
Validación e integración de un sistema provisional de protección de borde universal contra caídas en altura, para su empleo en los procesos de ejecución de obras de edificación del ámbito europeo y latinoamericano.

Valencia, 09 de julio de 2014

AUTOR:

MÓNICA LUCAS GARCÍA

TUTOR ACADÉMICO:

M. José Vidal Lucas

[Departamento de Construcciones Arquitectónicas]

TUTOR CONVENIO CON EMPRESA:

Carlos Lozano Martínez

[Instituto Tecnológico de la Construcción, AIDICO]



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

ÍNDICE

ÍNDICE	I
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
SUMMARY	VI
Acrónimos utilizados	7
Índice de Ilustraciones	7
Índice de Esquemas	8
Índice de Fotografías	9
Índice de Gráficos	11
Índice de Normativas	12
Índice de Tablas	12
Capítulo 1	13
INTRODUCCIÓN	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.3 ÁMBITO DE APLICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO	14
1.4 METODOLOGÍA	14
Capítulo 2	16
ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DE SPPB	16
2.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN	16
2.2 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS NORMATIVAS RELATIVAS A LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL)	19
- España	19
- Perú	23
- Brasil	25
- Comparativa entre normas	29

2.3 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL).....	32
2.3.1 Brasil:	32
2.3.2 Perú:	34
2.3.2 España	37
2.4 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE BORDE EMPLEADOS Y SUS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL).....	39
Introducción	39
2.4.1 Brasil	40
- Sistema de protección de borde sujeto en la estructura hormigonada	41
- Sistema de protección de borde sujeto al encofrado	51
2.4.2 España	52
- Sistema de protección de borde sujeto en la estructura hormigonada	52
2.4.3 Perú	61
Capítulo 3.....	65
EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE Y RESULTADOS.	65
3.1 Descripción y características del SPPB	65
3.2 Métodos de ensayo utilizados:.....	66
3.2.1. Realización de la evaluación analítica	68
-Comprobación que el elemento no desliza.....	78
-Comprobación del dimensionamiento de las secciones de las barras.....	79
-Dimensiones mínimas y máximas de la sopanda.....	81
3.2.2. Realización de la evaluación experimental	83
- Procedimiento de la NORMA UNE EN 13374:2013	84
- Procedimiento de la NORMA OSHA 1926.502.....	87
- Procedimiento de la NORMA RTP-01.....	88
Capítulo 4.....	89
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	89
4.1 Según norma UNE-EN 13374:2013	89
4.1.1 Comprobación de los requisitos geométricos:.....	89
4.1.2 Resultados de los ensayos	89

4.2 Según norma OSHA 1926.502.....	93
4.2.1 Comprobación de los requisitos geométricos:	93
4.2.2 Resultados de los ensayos	93
4.3 Según norma RTP-01	95
4.3.1 Comprobación de los requisitos geométricos:	95
4.3.2 Resultados de los ensayos	96
Capítulo 5.....	97
ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE RESULTADOS	97
5.1 Análisis de las gráficas de resultados experimentales.....	97
5.1.1 Análisis del ensayo UNE EN 13374:2013.....	97
5.1.2 Análisis del ensayo OSHA 1926.502	101
5.1.3 Análisis del ensayo RTP-01	103
Capítulo 6.....	104
MANUAL DE INSTRUCCIONES.....	104
Capítulo 7.....	128
CONCLUSIONES.....	128
Capítulo 8.....	130
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS.....	133
ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE DETALLE DESPIECE SPPB	133
ANEXO B: PARÁMETROS REGISTRADOS EN LOS ENSAYOS.....	136
ANEXO C: GRÁFICOS DE LOS ENSAYOS.....	138
ANEXO D: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN UNE EN 13374:2013.....	157
ANEXO E: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN OSHA 1926.502.....	163
ANEXO F: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN RTP-01	166
ANEXO G: ACTAS DE ENSAYO	167

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a mis tutores la ayuda proporcionada para la realización de este trabajo.

A Sara Bresó y Carlos Lozano, por darme la oportunidad de aprender cosas nuevas y poder trabajar con ellos en AIDICO así como permitirme utilizar sus instalaciones para el proyecto.

Y a María José Vidal por aceptar tutorizarme y su ayuda en estos meses.

RESUMEN

El objeto de este proyecto es realizar la validación y evaluación de un Sistema Provisional de Protección de Borde (SPPB), adaptado a un mecano de encofrado para comercializarlo, con función de medio de protección colectiva para prevenir las caídas en altura, en los procesos constructivos de ejecución de obras de edificación, del ámbito europeo y latinoamericano. Tiene por objeto que la implantación e integración del SPPB, en los procesos de ejecución de las obras de edificación de los países latinoamericanos objeto de estudio (Brasil y Perú), mejore el nivel de protección, teniendo en cuenta la problemática de estos países en materia de seguridad y salud.

Palabras clave

Sistema provisional de protección de borde, Protección colectiva, Seguridad en obras, Latinoamérica, Europa.

SUMMARY

The purpose of this project is to perform validation and evaluation of a Temporary Edge Protection System (called SPPB), adapted to a formwork to commercialise it, like collective protection to prevent falls from height in construction processes execution of building works, of the European and Latin American context. It aims that the SPPB implementation and integration in the implementation process of the construction works of the Latin American countries surveyed (Brazil and Peru), improve the level of protection taking into account the problems of these countries in safety and health.

Keywords

Temporary Edge Protection System, collective protection, safety at construction sites, Latin America, Europe.

Acrónimos utilizados

AIDICO- Instituto Tecnológico de la Construcción
EPC- Equipo de Protección Colectiva
EPI- Equipo de Protección Individual.
FUNDACENTRO- Fundación Jorge Duprat Figueiredo de Seguridad y Medicina en el Trabajo.
GcR- Sistema Guarda-cuerpo-Rodapié
OIT- Organización Integral del Trabajo.
SPPB- Sistema de Protección de Borde

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Características geométricas del SPPB según UNE-EN 13374:2013	22
Ilustración 2. Características geométricas del SPPB según OSHA 1926.502	25
Ilustración 3. Características geométricas del SPPB según RTP-01.....	27
Ilustración 4. GcR con travesaños múltiples	28
Ilustración 5. GcR de barrotes vertical	28
Ilustración 6. Mapa de zonificación sísmica	35
Ilustración 7. Croquis GcR de madera	42
Ilustración 8. Croquis GcR con tornillos	43
Ilustración 9. Croquis GcR por apriete	44
Ilustración 10. Croquis GcR con conector	45
Ilustración 11. Croquis GcR de puntales	47
Ilustración 12. Croquis GcR metálico	48
Ilustración 13. Croquis GcR de albañilería	50
Ilustración 14. Detalle del sistema de fijación.	51
Ilustración 15. GcR metálico para encofrado.....	51
Ilustración 16. Detalles fijación a la estructura.....	51
Ilustración 17. Croquis SPPB empotrado	53
Ilustración 18. Croquis SPPB de puntales.....	54
Ilustración 19. Croquis SPPB atornillado	55
Ilustración 20. Croquis SPPB de malla	56
Ilustración 21. Croquis SPPB de plástico	57
Ilustración 22. Croquis SPPB sargento	58
Ilustración 23. Esquema del SPPB	66
Ilustración 24. Detalle del sistema de fijación	66
Ilustración 25. Equipamiento empleado para los ensayos estáticos	84
Ilustración 26. Disposición de los puntos de aplicación de carga UNE EN 13374:2013.....	84
Ilustración 27. Disposición de los puntos de carga OSHA 1926.502	87
Ilustración 28. Disposición de los puntos de carga RTP-01.....	88

Índice de Esquemas

Esquema 1. Esquema de los sistemas de protección en Brasil	40
Esquema 2. Esquema de los sistemas de protección en España	52
Esquema 3. Tipos de sistemas de sujeción ULMA	63
Esquema 4. Tipos de sistemas de sujeción ALSINA.....	64
Esquema 5. Tipos de sistemas de sujeción DOKA	64
Esquema 6. Esquema simplificado de la fijación a una sopanda 240x90mm	81
Esquema 7. Esquema simplificado de la fijación a una sopanda de 80x50mm.	82

Índice de Fotografías

Fotografía 1. Cerramientos de hormigón.....	33
Fotografía 2. Albañilería estructural	33
Fotografía 3. Encofrado parcial	33
Fotografía 4. Estructura metálica.....	34
Fotografía 5. Losas prefabricadas.	34
Fotografía 6. Forjado de bovedillas cerámicas.....	36
Fotografía 7. Puntales de encofrado de madera.....	36
Fotografía 8. Encofrado horizontal total para forjado	37
Fotografía 9. Encofrado horizontal total.....	38
Fotografía 10. Proceso de colocación de losa alveolar.	38
Fotografía 11. GcR de madera.....	41
Fotografía 12. Fijación por cuña.....	42
Fotografía 13. Fijación por “rozamiento”	42
Fotografía 14. Detalle fijación con tornillos	43
Fotografía 15. GcR fijado con tornillos.....	43
Fotografía 16. Detalle fijación por apriete	44
Fotografía 17. GcR fijado por apriete.....	44
Fotografía 18. Detalle fijación con conector	45
Fotografía 19. GcR fijado con conector.....	45
Fotografía 20. GcR de puntales	46
Fotografía 21. Detalle unión con alambres	46
Fotografía 22. GcR metálico	48
Fotografía 23. Detalle unión de elementos por tornillos.....	48
Fotografía 24. Detalle fijación por tornillos	48
Fotografía 26. Detalle fijación por casquillos	49
Fotografía 25. GcR de red y cable de acero	49
Fotografía 27. GcR de albañilería	50
Fotografía 28. SPPB empotrado	52
Fotografía 29. SPPB de puntales	53
Fotografía 30. SPPB atornillado.....	55
Fotografía 31. SPPB de malla	56
Fotografía 32. SPPB de plástico.....	57
Fotografía 33. SPPB sargento	58
Fotografía 34. Ejemplo SPPB albañilería (Perú)	61
Fotografía 35. Ejemplo SPPB con puntales (Perú).....	62
Fotografía 36. Ejemplo SPPB de madera (Perú).....	62
Fotografía 37. Ensayo de límite elástico, aplicando la carga en el centro de la barandilla.	98
Fotografía 38. Ensayo de límite elástico, aplicando la carga en lo alto del poste.	98
Fotografía 39. Aplicación de la carga en la barandilla superior UNE EN 13374:2013.....	99
Fotografía 40. Aplicación de la carga en el poste UNE EN 13374:2013	99
Fotografía 41. Aplicación de la carga paralela	100
Fotografía 42. Aplicación de la carga accidental.....	100
Fotografía 43. Aplicación de la carga en la barandilla superior OSHA 1926.502.....	101
Fotografía 44. Aplicación de la carga en el poste OSHA 1926.502	102
Fotografía 45. Aplicación de la carga en el rodapié OSHA 1926.502	102

