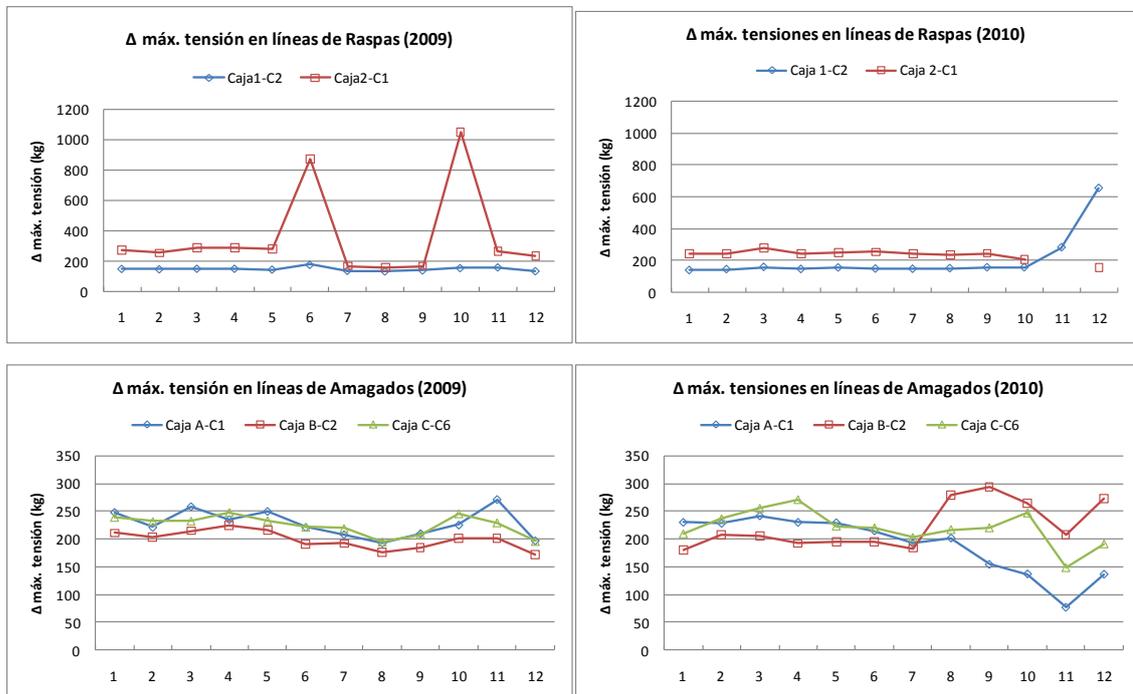
Tabla 20: Compresiones máximas y mínimas durante los dos años de ensayo.

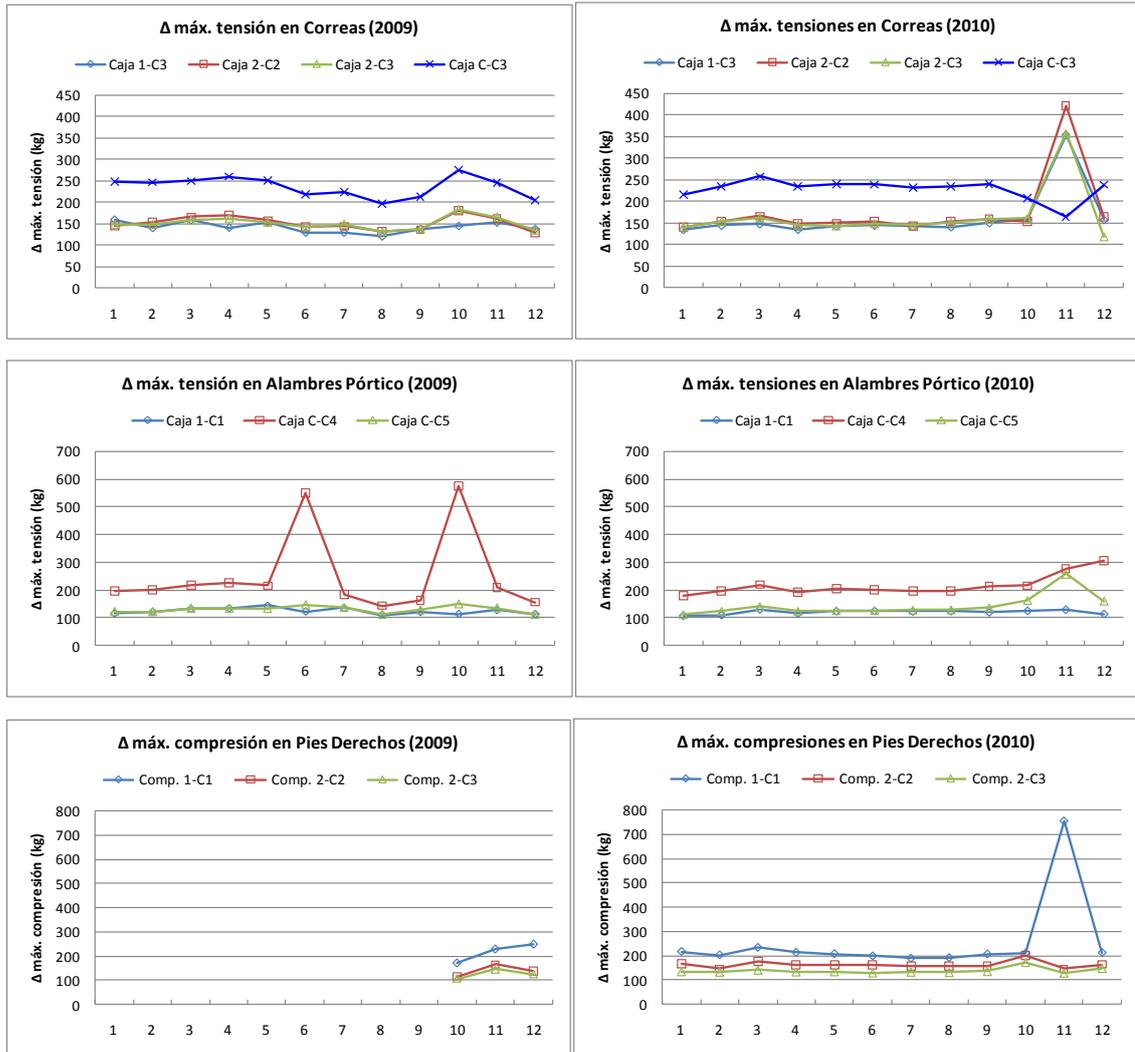
En el caso de las células de compresión, al igual que en el caso anterior, podemos ver como las fechas de máximas y mínimas compresiones coinciden en más de la mitad de los elementos estudiados. En dos de las tres células de carga, el día registrado de máximas compresiones fue el 14 de diciembre de 2009 (aparecen las fechas, en la tabla, rodeadas con un cuadro rojo); en cuanto al día de mínimas compresiones, corresponde al 14 de octubre de 2010 (aparecen las fechas, en la tabla, rodeadas con un cuadro azul).

4.1.1.4. Máximos incrementos

No sólo hay que tener en cuenta las máximas tensiones, sino que es importante detenerse en los incrementos de tensión de cada elemento, ya que si son elevados y se producen repetidas veces, podría dar lugar a la rotura o deformación del cable.

Evolución de los máximos incrementos producidos durante cada mes durante los dos años de ensayos:





Gráfica 5: Representación de los máximos incrementos mensuales de los esfuerzos.

Según los datos registrados a lo largo del año 2009, los máximos incrementos de tensión, se aprecian en la célula 1 de la caja 2, en la célula 1 de la caja A, en la célula 2 de la caja B, y en las células 3, 4 y 6 de la caja C, situadas en la zona norte del invernadero y los mínimos en la célula 1 de la caja 1, localizada en la zona sur del mismo. Para los datos de compresión, los máximos incrementos aparecen en la célula 1.

4.1.2. Distribución de esfuerzos en el invernadero

Además de hacer un estudio temporal de los resultados, éstos se van a analizar en función del elemento al que corresponden, determinando si existe o no relación entre elementos iguales.

En este apartado también se analizarán los datos espacialmente, es decir, se estudiará el comportamiento de cada elemento en función de la ubicación del mismo dentro del invernadero, ya que como se ha expuesto en el Capítulo 3, en función de la zona del invernadero en la que nos encontremos, el comportamiento esperado será distinto.

4.1.2.1. Relación entre elementos

Teóricamente, a la hora de calcular el invernadero se consideran las mismas cargas para elementos iguales, de acuerdo a esta premisa se va a comprobar si existe relación entre ellos, para ello se realizarán *Pruebas de Rango Múltiple*.

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Caja1_C2	199101	593,739	X
CajaC_C5	192155	631,025	X
Caja1_C1	199123	663,441	X
Caja1_C3	199118	694,948	X
CajaA_C1	180924	773,976	X
CajaC_C4	192129	827,183	X
Caja2_C2	188518	887,008	X
CajaB_C2	184315	975,411	X
CajaC_C6	177444	992,229	X
Caja2_C3	194261	1198,57	X
CajaC_C3	177444	1460,04	X
Caja2_C1	178571	1763,71	X

Tabla 21: Identificación de grupos homogéneos.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Caja1_C1 - Caja1_C2	*	69,7015	0,800562
Caja1_C1 - Caja1_C3	*	-31,5068	0,800545
Caja1_C1 - Caja2_C1	*	-1100,27	0,823252
Caja1_C1 - Caja2_C2	*	-223,567	0,811721
Caja1_C1 - Caja2_C3	*	-535,127	0,805534
Caja1_C1 - CajaA_C1	*	-110,535	0,820425
Caja1_C1 - CajaB_C2	*	-311,97	0,816461
Caja1_C1 - CajaC_C3	*	-796,6	0,824629
Caja1_C1 - CajaC_C4	*	-163,742	0,807793
Caja1_C1 - CajaC_C5	*	32,4158	0,807765
Caja1_C1 - CajaC_C6	*	-328,788	0,824629
Caja1_C2 - Caja1_C3	*	-101,208	0,800567
Caja1_C2 - Caja2_C1	*	-1169,97	0,823273
Caja1_C2 - Caja2_C2	*	-293,268	0,811742
Caja1_C2 - Caja2_C3	*	-604,828	0,805556
Caja1_C2 - CajaA_C1	*	-180,237	0,820446

Caja1_C2 - CajaB_C2	*	-381,672	0,816483
Caja1_C2 - CajaC_C3	*	-866,302	0,82465
Caja1_C2 - CajaC_C4	*	-233,444	0,807815
Caja1_C2 - CajaC_C5	*	-37,2858	0,807787
Caja1_C2 - CajaC_C6	*	-398,49	0,82465
Caja1_C3 - Caja2_C1	*	-1068,76	0,823257
Caja1_C3 - Caja2_C2	*	-192,06	0,811726
Caja1_C3 - Caja2_C3	*	-503,62	0,805539
Caja1_C3 - CajaA_C1	*	-79,0286	0,82043
Caja1_C3 - CajaB_C2	*	-280,463	0,816466
Caja1_C3 - CajaC_C3	*	-765,093	0,824634
Caja1_C3 - CajaC_C4	*	-132,236	0,807798
Caja1_C3 - CajaC_C5	*	63,9226	0,80777
Caja1_C3 - CajaC_C6	*	-297,281	0,824634
Caja2_C1 - Caja2_C2	*	876,699	0,834128
Caja2_C1 - Caja2_C3	*	565,139	0,828108
Caja2_C1 - CajaA_C1	*	989,731	0,8426
Caja2_C1 - CajaB_C2	*	788,296	0,838742
Caja2_C1 - CajaC_C3	*	303,666	0,846695
Caja2_C1 - CajaC_C4	*	936,524	0,830306
Caja2_C1 - CajaC_C5	*	1132,68	0,830279
Caja2_C1 - CajaC_C6	*	771,478	0,846695
Caja2_C2 - Caja2_C3	*	-311,56	0,816646
Caja2_C2 - CajaA_C1	*	113,031	0,831338
Caja2_C2 - CajaB_C2	*	-88,4035	0,827426
Caja2_C2 - CajaC_C3	*	-573,033	0,835487
Caja2_C2 - CajaC_C4	*	59,8245	0,818874
Caja2_C2 - CajaC_C5	*	255,983	0,818847
Caja2_C2 - CajaC_C6	*	-105,221	0,835487
Caja2_C3 - CajaA_C1	*	424,592	0,825298
Caja2_C3 - CajaB_C2	*	223,157	0,821357
Caja2_C3 - CajaC_C3	*	-261,473	0,829477
Caja2_C3 - CajaC_C4	*	371,385	0,812742
Caja2_C3 - CajaC_C5	*	567,543	0,812714
Caja2_C3 - CajaC_C6	*	206,339	0,829477
CajaA_C1 - CajaB_C2	*	-201,435	0,835967
CajaA_C1 - CajaC_C3	*	-686,065	0,843946
CajaA_C1 - CajaC_C4	*	-53,207	0,827503
CajaA_C1 - CajaC_C5	*	142,951	0,827476
CajaA_C1 - CajaC_C6	*	-218,253	0,843946
CajaB_C2 - CajaC_C3	*	-484,63	0,840093
CajaB_C2 - CajaC_C4	*	148,228	0,823573
CajaB_C2 - CajaC_C5	*	344,386	0,823546
CajaB_C2 - CajaC_C6	*	-16,8178	0,840093
CajaC_C3 - CajaC_C4	*	632,858	0,831672
CajaC_C3 - CajaC_C5	*	829,016	0,831645
CajaC_C3 - CajaC_C6	*	467,812	0,848034
CajaC_C4 - CajaC_C5	*	196,158	0,814953
CajaC_C4 - CajaC_C6	*	-165,046	0,831672
CajaC_C5 - CajaC_C6	*	-361,204	0,831645

* indica una diferencia significativa.

Tabla 22: Diferencias estimadas entre cada par de medias.

Como vemos, en todos los casos existen diferencias estadísticamente significativas.

De acuerdo a los resultados analizados, queda en entredicho la hipótesis de que para calcular el invernadero se deben considerar las mismas cargas para elementos iguales, pues en ningún caso existe relación estadísticamente significativa.

4.1.2.2. Distribución de los máximos y mínimos esfuerzos en el invernadero

Como hemos dicho en función de la zona del invernadero y del número de aberturas, el comportamiento esperado será diferente. Teóricamente, en el caso de la provincia de Almería, la zona más problemática a la hora diseñar el invernadero será la norte, noreste y noroeste, debido a la predominancia de los vientos y al tipo de estructura.

Para determinar los elementos de máxima tensión y compresión, se han identificado aquellos esfuerzos máximos a lo largo de los dos años ensayados, identificando el elemento al que corresponden y finalmente se han ordenado:

En la siguiente tabla aparecen las máximas tensiones ordenadas de menor a mayor, en función del elemento medido:

Máxima tensión (kg)	Denominación	Elemento
737,06	Caja C-C5	Alambre pórtico
753,1274	Caja 1-C1	Alambre pórtico
939,62	Caja 1-C3	Loca
983,3264	Caja A-C1	Correa cabeza amagados
986,83	Caja 1-C2	Correa cabeza raspas
1046,186	Caja C-C4	Alambre pórtico
1134,804	Caja B-C2	Correa cabeza amagados
1187,068	Caja C-C6	Correa cabeza amagados
1187,66	Caja 2-C2	Loca
1307,394	Caja 2-C3	Loca
1615,804	Caja C-C3	Loca
2152,287	Caja 2-C1	Correa cabeza raspas

Tabla 23: Tensiones máximas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor.

Aquellas tensiones que están por encima de 1000 kg, corresponden a la Caja 2, células 1, 2 y 3; a la Caja B, célula 2; y a la Caja C, células 3, 4 y 6.

A continuación se puede ver la tabla correspondiente a los datos de máximas compresiones y el elemento al que corresponden:

Máxima compresión (kg)	Denominación	Elemento
873,5034	Comp. 2-C3	Pie derecho
944,7373	Comp. 2-C2	Pie derecho
1588,67	Comp. 1-C1	Pie derecho

Tabla 24: Compresiones máximas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor.

Para la compresión, se observa como los máximos esfuerzos aparecen en la caja Comp. 1, célula 1.

Para la determinación de los elementos expuestos los menores esfuerzos, se ha seguido el mismo procedimiento que en el caso anterior.

En la siguiente tabla aparecen las mínimas tensiones ordenadas de menor a mayor, en función del elemento medido:

Mínima tensión (kg)	Denominación	Elemento
334,34	Caja 1-C2	Correa cabeza raspas
380,86	Caja A-C1	Correa cabeza amagados
396,858	Caja C-C4	Alambre pórtico
437,21	Caja C-C5	Alambre pórtico
536,6	Caja 1-C3	Loca
547,38	Caja 1-C1	Alambre pórtico
637,83	Caja C-C6	Correa cabeza amagados
683,76	Caja 2-C1	Correa cabeza raspas
702,74	Caja B-C2	Correa cabeza amagados
737,81	Caja 2-C2	Loca
885,69	Caja 2-C3	Loca
1113,08	Caja C-C3	Loca

Tabla 25: Tensiones mínimas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor.

Las tensiones que se encuentran por debajo de 600 kg corresponden a la Caja 1, células 1, 2 y 3; Caja A, célula 1 y Caja C, células 4 y 5.

A continuación se puede ver la tabla correspondiente a los datos de mínimas compresiones y el elemento al que corresponden:

Mínima compresión (kg)	Denominación	Elemento
636,84	Comp. 2-C3	Pie derecho
637,08	Comp. 2-C2	Pie derecho
832,59	Comp. 1-C1	Pie derecho

Tabla 26: Compresiones mínimas registradas ordenadas por elemento de menor a mayor.

Para la compresión, se observa como los mínimos esfuerzos aparecen en la caja Comp. 2, células 2 y 3.

Como ya habíamos previsto, la zona que está sometida a mayores tensiones es la norte, las tensiones mínimas se observan en la zona sur del invernadero. En el caso de la compresión, vemos como dentro de la misma zona norte, existen diferencias, observándose las máximas compresiones en la zona de levante. Esto es una evidencia de que la zona norte es la más expuesta y problemática en el diseño de una estructura para un invernadero raspa y amagado en la provincia de Almería.

4.1.3. Resumen de resultados

Elemento	Denominación	Máx. esfuerzo medido
Pies derechos	Comp. 1-C1	1588,67 kg
Correas	Caja 2-C1	2152,29 kg
Locas	Caja C-C3	1615,80 kg
Alambre pórtico	Caja C-C4	1046,19 kg

Tabla 27: Resumen de resultados para elementos medidos.

4.2. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LA ESTRUCTURA

4.2.1. Datos para el dimensionamiento

- Altura de la raspa: 4.7 m
- Altura del amagado: 3.8 m
- Altura del lateral: 3.4 m
- Distancia entre pórticos: 2 m
- Distancia entre pies derechos: 8 m
- Distancia entre amagado: 8 m
- Distancia entre perimetrales de bandas: 1,5 m
- Inclinación de los perimetrales de banda respecto de la horizontal: 60°
- Inclinación de los perimetrales de pórtico respecto de la horizontal: 69°
- Distancia entre la banda y el primer pie derecho = 4 m
- Altura del alambre de enrame: 2,5m
- Pendiente de las cumbreras interiores: $\alpha=13^\circ$
- Pendiente de las cumbreras perimetrales: $\alpha=18^\circ$

4.2.2. Cálculo de acciones con el CTE

Las acciones que actúan sobre la estructura se clasifican según el Documento Básico SE-AE (Seguridad estructural-Acciones en la edificación) de Marzo de 2006.

4.2.2.1. Acciones variables: Sobrecarga de uso

Según la tabla 3.1 del DB-SE-AE, la carga a considerar es de **1 kN/m²** para distribuciones uniformes o **2 kN/m²** para puntuales. Refiriéndose a cubiertas accesibles únicamente para conservación (*Entrada G1; Tabla 3.1: Valores característicos de las sobrecargas de uso*).

4.2.2.2. Acciones variables: Viento

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, q_e puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p \quad (88)$$

donde:

q_b la presión dinámica del viento: $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot (26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 422,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} = 0,42 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad (89)$$

Siendo δ la densidad del aire y v_b el valor básico de la velocidad del viento (*Anejo D: Velocidad del viento. Figura D.1: Valor básico de la velocidad del viento, v_b . Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*).

c_e el coeficiente de exposición (*Tabla 3.3: Valores del coeficiente de exposición c_e . Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*): $c_e = 1,83$.

c_p el coeficiente eólico:

Coficiente de presión interior, c_{pi} : se ha de calcular también ya que la estructura presenta grandes huecos. Se considera único en todos los paramentos interiores del edificio.

La esbeltez (*Anejo A del DB-SE-AE*):

$$\text{Esbeltez} = \frac{\text{Altura en cumbre}}{\text{Largo total del invernadero}} = \frac{4,7 \text{ m}}{44,8 \text{ m}} = 0,1049 < 1 \quad (90)$$

La esbeltez es la misma en las dos direcciones, sin embargo el área de huecos cambia según la zona, ya que tenemos tres ventanas cenitales hacia un lado y las otras dos hacia el otro.

Cuando el viento viene del este (levante), considerando que las ventanas laterales tienen 1.5 m de altura (colocadas a 1 m del suelo), las cenitales 0.75 m y que ambas son continuas a lo largo del invernadero:

$$\frac{\text{Área de huecos en zona de succión}}{\text{Área total de huecos}} =$$

$$= \frac{2v.\text{cenitales} \cdot 0.75m \cdot 44.8m + 1v.\text{lateral} \cdot 1.5m \cdot 44.8m + 1v.\text{lateral} \cdot 1.5m \cdot 47.2m}{3v.\text{cenitales} \cdot 0.75m \cdot 44.8m + 2v.\text{laterales} \cdot 1.5m \cdot 44.8m + 2v.\text{laterales} \cdot 1.5m \cdot 47.2m} = 0,545$$

El c_{pi} para viento procedente de levante (*Tabla 3.5 Coeficientes de presión interior. Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*): $c_{pi} = 0,055$

Para viento de poniente:

$$\frac{\text{Área de huecos en zona de succión}}{\text{Área total de huecos}} =$$

$$= \frac{1v.\text{cenital} \cdot 0.75m \cdot 44.8m + 1v.\text{lateral} \cdot 1.5m \cdot 44.8m + 1v.\text{lateral} \cdot 1.5m \cdot 47.2m}{5v.\text{cenitales} \cdot 0.75m \cdot 44.8m + 2v.\text{laterales} \cdot 1.5m \cdot 44.8m + 2v.\text{laterales} \cdot 1.5m \cdot 47.2m} = 0,455$$

El c_{pi} para viento procedente de poniente (*Tabla 3.5 Coeficientes de presión interior. Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*): $c_{pi} = 0.2$

En caso de velocidades de viento elevadas, el coeficiente de presión interior es nulo, ya que en este caso se cierran las ventanas.

Coefficiente de presión exterior, cp_e :

Para el **alambre pórtico**:

Área de influencia, cubierta a 18° $A = 2 \cdot 0.5 \cdot 2m \cdot 4.2m = 8.4m^2$ (93)

Área de influencia, cubierta a 13° $A = 2 \cdot 0.5 \cdot 2m \cdot 4.1m = 8.2m^2$

En ambos casos el área de influencia está comprendida entre $1 m^2$ y $10 m^2$, por lo que utilizaremos la siguiente fórmula (*anejo D del DB-SE-AE*):

$$c_{pe,A} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A \tag{94}$$

donde:

$c_{pe,10}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \geq 10 m^2$

$c_{pe,1}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \leq 1 m^2$

Interpolando en la *Tabla D.4 Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*, y de acuerdo a las siguientes figuras:

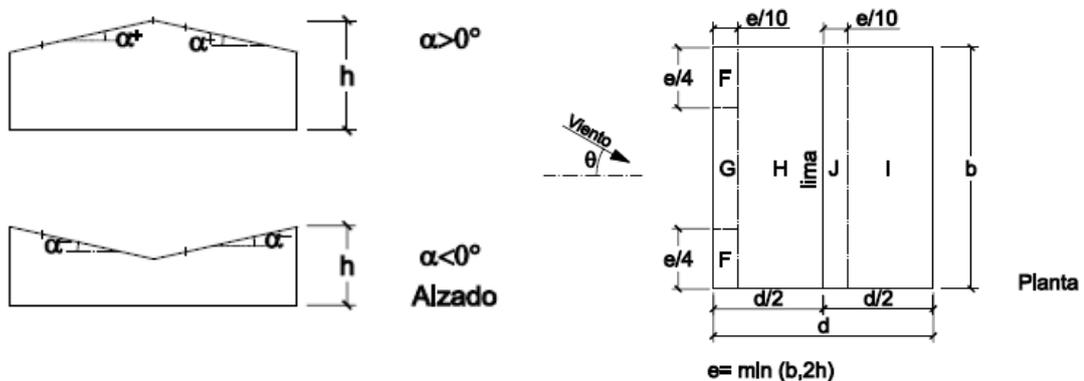


Figura 38: Anejo D. Acción del viento. Tabla D.4 Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento figuras]. (Fuente: DB SE-AE).

Pendiente	A (m ²)	Zona de la cubierta				
		Barlovento			Sotavento	
		F	G	H	I	J
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	8,4	-1,1	-0,9	-0,3	-0,4	-1,1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
30°	≥ 10	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
		0,7	0,7	0,4	0	0
	≤ 1	-1,5	-1,5	-0,2	-0,4	-0,5
		0,7	0,7	0,4	0	0
	8,4	-0,7	-0,7	-0,2	-0,4	-0,5
		0,7	0,7	0,4	0	0
18°	8,4	-1	-0,9	-0,3	-0,4	-1
		0,3	0,3	0,2	0	0

Tabla 28: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 15° y 30°] (Fuente: DB SE-AE).

Pendiente	A (m ²)	Zona de la cubierta				
		Barlovento			Sotavento	
		F	G	H	I	J
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
	≤ 1	-0,5	-2	-1,2	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
	8,2	-1,5	-1,4	-0,7	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	8,2	-1,1	-0,9	-0,3	-0,4	-1,1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
13°	8,2	-1,18	-1	-0,38	-0,28	-0,84
		0,16	0,16	0,16	-0,12	-0,12

Tabla 29: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 5° y 15°] (Fuente: DB SE-AE).

Inclinación de la cubierta	Coeficiente eólico de presión			
	Barlovento		Sotavento	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
18°	0,3	-1	0	-1
13°	0,16	-1,18	-0,12	-0,84

Tabla 30: Coeficiente eólico de presión para alambres pòrtico.

Para las **correas** (suponiendo una separación de correas de 2.1 m para las cubiertas laterales y 2.05 m para las interiores):

$$\text{Área de influencia, cubierta a } 18^\circ \quad A = 2 \cdot 0.5 \cdot 2m \cdot 2.1m = 4.2m^2 \quad (95)$$

$$\text{Área de influencia, cubierta a } 13^\circ \quad A = 2 \cdot 0.5 \cdot 2m \cdot 2.05m = 4.1m^2$$

Al igual que para el alambre pórtico, en ambos casos el área de influencia está comprendida entre 1 m^2 y 10 m^2 , por lo que utilizaremos la siguiente fórmula (*anexo D del DB-SE-AE*):

$$c_{pe,A} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A \quad (96)$$

donde:

$c_{pe,10}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \geq 10 \text{ m}^2$

$c_{pe,1}$ coeficiente de presión exterior para elementos con un área de influencia $A \leq 1 \text{ m}^2$

Si volvemos a interpolar en las tablas:

Pendiente	A (m ²)	Zona de la cubierta				
		Barlovento			Sotavento	
		F	G	H	I	J
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	4.2	-1.6	-1	-0.3	-0.4	-1.3
		0.2	0.2	0.2	0.0	0.0
30°	≥ 10	-0.5	-0.5	-0.2	-0.4	-0.5
		0.7	0.7	0.4	0	0
	≤ 1	-1.5	-1.5	-0.2	-0.4	-0.5
		0.7	0.7	0.4	0	0
	4.2	-1.1	-1.1	-0.2	-0.4	-0.5
		0.7	0.7	0.4	0	0
18°	4.2	-1.5	-1	-0.3	-0.4	-1.1
		0.3	0.3	0.2	0	0

Tabla 31: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 15° y 30°]

(Fuente: DB SE-AE).

Pendiente	A (m ²)	Zona de la cubierta				
		Barlovento			Sotavento	
		F	G	H	I	J
5°	≥ 10	-1,7	-1,2	-0,6	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
	≤ 1	-0,5	-2	-1,2	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
	4.1	-0,9	-1,7	-1	0,2	0,2
		0,0	0,0	0,0	-0,6	-0,6
15°	≥ 10	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	≤ 1	-2	-1,5	-0,3	-0,4	-1,5
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
	4.1	-1,6	-1,3	-0,3	-0,4	-1,3
		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
13°	4.1	-1.46	-1.67	-0.44	-0.36	-1
		0.16	0.16	0.16	-0.55	-0.55

Tabla 32: Cubiertas a dos aguas (dirección del viento $-45^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$). [Fragmento para 5° y 15°] (Fuente: DB SE-AE).

Inclinación de la cubierta	Coeficiente eólico de presión			
	Barlovento		Sotavento	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
18°	0,3	-1.5	0	-1.1
13°	0,16	-1,67	-0.36	-1

Tabla 33: Coeficiente eólico de presión para correas.

En nuestro caso tenemos cubierta múltiple, entonces:

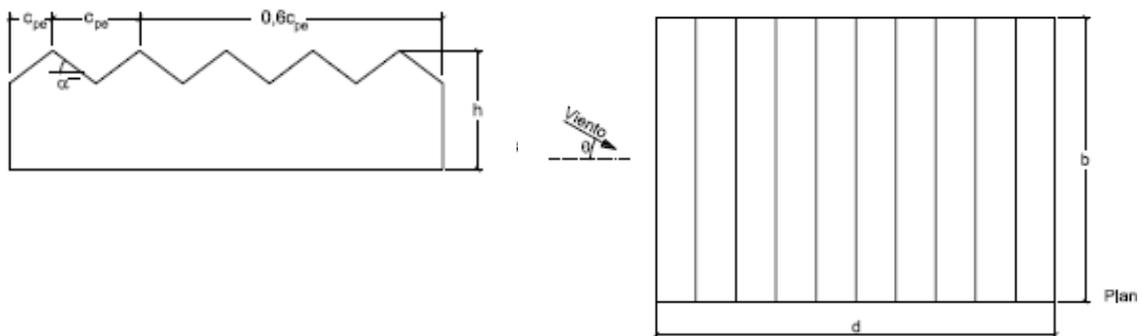


Figura 39: Anejo D. Acción del viento. Tabla D.7 Cubiertas múltiples. [Fragmento imágenes]. (Fuente: DB SE-AE).

Numerando del 1 al 10 las distintas cubiertas del invernadero, obtenemos los siguientes coeficientes eólicos de presión exterior:

Cubierta	Coeficiente eólico de presión exterior			
	Alambre pórtico		Correas	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1 Barlovento	0,3	-1	0,3	-1,5
2 Sotavento	-0,12	-0,84	-0,36	-1
3 Barlovento	0,16	-1,18	0,16	-1,67
4 Sotavento	-0,072	-0,504	-0,216	-0,6
5 Barlovento	0,096	-0,708	0,096	-1,002
6 Sotavento	-0,072	-0,504	-0,216	-0,6
7 Barlovento	0,096	-0,708	0,096	-1
8 Sotavento	-0,072	-0,504	-0,216	-0,6
9 Barlovento	0,096	-0,708	0,096	-1
10 Sotavento	0	-0,6	0	-0,66

Tabla 34: Coeficiente eólico de presión exterior.

Cuando las ventanas están cerradas, el coeficiente eólico de presión es igual al coeficiente eólico de presión exterior. En el caso que las ventanas estén abiertas, el coeficiente eólico será igual a la suma del coeficiente eólico exterior e interior.

Suponiendo viento del oeste y que las ventanas se encuentren abiertas:

Cubierta	Coeficiente eólico de presión			
	Alambre pórtico		Correas	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1 Barlovento	0,5	-0,8	0,5	-1,3
2 Sotavento	0,08	-0,64	-0,16	-0,8
3 Barlovento	0,36	-0,98	0,36	-1,47
4 Sotavento	0,128	-0,304	-0,016	-0,4
5 Barlovento	0,296	-0,508	0,296	-0,802
6 Sotavento	0,128	-0,304	-0,016	-0,4
7 Barlovento	0,296	-0,508	0,296	-0,802
8 Sotavento	0,128	-0,304	-0,016	-0,4
9 Barlovento	0,296	-0,508	0,296	-0,802
10 Sotavento	0,2	-0,4	0,2	-0,46

Tabla 35: Coeficiente eólico de presión exterior para viento del oeste y ventanas abiertas.

La carga de viento será la resultante de multiplicar la presión dinámica del viento por los coeficientes de exposición y de presión.

Para viento del oeste y con las ventanas cerradas:

Cubierta	Presión estática del viento (kN/m ²)			
	Alambre pórtico		Correas	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1 Barlovento	0,231	-0,769	0,231	-1,153
2 Sotavento	-0,092	-0,646	-0,277	-0,769
3 Barlovento	0,123	-0,907	0,123	-1,284
4 Sotavento	-0,055	-0,387	-0,166	-0,461
5 Barlovento	0,074	-0,544	0,074	-0,770
6 Sotavento	-0,055	-0,387	-0,166	-0,461
7 Barlovento	0,074	-0,544	0,074	-0,770
8 Sotavento	-0,055	-0,387	-0,166	-0,461
9 Barlovento	0,074	-0,544	0,074	-0,770
10 Sotavento	0,000	-0,461	0,000	-0,507

Tabla 36: Presión estática del viento para viento del oeste y ventanas cerradas.

Para viento del oeste y con las ventanas abiertas:

Cubierta	Presión estática del viento (kN/m ²)			
	Alambre pórtico		Correas	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
1 Barlovento	0,384	-0,615	0,384	-0,999
2 Sotavento	0,061	-0,492	-0,123	-0,615
3 Barlovento	0,277	-0,753	0,277	-1,130
4 Sotavento	0,098	-0,234	-0,012	-0,307
5 Barlovento	0,228	-0,390	0,228	-0,616
6 Sotavento	0,098	-0,234	-0,012	-0,307
7 Barlovento	0,228	-0,390	0,228	-0,616
8 Sotavento	0,098	-0,234	-0,012	-0,307
9 Barlovento	0,228	-0,390	0,228	-0,616
10 Sotavento	0,154	-0,307	0,154	-0,354

Tabla 37: Presión estática del viento para viento del oeste y ventanas abiertas.

Para cada caso, la situación más desfavorable será la siguiente:

	Presión estática del viento (kN/m ²)			
	Alambre pórtico		Correas	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Ventanas abiertas	0,231	-0,907	0,231	-1,284
Ventanas cerradas	0,384	-0,753	0,384	-1,130

Tabla 38: Presión estática del viento más desfavorable en cada caso.

4.2.2.3. Acciones variables: Acciones térmicas

Es de gran importancia en este tipo de estructura de invernadero, fundamentalmente en los alambres, trenzas y cables acerados que constituyen los pórticos, correas y vientos, ya que en su colocación se someten a una tensión inicial de tensado σ_i que puede verse incrementada sustancialmente por el efecto de la retracción térmica.

Las temperaturas ambiente extremas de verano y de invierno pueden obtenerse del Anejo E del Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación.

La temperatura máxima, en función de la ubicación del invernadero, será como media de 45 °C. La temperatura mínima, considerando una altitud de menos de 200m y sabiendo que nos encontramos en la zona 6, será de -7 °C.

Para elementos expuestos a la intemperie, como temperatura mínima se adoptará la extrema del ambiente. Como temperatura máxima en verano se adoptará la extrema del ambiente incrementada en la procedente del efecto de la radiación solar, según la *Tabla 3.6 Incremento de temperatura debido a la radiación solar del Documento Básico SE-AE Acciones en la Edificación*.

Finalmente, considerando esta última condición, en elementos situados en la cara norte y este, se considerarán 45°C; en elementos situados en la cara su y oeste, esta temperatura se incrementará a 63 °C.

Los elementos no expuestos se considerarán como expuestos, ya que la superficie plástica que cubre la estructura es transparente.

4.2.2.4. Acciones variables: Nieve

Como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal, q_n , puede tomarse:

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (97)$$

siendo:

μ coeficiente de forma de la cubierta. Suponiendo que la malla ejerce de impedimento para el deslizamiento de la nieve, consideramos $\mu=1$.

s_k el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal, $s_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$.

El coeficiente de forma de la cubierta depende de la inclinación de ésta, por lo que:

$$q_n = \mu \cdot s_k \rightarrow q_{13} = 0.2 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 13 = 0.19 \text{ kN/m}^2 \quad (98)$$

$$q_n = \mu \cdot s_k \rightarrow q_{14} = 0.2 \text{ kN/m}^2 \cdot \cos 18 = 0.19 \text{ kN/m}^2$$

Debido a las pocas diferencias de inclinación, consideramos la misma carga para ambas cubiertas.

4.2.3. Combinación de acciones

Según el *Aparatado 4: Verificaciones basadas en coeficientes parciales del DB-SE*. “El valor de cálculo de los efectos de las acciones correspondiente a una situación persistente o transitoria, se determina mediante combinaciones de acciones a partir de la expresión:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (99)$$

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la *tabla 4.1 del Documento Básico-Seguridad Estructural* para cada tipo de acción.

Tipo de verificación	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente Peso propio, peso del terreno	1.35	0.80
	Variable	1.50	0

Tabla 39: Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones. (Fuente: DB SE-AE).

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, ψ , se establecen en la *tabla 4.2 del Documento Básico-Seguridad Estructural*.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE) • Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve • para altitudes ≤ 1000 m	0.5	0.2	0
Viento	0.6	0.5	0
Temperatura	0.6	0.5	0
Acciones variables del terreno	0.7	0.7	0.7

Tabla 40: Coeficientes de simultaneidad (ψ). (Fuente: DB SE-AE).