Fotografía 47. Fotografía del Sistema provisional de protección de borde.....	133
Fotografía 46. Sistema de fijación.....	133
Fotografía 48. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013	156
Fotografía 49. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	156
Fotografía 50. Ensayo de resistencia última barandilla ppal muestra 1 UNE-EN 13374:2013 .	157
Fotografía 51. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	157
Fotografía 52. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013	158
Fotografía 53. Ensayo de resistencia última rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	158
Fotografía 54. Ensayo de límite elástico poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013	159
Fotografía 55. Ensayo de resistencia poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	159
Fotografía 56. Ensayo de resistencia última poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013	160
Fotografía 57. Ensayo de carga accidental b.principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	160
Fotografía 58. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013	161
Fotografía 59. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 OSHA 1926.502	162
Fotografía 60. Ensayo de resistencia carga vertical b. ppal muestra 1 OSHA 1926.502.....	162
Fotografía 61. Ensayo de resistencia carga vertical b. intermedia muestra 1 OSHA 1926.502	163
Fotografía 62. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 OSHA 1926.502.....	163
Fotografía 63. Ensayo de resistencia poste muestra 1 OSHA 1926.502	164
Fotografía 64. Ensayo de resistencia barandilla superior muestra 1 RTP-01.....	165
Fotografía 65. Ensayo de resistencia poste muestra 1 RTP-01	165

Índice de Gráficos

Gráfica 1. Índice de incidencia de accidentes en Construcción	16
Gráfica 2. Índice de accidentes en Construcción (Brasil)	17
Gráfica 3. Índice de accidentes en Construcción (Perú).....	17
Gráfica 4. Distribución geográfica de la industria mundial de la construcción (2009)	18
Gráfica 5. Distribución geográfica de la industria latinoamericana de la construcción (2009) ..	18
Gráfica 6. Clasificación según el uso en diferentes ángulos y alturas de caída	23
Gráfica 8. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013	137
Gráfica 7. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013	137
Gráfica 9. Ensayo de límite elástico poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013	138
Gráfica 10. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 2 UNE-EN 13374:2013	138
Gráfica 11. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 2 UNE-EN 13374:2013	139
Gráfica 12. Ensayo de límite elástico poste muestra 2 UNE-EN 13374:2013	139
Gráfica 14. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 3 UNE-EN 13374:2013	140
Gráfica 13. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 3 UNE-EN 13374:2013	140
Gráfica 15. Ensayo de límite elástico poste muestra 3 UNE-EN 13374:2013	141
Gráfica 16. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 4 UNE-EN 13374:2013	141
Gráfica 17. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 4 UNE-EN 13374:2013	142
Gráfica 18. Ensayo de límite poste muestra 4 UNE-EN 13374:2013.....	142
Gráfica 19. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	143
Gráfica 20. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 UNE EN 13374:2013	143
Gráfica 21. Ensayo de resistencia poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013.....	144
Gráfica 22. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 2 UNE-EN 13374:2013.....	144
Gráfica 23. Ensayo de resistencia rodapié muestra 2 UNE EN 13374:2013	145
Gráfica 24. Ensayo de resistencia poste muestra 2 UNE-EN 13374:2013.....	145
Gráfica 25. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 3 UNE-EN 13374:2013.....	146
Gráfica 26. Ensayo de resistencia rodapié muestra 3 UNE EN 13374:2013	146
Gráfica 27. Ensayo de resistencia poste muestra 3 UNE-EN 13374:2013.....	147
Gráfica 28. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 4 UNE-EN 13374:2013.....	147
Gráfica 29. Ensayo de resistencia rodapié muestra 4 UNE EN 13374:2013	148
Gráfica 30. Ensayo de resistencia poste muestra 4 UNE EN 13374:2013	148
Gráfica 31. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 OSHA 1926.502	149
Gráfica 32. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 OSHA 1926.502.....	149
Gráfica 33. Ensayo de resistencia poste muestra 1 OSHA 1926.502	150
Gráfica 34. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 2 OSHA 1926.502	150
Gráfica 35. Ensayo de resistencia rodapié muestra 2 OSHA 1926.502.....	151
Gráfica 36. Ensayo de resistencia poste muestra 2 OSHA 1926.502	151
Gráfica 37. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 3 OSHA 1926.502	152
Gráfica 38. Ensayo de resistencia rodapié muestra 3 OSHA 1926.502.....	152
Gráfica 39. Ensayo de resistencia poste muestra 3 OSHA 1926.502	153
Gráfica 40. Ensayo de resistencia carga vertical barandilla ppal muestra 1 OSHA 1926.502...	153
Gráfica 41. Ensayo de resistencia carga vertical b. intermedia muestra 1 OSHA 1926.502	154
Gráfica 42. Ensayo de resistencia barandilla muestra 1 RTP-01	154
Gráfica 43. Ensayo de resistencia poste muestra 1 RTP-01	155

Índice de Normativas

UNE-EN 13374:2013- Sistemas provisionales de protección de borde- Especificaciones del producto- Métodos de ensayo.

G. 050- formativa Peruana de Seguridad Durante la Construcción (Perú, 2010)

OSHA 1926.502. Fall Protection Systems criteria and practices.

RTP-01- Recomendación Técnica de Procedimientos (Brasil, 2003)

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de evaluación según la clase de SPPB	23
Tabla 2. Tabla comparativa de exigencias entre las normas.....	31
Tabla 3. Valoración del sistema GcR de madera.....	42
Tabla 4. Valoración del sistema GcR de montantes metálicos	46
Tabla 5. Valoración del sistema GcR de puntales	47
Tabla 6. Valoración del sistema GcR metálico	49
Tabla 7. Valoración del sistema GcR de red y cable de acero.....	49
Tabla 8. Valoración del sistema GcR de albañilería	50
Tabla 9. Valoración del SPPB empotrado.....	53
Tabla 10. Valoración del SPPB de puntales.....	54
Tabla 11. Valoración del SPPB atornillado	55
Tabla 12. Valoración del SPPB de malla	56
Tabla 13. Valoración del SPPB de plástico.....	57
Tabla 14. Valoración del SPPB sargento.....	58
Tabla 15. Cuadro comparativo tipologías de los sistemas de protección.....	60
Tabla 16. Fórmulas ELU barandilla	70
Tabla 17. Fórmulas CA barandilla.....	73
Tabla 18. Límite elástico mínimo y resistencia a tracción. Capítulo V de la EAE	74
Tabla 19. Fórmulas ELU poste	76
Tabla 20. Comprobación requisitos geométricos UNE-EN 13374:2013.....	89
Tabla 21. Resultados ensayo límite de servicio.....	90
Tabla 22. Resultados ensayo de resistencia UNE-EN 13374:2013	91
Tabla 23. Resultados ensayo de resistencia última UNE-EN 13374:2013.....	92
Tabla 24. Resultados ensayo carga accidental y paralela	92
Tabla 25. Comprobación requisitos geométricos OSHA 1926.502	93
Tabla 26. Resultados ensayo de resistencia carga horizontal OSHA 1926.502.....	94
Tabla 27. Resultados ensayo de resistencia carga vertical OSHA 1926.502	94
Tabla 28. Comprobación requisitos geométricos RTP-01	95
Tabla 29. Resultados ensayo de resistencia carga horizontal RTP-01	96
Tabla 30. Parámetros registrados en el ensayo de límite de servicio UNE EN 13374:2013	135
Tabla 31. Parámetros registrados en el ensayo de resistencia UNE EN 13374:2013	135
Tabla 32. Parámetros registrados en el ensayo de resistencia OSHA 1926.502.....	136

Capítulo 1.

Introducción

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El auge que la construcción tiene actualmente en los países de Sudamérica y su previsión para los siguientes años indica varios aspectos como, un mayor desarrollo de los países y un aumento del mercado de la construcción. A ello se le suma la gran necesidad por parte de las constructoras de una mayor productividad en el proceso edificatorio y de la presencia de la seguridad y salud en sus obras para ser más competitivos a nivel mundial.

Por ello, se prevé que estos países van a experimentar una evolución en su forma de construcción, como ello ocurrió en España a raíz del “boom inmobiliario”, que para seguir el ritmo que el mercado va a marcar a las empresas, éstas necesitarán aumentar en productividad y en reducción de costes, disminuyendo así el número de accidentes y adquiriendo procesos constructivos más industrializados.

Un ejemplo de esta industrialización que se va a experimentar va a ser un cambio en los medios auxiliares pasando de sistemas de encofrado parciales (usualmente utilizados en pequeñas construcciones, hechos “in situ” y con mayor probabilidad de producir accidentes) a sistemas continuos prefabricados, que proporcionan rapidez de ejecución y seguridad.

Todo esto abre un gran mercado a las empresas españolas de exportación de sus productos y surge la idea de este proyecto: de realizar para una fabricante español, la validación de un sistema de protección de borde integrado en un mecano de encofrado continuo que garantice la protección del riesgo de caída en altura cumpliendo con la función de productividad y que sea conforme tanto a la normativa Europea como a la Latinoamericana.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es validar y evaluar la eficacia de un SPPB ya diseñado y fabricado por una empresa (fabricante de sistemas de protección colectiva) para comercializarlo, con función de medio de protección colectiva para prevenir las caídas en altura, en los procesos constructivos de ejecución de obras de edificación, del ámbito europeo y latinoamericano. Tiene por objeto que la implantación e integración del SPPB, en los procesos de ejecución de las obras de edificación de los países latinoamericanos, mejore el nivel de protección, teniendo en cuenta la problemática de estos países en materia de seguridad y salud.