4.2.3.1. Combinación de acciones considerando la estructura cerrada

Alambre pórtico (gravedad desfavorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	1.5	0
Viento máximo	0,384	1.5	0.6
Viento mínimo	-0,753	0	0.6
Nieve	0.19	1.5	0.5

Tabla 41: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad desfavorable y estructura cerrada.

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 1.8254 \text{ kN/m}^2$$

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 1.1232 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.671 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 1.5 \text{ nieve} = 0.5154 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 1.5 \text{ nieve} = -0.1668 \text{ kN/m}^2$$

Alambre p3rtico (gravedad favorable)			
Acci3n	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	0	0
Viento m3ximo	0,384	0	0.6
Viento m3nimo	-0,753	1.5	0.6
Nieve	0.19	0	0.5

Tabla 42: Combinaci3n de acciones para alambre p3rtico, gravedad favorable y estructura cerrada.

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3x} + 0.5 \text{ nieve} = 0.3254 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3n} + 0.5 \text{ nieve} = -0.3568 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento m3x} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento m3n} + 0.5 \text{ nieve} = -1.0345 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3x} + 0 \text{ nieve} = 0.2304 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3n} + 0 \text{ nieve} = -0.4518 \text{ kN/m}^2$$

Correas (gravedad desfavorable)			
Acci3n	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	1.5	0
Viento m3ximo	0,384	1.5	0.6
Viento m3nimo	-1,130	0	0.6
Nieve	0.19	1.5	0.5

Tabla 43: Combinaci3n de acciones para correas, gravedad desfavorable y estructura cerrada.

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3x} + 0.5 \text{ nieve} = 1.8254 \text{ kN/m}^2$$

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3n} + 0.5 \text{ nieve} = 0.917 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento m3x} + 0.5 \text{ nieve} = 0.671 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento m3n} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3x} + 1.5 \text{ nieve} = 0.5154 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento m3n} + 1.5 \text{ nieve} = -0.393 \text{ kN/m}^2$$

Correas (gravedad favorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	0	0
Viento máximo	0,384	0	0.6
Viento mínimo	-1,130	1.5	0.6
Nieve	0.19	0	0.5

Tabla 44: Combinación de acciones para correas, gravedad favorable y estructura cerrada.

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.3254 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -0.583 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -1.6 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0 \text{ nieve} = 0.2304 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0 \text{ nieve} = -0.678 \text{ kN/m}^2$$

4.2.3.2. Combinación de acciones considerando la estructura abierta

Presión estática del viento (kN/m²)			
Alambre pórtico		Correas	
Alambre pórtico (gravedad desfavorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	1.5	0
Viento máximo	0,231	1.5	0.6
Viento mínimo	-0,907	0	0.6
Nieve	0.19	1.5	0.5

Tabla 45: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad desfavorable y estructura abierta.

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 1.7336 \text{ kN/m}^2$$

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 1.0508 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.4415 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 1.5 \text{ nieve} = 0.4236 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 1.5 \text{ nieve} = -0.2592 \text{ kN/m}^2$$

Alambre pórtico (gravedad favorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	0	0
Viento máximo	0,231	0	0.6
Viento mínimo	-0,907	1.5	0.6
Nieve	0.19	0	0.5

Tabla 46: Combinación de acciones para alambre pórtico, gravedad favorable y estructura abierta.

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.2336 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -0.4492 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -1.2655 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0 \text{ nieve} = 0.1386 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0 \text{ nieve} = -0.5442 \text{ kN/m}^2$$

Correas (gravedad desfavorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	1.5	0
Viento máximo	0,231	1.5	0.6
Viento mínimo	-1,284	0	0.6
Nieve	0.19	1.5	0.5

Tabla 47: Combinación de acciones para correas, gravedad desfavorable y estructura abierta.

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 1.7336 \text{ kN/m}^2$$

$$1.5 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 0.8246 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.4415 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 1.5 \text{ nieve} = 0.4236 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 1.5 \text{ nieve} = -0.4854 \text{ kN/m}^2$$

Correas (gravedad favorable)			
Acción	kN/m²	γ	Ψ_0
Sobrecarga uso	1	0	0
Viento máximo	0,231	0	0.6
Viento mínimo	-1,284	1.5	0.6
Nieve	0.19	0	0.5

Tabla 48: Combinación de acciones para correas, gravedad favorable y estructura abierta.

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.2336 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -0.6754 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0 \text{ viento máx} + 0.5 \text{ nieve} = 0.095 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 1.5 \text{ viento mín} + 0.5 \text{ nieve} = -1.831 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento máx} + 0 \text{ nieve} = 0.1386 \text{ kN/m}^2$$

$$0 \text{ uso} + 0.6 \text{ viento mín} + 0 \text{ nieve} = -0.7704 \text{ kN/m}^2$$

En la siguiente tabla se presentan las cargas máximas y mínimas en kN/m² para cada caso:

Elemento		Estructura cerrada		Estructura abierta	
		Gravedad desfavorable	Gravedad favorable	Gravedad desfavorable	Gravedad favorable
Alambre pórtico	Presión	1.8254	0.3254	1.7336	0.2336
	Succión	-0.1668	-1.0345	-0.2592	-1.2655
Correas	Presión	1.8254	0.3254	1.7336	0.2336
	Succión	-0.393	-1.6	-0.4854	-1.831

Tabla 49: Cargas máximas y mínimas en kN/m² para cada caso.

Finalmente, las más desfavorables para cada elemento son:

Alambre pórtico	Presión	1.8254 kN/m²
	Succión	-1.2655 kN/m²
Correas	Presión	1.8254 kN/m²
	Succión	-1.831 kN/m²

Tabla 50: Cargas más desfavorables.

4.2.4. Cálculo de la estructura resistente de cubierta

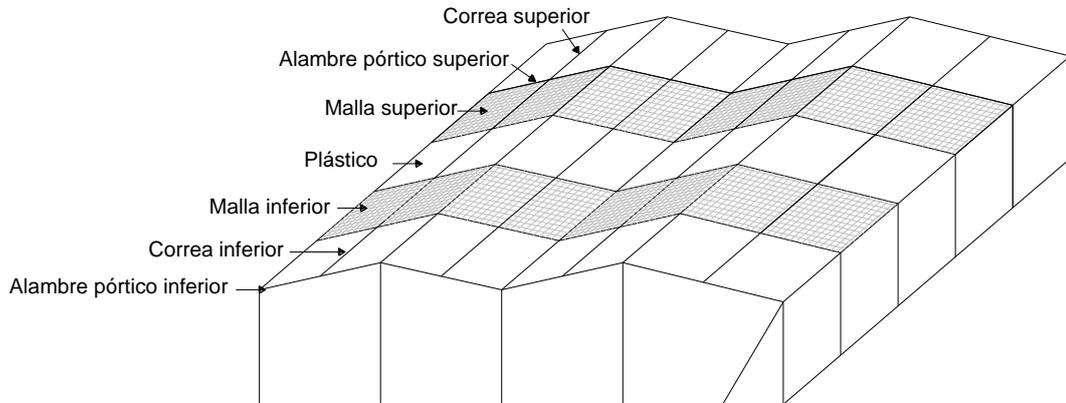


Figura 40: Esquema de los elementos que componen la estructura resistente de cubierta.

4.2.4.1 Correa superior e inferior

El caso más desfavorable para las correas es cuando están sometidas a succión, correspondiendo esta situación con un hilo sometido a cargas puntuales, iguales y equidistantes.

Inicialmente hay que realizar el reparto de cargas. La longitud de la correa (L_c) es 2 m y la separación entre ellas es 2.1 m en el caso más desfavorable.

La carga lineal es:

$$P_L = \frac{pA_i}{2(L_p + L_c)} = \frac{1.831(kN/m^2) \cdot 2(m) \cdot 2.1(m)}{2 \cdot (2m + 2.1m)} = 0.94 kN/m \quad (100)$$

La carga ejercida entre cada punto de unión entre la malla y la correa:

$$P_{ic} = 2 \cdot P_L \cdot L_{mc} = 2 \cdot 0.94 kN/m \cdot 0.25m = 0.47 kN \quad (101)$$

N: número de puntos de unión entre la malla y la correa: $N = 2m / 0.25m = 8$ tramos \rightarrow 7 puntos de unión.

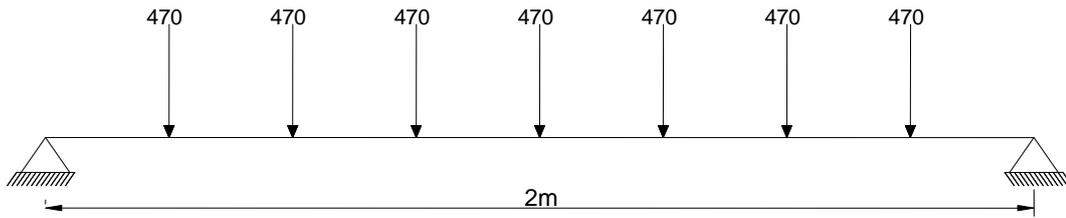


Figura 41: Esquema para una correa cargada (cargas iguales, puntuales y equidistantes).

Los datos del predimensionamiento de las correas son:

- Trenza acerada de 2x3 de límite elástico de 13300 kg/cm^2 ($\sigma_{adm} = 130.34 \text{ kN/cm}^2$) y una sección de $0,141 \text{ cm}^2$.
- El tráctel tensará este alambre como en el caso anterior, con una fuerza de 600 kg ($5,88 \text{ kN}$).

$$\sigma_{inicial} = \frac{5.88 \text{ kN}}{0.141 \text{ cm}^2} = 41.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (102)$$

Esta tensión inicial oscilará a lo largo del año según la temperatura. Si el intervalo de esta se ha fijado en $\pm 27^\circ \text{C}$, el incremento y el decremento de la tensión inicial será: $0,000012 \text{ mm}^\circ\text{C}$

$$\Delta\sigma = E \cdot \alpha_T \cdot \Delta T = 2.06 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{m}^\circ\text{C}} \cdot 27^\circ\text{C} = 6674.4 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \rightarrow 6.6744 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (102)$$

$$(\sigma_{ini})_{MÍNIMA} = 41.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} - 6.6744 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 35.03 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (103)$$

$$(\sigma_{ini})_{MÁXIMA} = 41.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 6.6744 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 48.37 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$\sigma_{\text{inicial}}(\text{N/cm}^2)$	α	F	T(N)	$A_{\text{min}}(\text{cm}^2)$
48674.4	5,48	0,00843	17182,77	0,132
35325.6	5,49	0,00160	17168,69	0,132

Tabla 51: Cálculo de correa (cargas iguales, puntuales y equidistantes).

Como podemos comprobar está bien dimensionada la trenza, ya que requerimos una sección inferior.

Con estos resultados calculamos la tensión final, σ , el ángulo, α' , que forman sus extremos cuando actúa el viento y el coeficiente de seguridad, γ , aplicado en función de la tensión final:

T(N)	$\sigma=T/A(\text{N/cm}^2)$	$\gamma=\sigma_e/\sigma$
17182,77	121863,6	1,1
17168,69	121763,7	1,1

Tabla 52: Resultados finales para correas (cargas iguales, puntuales y equidistantes).

4.2.4.2. Alambre pórtico superior e inferior

La longitud del alambre pórtico L_p en el caso más desfavorable es 2,1 m, la separación entre pórticos es 2m. La carga que soporta el alambre pórtico más desfavorable corresponde a presión, con un valor de 1.8254 kN/m^2 . Esta situación equivale a un hilo sometido a cargas puntuales, distintas, simétricas respecto al eje central y equidistantes.

La carga lineal de presión es:

$$P_L = \frac{1.8254(\text{kN/m}^2) \cdot 2.1(\text{m}) \cdot 2(\text{m})}{2 \cdot (2.1\text{m} + 2\text{m})} = 0.94\text{kN/m} \quad (104)$$

La carga puntual resultante que soporta cada tramo de correa será:

$$P_2 = P_L \cdot L_p = 1.974\text{kN} \quad (105)$$

La carga ejercida entre cada punto de unión entre el alambre pórtico y la malla es:

$$p_{ip} = 2 \cdot P_L \cdot L_m = 2 \cdot 0.94 \text{ kN/m} \cdot 0.3 \text{ m} = 0.564 \text{ kN} \quad (106)$$

La carga ejercida entre cada punto de unión entre la correa y el alambre pórtico:

$$p_c = p_2 + p_{ip} = 1.974 \text{ kN} + 0.564 \text{ kN} = 2.54 \text{ kN} \quad (107)$$

N: número de puntos de unión entre la malla y el alambre pórtico:
 $N = 4,2 \text{ m} / 0.3 \text{ m} = 14 \text{ tramos} \rightarrow 13 \text{ puntos de unión.}$

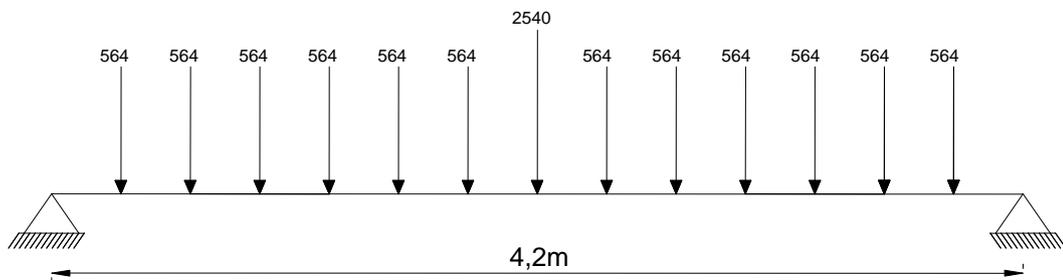


Figura 42: Esquema para un alambre pórtico cargado (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes).

Debido a la forma de amarre de este tipo de estructura, que se realiza practicando un nudo en forma de garrotera en cada uno de sus extremos, el alambre puede ceder, provocando un deslizamiento cifrado en 101769 N/cm^2 , según Pérez et al., 1982.

Suponemos una trenza de 3x3 de 0.212 cm^2 y 0.17 kp/m ($1,666 \text{ N/m}$). Debido al proceso de montaje del pórtico, inicialmente el alambre pórtico se encuentra formando una catenaria entre las bandas del invernadero. Considerando que la tensión a la que se encuentra sometida es debida al peso de un operario (80 kg ó 784 N) en uno de sus extremos, la longitud de la catenaria es $L_c = 42,96 \text{ m}$.

Una vez esté realizado el montaje, la cubierta tendrá una longitud de 43,8 m, lo que supone un alargamiento del cable con el consecuente incremento de tensión de éste, quedando finalmente la tensión en:

$$\sigma = E \frac{\Delta L}{L_c} = 2.1 \cdot 10^6 \frac{kp}{cm^2} \cdot \frac{43,8m - 42,96m}{42,96m} = 41061,45 \frac{kp}{cm^2} \rightarrow 402402,2 \frac{N}{cm^2} \quad (108)$$

Como vemos esta tensión supera la tensión de deslizamiento del nudo, “debido a la acción del viento, los cambios de temperatura y a la pérdida de fuerza del propio nudo, el alambre pórtico se destensa y finalmente el hilo queda con una tensión límite deslizamiento del nudo”, Pérez et al., 1992, por lo que tomaremos la tensión de deslizamiento para los posteriores cálculos.

$$(\sigma_{ini})_{MÁXIMA} = 101,769 \frac{kN}{cm^2} + 6,6744 \frac{kN}{cm^2} = 108,44 \frac{kN}{cm^2} \quad (109)$$

$$(\sigma_{ini})_{MÍNIMA} = 101,769 \frac{kN}{cm^2} - 6,6744 \frac{kN}{cm^2} = 95,09 \frac{kN}{cm^2}$$

Para una trenza de 3x3 de 0.212 cm² y $\sigma_e = 18000 \text{ kp/cm}^2$ ó 176400 N/cm²,

$\sigma_{inicial}(\text{N/cm}^2)$	F	$A_{min}(\text{cm}^2)$	T(N)	α_0
108440	0,00700	0,1746	30806,63	9,22
95090	0,00126	0,1740	30707,58	9,25

Tabla 53: Cálculo de alambre pórtico (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes).

Como podemos comprobar está bien dimensionada la trenza, ya que requerimos una sección inferior.

Con estos resultados calculamos la tensión final, σ , el ángulo, α' , que forman sus extremos cuando actúa el viento y el coeficiente de seguridad, γ , aplicado en función de la tensión final:

T(N)	$\sigma=T/A(N/cm^2)$	$\gamma=\sigma_e/\sigma$
30806,63	145314,29	1,2
30707,58	144847,08	1,2

Tabla 54: Resultados finales para alambres pórtico (cargas puntuales, distintas, simétricas y equidistantes).

4.2.4.3. Malla

Para este cálculo, asemejaremos al cálculo de hilos sometidos a cargas uniformemente distribuidas.

La longitud de cada tramo será de 2 m y la distancia entre ellas 0,25x0,30 m. Tomando la carga de succión de las correas, por ser este el elemento calculado más desfavorable, de -1.831 kN/m^2 .

Los puntos de unión entre la malla y el alambre pórtico se realizan cada 0.30m, por lo que la carga lineal será:

$$q(kNm^{-1}) = p(kNm^{-2}) \cdot s(m) = 1.831 \cdot 0.30 = 0,55kNm^{-1} = 56,12kp/m \quad (110)$$

Los datos del predimensionamiento con alambre normal son:

- Tensión de acero en su límite elástico del alambre normal: 5600 kp cm^{-2} .
- Coeficiente de seguridad: 1,5
- Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{6000}{1,5} = 4000 \text{ kg cm}^{-2} \quad (111)$$

La tensión inicial es prácticamente nula.

$$\alpha = \sqrt{\frac{6 \times \sigma_{adm}}{E + \sigma_{adm}}} = 0,107 \text{ rad} = 6,12^\circ \quad (112)$$

$$A_{\min} = \frac{q \times L}{2 \times \sigma_{adm} \times \text{sen} \alpha} = 0,138 \text{ cm}^2 = 13,8 \text{ mm}^2 \quad (113)$$

$$\phi_{\min} = \sqrt{\frac{4 \times A_{\min}}{\pi}} = 4,2mm \quad (114)$$

Por lo tanto elegimos alambre normal de 4,4 mm de diámetro. Tiene un área de $15,2 \text{ mm}^2$, por lo que con los supuestos anteriores se obtendría:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot q \cdot L}{A \cdot E}} = 0,02rad = 1,26^\circ \quad (115)$$

Donde: $L=2 \cdot R \cdot \text{sen}\alpha$

A es el área del hilo

E es el módulo de elasticidad

q es la carga expresada en kp/m

y la tensión que soportará sería:

$$\sigma(kpcm^{-2}) = \frac{q(kpm^{-1}) \cdot L(m)}{2 \cdot A(cm^2) \cdot \text{sen}\alpha} = 16790,4kg \text{ cm}^{-2} \quad (116)$$

Por lo tanto queda comprobado que la tensión de trabajo será menor que la admisible ($\sigma \leq \sigma_{adm}$).