Para alcanzar este objetivo, se tendrán que:

- Identificar los procesos constructivos empleados en la ejecución de obras de edificación.
- Identificar cuáles son los SPPB que se emplean y justifican como Medios de Protección Colectiva (MPC), tanto integrados o no en los sistemas de encofrado, como en la estructura hormigonada.
- Definir la normativa a aplicar para el estudio y validación de un SPPB.
- Estudiar y analizar la adecuación a la normativa vigente de un SPPB fabricado por una empresa española, mediante cálculo y ensayos.
- Realizar un manual de instrucciones para el montaje, mantenimiento y desmontaje del SPPB.
- Realizar una estimación del coste de instalación en obra del SPPB.

1.3 ÁMBITO DE APLICACIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance del presente trabajo, se centra en el estudio y validación de un SPPB formado por barandilla superior e intermedia, rodapié y postes, sustentado a la estructura por medio de un sistema de fijación por apriete mediante barra dywidag.

Como es un estudio de un sistema que pretende ser universal, la estructura a la que se fija el sistema es un perfil con unas dimensiones que representan las dimensiones medias longitudinales y transversales de una sopanda del mercado.

La validación de este sistema, además, se realiza en el Laboratorio de Elementos de Seguridad de AIDICO, teniendo en cuenta por ello, que se realiza un estudio en condiciones normalizadas de laboratorio.

El uso del SPPB al cual está destinado es a colocarse junto con el encofrado continuo en fase previa a la construcción de la estructura horizontal, cumpliendo la función de protección del perímetro del área de trabajo en fase de montaje de encofrado, armado y hormigonado del forjado.

No es función del SPPB la protección de caídas en altura fijado al borde de la losa o forjado ni como sistema de protección definitivo.

1.4 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la realización del proyecto será:

1. Observación documental a través de fuentes bibliográficas y contactos especializados en la materia sobre:
 - El contexto y la situación en cuanto a seguridad y salud en que se encuentran Brasil, Perú y España.
 - Los procesos constructivos y tipologías de SPPB de los países de estudio.
 - Las normativas aplicables en cada país referentes a los SPPB.

2. Cálculo analítico y realización de ensayos en condiciones de laboratorio siguiendo los procedimientos que marca la normativa.
3. Recopilación de los datos obtenidos.
4. Análisis y comparación de los datos experimentales y analíticos.
5. Conclusiones que se han obtenido a lo largo del desarrollo del proyecto.

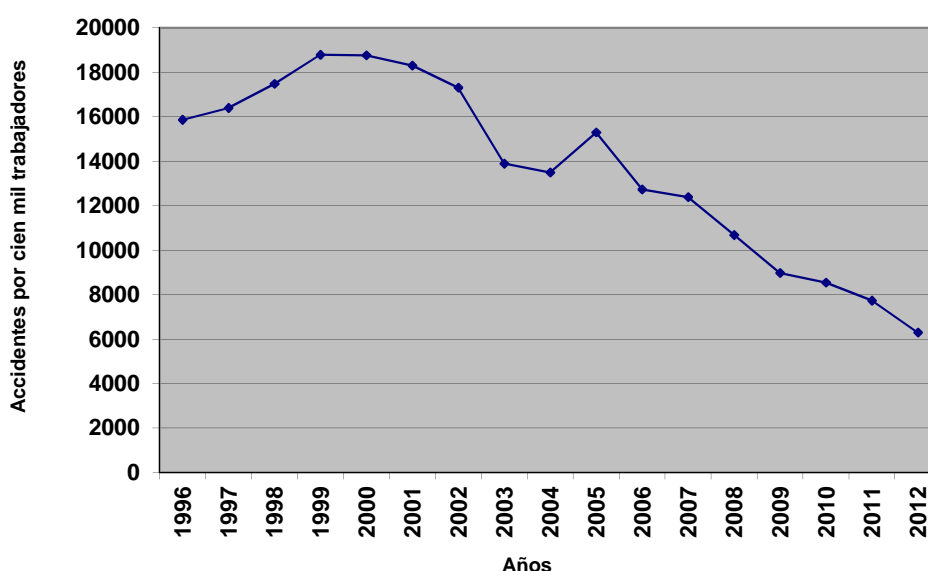
Capítulo 2.

ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA IMPLANTACIÓN DE SPPB

2.1 CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

La industria de la construcción ha sido siempre considerada una actividad tanto de gran importancia para el sector económico como peligrosa en cuanto a la seguridad y salud de los trabajadores, debido a la alta incidencia de accidentes de trabajo y, sobre todo, de accidentes de trabajo mortales.

Respecto a la seguridad y salud, en España los datos estadísticos en el sector de la construcción indican que desde la entrada en vigor de la legislación específica preventiva, el RD 1627/1997, así como muchas otras normativas posteriores para el sector, e implantándose éstas progresivamente en las obras, la accidentalidad ha ido bajando, como se observa en el gráfico 1 hasta la mitad de los datos anteriores.



Gráfica 1. Índice de incidencia de accidentes en Construcción

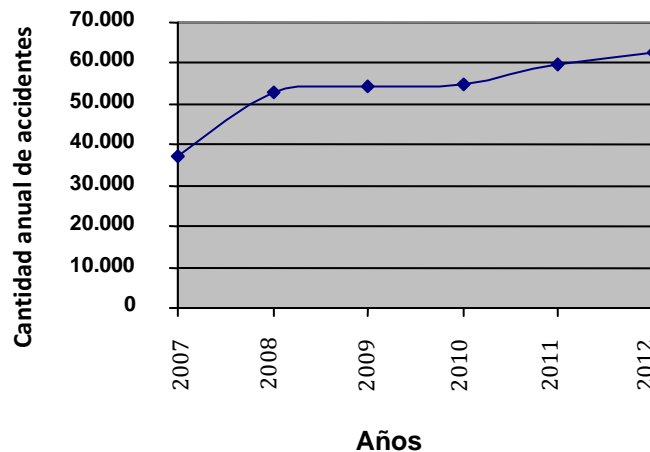
En los países latinoamericanos, en cambio, aún se le asigna escasa importancia a la seguridad y salud en el trabajo de las obras. Esto surge de dos ideas bastante arraigadas en el sector:

- que los accidentes son inevitables;
- y que los accidentes de trabajo tienen muy poco impacto en los beneficios de la empresa.

Si bien es verdad que en la industria de la construcción se realizan tareas (como trabajos en altura, excavaciones, izado de materiales, etc.) que son potencialmente peligrosas, ello no

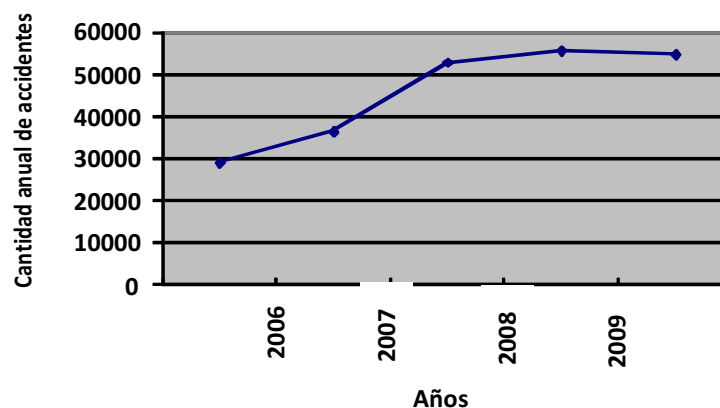
significa que los accidentes sean inevitables. Por el contrario, lo cierto es que los accidentes laborales pueden evitarse, cuando se eliminan las causas que los producen.

A continuación se muestra una estadística de Brasil con datos oficiales del “Ministerio da Previdência Social”, sobre accidentes anuales en el sector de la construcción desde 2007 a 2012. Como se observa, la siniestralidad ha ido en aumento a consecuencia del crecimiento de la construcción en el país en los últimos años, lo que indica una escasa presencia preventiva.



Gráfica 2. Índice de accidentes en Construcción (Brasil)

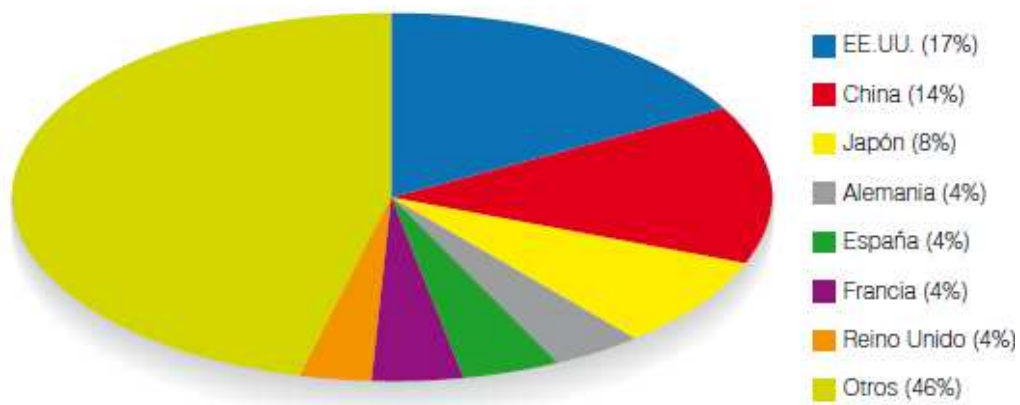
Por otro lado, en Perú, se registran muy pocos accidentes de los que ocurren en realidad, por ello se observan datos tan bajos según los Anuarios Estadísticos publicados por el “Ministerio de Trabajo”. Es de destacar como en los últimos años ha habido un ascenso muy significativo de accidentes registrados en comparación a años anteriores.