4.2.4.4. Estructura de enrame

El valor de la carga es:

$$Q(kp/m) = q(kp/m^2) \cdot L(m) = 20kpm^{-1} \quad (117)$$

- q es el valor de las cargas gravitatorias, tomaremos un dato genérico de 10 kp m^{-2} .

- L es la separación entre pórticos con un valor de 2 m.

Los tutores se atan al cable de enrame a una distancia $D = 50$ cm, por tanto cada tutor soporta una carga puntual P de valor:

$$P(kp) = Q(kp/m) \cdot 0,5m = 10kp \quad (118)$$

El número de cargas P que soporta el cable depende de su longitud, que es la mitad de la luz del pórtico $L'/2$ (m):

$$N(\text{número de cargas en el cable}) = \frac{\frac{L'}{2} (\text{distancia entre pies})}{D(\text{separación entre tutores})} = 8 \quad (119)$$

La tensión admisible del acero:

$$\sigma_{adm} = \frac{11300kp\,cm^{-2}}{1,5} = 7533,33kp\,cm^{-2} \quad (120)$$

Tomando una tensión inicial cero.

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N + 2) \times E + (N + 1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,033\,rad = 1,89^\circ \quad (121)$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 303,2kp \quad (122)$$

$$A_{\min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,04\,cm^2 \quad (123)$$

Por lo tanto se elige un alambre retrofilado sobregalvanizado de 3 mm de diámetro. Con una superficie de $7.07\,mm^2$, y la tensión que soportará sería:

$$\sigma(kp\,cm^{-2}) = \frac{q(kp\,m^{-1}) \cdot L(m)}{2 \cdot A(cm^2) \cdot \text{sen} \alpha} = 3039,63\,kg\,cm^{-2} \quad (124)$$

Por lo tanto queda comprobado que la tensión de trabajo será menor que la admisible ($\sigma \leq \sigma_{adm}$).

Los valores para este cable serán:

$$\alpha = 1,1^\circ$$

$$T = 5219,54\text{N}$$

4.2.4.5. Resumen de elementos calculados

Finalmente, con los elementos dimensionados y usando medidas comerciales, obtenemos los siguientes resultados:

Correas superiores e inferiores: Trenza acerada de 2x3mm y 0,141 cm².

	$\sigma_{inicial}(\text{N/cm}^2)$	α	T(N)	$\sigma=T/A(\text{N/cm}^2)$
máx.	48674.4	5,48	17182,77	121863,6
mín.	35325.6	5,49	17168,69	121763,7

Tabla 55: Resumen de resultados para correas superiores e inferiores.

Alambre pórtico superior e inferior: Trenza acerada de 3x3mm y 0,212 cm².

	$\sigma_{inicial}(\text{N/cm}^2)$	α_0	T(N)	$\sigma=T/A(\text{N/cm}^2)$
máx.	108440	9,22	30806,63	145314,29
mín.	95090	9,25	30707,58	144847,08

Tabla 56: Resumen de resultados para alambre pórtico superior e inferior.

Malla superior e inferior: Alambre normal de 5,9 mm y 27,3 mm².

$\sigma(\text{N/cm}^2)$	T(N)	α
16790,4	25009,8	1,26

Tabla 57: Resumen de resultados para la malla superior e inferior.

Estructura de enrame: Alambre retrofilado sobregalvanizado de 3 mm y 7,07 mm².

$\sigma(\text{N/cm}^2)$	T(N)	α
29788,4	5219,54	1,1

Tabla 58: Resumen de resultados para la estructura de enrame.

4.2.5. Soportes verticales o pies derechos

Tendremos en cuenta las dos situaciones más desfavorables, es decir la compresión máxima, que se producirá cuando las correas y los alambres pórtico trabajen a compresión y esté el cultivo sobre la estructura de enrame. La otra situación más desfavorable será cuando los soportes verticales trabajen a succión, ya que estos no están diseñados para tal, esta situación se producirá cuando las correas y los alambre pórtico trabajen a succión.

4.2.5.1. Combinación de hipótesis para soportes verticales de las naves laterales

Máximo esfuerzo de compresión:

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{a}x} &= 2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_h \cdot \text{sen} \alpha_h + T_{pm} \cdot [\text{sen}(\gamma_1 + \alpha_{pm}) + \text{sen}(\gamma_2 + \alpha_{pm})] = \\
 &= 2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 2 \cdot 5219,54 \cdot \text{sen} 1,1 + 30806,63 \cdot [\text{sen}(18 + 9,22) + \text{sen}(13 + 9,22)] = \\
 &= 29223,42N
 \end{aligned}
 \tag{125}$$

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{i}n} &= 2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_h \cdot \text{sen} \alpha_h + T_{pm} \cdot [\text{sen}(\gamma_1 + \alpha_{pm}) + \text{sen}(\gamma_2 + \alpha_{pm})] = \\
 &= 2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 2 \cdot 5219,54 \cdot \text{sen} 1,1 + 30707,58 \cdot [\text{sen}(18 + 9,25) + \text{sen}(13 + 9,25)] = \\
 &= 29173,11N
 \end{aligned}$$

Mínimo esfuerzo:

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{a}x} &= -2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + T_{pm} \cdot [\text{sen}(\gamma_1 - \alpha_{pm}) + \text{sen}(\gamma_2 - \alpha_{pm})] = \\
 &= -2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 30806,63 \cdot [\text{sen}(18 - 9,22) + \text{sen}(13 - 9,22)] = 3462,07N
 \end{aligned}
 \tag{126}$$

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{i}n} &= -2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + T_{pm} \cdot [\text{sen}(\gamma_1 - \alpha_{pm}) + \text{sen}(\gamma_2 - \alpha_{pm})] = \\
 &= -2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 30707,58 \cdot [\text{sen}(18 - 9,25) + \text{sen}(13 - 9,25)] = 3394,59N
 \end{aligned}$$

4.2.5.2. Combinación de hipótesis para soportes verticales de las naves centrales

Máximo esfuerzo de compresión:

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{a}x} &= 2 \cdot T_{cM} \cdot \text{sen} \alpha_{cM} + 2 \cdot T_h \cdot \text{sen} \alpha_h + 2 \cdot T_{pM} \text{sen}(\gamma + \alpha_{pM}) = \\
 &= 2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 2 \cdot 5219,54 \cdot \text{sen} 1,1 + 2 \cdot 30806,63 \text{sen} \cdot (13 + 9,22) = 26782,17N
 \end{aligned}
 \tag{127}$$

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{i}n} &= 2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_h \cdot \text{sen} \alpha_h + 2 \cdot T_{pm} \text{sen}(\gamma + \alpha_{pm}) = \\
 &= 2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 2 \cdot 5219,54 \cdot \text{sen} 1,1 + 2 \cdot 30707,58 \text{sen} \cdot (13 + 9,25) = 26740,30N
 \end{aligned}$$

Esfuerzo de succión:

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{a}x} &= -2 \cdot T_{cM} \cdot \text{sen} \alpha_{cM} + 2 \cdot T_{pM} \text{sen}(\gamma - \alpha_{pM}) = \\
 &= -2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 2 \cdot 30806,63 \cdot \text{sen} \cdot (13 - 9,22) = 780,04N
 \end{aligned}
 \tag{128}$$

$$\begin{aligned}
 N_{m\acute{i}n} &= -2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_{pm} \text{sen}(\gamma - \alpha_{pm}) = \\
 &= -2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 2 \cdot 30707,58 \cdot \text{sen} \cdot (13 - 9,25) = 731,62N
 \end{aligned}$$

4.2.5.3. Dimensionado

La máxima compresión se produce en las naves laterales, por lo que estas serán las que dimensionemos. Este dimensionado se realizará según el *Documento Básico-Seguridad Estructural en el Acero*.

Para un esfuerzo de compresión de 29223,42 N usaremos un redondo de 8 cm de diámetro exterior y 0,2 cm de espesor de acero S275, por lo que $f_y=275\text{N/mm}^2$.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.924
 \tag{129}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{8}{0,2} = 40
 \tag{130}$$

$$50\varepsilon^2 = 42.57
 \tag{131}$$

Como $\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2 \rightarrow$ Se trata de un perfil **Clase 1: Plástica** Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos. Para la verificación de la seguridad estructural se deberá emplear el método Plástico o Elástico.

La resistencia de las secciones a compresión, $N_{c,Rd}$, será:

$$29223,42 \text{ N} \leq N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd} = 490 \cdot 261.9 = 128333,33 \text{ N} \quad (132)$$

$$\text{Siendo } A=4,9 \text{ cm}^2 \text{ y } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{275}{1,05} = 261.9 \quad (133)$$

Como capacidad a pandeo por flexión, en compresión centrada, de una barra de sección constante:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,44 \cdot 490 \cdot 261.9 = 56466,67 \text{ N} \quad (134)$$

$$29223,42 \text{ N} < N_{b,Rd} = 56466,67 \text{ N}$$

Donde:

$$A = 4,9 \text{ cm}^2.$$

X coeficiente de reducción por pandeo:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{490 \cdot 261.9}{68660,9926}} = 1,37 \quad (135)$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{470}\right)^2 \cdot 2.06 \cdot 10^7 \cdot 74,6 = 68660,99 \text{ N} \quad (136)$$

Siendo $I = 74,6 \text{ cm}^4$ y $L_k = 470 \text{ cm}$ por considerarse biarticulado.

Como $\lambda = 1,37 \rightarrow$ interpolando $\rightarrow \chi = 0,44$

4.2.6. Amagados

En estos elementos se tendrá en cuenta las dos situaciones más desfavorables, es decir cuando trabajen a succión los alambres pórtico y no exista entutorado y cuando las fuerzas que se produzcan sean de presión, ya que estos elementos no están diseñados para tal situación.

4.2.6.1. Combinación de hipótesis

Máximo esfuerzo de succión:

$$\begin{aligned} M_{m\acute{a}x} &= 2 \cdot T_{cM} \cdot \text{sen} \alpha_{cM} + 2 \cdot T_{pM} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pM}) = \\ &= 2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 2 \cdot 30806,63 \cdot \text{sen}(13 + 9,22) = 26581,76N \end{aligned} \quad (137)$$

$$\begin{aligned} M_{m\acute{i}n} &= 2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_{pm} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pm}) = \\ &= 2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 2 \cdot 30707,58 \cdot \text{sen}(13 + 9,25) = 26539,89N \end{aligned}$$

Esfuerzo de compresión:

$$\begin{aligned} M_{m\acute{a}x} &= -2 \cdot T_{cM} \cdot \text{sen} \alpha_{cM} + 2 \cdot T_{pM} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pM}) = \\ &= -2 \cdot 17182,77 \cdot \text{sen} 5,48 + 2 \cdot 30806,63 \cdot \text{sen}(13 - 9,22) = 801,5N \end{aligned} \quad (138)$$

$$\begin{aligned} M_{m\acute{i}n} &= -2 \cdot T_{cm} \cdot \text{sen} \alpha_{cm} + 2 \cdot T_{pm} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pm}) = \\ &= -2 \cdot 17168,69 \cdot \text{sen} 5,49 + 2 \cdot 30707,58 \cdot \text{sen}(13 - 9,25) = 731,62N \end{aligned}$$

4.2.6.2. Dimensionado

Usando dos cables acerados de 4mm de diámetro y una resistencia de 137200 N/cm². La tensión y el coeficiente de seguridad resultantes serán:

$$\sigma = \frac{M}{A} = \frac{26581,76}{0,25} = 106327,04 \text{ N/cm}^2 \quad (139)$$

$$\gamma = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{137200}{106327,04} = 1,29 \quad (140)$$

4.2.7. Tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico

La hipótesis de carga máxima tanto para la compresión en los pies inclinados como para la tracción en los vientos, se produce cuando actúan las cargas de presión sobre la correa y el alambre pórtico y la estructura de enrame está cargada.

La hipótesis de carga para la compresión mínima en el pie inclinado y la succión mínima en los vientos, se produce cuando actúan las cargas de succión sobre el alambre pórtico y las correas y la estructura de enrame no está cargada.

La presión dinámica, calculada anteriormente vale $q_b = 420 \text{ N/m}^2$.

Para el cálculo del coeficiente de exposición, nos basamos en el *Anejo D del DB-SE Acciones en la edificación: Tabla D.1 Parámetros verticales*.

Interpolando en la tabla, nos resultan los siguientes coeficientes de presión:

A (m ²)	h/d	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
6.8	$\frac{4.7}{45} = 0.10 \leq 0.25$	-	-	-	0.764	-0.3

Tabla 59: Tabla D.1 Parámetros verticales Coeficiente de exposición en tensores y soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico. [Fragmento] (Fuente: Anejo D del DB-SE AE).

El coeficiente de exposición será 1.64, por lo que la carga para el caso de presión será 526.24 N/m^2 y en el caso de succión -206.64 N/m^2 .

4.2.7.1. Combinación de hipótesis

Mínimo esfuerzo de tracción y máximo compresión (con viento a compresión y con enrame)

$$\begin{aligned}
 & -N_M \cdot \cos a + T_{pM} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{pM}) + T_h \cdot \cos \alpha_h - T_{cM} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pM}) + q = 0 \\
 & -N_M \cdot \cos 60 + 30806,63 \cdot \cos(18 - 9,22) + 5219,54 \cdot \cos 1.1 - 17182,77 \cdot \text{sen}(18 - 5,48) \\
 & + 526,24 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_M = 71035,50N
 \end{aligned} \tag{141}$$

$$\begin{aligned}
 & -N_m \cdot \cos a + T_{pm} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{pm}) + T_h \cdot \cos \alpha_h - T_{pm} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pm}) + q = 0 \\
 & -N_m \cdot \cos 60 + 30707,58 \cdot \cos(18 - 9,25) + 5219,54 \cdot \cos 1.1 - 17168,69 \cdot \text{sen}(18 - 5,49) \\
 & + 526,24 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_m = 70856,58N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -T_{vM} + N_M \cdot \text{sen} a + T_{pM} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pM}) - T_{cM} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{pM}) - T_h \cdot \text{sen} \alpha_h = 0 \\
 & -T_{vM} + 71035,5 \cdot \text{sen} 60 + 30806,63 \cdot \text{sen}(18 - 9,22) - 17182,77 \cdot \cos(18 - 5,48) \\
 & - 5219,54 \cdot \text{sen} 1.1 = 0 \rightarrow T_{vM} = 49346,52N
 \end{aligned} \tag{142}$$

$$\begin{aligned}
 & -T_{vm} + N_m \cdot \text{sen} a + T_{pm} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{pm}) - T_{cm} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{pm}) - T_h \cdot \text{sen} \alpha_h = 0 \\
 & -T_{vm} + 70856,58 \cdot \text{sen} 60 + 30707,58 \cdot \text{sen}(18 - 9,25) - 17168,69 \cdot \cos(18 - 5,49) \\
 & - 5219,54 \cdot \text{sen} 1.1 = 0 \rightarrow T_{vm} = 49173,66N
 \end{aligned}$$

Máximo esfuerzo de tracción y mínimo de compresión (con viento a succión y sin enrame)

$$\begin{aligned}
 & -N_M \cdot \cos a + T_{pM} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{pM}) - T_{cM} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pM}) - q = 0 \\
 & -N_M \cdot \cos 60 + 30806,63 \cdot \cos(18 + 9,22) - 17182,77 \cdot \text{sen}(18 + 5,48) - 206,64 \cdot 6,8 = 0 \\
 & \rightarrow N_M = 38287,48N
 \end{aligned} \tag{143}$$

$$\begin{aligned}
 & -N_m \cdot \cos a + T_{pm} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{pm}) - T_{cm} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pm}) - q = 0 \\
 & -N_m \cdot \cos 60 + 30707,58 \cdot \cos(18 + 9,25) - 17168,69 \cdot \text{sen}(18 + 5,49) - 206,64 \cdot 6,8 = 0 \\
 & \rightarrow N_m = 38102,32N
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vM} + N_M \cdot \text{sen} \alpha + T_{pM} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pM}) + T_{cM} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{pM}) = 0 \\
& -T_{vM} + 38287,48 \cdot \text{sen} 60 + 30806,63 \cdot \text{sen}(18 + 9,22) + 17182,77 \cdot \cos(18 + 5,48) = 0 \\
& \rightarrow T_{vM} = 63009,09 N
\end{aligned} \tag{144}$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vm} + N_m \cdot \text{sen} \alpha + T_{pm} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{pm}) + T_{cm} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{pm}) = 0 \\
& -T_{vm} + 38102,32 \cdot \text{sen} 60 + 30707,58 \cdot \text{sen}(18 + 9,25) + 17168,69 \cdot \cos(18 + 5,49) = 0 \\
& \rightarrow T_{vm} = 62803,69 N
\end{aligned}$$

4.2.7.2. Dimensionado de los soportes

Para una compresión con $N = 71035,5 \text{ N}$ usaremos un perfil rectangular de acero de $4 \times 8 \text{ cm}$ y $0,4 \text{ cm}$ de espesor de acero S275, por lo que $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.924 \tag{145}$$

$$c = 135 - 2 \cdot t = 135 - 2 \cdot 4 = 127 \text{ mm} \tag{146}$$

$$\frac{c}{t} = 31,75 \tag{147}$$

$$\frac{c}{t} < \frac{369\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{369 \cdot 0.924}{13 \cdot 0.5 - 1} = 62.24 \tag{148}$$

Como $\frac{c}{t} \leq 62.24 \rightarrow$ Se trata de un perfil **Clase 1: Plástica** Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos. Para la verificación de la seguridad estructural se deberá emplear el método Plástico o Elástico.

Resistencia de las secciones a compresión

La resistencia de las secciones a compresión, $N_{c,Rd}$, será:

$$N_{c,Rd} = 71035,5 \text{ N} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 233619,048 \text{ N} \tag{149}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \quad (150)$$

Capacidad a pandeo

Como capacidad a pandeo por flexión, en compresión centrada, de una barra de sección constante, puede tomarse:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 84102,86N \quad (151)$$

$$71035,5 \text{ N} < N_{b,Rd} = 84102,86 \text{ N}$$

Siendo:

$$A = 892 \text{ mm}^2.$$

χ coeficiente de reducción por pandeo:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 1,61 < 2 \quad (152)$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I = 90220,52N \quad (153)$$

Siendo:

$$I = 71 \text{ cm}^4;$$

$$L_k = 400 \text{ cm por considerarse biarticulado.}$$

$$\text{Como } \lambda = 1,61 \rightarrow \chi = 0,36$$

4.2.7.3. Dimensionado de los tensores

El esfuerzo de tracción es $T_v = 63009,09 \text{ N}$ y un ángulo $\alpha = 33^\circ$.