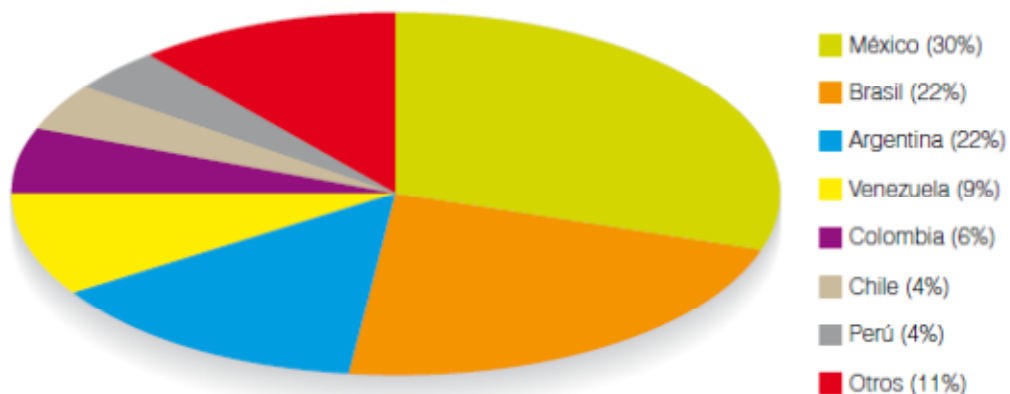
Gráfica 3. Índice de accidentes en Construcción (Perú)

Por la parte económica, la construcción desempeña un importante papel en la generación de empleos y renta. De acuerdo con la OIT (Organización Internacional del Trabajo), se estima que la construcción es la segunda actividad que más genera empleos en el mundo.

En el ranking mundial de la construcción, los países europeos ocupan una posición destacada (gráfico 4) y en los países latinoamericanos, se constata que México y Brasil fueron responsables conjuntamente del 52% de la construcción en América Latina en 2009 (gráfico 5). Le siguen en el ranking de mayores mercados Argentina, Venezuela, Colombia, Chile y Perú.



Gráfica 4. Distribución geográfica de la industria mundial de la construcción (2009)



Gráfica 5. Distribución geográfica de la industria latinoamericana de la construcción (2009)

Es de destacar que el mayor crecimiento en la producción y el empleo del sector de la construcción durante las últimas dos a tres décadas se ha producido en los países recientemente industrializados de Asia y América Latina, como China y Brasil.

Europa se encuentra en el caso opuesto, el año 2012 resultó recesivo para el sector de la construcción, convirtiéndose en el segundo peor ejercicio registrado durante los cinco años de crisis.

En España, desde el año 2010 la partida destinada a las infraestructuras públicas cayó de manera rápida y contundente. Pero las grandes constructoras españolas se han mantenido entre las primeras compañías internacionales, gracias al peso de sus carteras de obras en el extranjero, una situación que no tiene visos de variar, al menos a corto plazo.

El sector de la construcción en España se estima que seguirá cayendo al menos hasta el año 2015. Para volver a ver crecimiento en edificación e ingeniería civil va a ser imprescindible una recuperación muy clara, tanto del empleo como del crédito.

En el caso de Perú, ha sido uno de los países más dinámicos de Latinoamérica en los últimos diez años. Ha despertado el interés de los inversores internacionales e impulsando la actividad económica a través de la ejecución de proyectos.

Las empresas locales han comenzado a acometer mejoras y a tecnificar sus procesos productivos, volviéndose más competitivas.

Brasil, por otra parte, tiene uno de los mayores sectores de la construcción en América del Sur y es el que más rápido crece. El gran momento de estabilidad económica que está atravesando el país, está garantizando el desarrollo y crecimiento del mercado.

Entre 2010 y 2015, la construcción de Brasil va a experimentar un crecimiento del 10,6%. Durante este tiempo, el segmento de mayor crecimiento se espera que sea la construcción de infraestructuras, debido a que el país se prepara para la próxima Copa del Mundo y los Juegos Olímpicos.

2.2 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS NORMATIVAS RELATIVAS A LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL).

Introducción

En primer lugar se procede a analizar las normativas existentes en cada país objeto de estudio, realizando primero un resumen cronológico de la evolución que han sufrido las normativas hasta la aparición de las actuales y en segundo lugar, desarrollando las normas específicas de cada país relativas a las protecciones de borde.

- España

La Unión Europea está dotada de un cuerpo normativo integrado por diversas Directivas específicas. España, como miembro, sigue la normativa marcada por estas Directivas, que mediante su transposición al Derecho español se conforman las Leyes nacionales.

A parte de las Directivas Europeas, España también basa su normativa en los Convenios de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), lo que comparte con los países latinoamericanos. Cada país ratifica los convenios y los adopta a su Derecho interno. Respecto a edificación se encuentra el convenio:

- “C62 Convenio sobre las prescripciones de seguridad (edificación)” que garantiza la aplicación, en todos los trabajos relacionados con la construcción, de las disposiciones relativas a andamiajes, aparatos elevadores y equipos de protección y primeros auxilios. El cual es el origen y nexo común de todas las demás normativas de todos los países que forman parte de la OIT.

Años más tarde, junto con la Directiva Europea “89/391/CEE relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo” y la Constitución española que encomienda a los poderes públicos la tarea de velar por la higiene y salud en el trabajo, se desarrolló la “Ley de Prevención de Riesgos Laborales” del 8 de noviembre de 1995.

Ésta tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.

Hay que tener en cuenta también para la seguridad en edificación la Directiva 89/655/CEE sobre la utilización de los equipos de trabajo, la cual se implantó en España con el RD 1215/97 que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los equipos de trabajo y posteriormente, el RD 2177/2004 que especifica las disposiciones de utilización en los trabajos temporales de altura. Y el 89/686/CEE Equipos de Protección Individual (RD 773/97 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual).

Posteriormente, a raíz de la Directiva Europea 92/57/CEE relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles, se realizó la trasposición al RD 1627/97 del 24 de Octubre de 1997, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, lo cual vino a completar, lo dispuesto en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales de 1995.

En su disposición C “Caídas en altura” hace referencia a las exigencias mínimas para proteger del riesgo de caída:

“...huecos y aberturas existentes en los pisos de las obras que supongan para los trabajadores un riesgo de caída de altura superior a 2 metros, se protegerán mediante barandillas u otro sistema de protección colectiva de seguridad equivalente. Las barandillas serán resistentes, tendrán una altura mínima de 90 centímetros y dispondrán de un reborde de protección, un pasamanos y una protección intermedia...”.

Más específicamente para las protecciones de borde, en España se debe cumplir lo dispuesto en el Capítulo III del V Convenio de la Construcción así como las medidas de seguridad de los productos indicados en el RD 1801/2003.

Además de esto, se adopta en España la normativa europea *UNE-EN 13374:2004* y la actual *UNE-EN 13374:2013 "Sistemas Provisionales de Protección de Borde. Especificaciones de Producto. Métodos de Ensayo"* que constituye un avance en la especificación de los requisitos técnicos a exigir, ya que hasta la fecha no existía ningún documento normativo que estableciera para estos medios de seguridad unos requisitos específicos.

Desarrollo de la norma UNE-EN 13374:2013:

UNE-EN 13374:2013 "Sistemas Provisionales de Protección de Borde. Especificaciones de Producto. Métodos de Ensayo"

En la legislación española, los requisitos establecidos para los sistemas de protección colectiva fueron muy genéricos hasta que apareció la norma UNE-EN 13374 "*Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto, métodos de ensayo*".

Ésta especifica los requisitos de comportamiento y métodos de ensayo para los sistemas provisionales de protección de borde, en superficies horizontales e inclinadas, empleados durante la construcción, para prevenir la caída de personas o materiales desde un borde abierto. Abarca tanto a los sistemas de protección de borde que son anclados a la estructura, como a los que cuentan con la acción de la gravedad y del rozamiento en superficies horizontales.

La norma clasifica los sistemas de protección de borde en tres clases (A, B y C), según el ángulo de inclinación del forjado, exigiéndole unos requisitos geométricos y de resistencia de los componentes.

En función del uso la clasificación es la siguiente:

- Clase A:
 - soportar una persona que se apoya sobre la protección o para sujetar su mano cuando camina junto a ella.
 - detener a una persona que camina o cae en dirección de la protección.
- Clase B:
 - detener la caída de una persona que se resbala por una superficie inclinada.
- Clase C
 - Detener una persona que desliza por una pendiente fuerte.

Es requisito básico que un sistema de protección de borde esté fabricado de madera, acero u otro material suficientemente rígido y resistente y que comprenda al menos:

- **Barandilla principal:** larguero o elemento continuo que forma la parte superior de la protección de borde con una altura mínima medida perpendicularmente a la superficie de trabajo debe ser de 1 m. (diferencia respecto al RD. 1627/1997 que señala la altura mínima de las barandillas en 0,90 m., por lo tanto con la especificación técnica estaremos intentando mejorar los niveles de seguridad).

- **Barandilla intermedia:** larguero colocado entre la barandilla principal y la superficie de trabajo. Si se dispone de barandilla intermedia, cualquier apertura no debe dejar pasar una esfera de más de:
 - 470 mm de diámetro en clase A.
 - 250 mm en los SPPB clase B
 - 100 mm en los de clase C.
- **Protección intermedia:** barrera de protección formada por un malla o una red de seguridad entre la barandilla y la superficie de trabajo, empleada en el caso de no disponer de barandilla intermedia.
- **Plinto o rodapié:** elemento vertical específicamente previsto para prevenir la caída o deslizamiento de materiales o personas fuera de una superficie. Su altura mínima debe ser al menos de 150 mm y no debe dejar pasar una esfera de 20 mm entre la superficie de trabajo y este elemento.
- **Poste:** soporte principal vertical del sistema de protección al cual se sujetan las barandillas y los plintos.

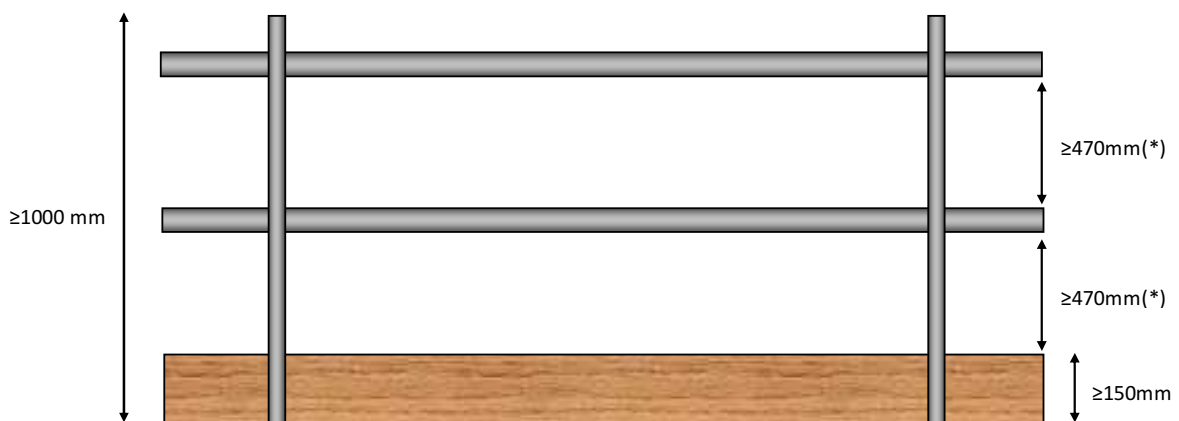


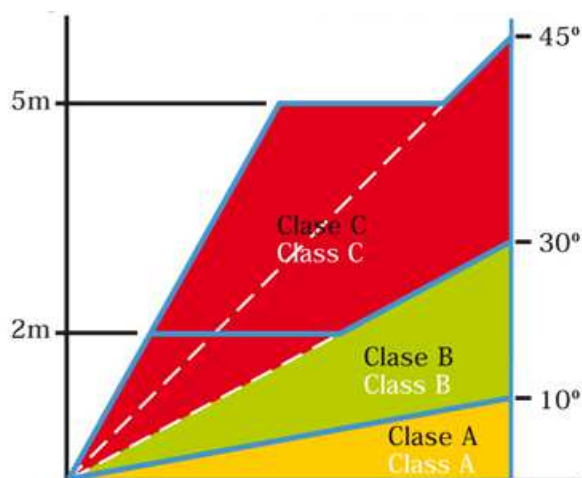
Ilustración 1. Características geométricas del SPPB según UNE-EN 13374:2013

(*) 250 mm en los SPPB clase B o 100 mm en los de clase C.

En función del ángulo de la superficie de trabajo, con respecto a la horizontal y la posible altura de caída, la clasificación es:

- **Clase A** si el ángulo de la superficie de trabajo es menor de 10° (se permite hasta 15°). Se puede evaluar analítica y experimentalmente y se ensaya únicamente cargas estáticas.
- **Clase B** puede utilizarse si el ángulo es menor de 30° sin limitación de altura de caída, o 60° si la altura de caída menor de 2 m. Para cargas estáticas se puede evaluar analítica y experimentalmente y para cargas dinámicas sólo experimentalmente.

- **Clase C** si el ángulo está entre: 30° y 45° sin límite de altura de caída, o 45° y 60° y altura de caída menor de 5 m. En este caso se evalúa experimentalmente mediante cargas de tipo dinámico.



Gráfica 6. Clasificación según el uso en diferentes ángulos y alturas de caída

Resumen de las cargas y su evaluación según el tipo de SPPB

Tabla 1. Tipos de evaluación según la clase de SPPB

	CARGAS	EVALUACIÓN
Clase A	Cargas estáticas	Analítica y experimental
Clase B	Cargas estáticas	Analítica y experimental
	Cargas dinámicas	Experimental
Clase C	Cargas dinámicas	Experimental

- Perú

La Constitución vigente de este país obliga al Estado a asumir responsabilidades en materia de seguridad y salud en el trabajo. Asimismo, como se ha dicho anteriormente existen convenios internacionales del trabajo (OIT) que refuerzan la legislación nacional, los cuales al haber sido ratificados por el Gobierno peruano, son de obligado cumplimiento. Uno de ellos es el Convenio No. 62, sobre prescripciones de seguridad en la edificación, ratificada por Perú en el 1962.

En 1983 se crearon las “Normas básicas de seguridad e higiene en obras de edificación” (R.S. Nº 021-83-TR), que tienen por objeto prevenir los riesgos ocupacionales y proteger la salud e integridad física y mental de los trabajadores de las obras de Construcción Civil.

Recientemente se aprobó la Ley N° 29783 Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (proveniente del D.S. 005-2012), la cual establece la obligación de implementar una política de prevención de riesgos laborales y vigilar su cumplimiento.

Surgió como producto de la evaluación de las difíciles condiciones de seguridad y salud imperante en los centros de trabajo en el país, particularmente duras en las actividades de la construcción.

El Sector de la Construcción, se basa en las acciones de prevención de dos normas técnicas:

a) **Las Normas básicas de seguridad e higiene en obras de edificación**, ya mencionada anteriormente, en la cual ya existía un apartado relativo al peligro de caída en altura y exigía:

“Artículo 15º. – Se colocarán barandas protectoras en las aberturas existentes que presenten riesgos en general, y específicamente en:

a. El perímetro de las zonas de trabajo en altura.

b. Los vacíos de las cajas de ascensores”

Así como, *“se protegerá de las aberturas para la recepción de material procedente de elevadores; cuando no estén en servicio se instalará en ellas barandas protectoras.”*

b) **Norma Técnica G.050 “Seguridad durante la construcción:**

La norma Técnica G.050 “Seguridad durante la construcción”, modificando la anterior Norma E-120 “Seguridad durante la Construcción” tiene la finalidad de ampliar los alcances de las “Normas básicas de seguridad e higiene en obras de edificación”.

El objetivo de la norma G.050 es especificar las consideraciones mínimas indispensables de seguridad a tener en cuenta en las actividades de construcción civil incluidos trabajos de montaje y desmontaje. Siendo su campo de aplicación todas las actividades de construcción.

Desarrollo de la Norma Técnica G.050

Norma Técnica G.050 “Seguridad durante la construcción”

La Norma Técnica G.050 define unas consideraciones mínimas de seguridad para todas las actividades de una obra pero es poco concreta respecto a las protecciones colectivas.

“Todo proyecto de construcción debe considerar el diseño, instalación y mantenimiento de protecciones colectivas que garanticen la integridad física y salud de trabajadores y de terceros, durante el proceso de ejecución de obra.

El diseño de las protecciones colectivas debe cumplir con requisitos de resistencia y funcionalidad y estar sustentado con memoria de cálculo y planos de instalación que se anexarán a los planos de estructuras del proyecto de construcción. El diseño de protecciones colectivas debe estar refrendado por un ingeniero civil colegiado.”

Comentario: Como en la norma no se especifica un procedimiento de cálculo estructural, suponemos que el ingeniero tomará como referencia las siguientes:

- “E. 090 Estructuras metálicas” en el caso de protecciones de borde metálicas.
- “E. 010 Madera” en el caso de protecciones de borde de madera.

Por esta necesidad de tener más requisitos definidos para la conformidad de las protecciones de borde, vamos a tener en cuenta, la norma norteamericana OSHA 1926.502 “Fall Protection Systems criteria and practices.”, en vez de la propia G.050 ya que en Perú si no se dispone de normativas propias o algunos aspectos no están totalmente definidos en ellas, se toma como referencia la normativa norteamericana.

Desarrollo de la OSHA 1926.502:

Esta norma, los requisitos geométricos los desarrolla ampliamente determinando dimensiones de los componentes, alturas mínimas y distancias máximas entre elementos.

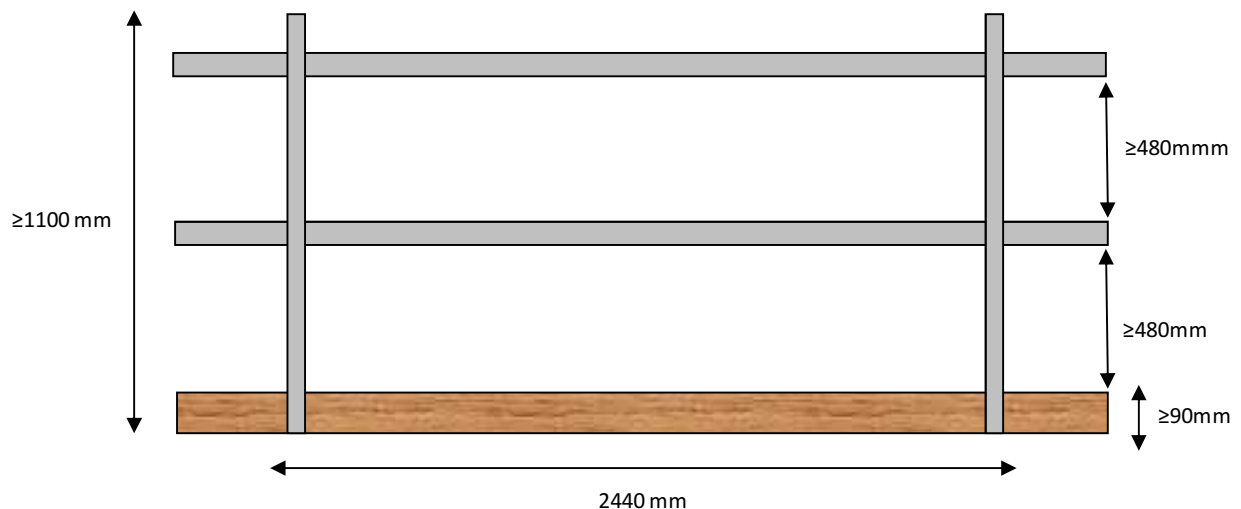


Ilustración 2. Características geométricas del SPPB según OSHA 1926.502

De los requisitos mecánicos detalla la realización de un ensayo de resistencia indicando las cargas según el punto y la dirección de aplicación. En cuanto a las exigencias, sólo le exige que resista los valores indicados en la norma sin tener en cuenta las deformaciones.

- Brasil

La Consolidación de las Leyes de Trabajo (CLT) aprobada en 1943 es un documento que regula las relaciones entre empresarios y empleados y establece los derechos y deberes de los mismos.