Los tensores se dimensionaran con dos redondos de acero de 14 mm de diámetro según la figura siguiente:

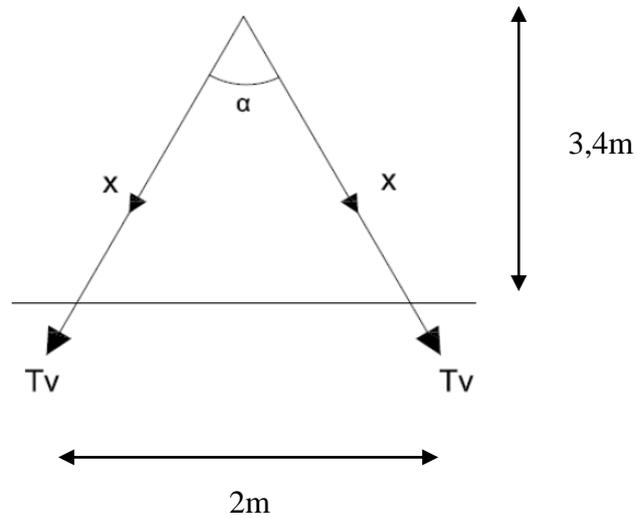


Figura 43: Esquema de carga de los tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico.

La tracción en cada redondo será:

$$X = \frac{T_v}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{63009,09}{2 \cdot \cos \frac{33}{2}} = 32857,63N \quad (154)$$

Resistencia de las secciones a tracción

Como resistencia de las secciones a tracción, $N_{t,Rd}$, puede emplearse la plástica de la sección bruta sin superar la última de la sección neta:

$$N_{t,Rd} = 32857,63N \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 154mm^2 \cdot 261,9 N/mm^2 = 40333,33N \quad (155)$$

$$N_{t,Rd} = 32857,63N \leq N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{neta} \cdot f_{ud} = 0,9 \cdot 154mm^2 \cdot 328 N/mm^2 = 45460,8N \quad (156)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \quad f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{410}{1,25} = 328 \quad (157) \text{ y } (158)$$

4.2.8. Tensores y soportes perimetrales de extremos de correas

La hipótesis de carga máxima tanto para la compresión en los pies inclinados como para la tracción en los vientos, se produce cuando actúan las cargas de presión sobre la correa.

La hipótesis de carga para la compresión mínima en el pie inclinado y la succión mínima en los viento, se produce cuando actúan las cargas de succión sobre las correas.

La presión dinámica calculada anteriormente vale $q_b = 420 \text{ N/m}^2$.

Para el cálculo del coeficiente de exposición, nos basamos en el *Anejo D del DB-SE Acciones en la edificación: Tabla D.1 Parámetros verticales*.

Interpolando en la tabla, nos resultan los siguientes coeficientes de presión:

A (m ²)	h/d	Zona (según figura)				
		A	B	C	D	E
6.8	$\frac{4.7}{45} = 0.10 \leq 0.25$	-	-	-	0.764	-0.3

Tabla 60: Tabla D.1 Parámetros verticales Coeficiente de exposición en tensores y soportes perimetrales de extremos de correas. [Fragmento] (Fuente: Anejo D del DB-SE AE).

El coeficiente de exposición será 1.64, por lo que la carga para el caso de presión será 526.24 N/m^2 y en el caso de succión -206.64 N/m^2 .

4.2.8.1. Combinación de hipótesis

Máximo esfuerzo de tracción y compresión

$$-N_M \cdot \cos a + T_{cm} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{cm}) + q_p = 0$$

$$-N_M \cdot \cos 69 + 17182,77 \cdot \cos(20 - 5,48) + 526,24 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_M = 56401,21N$$

(159)

$$-N_m \cdot \cos a + T_{cm} \cdot \cos(\gamma - \alpha_{cm}) + q_p = 0$$

$$-N_m \cdot \cos 69 + 17168,69 \cdot \cos(20 - 5,49) + 526,24 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_m = 56365,27N$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vM} + N_M \cdot \text{sen} a + T_{cM} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{cM}) = 0 \\
& -T_{vM} + 56401,21 \cdot \text{sen} 69 + 17182,77 \cdot \text{sen}(20 - 5,48) = 0 \rightarrow T_{vM} = 56963,10N \\
\end{aligned} \tag{160}$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vm} + N_m \cdot \text{sen} a + T_{cm} \cdot \text{sen}(\gamma - \alpha_{cm}) = 0 \\
& -T_{vm} + 56365,27 \cdot \text{sen} 69 + 17168,69 \cdot \text{sen}(20 - 5,49) = 0 \rightarrow T_{vm} = 56923,12N
\end{aligned}$$

Mínimo esfuerzo de tracción y compresión

$$\begin{aligned}
& -N_M \cdot \cos a + T_{cM} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{cM}) - q_s = 0 \\
& -N_M \cdot \cos 69 + 17182,77 \cdot \cos(20 + 5,48) - 206,64 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_M = 39362,74N \\
\end{aligned} \tag{161}$$

$$\begin{aligned}
& -N_m \cdot \cos a + T_{cm} \cdot \cos(\gamma + \alpha_{cm}) - q_s = 0 \\
& -N_m \cdot \cos 69 + 17168,69 \cdot \cos(20 + 5,49) - 206,64 \cdot 6,8 = 0 \rightarrow N_m = 39323,67N
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vM} + N_M \cdot \text{sen} a + T_{cM} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{cM}) = 0 \\
& -T_{vM} + 39362,74 \cdot \text{sen} 69 + 17182,77 \cdot \text{sen}(20 + 5,48) = 0 \rightarrow T_{vM} = 44140,24N \\
\end{aligned} \tag{162}$$

$$\begin{aligned}
& -T_{vm} + N_m \cdot \text{sen} a + T_{cm} \cdot \text{sen}(\gamma + \alpha_{cm}) = 0 \\
& -T_{vm} + 39323,67 \cdot \text{sen} 69 + 17168,69 \cdot \text{sen}(20 + 5,49) = 0 \rightarrow T_{vm} = 44100,12N
\end{aligned}$$

4.2.8.2. Dimensionado de los soportes

Para una compresión con $N = 56401,21$ N y succión con $T_v = 56963,1$ N usaremos un perfil rectangular de acero de 5 x 7 cm y 0,4 cm de espesor de acero S275, por lo que $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,924 \tag{163}$$

$$c = 135 - 2 \cdot t = 135 - 2 \cdot 4 = 127 \text{ mm} \tag{164}$$

$$\frac{c}{t} = 31,75 \quad (165)$$

$$\frac{c}{t} < \frac{369\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{369 \cdot 0.924}{13 \cdot 0.5 - 1} = 62.24 \quad (166)$$

Como $\frac{c}{t} \leq 62.24 \rightarrow$ Se trata de un perfil **Clase 1: Plástica** Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos. Para la verificación de la seguridad estructural se deberá emplear el método Plástico o Elástico.

Resistencia de las secciones a compresión

La resistencia de las secciones a compresión, $N_{c,Rd}$, será:

$$N_{c,Rd} = 56401,21 N \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 233619,05 N \quad (167)$$

Capacidad a pandeo

Como capacidad a pandeo por flexión, en compresión centrada, de una barra de sección constante, puede tomarse:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,30 \cdot 892 \cdot 261.9 = 70786,57 N \quad (168)$$

$$56401,21 N < N_{b,Rd} = 70786.57 N$$

Siendo:

$$A = 892 \text{ mm}^2.$$

χ coeficiente de reducción por pandeo:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{892 \cdot 261.9}{89107.6}} = 1.67 < 2 \quad (169)$$

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k}\right)^2 \cdot E \cdot I = \left(\frac{\pi}{370}\right)^2 \cdot 2.06 \cdot 10^7 \cdot 60 = 89107.6 N \quad (170)$$

Siendo:

$$I=60 \text{ cm}^4;$$

$L_k = 370 \text{ cm}$ por considerarse biarticulado.

$$\text{Como } \lambda = 1.67 \rightarrow \chi = 0,30$$

4.2.8.3. Dimensionado de los tensores

El máximo esfuerzo que soportarán estos elemento será $T_v = 56963,1 \text{ N}$.

En el caso de los tensores que vienen en la dirección de las correas, tenemos dos configuraciones, para el caso de los que vienen de correas y amagados, será igual que en caso anterior, con $\alpha = 33^\circ$:

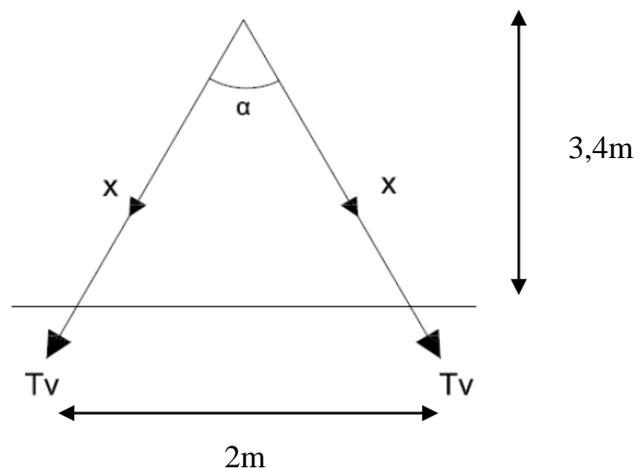


Figura 44: Esquema 1 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas.

La tracción en cada redondo será:

$$X = \frac{T_v}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{56963,1}{\cos \frac{33}{2}} = 29704,8 \text{ N} \quad (171)$$

En el caso de los tensores que vienen de las cabezas de las raspas, su configuración será como indica la figura siguiente, con $\alpha=16,5^\circ$:

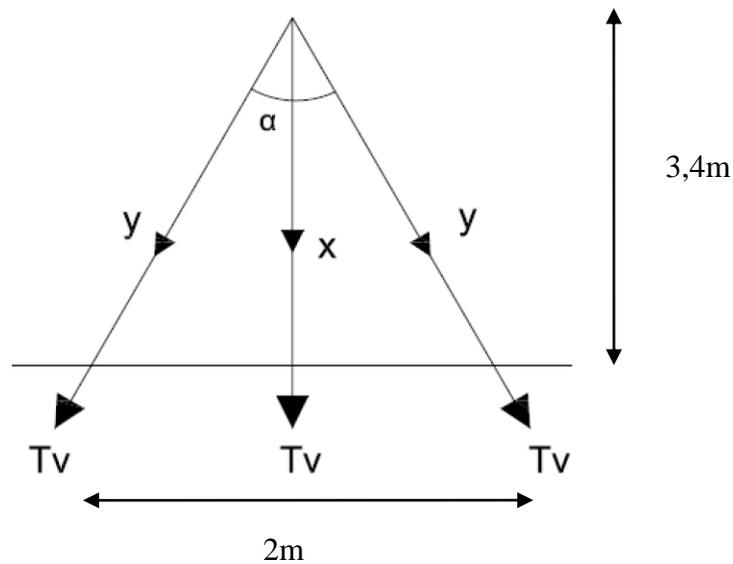


Figura 45: Esquema 2 de carga de los tensores perimetrales de extremos de correas

Hilo central:

$$X(N) = \frac{T_v(N)}{1 + 2 \cdot \cos^3 \alpha} = 20066,82 \text{ N} \quad (172)$$

Hilos laterales:

$$Y(N) = X(N) \cdot \cos^2 \alpha = 18448,14 \text{ N} \quad (173)$$

De acuerdo con lo expuesto, lo que lo dimensionaremos para el caso más desfavorable que es el primero, con una tensión de 29704,8 N. Se usarán redondos macizos de 14 mm de diámetro.

Resistencia de las secciones a tracción

Como resistencia de las secciones a tracción, $N_{t,Rd}$, puede emplearse la plástica de la sección bruta sin superar la última de la sección neta:

$$N_{t,Rd} = 29704,8 \text{ N} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 154 \text{ mm}^2 \cdot 261,9 \text{ N/mm}^2 = 40333,33 \text{ N} \quad (174)$$

$$N_{t,Rd} = 29704,8N \leq N_{u,Rd} = 0.9 \cdot A_{neta} \cdot f_{ud} = 0.9 \cdot 154mm^2 \cdot 328 N/mm^2 = 45460,8N \quad (175)$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{275}{1,05} = 261.9 \quad f_{ud} = \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{410}{1,25} = 328 \quad (176) \text{ y } (177)$$

4.2.9 Resumen de elementos calculados

	Elemento empleado	Máx. esfuerzo
Pies derechos	Redondo 9 cm de diámetro y 0.5 cm de espesor	29223,42 N
Amagados	2 cables acerados de 4 mm de diámetro	26581,76 N
Soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico (pies inclinados)	Perfil rectangular de 4x8 cm y 0,4 cm de espesor	71035,50 N
Tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico (vientos)	Redondo macizo de 1,4 cm de diámetro	63009,09 N
Soportes perimetrales de extremos de correas (pies inclinados)	Perfil rectangular de 5x7 cm y 0,4 cm de espesor	56401,21 N
Tensores perimetrales de extremos de correas (vientos)	Redondo macizo de 1,4 cm de diámetro	56963,10 N

Tabla 61: Resumen de elementos verticales calculados.

Estos serían los valores resultantes para cada elemento, no obstante, a la hora de construir el invernadero los elementos se tratarían de homogeneizar, quedando finalmente:

	Elemento empleado
Pies derechos	Redondo 9 cm de diámetro y 0.5 cm de espesor
Amagados	2 cables acerados de 4 mm de diámetro
Soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico (pies inclinados)	Perfil rectangular de 5x7 cm y 0,4 cm de espesor
Tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico (vientos)	Redondo macizo de 1,4 cm de diámetro
Soportes perimetrales de extremos de correas (pies inclinados)	Perfil rectangular de 4x8 cm y 0,4 cm de espesor
Tensores perimetrales de extremos de correas (vientos)	Redondo macizo de 1,4 cm de diámetro

Tabla 62: Elementos finales empleados en la estructura vertical.

4.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se presenta una comparación de los resultados del dimensionamiento de los distintos elementos resistentes obtenidos por el método analítico y los empleados en el invernadero construido:

	Construidos	Calculados
Correas superiores e inferiores	Trenza galvanizada de 3x3 mm	Trenza acerada de 2x3mm
Locas	Trenza galvanizada de 2x2,5 mm	Trenza acerada de 2x3mm
Alambre pórtico superior e inferior	Trenza galvanizada de 3x3 mm	Trenza acerada de 3x3mm
Malla superior e inferior	Alambre acerado triple galvanizado de 2,5 mm	Alambre dulce de 4,4 mm
Estructura de enrame	Trenza galvanizada de 2x3 mm	Alambre retrofilado sobregalvanizado de 3 mm
Pies derechos	Redondo hueco 8 cm de diámetro y 1,7 cm de espesor	Redondo 8 cm de diámetro y 2 cm de espesor
Amagados	Trenza de 3x3 mm galvanizada	2 cables acerados de 4 mm de diámetro
Pies inclinados	Perfil rectangular hueco de acero de 10 x 5 cm y 0,3 cm de espesor	Perfil rectangular de 4x8 cm y 0,4 cm de espesor
Vientos	Perfil redondo hueco de 3 cm de diámetro, 1,2 mm de espesor	Redondo macizo de 1,4 cm de diámetro

Tabla 63: Comparación de elementos empleados en la construcción y calculados.

De forma general se observa que no existen diferencias significativas, en todos los casos existe similitud entre el elemento seleccionado y sus dimensiones, se van a estudiar de forma individual cada uno de estos resultados.

En el invernadero construido se distingue entre correas, que serían las que irían en las cabezas de los pies derechos y de los amagados; y locas, que corresponderían a las que van entre éstos dos. En el invernadero calculado no se ha hecho esta distinción sino que se han calculado todas por igual, ya que no es lógico diferenciarlos desde el punto de vista del cálculo, pues se encuentran sometidas a las mismas cargas. En el caso de las correas superiores e inferiores, la trenza estaría sobredimensionada; en el caso de las locas, la trenza del invernadero construido no sería suficiente para soportar las cargas que afectarían, teóricamente a la estructura.

En el alambre pórtico se ha empleado en la construcción el mismo elemento que se ha obtenido en el cálculo.

En la malla se ha empleado alambre acerado triple galvanizado y en el cálculo alambre normal o dulce, esta diferencia hace que las dimensiones sean menores en el primer caso respecto al segundo. No obstante, serían elementos equivalentes en cuanto a su resistencia a rotura.

La estructura de enrame también se encuentra sobredimensionada, no sería necesario emplear un elemento de esa resistencia a rotura, con el alambre retrofilado sobre galvanizado quedarían cubiertas las necesidades para las cargas descritas en el cálculo. El dimensionado de este elemento es más subjetivo que el resto, ya que depende del tipo de hortaliza que se entutore, estudios realizados por Pérez et al., en 1992, cifran esta carga en 10 kp/m^2 como máximo.

En los pies derechos se ha empleado un perfil redondo hueco en ambos casos similar, en el caso del invernadero construido usa un perfil que no queda recogido en la normativa *NBE EA-95. Estructuras de acero en edificación. Anejos de la Parte 2. Tabla 2.A2.1. Perfiles huecos redondos.*

Para los amagados se empleó una trenza acerada de 3x3 mm, según las cargas calculadas, esta trenza no es suficiente, se tendría que aumentar el área para obtener una mayor resistencia, se ha optado por dos cables acerados de 4 mm de diámetro, así aumentamos la superficie y además poseen una mayor resistencia a rotura.

En el caso de los soportes perimetrales de extremos de alambre pórtico y de correas (pies inclinados) se ha empleado en ambos casos un perfil rectangular hueco, quedando sobredimensionado en el invernadero construido.

Los tensores perimetrales de extremos de alambre pórtico y de correas (vientos) se han dimensionado con un perfil redondo hueco que no queda recogido en la normativa *NBE EA-95. Estructuras de acero en edificación. Anejos de la Parte 2. Tabla*

2.A2.1. *Perfiles huecos redondos.* Para el cálculo se ha optado por un perfil redondo macizo con una superficie superior al construido, interpolando el perfil del invernadero construido en las tablas de la normativa, comprobamos que no es suficiente para soportar las cargas correspondientes a este elemento.

Ahora pasaremos a comparar los resultados obtenidos en la medida de los esfuerzos con los del cálculo de los mismos, estos esfuerzos corresponden a los máximos observados a lo largo de los dos años y a los máximos obtenidos del cálculo:

	Medidos	Calculados
Correas superiores e inferiores	21092,41 N	17182,77 N
Locas	15834,88 N	17182,77 N
Alambre pórtico superior e inferior	10252,62 N	30806,63 N
Pies derechos	15568,97 N	29223,42 N

Tabla 64: Comparación de esfuerzos medidos y calculados.

Cabe destacar que se observan grandes diferencias en algunas situaciones y sorprendentemente en algunos elementos, aplicando el C.T.E., no quedarían cubiertas las necesidades, pero vamos a pasar a estudiarlos de forma individual.

En el caso de las correas superiores e inferiores vemos como los esfuerzos medidos son muy superiores a los obtenidos en el cálculo.

Para las locas, existe una gran similitud entre los resultados.

En el alambre pórtico superior e inferior, los resultados obtenidos del cálculo triplican los observados en las mediciones.

La compresión registrada en los pies derechos es la mitad de la obtenida en el cálculo.

4.4 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Observando las tendencias del sistema, donde el invernadero “raspa y amagado” seguirá siendo uno de los más construidos en la provincia, es fundamental que se realice un diseño eficiente de la estructura. Para ello, se ha de partir de que cada componente del invernadero es de vital importancia para mantener la estructura en caso de fuertes vientos, lluvia, nieve, etc., si falla alguno de ellos, la estructura caería por “efecto dominó”.

Observando los materiales empleados en el invernadero construido, vemos que aparecen dos elementos que según los cálculos realizados, adaptando el nuevo Código Técnico de la Edificación, no cumplirían con las comprobaciones de seguridad. En los dos casos se trata de elementos de la estructura vertical que trabajan a tracción, amagados y tensores perimetrales.

Como se ha adelantado existen otros elementos que están sobredimensionados ya que, de acuerdo con lo expuesto por Pérez *et al.*, 1991, “los elementos que estaban sobredimensionados lo siguen estando ya que nadie se ha preocupado de aquellos que no fallan”.

Esta situación se daría en las correas, aunque en baja medida; otro caso sería el alambre del entutorado, que como se ha expuesto es el elemento más subjetivo a la hora de calcularlo, ya que depende del peso de las hortalizas.

El tercer elemento sobredimensionado es el soporte perimetral o pie inclinado, éste aportaría casi el doble de la resistencia que aporta el calculado. Los pies inclinados son elementos que en general trabajan a compresión, pero están dotados de una pequeña cimentación que hace que si se aplica sobre ellos cierta tracción puedan soportarla, si esto ocurriera amortiguaría los esfuerzos que se dieran en las uniones con los tensores, paliando en cierta medida el déficit existente en los tensores perimetrales.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la medida y cálculo de los esfuerzos, la mayor tensión se ha observado en las correas, al igual que expone Pérez *et al.*, 1991, "la tensión inicial de las correas es muy grande, por lo que lleva a necesitar secciones mayores", quedando este valor por encima del calculado y donde no quedarían cubiertas las necesidades aplicando el C.T.E. En contraposición a los resultados obtenidos del cálculo, donde las mayores tensiones se darían en los alambres pórtico y que en comparación con los datos medidos estarían éstos muy por debajo de los calculados.

En cuanto a la compresión, se han registrados esfuerzos en torno a la mitad de los obtenidos en el cálculo, resultados más previsibles que el resto.

Si combinamos ambos resultados comunes, vemos que aquellos elementos que no cumplirían con las exigencias del C.T.E., como son las locas los esfuerzos observados estarían por debajo de los calculados, por lo que se justifica que la estructura no haya fallado con este elemento; aquellos elementos que están sobredimensionados, como son los pies derechos donde se han registrados valores aún menores que los calculados, podemos decir de éste elemento con total seguridad que estaría sobredimensionado, en el caso de las correas, estarían sobredimensionadas de forma justificada, pues los esfuerzos registrados están por encima de los obtenidos en el cálculo.

Esto es un ejemplo claro de cómo han ido evolucionando las estructuras de los invernaderos y en los que, principalmente, como expone Castilla, 2005 "en un invernadero convencional una estructura funcional, que cumpla con la misión principal de soporte del material de cerramiento y de las cargas previsibles (nieve, viento, cultivos entutorados e instalaciones adosadas) debe, primordialmente, evitar los sombreos y ser de costes de construcción y mantenimiento lo más barato posible y acordes con sus prestaciones agronómicas" por lo tanto los resultados obtenidos en el cálculo y los medidos no están en armonía, en todos los casos.

Centrándonos en los esfuerzos medidos, se ha observado una ciclicidad regular anual, con un pico en los meses de invierno; también estos resultados responden a una pauta horaria, donde a horas centrales del día encontramos los mínimos y a primeras

horas de la mañana los máximos. Esta ciclicidad anual y diaria es debida, probablemente, a la variación de temperatura, en consonancia con los resultados de Von Elsner *et al.*, 2000-a, "los factores climáticos más importantes que influyen en el diseño estructural y la calidad del microclima interior del invernadero son la temperatura, la radiación solar global, la precipitación y la intensidad del viento. Las condiciones climáticas adversas son la causa más común de colapso de los invernaderos y, por lo tanto, para la realización de un diseño eficiente debe ir de acuerdo al clima local".

A lo largo de los dos años de ensayo, se han detectado grandes variaciones de tensión para cada elemento estudiado, en los invernaderos tipo Almería los cables acerados tensados sufren la continua agresión del medio ambiente (viento, altas variaciones de temperatura, etc.). "Las consecuencias directas de estos agentes son las modificaciones geométricas y las características mecánicas de los mismos, esto induce una notable reducción de la capacidad portante de los cables con el tiempo y a veces se traducen en su ruptura parcial" (Elachachi *et al.*, 2005).

De acuerdo a los resultados analizados, queda en entredicho la hipótesis de que para calcular el invernadero se deben considerar las mismas cargas para elementos iguales, pues en ningún caso existe relación estadísticamente significativa.

Observando las fases que se suceden en la construcción de un invernadero, en la fase tres y cinco según Pérez *et al.*, 1991, "fase tres: el hilo de la malla estructural (trenza acerada) se tensa mediante tráctel en un extremo, manteniendo el otro fijo mediante un nudo; y fase cinco: Colocación del amagado: con alambre trenzado dulce se hace bajar el alambre pórtico (con ayuda del tráctel). Esta fase, produce igualmente un corrimiento del nudo". Como vemos es una técnica artesanal en la que el operario es el encargado de aplicar la tensión inicial en las cordadas y en los amagados, modificándose los esfuerzos de la estructura, por lo que estas tensiones serán diferentes para elementos iguales. En este sentido, se podría justificar el hecho de que, en los resultados analizados, no exista relación estadísticamente significativa entre elementos iguales.

Otro de los resultados extraído del proyecto es que, en función de la zona del invernadero en la que nos encontremos, el comportamiento de los esfuerzos será distinto. Según Mistriotis *et al.*, 2002, “los coeficientes aerodinámicos externos son influenciados por la posición o el tamaño de las ventanas y los coeficientes aerodinámicos internos y las presiones totales de viento en la estructura dependen fundamentalmente de la configuración de las ventanas”.

“Dado que el viento es la causa más habitual de fallo en la estructura de los invernaderos, es éste el que determina en gran medida el diseño de las estructuras. Por esta razón, la mejor estimación posible de las cargas de viento es fundamental para el diseño óptimo de estructuras de invernadero” (Mistriotis *et al.*, 2002).

En el invernadero estudiado, la zona más problemática a la hora diseñarlo será la norte, noroeste y noreste, según el tipo y ubicación de las aberturas; los vientos predominantes, siendo éstos SSW y SW en primavera, otoño y verano, y N, NNW y NNE en invierno (Capel, 1990); y las temperaturas extremas, ya que “cada uno de los mencionados factores climáticos genera una combinación de efectos que tienen una influencia favorable o desfavorable en la funcionalidad y la estabilidad del invernadero en función de las circunstancias locales particulares” (Von Elsner *et al.*, 2000-a).

Observando la evolución histórica de los invernaderos, se puede entender como éstos han llegado a construirse sin un cálculo previo, ya que partiendo de la estructura de los parrales y a través de la experiencia, se ha conseguido diseñar un invernadero competente. No obstante, sería recomendable la realización del diseño antes de su construcción, tal y como explica Robertson *et al.*, 2002 “debido al bajo margen de seguridad empleado en el diseño, es especialmente importante que la determinación de las cargas sea precisa y se relacione directamente con el tipo de estructura y las características especiales del invernadero”, ya que así se mejorarían aquellos elementos que no cumplen la normativa y se ahorraría al no instalar componentes sobredimensionados.

5. CONCLUSIONES

A continuación se pasan a enumerar las distintas conclusiones extraídas de este trabajo:

- I. En el invernadero estudiado existen elementos de la estructura resistente que no cumple las condiciones de seguridad exigidas por el C.T.E. de 2006.
- II. Se han encontrado en el invernadero construido, elementos resistentes sobredimensionados respecto a lo exigido en el C.T.E. de 2006.
- III. Se observa como deficiencias resistentes en algunos elementos, se suplen con el refuerzo de la estructura mediante otros elementos, en lugar de aumentar la resistencia del primero.
- IV. Aparecen elementos donde los esfuerzos observados superan los calculados aplicando el C.T.E. de 2006, con el que no quedarían cubiertas las necesidades.
- V. Existen otros elementos donde los esfuerzos medidos están muy por debajo de los obtenidos en el cálculo.
- VI. En la medida de los esfuerzos, se ha observado una ciclicidad anual y diaria de los mismos.
- VII. Queda en entredicho la hipótesis de que para calcular el invernadero se deben considerar las mismas cargas para elementos iguales, pues en ningún caso existe relación estadísticamente significativa.
- VIII. El comportamiento de los esfuerzos será distinto principalmente dependiendo de la zona del invernadero en la que nos encontremos. En el invernadero estudiado, la zona más problemática a la hora diseñarlo será la norte, noroeste y noreste.

6. BIBLIOGRAFÍA

BOSQUE, J. (1979). *Andalucía. Estudios de Geografía Agraria*. Ed. Aljibe: 197 pp.

BRIASSOULIS, O., WAAIJENBERG, D., GRATRAUD, J., VON ELSNER, B. (1997). "Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 1: General overview". *Journal Agricultural Engineering Research*, 67: 81-96.

CALATRAVA, J. (1998). "Eficiencia productiva y adopción de tecnologías en invernaderos almerienses: un análisis mediante funciones de producción frontera estocástica". Congreso. Universidad politécnica de Valencia.

CAPEL MOLINA, J. J. (1977). "El clima de la provincia de Almería". Colegio Universitario de Almería: Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Almería. Almería.

CASTILLA, N. (2005). *Invernaderos de plástico. Tecnología y Manejo*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

CERVERA RUIZ, M. y BLANCO DÍAZ, E. (2001). *Mecánica de estructuras. Libro I: Resistencia de materiales*. Ed. UPC-Politecn. Barcelona.

ELACHACHI, S.M., BREYSSEA, D., YOTTEA, S., CREMONAC, C. (2005). "A probabilistic multi-scale time dependent model for corroded structural suspension cables". *Probabilistic Engineering Mechanics*, 21: 235–245.

GÁLVEZ, F., ATIENZA, J.M., RUIZ, J. y ELICES, M. (2001). "Influencia de la velocidad de deformación en el comportamiento mecánico de alambres de acero trefilados". *Anales de Mecánica de la Fractura*. Vol. 18. 185:189.

GERE, J.M. (2006). *Mecánica de materiales*. Ed. Thomson. México.

MISTRITIS, A. y BRIASSOULIS, D. (2002). "Numerical estimation of the internal and external aerodynamic coefficients of a tunnel greenhouse structure with openings". *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 191–205.

MENDIZÁBAL, M. (1969). "Posibilidades Agrícolas de los Plásticos en la Provincia de Almería". Actas de las I Jornadas Regionales de Plásticos en Agricultura, CEPLA: 11-17.

MOLINA AÍZ, F. D., VALERA MARTINEZ, D.L., GIL RIBES, A. J. y ÁLVAREZ MARTÍNEZ, A. J. (2003). "Evolución de los invernaderos en la provincia de Almería". Curso de Control Climático en Invernaderos. Ed. Universidad de Almería.

MUÑOZ, A. (1991). *Recursos Naturales y Crecimiento Económico en el "Campo de Dalías"*. Ed. Agencia de Medio Ambiente de la junta de Andalucía: 556 pp.

NAVARRO CASTILLO, J.A. (2001) "Evolución y mejoras aplicadas a la tecnología de la producción integrada en los invernaderos de Almería". El sector agrario y agroalimentario de Almería ante el siglo XXI: evolución y perspectiva de nuestra agricultura en el año 20001: producción integrada : incidencia de las nuevas normativas de residuos de plaguicidas sobre la horticultura almeriense, Ed. Instituto de Estudios Almerienses. págs. 221-246.

NAVARRO CASTILLO, J.A. (1998) "Evolución de los invernaderos de Almería. Parte I". Horticultura, 133: 13-18.

PALOMAR, F. (1994). "XXX Años de Invernaderos en Almería". Poniente, nº extra de marzo de 1994: 43-113.

PEÑA, A., PÉREZ, F., VALERA, D.L., AYUSO, J. y PÉREZ, J. (2002) "Análisis de cimentaciones a tracción en invernaderos y aproximación al cálculo de las mismas mediante elementos finitos". Informes de la Construcción, vol. 53, nº 477:47-57.

PÉREZ GARCÍA, F., MANZANO AGUGLIARO, F., AYUSO MUÑOZ, J., CABALLERO, A., DE LA CRUZ FERNÁNDEZ, J.L. y LÓPEZ HERNANDEZ, M. (1992). Invernaderos tipo parral en la provincia de Almería. Tecnología, cálculo constructivo y optimización. Ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Córdoba. 163 pp.

PÉREZ PARRA, J. y CÉSPEDES, A. (2008) “Tecnología de los invernaderos mediterráneos: evolución de la tecnología de los invernaderos de bajo consumo energético de Almería”. Ed. Estación Experimental de la Fundación Cajamar.

ROBERTSON, A. P., ROUX, PH., GRATRAUD, J., SCARASCIA, G., CASTELLANO, S., DUFRESNE DE VIREL, M. y PALIER, P. (2002). “Wind pressures on permeably and impermeably-clad structures”. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90: 461–474.

RUIZ RULL, E. M. (2008). “Cálculo estructural de un invernadero tipo *Almería* siguiendo el nuevo Código Técnico de la Edificación”. Proyecto fin de carrera. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

SERRANO CERMEÑO, Z. (1994). *Construcción de Invernaderos*. Ed. Grupo Mundi-Prensa. Madrid. 507 pp.

VALERA, D. L., MOLINA, F.D. y GIL, J.A. (1999). *Los invernaderos de Almería: Tipología y mecanización del clima*. Ed. Universidad de almería. Instituto de Estudios Almerienses. Almería. 268 pp.

VALERA, D. L , MOLINA, F.D. y PEÑA, A. (2002). *Climatización de Invernaderos*. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de almería. Almería. 233 pp.

VALERA, D. L , PEÑA, A., PÉREZ J., ÁLVAREZ, A. y MOLINA, F., LÓPEZ-GÁLVEZ, J. (2003). “Tecno-estructuras como sistemas de protección de protección de cultivos: el invernadero tipo *Almería*”. Curso de Control Climático en Invernaderos. Ed. Universidad de Almería.

VON ELSNER, B., BRIASSOULIS, D., WAAIJENBERG, D., MISTRIOTIS, A.; VON ZABELTITZ, C., GRATRAUD, J., RUSSO, G., SUAY-CORTES, R. (2000-a) “Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements”. *Journal Agricultural Engineering Research*, 75: 1-16.

VON ELSNER, B., BRIASSOULIS, D., WAAIJENBERG, D., MISTRIOTIS, A.; VON ZABELTITZ, C., GRATRAUD, J., RUSSO, G., SUAY-CORTES, R. (2000-b) "Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part II, Design Requirements". *Journal Agricultural Engineering Research*, 75: 111-126.

NORMATIVA:

MINISTERIO DE VIVIENDA. 2006. *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico de Seguridad Estructural: Acciones en la Edificación*. DB-SE-AE. Real Decreto 314/2006. B.O.E., 28 de marzo de 2006.

MINISTERIO DE FOMENTO. 2002. *Norma Sismorresistente: Parte General y Edificación*. NCSE-02. Real Decreto 997/2002, de 27-sep. B.O.E., 11 de octubre de 2002.

MINISTERIO DE VIVIENDA. 2006. *Código Técnico de la Edificación: Documento Básico de Seguridad Estructural: Acero*. DB-SE-A. Real Decreto 314/2006. B.O.E., 28 de marzo de 2006.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. 1996. *Norma Básica de la Edificación: Estructuras de Acero en la Edificación*. NBE-EA95. Real Decreto 1829/1995, de 10-nov. B.O.E.: 18 de enero de 1996.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. 2002. *Invernaderos: Proyecto y Construcción. Parte I: Invernaderos para producción comercial*. UNE-EN-13031-1. Madrid: AENOR.

ANEXO I: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

I.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA LOS DOS AÑOS**Métodos Descriptivos - Caja1_C2**

Datos/Variable: Caja1_C2 (Raspa)

Número de observaciones = 730

31 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C2

			Límite en 95,0%	Límite en 95,0%
Retraso	Autocorrelación	Error Estd.	Inferior	Superior
1	0,953831	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,884928	0,0621486	-0,121809	0,121809
3	0,816928	0,0775108	-0,151919	0,151919
4	0,752487	0,0885231	-0,173502	0,173502
5	0,68825	0,09689	-0,189901	0,189901
6	0,622119	0,10337	-0,202603	0,202603
7	0,557073	0,108378	-0,212418	0,212418
8	0,492189	0,112232	-0,219971	0,219971
9	0,428453	0,115151	-0,225692	0,225692
10	0,365507	0,117314	-0,229932	0,229932
11	0,302351	0,118864	-0,23297	0,23297
12	0,238943	0,119913	-0,235026	0,235026
13	0,17642	0,120563	-0,236301	0,236301
14	0,114383	0,120917	-0,236993	0,236993
15	0,0518231	0,121065	-0,237283	0,237283
16	-0,00937176	0,121095	-0,237342	0,237342
17	-0,0502238	0,121096	-0,237344	0,237344
18	-0,0620139	0,121125	-0,2374	0,2374
19	-0,0737027	0,121168	-0,237486	0,237486
20	-0,0870571	0,12123	-0,237606	0,237606
21	-0,099744	0,121315	-0,237774	0,237774
22	-0,111274	0,121427	-0,237994	0,237994
23	-0,122109	0,121567	-0,238267	0,238267
24	-0,133103	0,121735	-0,238597	0,238597

En este caso, 12 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 590,86

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 39

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 24,1852

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 403

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 7,28022

Valor-P = 3,35731E-13

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 3596,56

Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 39, comparado con un valor esperado de 366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 403, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

El valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2_C1

Datos/Variable: Caja2_C1 (Raspa)

Número de observaciones = 730

103 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,985798	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,963888	0,0635006	-0,124459	0,124459
3	0,941097	0,0811033	-0,15896	0,15896
4	0,918063	0,0948906	-0,185982	0,185982
5	0,895157	0,106364	-0,208471	0,208471
6	0,87218	0,116227	-0,227801	0,227801
7	0,849163	0,124871	-0,244744	0,244744
8	0,826182	0,132546	-0,259786	0,259786
9	0,803015	0,139422	-0,273262	0,273262
10	0,779951	0,14562	-0,28541	0,28541
11	0,757019	0,151234	-0,296414	0,296414
12	0,734334	0,156339	-0,306419	0,306419
13	0,711441	0,160995	-0,315544	0,315544
14	0,688767	0,165245	-0,323875	0,323875
15	0,666172	0,169132	-0,331493	0,331493
16	0,643317	0,172689	-0,338465	0,338465
17	0,62613	0,175941	-0,344839	0,344839
18	0,615425	0,178968	-0,350771	0,350771
19	0,607178	0,181844	-0,356408	0,356408
20	0,599001	0,1846	-0,36181	0,36181
21	0,59092	0,187244	-0,366991	0,366991
22	0,582774	0,189781	-0,371965	0,371965
23	0,574574	0,192217	-0,376739	0,376739
24	0,566442	0,194555	-0,381322	0,381322