En los años 70, con el fin de disminuir el número de accidentes y desarrollando el capítulo V de la CLT “Seguridad y Medicina en el Trabajo”, se publica la Ley N.º 6514 de 22 de diciembre de 1977, que establece los principios mínimos relativos a la Seguridad y Salud en el Trabajo. Con el propósito de atender a esta ley, el Ministerio de Trabajo publica la Ordenanza N.º 3214 de 8 de junio 1978, que aprueba la Norma Reguladora relativa a la Seguridad y Salud en el Trabajo (NR 18).

La NR 18, con título “Condiciones Y Medio Ambiente de Trabajo en la Industria de la Construcción”, tiene el objetivo de implementar las medidas de control y los sistemas preventivos de seguridad en los procesos de la industria de la construcción. Esto significa un gran avance de la mejora de las condiciones de trabajo.

Pero también provoca dudas en su interpretación, sobretodo en cuanto a áreas, dimensiones, distancias y características de los equipos e instalaciones.

Hay que destacar que en Brasil no se encuentra ratificado el “C62 Convenio sobre las prescripciones de seguridad (edificación)”, aún siendo Estado miembro de la OIT.

En el 2001, el Ministerio de Trabajo, en colaboración con la entidad gubernamental sobre seguridad y salud en el trabajo (Fundacentro¹) y en base a las disposiciones de la NR 18, publicó las RTP- Recomendaciones Técnicas de Procedimientos, como una forma de ayudar a las empresas en el cumplimiento de la legislación. Las RTP están divididas en 5 Recomendaciones, de las cuales la RTP-01 corresponde a las “Medidas de Protección contra Caídas en Altura”.

La fundación sobre seguridad y salud, Fundacentro, además redactó para el caso de las protecciones de madera, una publicación “Modelo de dimensionamiento de un Sistema de Guarda-cuerpo” con el objetivo de enfatizar la importancia del correcto dimensionamiento de las protecciones colectivas y proporcionar a las empresas y profesionales, metodologías para el cálculo de los sistemas de protección de madera utilizados en la construcción.

Desarrollo de la RTP-01

RTP-01 “Medidas de Proteção contra Quedas de Altura”

En cumplimiento con el artículo 18.13 de la NR 18 “Condiciones Y Medio Ambiente De Trabajo En La Industria De La Construcción”, se desarrolla la RTP-01 “Medidas de Proteção contra Quedas de Altura” con el objetivo de especificar las disposiciones técnicas relativas a la protección del riesgo de caída en altura de personas y objetos en la industria de la construcción. En esta recomendación se describe el sistema de protección de la siguiente forma:

Sistema de protección de borde – Sistema de Guarda-Corpo e Rodapé (GcR)

“Es un elemento destinado a evitar la caída de personas, materiales y herramientas, compuesto de un material rígido y resistente, normalmente madera o perfiles metálicos y convenientemente instalados en plataformas, áreas de trabajo y de circulación donde exista el riesgo de caída.”

¹ Fundação Jorge Duprat e Figueiredo de Seguridad y Medicina en el Trabajo.

Está formado por:

- *Travesaño superior: barra o listón instalado a una altura de 1,20 m respecto a la superficie de trabajo.*
- *Travesaño intermedio: elemento instalado a 0.70 m de altura respecto a la superficie de trabajo.*
- *Rodapié: elemento apoyado sobre la superficie de trabajo de altura mínima 0.20m.*
- *Montantes: componentes verticales los cuales se fijan a la superficie de trabajo y a los travesaños y rodapié.*
- *Malla de cerramiento de los huecos con aberturas entre 20-40m.*

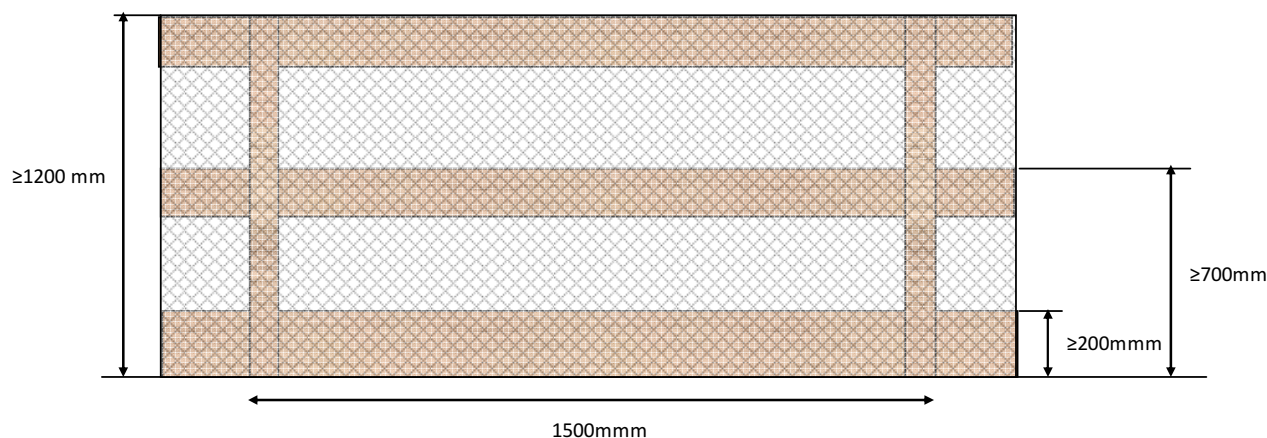


Ilustración 3. Características geométricas del SPPB según RTP-01

Disposiciones generales:

- *La fijación del sistema debe resistir mínimo 150 kgf/ml desde la cara interna.*
- *El material puede ser madera u otro de resistencia y durabilidad equivalente.*
- *Las protecciones de borde (de madera, metal o mixtos), en función de la forma de fijación pueden ser:*
 - *Por cuñas de madera que comprimen la estructura.*
 - *Esperas en el hormigón.*
 - *Abrazaderas en pilares metálicos.”*

Comentario: no se indica que clase de materiales son aquellos de resistencia y durabilidad equivalente. Se presupone que podrán ser de metal, plástico u otro siempre que resista los 150 Kgf/ml

“En caso de que la altura de 1.20 m definida para el travesaño superior sea insuficiente para cubrir el riesgo de caída, se eleva éste la altura necesaria, se interponen travesaños intermedios cada 0.50 m máximo y se colocará una malla de acero galvanizado como cerramiento de huecos.

Otro sistema que también se puede emplear es un sistema de tabloneros verticales con una distancia máxima de 15 cm entre ellos y cerramiento de malla de acero galvanizado. (Ilustración 5).

Cuando se recurra como opción de sistema de protección con red, no podrá tener aberturas mayores de 3 cm y deberá soportar una resistencia mínima de 150 kgf/ml.”

Comentario: Se refiere a crear una estructura con travesaños cada 50 cm hasta cubrir el riesgo de caída cuando éste es superior a 1.20m. (Ilustración 4).

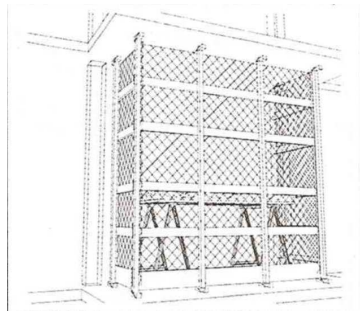


Ilustración 4. GcR con travesaños múltiples

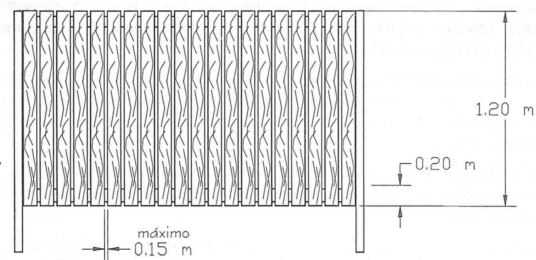


Ilustración 5. GcR de barrotes vertical

Cargas según RTP-01

La RTP-01 indica la carga que debe soportar la protección de borde.

- Las cargas horizontales aplicadas en los travesaños y postes de la protección de borde provisional que se cita en la RTP-01, son 150 Kgf/m.

Comentario: no indica claramente si la carga se aplica en todos los componentes del conjunto o únicamente en algún elemento así como tampoco el punto de aplicación de la carga salvo en el travesaño superior que se aplica en el centro.

- Las cargas verticales (peso propio). Al tratarse de una carga despreciable respecto al impacto horizontal no se consideran.
- Las deformaciones laterales según las cargas aplicadas: no existe límite de deformación.

- Comparativa entre normas

Después de una revisión de las normativas de los países de estudio, a continuación se realiza una comparación entre ellas y se detallan aquellos aspectos que son escasos en cuanto a información en cada una de ellas.

Tanto en la brasileña como en la peruana, se observa que el nivel de exigencia a las protecciones de borde es más bajo en comparación con la norma UNE-EN 13374:2013, es decir que no especifican tantos requisitos para que sean conformes en su puesta en obra.

La norma UNE-EN 13374:2013 define completamente los aspectos, tanto geométricos como mecánicos, a exigir a las protecciones de borde:

Requisitos geométricos o de diseño:

- Características geométricas y en función del ángulo de trabajo.
- Exigencias a los materiales (durabilidad, resistencia...).

Requisitos mecánicos:

- Resistencia a carga estática y dinámica en función del ángulo de trabajo.
- Deformaciones máximas.

Además concreta los métodos de cálculo y métodos de ensayo (con el procedimiento a seguir y los resultados mínimos a superar) para su evaluación.

En la legislación de Brasil, los requisitos geométricos están muy definidos tanto de dimensiones de los elementos del sistema (travesaños, montantes, rodapié y postes) como de formas de fijación.

Los requisitos mecánicos como la durabilidad o las deformaciones, en cambio, no se precisan. Tampoco se definen completamente las cargas en cuanto al sentido, punto y dirección de aplicación, aunque sí se determina al menos que la protección debe ser capaz de resistir un mínimo de carga.

No se realiza una definición de los requisitos de los materiales (durabilidad, resistencia...) que pueden ser utilizados en las protecciones y, por otra parte, tampoco se desarrollan los procedimientos de dimensionamiento. Un ejemplo para el método de dimensionamiento a seguir se especifica en la publicación del Fundacentro "*Modelo de Dimensionamiento de um Sistema de Guarda-Corpo*", aunque únicamente para protecciones de borde de madera.

También hay que señalar la falta de delimitación en cuanto al tamaño máximo del hueco entre el rodapié y la superficie de trabajo, que puede causar problemas con la falta de contención de materiales de dimensiones reducidas y que la UNE-EN 13374:2013 limita a 20 mm de separación.

En el caso de Perú, la norma G.050 no define ni requisitos geométricos ni mecánicos. Esta norma únicamente hace mención a la necesidad y obligación de disponer en obra de protecciones colectivas y que éstas sean suficientemente resistentes y funcionales. En cambio,

pese a la falta de desarrollo de requisitos técnicos, sí exige que la protección conste de una memoria de cálculo realizada por un ingeniero, lo cual en la NR 18 de Brasil no se exige.

Las normas de Brasil y Perú tienen cierta similitud con la Ordenanza nº71 de Seguridad e Higiene en el Trabajo del 1971 de España, la cual señalaba que las barandillas y plintos debían ser de materiales rígidos y resistentes como indica la de Perú. Tenían que ser capaces de resistir una carga de 150 kilogramos por metro lineal y además, sí proporcionaba algún dato de diseño de la protección pero no le exigía ningún cálculo estructural, como en la de Brasil.

Para Perú como ya se ha indicado anteriormente, vamos a tener en cuenta la norma OSHA 1926.502. La OSHA es más específica en los aspectos a exigir a los SPPB y es la más similar a la UNE-EN 13374:2013.

Desarrolla tanto requisitos geométricos como mecánicos indicando un procedimiento de ensayo pero únicamente exige ensayo de resistencia y no de límite elástico, así como tampoco determina requisitos de los materiales ni señala la norma a seguir de cálculo estructural, la cual se presupone que será la existente en Estados Unidos “ANSI 360-10 Specification for Structural Steel Buildings”.

A continuación se comparan los aspectos más importantes de las tres normativas (UNE-EN 13374:2013, OSHA 1926.502 y RTP-01) en una tabla resumen:

Tabla 2. Tabla comparativa de exigencias entre las normas

		UNE-EN 13374:2013	OSHA 1926.502	RTP-01
Características geométricas	Dimensiones máximas entre postes	x	✓ 2.44 m (8 pies)	✓ 1.50 m
	Separaciones máximas entre travesaños	✓ 0,47m o 0.25m entre elementos intermedios verticales	✓ 0.48m (19pulgadas)	✓ B. superior a 1.20m de la sup.trabajo B. intermedia a 0.70m de la sup.trabajo
	Altura mínima total	✓ Del sistema 1,00m	✓ Del sistema 1,10 m	✓ Del sistema 1.20m
Requisitos a los materiales	Resistencias	✓ Según normas de cada material.	x	x
Características mecánicas	Límite elástico	✓ Barandillas y postes 0,3kN Rodapié 0,2kN	x	x
	Deformaciones	✓ $\delta_{\text{medio}} \leq 55\text{mm}$ $\delta \leq 60\text{mm}$	x	x
Ensayos	Resistencia	✓ 0,5kN, 1,25kN, 0.2kN	✓ B.superior 0,89kN B. intermedia y postes 0.67 kN Rodapié 0,22kN	✓ 150kgf
	Analítico	✓ (Eurocodigo 3)	✓ (ANSI 360-10)	x
	Experimental	✓	✓	✓ 150kgf, en el centro

En definitiva, tras el análisis de los documentos en vigor, se concluye que las legislaciones sudamericanas sobre seguridad y salud en el trabajo, en cuanto a la utilización de EPC necesitan aún ser completadas en gran medida.

La norma de Brasil, está incompleta en cuanto a aspectos técnicos tanto de definición de cargas como de métodos de cálculo y de ensayo. Y en Perú no existe un documento específico para los SPPB. Sería necesario el desarrollo de uno que precise los requisitos geométricos y

mecánicos y además, desarrolle las exigencias de la memoria cálculo que la actual norma G.050 nombra que debe existir.

2.3 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL).

Se describe la forma de construcción de estructuras empleada en cada país en función de su tradición constructiva.

2.3.1 Brasil:

Brasil es un país que está dividido en dos tipos de ciudades. Por un lado están las ciudades dotadas de servicios e infraestructuras urbanas y por otro, los asentamientos que rodean la ciudad, que a pesar de estar altamente poblados no disponen de servicios mínimos.

En los asentamientos la población vive en favelas, construcciones de pocas alturas realizadas con materiales baratos de desecho, tales como madera, láminas de asbesto, láminas corrugadas de acero, piedras, plástico, bloques de hormigón abandonados, etc. Normalmente este sector de población se autofinancia y autoconstruye a medida que puede comprar materiales o en otros casos obtiene ayuda Gubernamental con proyectos como “Minha Casa, minha vida” para acceder a una vivienda.

Por otro lado, el primer tipo de ciudad pertenece a una clase de población que edifica a través de empresas constructoras. Las empresas emplean dos tipologías de sistemas constructivos: uno más convencional realizado “in situ” en el lugar de la obra y otro, más industrializado.

El sistema constructivo convencional con el que mayoritariamente se construye, es aquel que emplea hormigón vertido en obra o paredes portantes para realizar:

- estructuras de pilares y jácenas de hormigón armado con losas planas o losas nervadas.
- estructuras completamente de hormigón, incluyendo los cerramientos.
- forjados de viguetas y bovedillas.
- albañilería estructural.

En los ejemplos de fotografías adjuntas se observa la falta de protecciones colectivas, lo que indica en este país una muy poca tradición en su empleo por ahora, a nivel de construcción local.



Fotografía 2. Albañilería estructural



Fotografía 1. Cerramientos de hormigón

Los medios auxiliares para realizar las construcciones convencionales se dividen también en dos grupos: para edificaciones de grandes dimensiones y grandes cantidades de recursos, tanto materiales, humanos como de equipos, se empieza a tender a la utilización de encofrados totales para la construcción de las losas o muros de hormigón, los cuales mejoran las condiciones de trabajo rentabilizando el tiempo.

En cambio, las edificaciones de dimensiones menores, de pocas plantas, construidas por empresas de nivel local aún persisten con estructuras como los forjados de viguetas prefabricadas y bovedillas realizándolas mediante encofrados parciales.



Fotografía 3. Encofrado parcial

Los casos de estructura metálica corresponden a los sistemas constructivos industrializados. En estos se sueldan en obra los perfiles metálicos y como cerramiento horizontal, se colocan losas prefabricadas.



Fotografía 5. Losas prefabricadas.



Fotografía 4. Estructura metálica

2.3.2 Perú:

La forma constructiva de Perú se asemeja a la de Brasil en el sentido de que existen una gran variedad de tipos de construcciones, desde casas tradicionales de adobe hasta edificios modernos con muros de hormigón (concreto) armado. Y actualmente se dan de forma simultánea estos dos tipos de construcción.

En primer lugar, es de destacar que Perú es un país con un alto grado de sismicidad. Como se puede observar en la imagen siguiente, las ciudades de la costa son las más golpeadas por sismos de regular y alta intensidad, mientras que más al interior sigue existiendo este riesgo aunque en menor escala. Se debe tener muy presente, por tanto, la norma de diseño sismo resistente E030, del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.



Ilustración 6. Mapa de zonificación sísmica

En segundo lugar, como ocurre en Brasil la población se divide en dos sectores muy diferenciados en cuanto a sus posibilidades de acceso a las viviendas.

Uno, formal y el otro, informal o de auto-gestión. En el sector formal se ubica la población con mayor capacidad adquisitiva, que pueden adquirir viviendas con sus propios recursos o mediante créditos.

En el sector informal, no tienen capacidad de ahorro y autoconstruyen sus viviendas en áreas marginales, con graves deficiencias técnicas y, muchas veces, en zonas de alto riesgo, lo que las hace vulnerables en caso de sismos.

El sector formal utiliza preferentemente:

- vigas, columnas y losas de hormigón armado.
- albañilerías, armadas o confinadas, de ladrillo cerámico o bloque de hormigón.
- y algunos componentes prefabricados, como las viguetas pretensadas.



Fotografía 6. Forjado de bovedillas cerámicas

El sector informal sigue esta misma tendencia de construcción; aunque en las zonas marginales de algunas ciudades y en muchas pequeñas poblaciones de la sierra y la costa se usa el adobe tradicional así como, la madera en la selva.

Como medios auxiliares se utilizan en ambos sectores encofrados tanto metálicos como de madera. Los más empleados son los segundos, normalmente encofrados parciales formados por todos sus componentes de madera, incluso los puntales de sustentación del encofrado, que son rollizos.

Los encofrados metálicos, siguiendo la misma línea de Brasil, se utilizan para edificaciones con mayor capacidad económica. Son encofrados totales que provienen de fabricantes especializados que distribuyen a nivel internacional como Peri, Alsina, Ulma, etc.



Fotografía 7. Puntales de encofrado de madera

Como ocurre en los ejemplos de fotografías de Brasil, en Perú se observa también en las imágenes y en muchas otras observadas el escaso uso de protecciones colectivas durante la construcción.

2.3.2 España

En España, se puede englobar a todas las edificaciones en un mismo grupo ya que todos los materiales usados son materiales industriales como el hormigón, el acero y el ladrillo sustituyendo desde hace unas décadas a materiales tradicionales como la piedra, la madera o la arcilla, con los cuales hoy en día ya no se construye.

Hay que destacar que incluso en España en algunos casos no se observa el uso de protecciones colectivas, como en la Fotografía 9. En la Fotografía 10 en cambio, como no se trabaja en altura, no se necesita el uso de estas.

Podemos diferenciar las tipologías constructivas según su sistema de ejecución y según el tipo de encofrado que necesita cada uno (“in situ”, parcialmente prefabricado y prefabricado).

- Los forjados “in situ”, son los formados por las losas macizas y los forjados reticulares. Y es necesario para ellos encofrar la totalidad de la planta.