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C1

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1907,58

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 22

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 25,4445

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 355

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 11,4989

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 9954,84

Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 22, comparado con un valor esperado de 366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 355, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaA_1

Datos/Variable: CajaA_1 (Amagado)

Número de observaciones = 730

93 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaA_1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,98181	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,960456	0,0633311	-0,124127	0,124127
3	0,940185	0,0808589	-0,158481	0,158481
4	0,919946	0,0946569	-0,185524	0,185524
5	0,901309	0,106201	-0,20815	0,20815
6	0,882619	0,116208	-0,227763	0,227763
7	0,863639	0,125054	-0,245102	0,245102
8	0,84482	0,132974	-0,260624	0,260624
9	0,826101	0,140133	-0,274657	0,274657
10	0,807791	0,146653	-0,287435	0,287435
11	0,789767	0,152626	-0,299143	0,299143
12	0,772247	0,158125	-0,309921	0,309921
13	0,753743	0,16321	-0,319887	0,319887
14	0,735713	0,167911	-0,3291	0,3291
15	0,718134	0,17227	-0,337644	0,337644
16	0,700431	0,176323	-0,345588	0,345588
17	0,681694	0,180095	-0,35298	0,35298
18	0,661325	0,183595	-0,359841	0,359841
19	0,641655	0,18683	-0,366181	0,366181
20	0,622304	0,189825	-0,37205	0,37205
21	0,603561	0,192599	-0,377488	0,377488
22	0,585543	0,195173	-0,382533	0,382533
23	0,568432	0,197565	-0,387221	0,387221
24	0,551972	0,199793	-0,391587	0,391587

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaA_1

- (1) Corridas arriba o abajo de la mediana
Mediana = 775,27
Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 22
Número esperado de corridas = 366,0
Estadístico z para muestras grandes = 25,4445
Valor-P = 0,0
- (2) Corridas arriba y abajo
Número de corridas arriba y abajo = 341
Número esperado de corridas = 486,333
Estadístico z para muestras grandes = 12,7294
Valor-P = 0,0
- (3) Prueba Box-Pierce
Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones
Estadístico de prueba para muestras grandes = 10493,3
Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 22, comparado con un valor esperado de 366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 341, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaB_C2

Datos/Variable: CajaB_C2 (Amagado)

Número de observaciones = 730
82 valores faltantes fueron reemplazados con estimados
Índice Inicial = 01/01/09
Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaB_C2

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,972953	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,940947	0,0629554	-0,123391	0,123391
3	0,913113	0,0799318	-0,156664	0,156664
4	0,886941	0,0931311	-0,182534	0,182534
5	0,86379	0,104061	-0,203956	0,203956
6	0,839765	0,113459	-0,222375	0,222375
7	0,815178	0,121675	-0,23848	0,23848
8	0,791106	0,12894	-0,252718	0,252718
9	0,766363	0,135426	-0,26543	0,26543
10	0,743929	0,141242	-0,276829	0,276829
11	0,721645	0,146511	-0,287157	0,287157
12	0,699104	0,151302	-0,296547	0,296547
13	0,671652	0,155664	-0,305096	0,305096
14	0,64423	0,159585	-0,312781	0,312781
15	0,61937	0,163108	-0,319687	0,319687
16	0,593434	0,166299	-0,32594	0,32594
17	0,56885	0,169175	-0,331577	0,331577
18	0,545054	0,171775	-0,336674	0,336674
19	0,521992	0,174128	-0,341286	0,341286
20	0,499671	0,176259	-0,345461	0,345461
21	0,477219	0,178189	-0,349244	0,349244
22	0,457063	0,179931	-0,352659	0,352659
23	0,441134	0,181514	-0,355762	0,355762
24	0,424128	0,182977	-0,358629	0,358629

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaB_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 980,48

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 58

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 22,7778

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 363

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 10,7958

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 8687,22

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 58, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 363, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC_C6

Datos/Variable: CajaC_C6 (Amagado)

Número de observaciones = 730

108 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C6

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,979257	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,951122	0,0632227	-0,123914	0,123914
3	0,922983	0,0804708	-0,15772	0,15772
4	0,894265	0,0938591	-0,183961	0,183961
5	0,866766	0,104883	-0,205568	0,205568
6	0,83879	0,114275	-0,223976	0,223976
7	0,809286	0,122419	-0,239937	0,239937
8	0,779591	0,129541	-0,253895	0,253895
9	0,75064	0,135816	-0,266194	0,266194
10	0,723339	0,141385	-0,277109	0,277109
11	0,69649	0,146366	-0,286873	0,286873
12	0,670019	0,150838	-0,295638	0,295638
13	0,64237	0,154861	-0,303523	0,303523
14	0,616539	0,158469	-0,310595	0,310595
15	0,593303	0,161722	-0,31697	0,31697
16	0,570565	0,164677	-0,322761	0,322761
17	0,547735	0,167363	-0,328026	0,328026
18	0,524652	0,169801	-0,332804	0,332804
19	0,502101	0,172007	-0,337128	0,337128
20	0,480831	0,174003	-0,34104	0,34104
21	0,460071	0,175814	-0,344589	0,344589
22	0,439925	0,177455	-0,347807	0,347807
23	0,421311	0,178943	-0,350723	0,350723
24	0,403283	0,180297	-0,353376	0,353376

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C6

- (1) Corridas arriba o abajo de la mediana
 Mediana = 983,885
 Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 28
 Número esperado de corridas = 366,0
 Estadístico z para muestras grandes = 25,0
 Valor-P = 0,0
- (2) Corridas arriba y abajo
 Número de corridas arriba y abajo = 344
 Número esperado de corridas = 486,333
 Estadístico z para muestras grandes = 12,4657
 Valor-P = 0,0
- (3) Prueba Box-Pierce
 Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones
 Estadístico de prueba para muestras grandes = 8415,2
 Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 28, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 344, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja1_C3

Datos/Variable: Caja1_C3 (Correa)

Número de observaciones = 730

31 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,979971	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,959333	0,063253	-0,123974	0,123974
3	0,939571	0,0807611	-0,158289	0,158289
4	0,918232	0,0945567	-0,185328	0,185328
5	0,897043	0,106071	-0,207895	0,207895
6	0,877129	0,115998	-0,227353	0,227353
7	0,856466	0,124753	-0,244513	0,244513
8	0,834576	0,132564	-0,25982	0,25982
9	0,814315	0,139576	-0,273564	0,273564
10	0,793405	0,145939	-0,286035	0,286035
11	0,772667	0,151732	-0,297391	0,297391
12	0,753357	0,15703	-0,307774	0,307774
13	0,734521	0,161905	-0,317329	0,317329
14	0,714649	0,166408	-0,326153	0,326153
15	0,694761	0,17056	-0,334292	0,334292
16	0,674798	0,174394	-0,341806	0,341806
17	0,656273	0,177935	-0,348746	0,348746
18	0,638357	0,18122	-0,355185	0,355185
19	0,620634	0,184275	-0,361172	0,361172
20	0,603357	0,187116	-0,366741	0,366741
21	0,587374	0,189762	-0,371928	0,371928
22	0,571179	0,192237	-0,376778	0,376778
23	0,555662	0,194548	-0,381307	0,381307
24	0,540254	0,19671	-0,385545	0,385545

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C3

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 682,125

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 47

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 23,5926

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 389

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 8,51069

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 10158,3

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 47, comparado con un valor esperado de 366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 389, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2_C2

Datos/Variable: Caja2_C2 (Correa)

Número de observaciones = 730

65 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C2

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,968781	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,896964	0,062779	-0,123045	0,123045
3	0,815297	0,0783928	-0,153647	0,153647
4	0,735138	0,0892555	-0,174938	0,174938
5	0,6568	0,0971966	-0,190502	0,190502
6	0,580645	0,103097	-0,202067	0,202067
7	0,507011	0,107484	-0,210665	0,210665
8	0,43629	0,110711	-0,216991	0,216991
9	0,368742	0,113042	-0,221559	0,221559
10	0,304703	0,114678	-0,224765	0,224765
11	0,244692	0,115782	-0,226929	0,226929
12	0,189124	0,116488	-0,228313	0,228313
13	0,138258	0,116908	-0,229136	0,229136
14	0,0923742	0,117132	-0,229574	0,229574
15	0,0515621	0,117231	-0,22977	0,22977
16	0,0159423	0,117262	-0,229831	0,229831
17	-0,0141566	0,117265	-0,229836	0,229836
18	-0,0382125	0,117268	-0,229841	0,229841
19	-0,0557689	0,117285	-0,229874	0,229874
20	-0,066554	0,117321	-0,229946	0,229946
21	-0,0716216	0,117373	-0,230047	0,230047
22	-0,0741216	0,117433	-0,230164	0,230164
23	-0,076788	0,117497	-0,23029	0,23029
24	-0,0794981	0,117565	-0,230425	0,230425

En este caso, 11 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 873,4

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 21

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 25,5185

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 373

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 9,91693

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 3322,39

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 21, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 373, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2_C3

Datos/Variable: Caja2_C3 (Correa)

Número de observaciones = 730

46 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,972608	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,93105	0,0629409	-0,123362	0,123362
3	0,888653	0,0796021	-0,156018	0,156018
4	0,846312	0,0921958	-0,180701	0,180701
5	0,806685	0,102286	-0,200477	0,200477
6	0,768621	0,110658	-0,216886	0,216886
7	0,733061	0,117745	-0,230776	0,230776
8	0,699649	0,123839	-0,24272	0,24272
9	0,667987	0,12914	-0,253111	0,253111
10	0,639646	0,13379	-0,262223	0,262223
11	0,612149	0,137915	-0,27031	0,27031
12	0,587201	0,141588	-0,277509	0,277509
13	0,563811	0,144886	-0,283972	0,283972
14	0,545199	0,147861	-0,289803	0,289803
15	0,530624	0,15059	-0,295151	0,295151
16	0,515064	0,153129	-0,300129	0,300129
17	0,497627	0,155485	-0,304745	0,304745
18	0,479138	0,157651	-0,308991	0,308991
19	0,461717	0,159634	-0,312877	0,312877
20	0,444713	0,161453	-0,316442	0,316442
21	0,427352	0,163122	-0,319714	0,319714
22	0,410366	0,164648	-0,322706	0,322706
23	0,392867	0,166044	-0,32544	0,32544
24	0,37565	0,167312	-0,327926	0,327926

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C3

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1213,51

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 44

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 23,8148

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 393

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 8,15913

Valor-P = 3,33067E-16

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 7196,84

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 44, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 393, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC C3

Datos/Variable: CajaC_C3 (Correa)

Número de observaciones = 730

108 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,977497	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,946546	0,063148	-0,123768	0,123768
3	0,915451	0,0802641	-0,157315	0,157315
4	0,883651	0,0934792	-0,183216	0,183216
5	0,852751	0,104296	-0,204417	0,204417
6	0,820847	0,113446	-0,22235	0,22235
7	0,787357	0,121309	-0,237762	0,237762
8	0,75332	0,128119	-0,251108	0,251108
9	0,720207	0,134049	-0,262732	0,262732
10	0,690361	0,139249	-0,272923	0,272923
11	0,66135	0,143861	-0,281963	0,281963
12	0,633312	0,147967	-0,290011	0,290011
13	0,603741	0,151635	-0,2972	0,2972
14	0,576701	0,154893	-0,303585	0,303585
15	0,552828	0,157807	-0,309296	0,309296
16	0,529313	0,160438	-0,314453	0,314453
17	0,505106	0,162812	-0,319107	0,319107
18	0,480517	0,164945	-0,323287	0,323287
19	0,456288	0,166852	-0,327024	0,327024
20	0,433655	0,168552	-0,330357	0,330357
21	0,411898	0,170074	-0,333339	0,333339
22	0,390236	0,171435	-0,336007	0,336007
23	0,369401	0,172647	-0,338383	0,338383
24	0,349304	0,173727	-0,340499	0,340499

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C3

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1456,59

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 50

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 23,3704

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 358

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 11,2353

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 7765,79

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 50, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 358, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja1_C1

Datos/Variable: Caja1_C1 (Alambre pörtico)

Número de observaciones = 730

31 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Indice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,973442	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,953265	0,0629762	-0,123431	0,123431
3	0,938985	0,0803469	-0,157477	0,157477
4	0,923496	0,0941872	-0,184604	0,184604
5	0,912181	0,105867	-0,207496	0,207496
6	0,901155	0,116135	-0,227622	0,227622
7	0,889242	0,125349	-0,24568	0,24568
8	0,876811	0,133711	-0,26207	0,26207
9	0,866387	0,141369	-0,277078	0,277078
10	0,856922	0,148464	-0,290985	0,290985
11	0,848152	0,155092	-0,303974	0,303974
12	0,842546	0,16132	-0,316183	0,316183
13	0,834933	0,16724	-0,327785	0,327785
14	0,828861	0,172856	-0,338791	0,338791
15	0,823516	0,178217	-0,349299	0,349299
16	0,816415	0,183356	-0,359371	0,359371
17	0,808454	0,188269	-0,369002	0,369002
18	0,799103	0,192967	-0,378208	0,378208
19	0,790624	0,197448	-0,386991	0,386991
20	0,782491	0,201738	-0,3954	0,3954
21	0,777367	0,205853	-0,403466	0,403466
22	0,770674	0,209836	-0,411272	0,411272
23	0,76554	0,213679	-0,418803	0,418803
24	0,762312	0,217403	-0,426103	0,426103

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C1

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 663,575

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 35

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 24,4815

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 375

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 9,74115

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 12652,7

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 35, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 375, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC C4

Datos/Variable: CajaC_C4 (Alambre pórtico)

Número de observaciones = 730

57 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C4

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,991441	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,977116	0,0637408	-0,12493	0,12493
3	0,962965	0,0817231	-0,160175	0,160175
4	0,948933	0,0960167	-0,18819	0,18819
5	0,935005	0,108103	-0,211878	0,211878
6	0,920851	0,118665	-0,23258	0,23258
7	0,906563	0,128081	-0,251034	0,251034
8	0,892137	0,136588	-0,267708	0,267708
9	0,877467	0,14435	-0,282921	0,282921
10	0,863074	0,15148	-0,296897	0,296897
11	0,849097	0,158073	-0,309818	0,309818
12	0,835751	0,164202	-0,321831	0,321831
13	0,822144	0,169929	-0,333056	0,333056
14	0,808651	0,175294	-0,34357	0,34357
15	0,795366	0,180331	-0,353444	0,353444
16	0,782105	0,185075	-0,36274	0,36274
17	0,768892	0,189548	-0,371508	0,371508
18	0,755722	0,193773	-0,37979	0,37979
19	0,742721	0,19777	-0,387622	0,387622
20	0,729955	0,201554	-0,39504	0,39504
21	0,717678	0,205144	-0,402075	0,402075
22	0,705385	0,208555	-0,408761	0,408761
23	0,693331	0,211798	-0,415117	0,415117
24	0,681842	0,214884	-0,421167	0,421167

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C4

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 880,775

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 21

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 25,5185

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 373

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 9,91693

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 12277,8

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 21, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 373, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC_C5

Datos/Variable: CajaC_C5 (Alambre pórtico)

Número de observaciones = 730

57 valores faltantes fueron reemplazados con estimados

Índice Inicial = 01/01/09

Intervalo de Muestra = 1,0 día(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C5

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,978442	0,0370117	-0,0725417	0,0725417
2	0,947346	0,0631881	-0,123847	0,123847
3	0,915916	0,0803215	-0,157428	0,157428
4	0,885047	0,0935409	-0,183337	0,183337
5	0,855002	0,104384	-0,204589	0,204589
6	0,824019	0,113573	-0,222599	0,222599
7	0,791385	0,121487	-0,23811	0,23811
8	0,75856	0,128355	-0,251571	0,251571
9	0,726599	0,134356	-0,263332	0,263332
10	0,697041	0,139635	-0,273679	0,273679
11	0,66861	0,144322	-0,282867	0,282867
12	0,640134	0,148505	-0,291065	0,291065
13	0,610817	0,152238	-0,298382	0,298382
14	0,583402	0,155559	-0,304891	0,304891
15	0,559506	0,158528	-0,310709	0,310709
16	0,537785	0,16121	-0,315967	0,315967
17	0,518181	0,163649	-0,320747	0,320747
18	0,500075	0,165882	-0,325123	0,325123
19	0,48248	0,167934	-0,329146	0,329146
20	0,464836	0,169822	-0,332846	0,332846
21	0,448741	0,171557	-0,336245	0,336245
22	0,434418	0,173157	-0,339382	0,339382
23	0,422649	0,174644	-0,342296	0,342296
24	0,411903	0,176039	-0,345031	0,345031

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C5

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 636,785

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 33

Número esperado de corridas = 366,0

Estadístico z para muestras grandes = 24,6297

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 373

Número esperado de corridas = 486,333

Estadístico z para muestras grandes = 9,91693

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 8016,08

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 33, comparado con un valor esperado de

366,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 373, comparado con un valor esperado de 486,333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

I.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS PARA UN DÍA CONCRETO**Métodos Descriptivos - Caja1_C2**

Datos/Variable: Caja1_C2 (Raspa)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C2

Retraso	Autocorrelación	Error Estd.	Límite en 95,0% Inferior	Límite en 95,0% Superior
1	0,99653	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,992716	0,101826	-0,199576	0,199576
3	0,987961	0,131195	-0,257139	0,257139
4	0,982265	0,154889	-0,303576	0,303576
5	0,975846	0,175188	-0,343362	0,343362
6	0,968459	0,193142	-0,378552	0,378552
7	0,960248	0,209325	-0,410271	0,410271
8	0,950952	0,224099	-0,439227	0,439227
9	0,941016	0,237698	-0,46588	0,46588
10	0,9305	0,250299	-0,490578	0,490578
11	0,919153	0,262035	-0,51358	0,51358
12	0,906774	0,273001	-0,535072	0,535072
13	0,893436	0,283265	-0,555191	0,555191
14	0,879323	0,292887	-0,574048	0,574048
15	0,864488	0,301914	-0,591742	0,591742
16	0,849025	0,31039	-0,608354	0,608354
17	0,83316	0,318352	-0,623959	0,623959
18	0,816822	0,325835	-0,638626	0,638626
19	0,799961	0,332869	-0,652412	0,652412
20	0,78242	0,339478	-0,665367	0,665367
21	0,764676	0,345683	-0,677528	0,677528
22	0,746697	0,351508	-0,688943	0,688943
23	0,728074	0,356973	-0,699655	0,699655
24	0,709027	0,362092	-0,709689	0,709689

En este caso, 23 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 658,23

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 9

Número esperado de corridas = 141,484

Estadístico z para muestras grandes = 15,777

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 103

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 12,3606

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce
Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones
Estadístico de prueba para muestras grandes = 5438,2
Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 9, comparado con un valor esperado de 141,484 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 103, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

El valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2_C1

Datos/Variable: Caja2_C1 (Raspa)
Número de observaciones = 288
Índice Inicial = 0:00
Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997442	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,994092	0,101888	-0,199697	0,199697
3	0,989834	0,131316	-0,257374	0,257374
4	0,984826	0,155073	-0,303939	0,303939
5	0,978862	0,175451	-0,343878	0,343878
6	0,972134	0,193487	-0,379227	0,379227
7	0,964527	0,209761	-0,411126	0,411126
8	0,956093	0,224634	-0,440275	0,440275
9	0,946812	0,238345	-0,467149	0,467149
10	0,936837	0,251065	-0,49208	0,49208
11	0,925959	0,262923	-0,515321	0,515321
12	0,914253	0,274012	-0,537055	0,537055
13	0,901813	0,284407	-0,557429	0,557429
14	0,888554	0,294168	-0,576561	0,576561
15	0,874694	0,303344	-0,594545	0,594545
16	0,860107	0,311979	-0,611469	0,611469
17	0,844957	0,320107	-0,627399	0,627399
18	0,829082	0,32776	-0,642398	0,642398
19	0,812681	0,334962	-0,656516	0,656516
20	0,795612	0,34174	-0,6698	0,6698
21	0,778105	0,348112	-0,682289	0,682289
22	0,760008	0,3541	-0,694024	0,694024
23	0,741527	0,359719	-0,705038	0,705038
24	0,722547	0,364988	-0,715365	0,715365

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C1

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 2026,45

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 139,885

Estadístico z para muestras grandes = 16,1623

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 65

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 17,6881

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5531,1

Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de 139,885 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 65, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaA_1

Datos/Variable: CajaA_C1 (Amagado)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaA_1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,996677	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,992741	0,101836	-0,199595	0,199595
3	0,98837	0,131204	-0,257156	0,257156
4	0,983019	0,154914	-0,303627	0,303627
5	0,976581	0,17524	-0,343465	0,343465
6	0,969453	0,193215	-0,378695	0,378695
7	0,961469	0,209425	-0,410466	0,410466
8	0,952475	0,224228	-0,43948	0,43948
9	0,942365	0,237862	-0,466202	0,466202
10	0,931988	0,25049	-0,490953	0,490953
11	0,920727	0,262254	-0,51401	0,51401
12	0,908425	0,273248	-0,535557	0,535557
13	0,895505	0,28354	-0,55573	0,55573
14	0,881769	0,293196	-0,574656	0,574656
15	0,867098	0,302264	-0,592428	0,592428
16	0,851603	0,310781	-0,609121	0,609121
17	0,835674	0,318781	-0,6248	0,6248
18	0,819111	0,326299	-0,639535	0,639535
19	0,80203	0,333362	-0,653378	0,653378
20	0,784655	0,339996	-0,666381	0,666381
21	0,766753	0,346226	-0,678593	0,678593
22	0,748462	0,352073	-0,690052	0,690052
23	0,729717	0,357555	-0,700796	0,700796
24	0,710836	0,362689	-0,710859	0,710859

En este caso, 23 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaA_1

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 903,0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 7

Número esperado de corridas = 145,0

Estadístico z para muestras grandes = 16,2328

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 103

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 12,3606

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5456,89

Valor-P = 0,0

En la primera prueba el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 7, comparado con un valor esperado de 145,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 103, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaB_C2

Datos/Variable: CajaB_C2 (Amagado)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaB_C2

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997275	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993919	0,101877	-0,199675	0,199675
3	0,989709	0,131298	-0,25734	0,25734
4	0,984712	0,155053	-0,303898	0,303898
5	0,978737	0,175428	-0,343834	0,343834
6	0,972038	0,193462	-0,379178	0,379178
7	0,964375	0,209735	-0,411074	0,411074
8	0,95586	0,224605	-0,440218	0,440218
9	0,946589	0,238311	-0,467082	0,467082
10	0,936608	0,251027	-0,492005	0,492005
11	0,925774	0,262881	-0,515239	0,515239
12	0,914114	0,273968	-0,536968	0,536968
13	0,901668	0,284361	-0,557339	0,557339
14	0,888468	0,294121	-0,576467	0,576467
15	0,874557	0,303297	-0,594452	0,594452
16	0,859857	0,31193	-0,611373	0,611373
17	0,84478	0,320054	-0,627296	0,627296
18	0,828927	0,327705	-0,642291	0,642291
19	0,812467	0,334906	-0,656406	0,656406
20	0,795384	0,341682	-0,669685	0,669685
21	0,777969	0,348051	-0,682169	0,682169
22	0,760069	0,354038	-0,693902	0,693902
23	0,741674	0,359659	-0,70492	0,70492
24	0,722763	0,364931	-0,715253	0,715253

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaB_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1068,3

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 139,498

Estadístico z para muestras grandes = 16,1318

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 70

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 16,9871

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5529,46

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de 139,498 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor

que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 70, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC C6

Datos/Variable: CajaC_C6 (Amagado)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C6

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997135	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993557	0,101867	-0,199656	0,199656
3	0,989303	0,131271	-0,257288	0,257288
4	0,984098	0,155012	-0,303819	0,303819
5	0,977833	0,175369	-0,343717	0,343717
6	0,97101	0,193376	-0,37901	0,37901
7	0,963244	0,209623	-0,410854	0,410854
8	0,95461	0,224466	-0,439947	0,439947
9	0,945107	0,238146	-0,466758	0,466758
10	0,934888	0,250831	-0,491622	0,491622
11	0,923834	0,262652	-0,514789	0,514789
12	0,91182	0,273702	-0,536447	0,536447
13	0,89921	0,284054	-0,556736	0,556736
14	0,885693	0,293772	-0,575783	0,575783
15	0,871566	0,302901	-0,593677	0,593677
16	0,856711	0,311488	-0,610506	0,610506
17	0,841338	0,319564	-0,626336	0,626336
18	0,825452	0,327165	-0,641233	0,641233
19	0,808908	0,334318	-0,655253	0,655253
20	0,791774	0,341047	-0,66844	0,66844
21	0,774292	0,34737	-0,680835	0,680835
22	0,756266	0,353312	-0,692481	0,692481
23	0,737698	0,358889	-0,703411	0,703411
24	0,718771	0,364116	-0,713656	0,713656

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C6

- (1) Corridas arriba o abajo de la mediana
 Mediana = 1103,57
 Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5
 Número esperado de corridas = 142,484
 Estadístico z para muestras grandes = 16,3165
 Valor-P = 0,0
- (2) Corridas arriba y abajo
 Número de corridas arriba y abajo = 81
 Número esperado de corridas = 191,667
 Estadístico z para muestras grandes = 15,4449
 Valor-P = 0,0
- (3) Prueba Box-Pierce
 Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones
 Estadístico de prueba para muestras grandes = 5503,17
 Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de 142,484 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor

que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 81, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja1 C3

Datos/Variable: Caja1_C3 (Correa)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997197	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993574	0,101871	-0,199665	0,199665
3	0,989291	0,131276	-0,257296	0,257296
4	0,984027	0,155015	-0,303825	0,303825
5	0,977768	0,175369	-0,343717	0,343717
6	0,970807	0,193373	-0,379005	0,379005
7	0,962764	0,209614	-0,410837	0,410837
8	0,953889	0,224444	-0,439903	0,439903
9	0,94415	0,238105	-0,466677	0,466677
10	0,933832	0,250767	-0,491496	0,491496
11	0,922449	0,262564	-0,514618	0,514618
12	0,910117	0,273586	-0,536219	0,536219
13	0,897068	0,283904	-0,556442	0,556442
14	0,883266	0,293581	-0,575409	0,575409
15	0,868595	0,302667	-0,593218	0,593218
16	0,85322	0,311202	-0,609946	0,609946
17	0,83735	0,319221	-0,625664	0,625664
18	0,820744	0,326759	-0,640437	0,640437
19	0,80358	0,33384	-0,654316	0,654316
20	0,78596	0,34049	-0,66735	0,66735
21	0,767951	0,346733	-0,679585	0,679585
22	0,749465	0,352589	-0,691063	0,691063
23	0,730518	0,358078	-0,701821	0,701821
24	0,711194	0,363216	-0,711891	0,711891

En este caso, 23 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C3

- (1) Corridas arriba o abajo de la mediana
 Mediana = 755,45
 Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5
 Número esperado de corridas = 145,0
 Estadístico z para muestras grandes = 16,4689
 Valor-P = 0,0
- (2) Corridas arriba y abajo
 Número de corridas arriba y abajo = 45
 Número esperado de corridas = 191,667
 Estadístico z para muestras grandes = 20,492
 Valor-P = 0,0
- (3) Prueba Box-Pierce
 Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones
 Estadístico de prueba para muestras grandes = 5472,89
 Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de 145,0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor

que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 45, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2 C2

Datos/Variable: Caja2_C2 (Correa)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C2

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997377	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993956	0,101884	-0,199689	0,199689
3	0,989846	0,131305	-0,257354	0,257354
4	0,984839	0,155065	-0,303923	0,303923
5	0,978996	0,175444	-0,343865	0,343865
6	0,972283	0,193485	-0,379224	0,379224
7	0,964687	0,209765	-0,411132	0,411132
8	0,956286	0,224642	-0,440291	0,440291
9	0,947037	0,238358	-0,467174	0,467174
10	0,936964	0,251083	-0,492115	0,492115
11	0,926145	0,262944	-0,515361	0,515361
12	0,914446	0,274036	-0,537102	0,537102
13	0,901911	0,284434	-0,557482	0,557482
14	0,888772	0,294197	-0,576617	0,576617
15	0,874832	0,303377	-0,594608	0,594608
16	0,860065	0,312013	-0,611536	0,611536
17	0,844736	0,320139	-0,627462	0,627462
18	0,828778	0,327787	-0,642452	0,642452
19	0,812255	0,334984	-0,656558	0,656558
20	0,795288	0,341754	-0,669828	0,669828
21	0,777617	0,348121	-0,682306	0,682306
22	0,75957	0,354101	-0,694027	0,694027
23	0,741047	0,359714	-0,705028	0,705028
24	0,722056	0,364976	-0,715342	0,715342

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C2

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 921,44

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 7

Número esperado de corridas = 140,455

Estadístico z para muestras grandes = 15,9535

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 75

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 16,2861

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5530,54

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 7, comparado con un valor esperado de

140,455 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 75, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja2_C3

Datos/Variable: Caja2_C3 (Correa)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja2_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,9973	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993731	0,101878	-0,199678	0,199678
3	0,989493	0,131289	-0,257323	0,257323
4	0,98439	0,155036	-0,303865	0,303865
5	0,978257	0,175401	-0,34378	0,34378
6	0,971296	0,19342	-0,379097	0,379097
7	0,963433	0,209673	-0,410952	0,410952
8	0,954761	0,224519	-0,440049	0,440049
9	0,945164	0,238199	-0,466863	0,466863
10	0,934862	0,250884	-0,491724	0,491724
11	0,923736	0,262701	-0,514886	0,514886
12	0,911659	0,273747	-0,536535	0,536535
13	0,898784	0,284094	-0,556814	0,556814
14	0,885134	0,293801	-0,57584	0,57584
15	0,870606	0,302919	-0,593711	0,593711
16	0,855411	0,311486	-0,610502	0,610502
17	0,839704	0,319538	-0,626285	0,626285
18	0,823335	0,32711	-0,641126	0,641126
19	0,806313	0,334229	-0,655077	0,655077
20	0,788882	0,340916	-0,668184	0,668184
21	0,770902	0,347196	-0,680494	0,680494
22	0,752434	0,35309	-0,692045	0,692045
23	0,733596	0,358614	-0,702872	0,702872
24	0,71437	0,363787	-0,713012	0,713012

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja2_C3

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1268,59

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 3

Número esperado de corridas = 138,28

Estadístico z para muestras grandes = 16,311

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 76

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 16,1459

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5491,43

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 3, comparado con un valor esperado de

138,28 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 76, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC C3

Datos/Variable: CajaC_C3 (Correa)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C3

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997383	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993971	0,101884	-0,19969	0,19969
3	0,989823	0,131306	-0,257356	0,257356
4	0,98472	0,155065	-0,303922	0,303922
5	0,978614	0,175439	-0,343856	0,343856
6	0,971931	0,193467	-0,37919	0,37919
7	0,964369	0,209737	-0,411078	0,411078
8	0,95587	0,224606	-0,440221	0,440221
9	0,946624	0,238313	-0,467086	0,467086
10	0,936633	0,25103	-0,49201	0,49201
11	0,9258	0,262884	-0,515245	0,515245
12	0,914089	0,273971	-0,536975	0,536975
13	0,901732	0,284364	-0,557344	0,557344
14	0,888545	0,294125	-0,576476	0,576476
15	0,874509	0,303302	-0,594463	0,594463
16	0,859775	0,311935	-0,611382	0,611382
17	0,844538	0,320057	-0,627302	0,627302
18	0,828682	0,327704	-0,642288	0,642288
19	0,812162	0,334901	-0,656395	0,656395
20	0,795141	0,341671	-0,669664	0,669664
21	0,777656	0,348037	-0,682141	0,682141
22	0,759593	0,354019	-0,693866	0,693866
23	0,741016	0,359633	-0,70487	0,70487
24	0,722113	0,364896	-0,715185	0,715185

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C3

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 1537,19

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 140,936

Estadístico z para muestras grandes = 16,2242

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 65

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 17,6881

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5528,15

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de

140,936 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 65, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - Caja1_C1

Datos/Variable: Caja1_C1 (A. pórtico)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para Caja1_C1

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,996881	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993264	0,10185	-0,199623	0,199623
3	0,988733	0,131243	-0,257231	0,257231
4	0,983465	0,154963	-0,303722	0,303722
5	0,977219	0,1753	-0,343583	0,343583
6	0,970031	0,193292	-0,378846	0,378846
7	0,962065	0,209514	-0,410641	0,410641
8	0,953207	0,22433	-0,439679	0,439679
9	0,943635	0,237978	-0,466429	0,466429
10	0,933269	0,250634	-0,491234	0,491234
11	0,922079	0,262423	-0,51434	0,51434
12	0,91016	0,273441	-0,535936	0,535936
13	0,897455	0,283765	-0,556171	0,556171
14	0,883805	0,293455	-0,575163	0,575163
15	0,869407	0,302557	-0,593001	0,593001
16	0,854424	0,31111	-0,609766	0,609766
17	0,839021	0,319154	-0,625532	0,625532
18	0,822829	0,326723	-0,640366	0,640366
19	0,80601	0,333841	-0,654317	0,654317
20	0,788802	0,340531	-0,667429	0,667429
21	0,771007	0,346817	-0,67975	0,67975
22	0,752676	0,352718	-0,691316	0,691316
23	0,734028	0,358252	-0,702162	0,702162
24	0,714847	0,363436	-0,712323	0,712323

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de Caja1_C1

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 721,35

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 140,993

Estadístico z para muestras grandes = 16,2244

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 90

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 14,1832

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5481,04

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de

140,993 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 90, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC C4

Datos/Variable: CajaC_C4 (A. pórtico)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C4

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997532	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,994335	0,101894	-0,199709	0,199709
3	0,990262	0,131333	-0,257409	0,257409
4	0,985326	0,155107	-0,304005	0,304005
5	0,979497	0,1755	-0,343975	0,343975
6	0,972842	0,193554	-0,379359	0,379359
7	0,965405	0,209846	-0,411292	0,411292
8	0,957035	0,224739	-0,440481	0,440481
9	0,947873	0,23847	-0,467394	0,467394
10	0,938046	0,251212	-0,492368	0,492368
11	0,9273	0,263093	-0,515655	0,515655
12	0,915673	0,274207	-0,537437	0,537437
13	0,903434	0,284626	-0,557859	0,557859
14	0,890275	0,294415	-0,577044	0,577044
15	0,876395	0,303619	-0,595083	0,595083
16	0,861816	0,312279	-0,612056	0,612056
17	0,846684	0,320431	-0,628034	0,628034
18	0,830942	0,328107	-0,643079	0,643079
19	0,814613	0,335334	-0,657244	0,657244
20	0,797752	0,342137	-0,670577	0,670577
21	0,78035	0,348535	-0,683118	0,683118
22	0,762428	0,35455	-0,694906	0,694906
23	0,744154	0,360198	-0,705976	0,705976
24	0,725486	0,365497	-0,716362	0,716362

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C4

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 978,24

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 142,484

Estadístico z para muestras grandes = 16,3165

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 73

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 16,5665

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5547,75

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de

142,484 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 73, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.

Métodos Descriptivos - CajaC_C5

Datos/Variable: CajaC_C5 (A. pórtico)

Número de observaciones = 288

Índice Inicial = 0:00

Intervalo de Muestra = 5,0 minuto(s)

Autocorrelaciones Estimadas para CajaC_C5

<i>Retraso</i>	<i>Autocorrelación</i>	<i>Error Estd.</i>	<i>Límite en 95,0% Inferior</i>	<i>Límite en 95,0% Superior</i>
1	0,997246	0,0589256	-0,115492	0,115492
2	0,993835	0,101875	-0,199671	0,199671
3	0,989532	0,131292	-0,257328	0,257328
4	0,984254	0,15504	-0,303873	0,303873
5	0,978062	0,175399	-0,343777	0,343777
6	0,971029	0,193411	-0,37908	0,37908
7	0,963088	0,209656	-0,41092	0,41092
8	0,954265	0,224493	-0,439999	0,439999
9	0,944666	0,238161	-0,466789	0,466789
10	0,934323	0,250835	-0,491628	0,491628
11	0,923045	0,262641	-0,514768	0,514768
12	0,910781	0,273673	-0,53639	0,53639
13	0,897941	0,284003	-0,556636	0,556636
14	0,884137	0,293695	-0,575633	0,575633
15	0,86966	0,302796	-0,59347	0,59347
16	0,854421	0,311348	-0,610232	0,610232
17	0,838658	0,319386	-0,625985	0,625985
18	0,822123	0,326943	-0,640797	0,640797
19	0,805162	0,334044	-0,654715	0,654715
20	0,787719	0,340716	-0,667792	0,667792
21	0,769667	0,346981	-0,680073	0,680073
22	0,751144	0,35286	-0,691594	0,691594
23	0,73226	0,358369	-0,702391	0,702391
24	0,713009	0,363527	-0,712501	0,712501

En este caso, 24 de los 24 coeficientes de autocorrelación son estadísticamente significativos al nivel de confianza del 95,0%, implicando que la serie de tiempo puede no ser completamente aleatoria (ruido blanco).

Prueba de Aleatoriedad de CajaC_C5

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 678,88

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 5

Número esperado de corridas = 142,498

Estadístico z para muestras grandes = 16,3166

Valor-P = 0,0

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 79

Número esperado de corridas = 191,667

Estadístico z para muestras grandes = 15,7253

Valor-P = 0,0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 24 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 5483,01

Valor-P = 0,0

En la primera prueba se observa como el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana es igual a 5, comparado con un valor esperado de

142,498 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la segunda prueba el número de veces que la secuencia ascendió o descendió es igual a 79, comparado con un valor esperado de 191,667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que el valor-P para la tercera prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95,0%.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que la serie de tiempo pudiera no ser completamente aleatoria.