Fotografía 8. Encofrado horizontal total para forjado

- Los forjados parcialmente prefabricados, son los constituidos por los forjados autorresistentes y semirresistentes. En este caso únicamente es necesario encofrar las zonas que quedan macizadas con hormigón armado, aunque actualmente se procede a encofrar totalmente para evitar accidentes por roturas de bovedillas, etc. y por rentabilidad de tiempo.



Fotografía 9. Encofrado horizontal total

- Los forjados prefabricados, son las losas alveolares, placas nervadas o forjados de chapa colaborante. No será necesario la ejecución de un encofrado ya que estos mismos elementos constructivos actúan como encofrado perdido.



Fotografía 10. Proceso de colocación de losa alveolar.

Tradicionalmente los encofrados que se ejecutaban eran de madera, cortados a medida. Actualmente la necesidad de acortar los tiempos de ejecución, accidentes y por lo tanto los costes, unidos a la forma más modular y repetitiva que tiene la construcción, hace que se hayan desarrollado los encofrados totales industrializados y reutilizables.

2.4 ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LAS DIFERENCIAS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE BORDE EMPLEADOS Y SUS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN ENTRE PAÍSES DE EUROPA (ESPAÑA) Y LATINOAMÉRICA (PERÚ Y BRASIL).

3.2.2.1 Introducción

En este apartado se pretende realizar un análisis de los sistemas de protección de borde empleados en obra tanto en fase de encofrado como en fase posterior al hormigonado.

En primer lugar se analizan los diferentes sistemas de protección de borde utilizados en cada país, en la **fase posterior al hormigonado** de la estructura.

Se observan las características de cada uno de ellos con el fin de estudiar las ventajas y desventajas que presenta cada tipología.

A continuación se explican los criterios adoptados para definir las características de las protecciones de borde y la forma para realizar una valoración:

- **Funcionalidad del sistema:** referido a que el sistema disponga de cada uno de los elementos que indican las normas (barandillas, postes y rodapié además de malla, en el caso de los sistemas de Brasil) y que cumpla la función para la cual ha sido diseñado (retener tanto la caída de personas como de materiales).
- **Adaptabilidad de los vanos:** cuando la tipología permite montarse adaptándose a diferentes longitudes de vanos.
- **Facilidad del montaje/desmontaje:** rapidez con la que se instala y retira correctamente la protección de borde.
- **Reutilización del sistema:** posibilidad de utilizar el sistema en otra obra diferente.
- **Sistema prefabricado, “in situ” o mixto.**

El sistema de valoración seguido consiste en una escala numérica de 0 a 4, según el grado en el que el SPPB cumple con cada criterio propuesto.

Nulo	Bajo	Medio	Medio-alto	Total
0	1	2	3	4

2.4.1 Brasil

Las tipologías de SPPB más comúnmente utilizadas en Brasil y las que se van a proceder a analizar son las indicadas en el esquema adjunto:



Esquema 1. Esquema de los sistemas de protección en Brasil

- Sistema de protección de borde sujeto en la estructura hormigonada

Tipologías de protecciones de borde (GcR)

Se realizó un estudio en la Universidade Federal da Bahia (Brasil) "Análise do sistema guarda-corpo e rodapé em canteiros de obra" (Góes 2012), en el cual se pueden observar ejemplos de las protecciones de borde más utilizadas en obras de edificación de Brasil.

Se concluyó que en casi la mitad de las obras se utiliza un sistema con todos los elementos del GCR de madera, y en segundo lugar, un sistema mixto con elementos de madera (travesaños y rodapié) y metal (montantes).

Seguidamente se analizan detenidamente las tipologías de sistemas de protección de borde y se valoran según su mayor o menor adecuación a los criterios establecidos.

Tipología 1: Protección de borde en madera

Este tipo se compone de travesaño superior, travesaño intermedio, rodapié y montantes de madera, y una malla no resistente para el cerramiento de los vanos.

Para los sistemas tradicionales de madera se indican dos formas de fijar los montantes a la estructura, ya sea por "cuña" y por "rozamiento".

En la primera los montantes se cortan de manera que sean aproximadamente la longitud de la distancia entre el suelo y el techo, y después de poner los montantes en la posición final, se fijan mediante la inserción de una cuña en el espacio sobrante.

En la segunda forma, los montantes son cortados para que se mantengan con la longitud ligeramente mayor que la distancia entre losas, y se fija por medio de martilleo.

No son unos sistemas de fácil montaje/desmontaje porque se montan cortando los componentes a medida y por tanto, requieren de mucho tiempo y mano de obra. Tienen un grado de reutilización bajo, ya que la unión de los componentes entre sí es mediante clavos, por lo que al desmontarlo se deterioran y no es posible volver a montarlos en otra obra.



Fotografía 11. GcR de madera



Fotografía 12. Fijación por cuña



Fotografía 13. Fijación por "rozamiento"

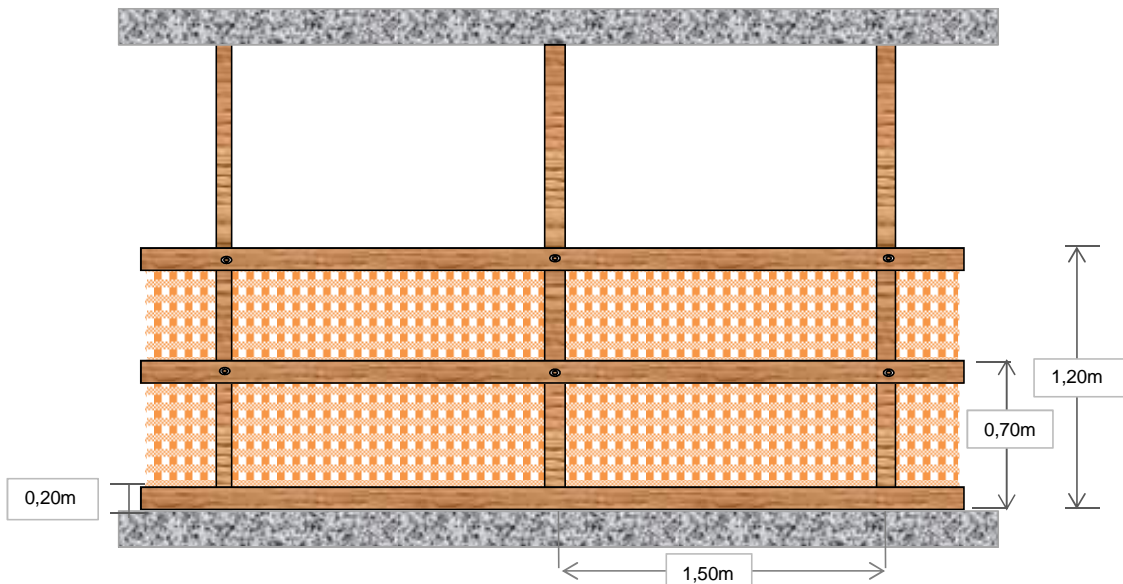


Ilustración 7. Croquis GcR de madera

Tabla 3. Valoración del sistema GcR de madera

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 1
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	4
Facilidad montaje/desmontaje	1
Reutilización del sistema	1
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	"in situ"

Tipología 2: Protección de borde con montante metálico

Esta tipología se compone de travesaño superior y travesaño intermedio de madera, postes metálicos, y una malla para el cerramiento de los vanos.

Se distinguen varios tipos en función de su forma de fijación a la estructura:

- Mediante tornillos:

Este caso es un sistema mixto, formado por travesaños de madera cortados "in situ" a la distancia requerida y montantes metálicos fabricados en instalación industrial. El rodapié en esta tipología no existe como tal, realizando la función de rodapié la malla de cerramiento, con la problemática de caída de objetos que pasen por debajo de ésta.

La fijación del sistema se realiza mediante taladros en la estructura de hormigón y luego fijando con tornillos.



Fotografía 15. GcR fijado con tornillos



Fotografía 14. Detalle fijación con tornillos

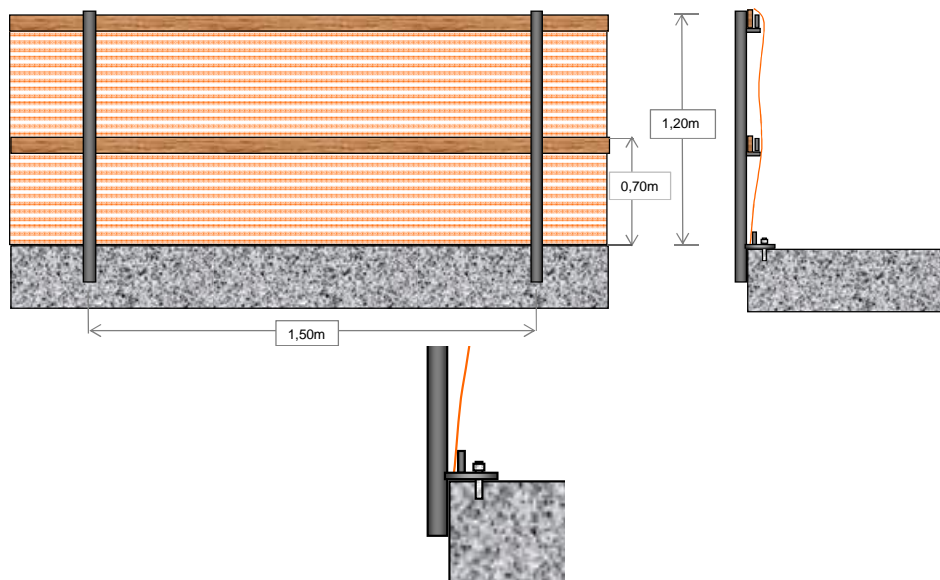


Ilustración 8. Croquis GcR con tornillos

- Mediante barras de acero corrugado con apriete:

El sistema aprovecha los taladros hechos en las vigas de borde para la colocación de barras corrugadas que atraviesan el hormigón y se aprietan por el otro lado mediante una cabeza roscada. A estas barras se conectan los montantes.

En este caso no cumple el requisito de funcionalidad, puesto que la separación existente entre el borde de la losa y el GcR no protege de la caída de objetos.



Fotografía 16. Detalle fijación por apriete



Fotografía 17. GcR fijado por apriete

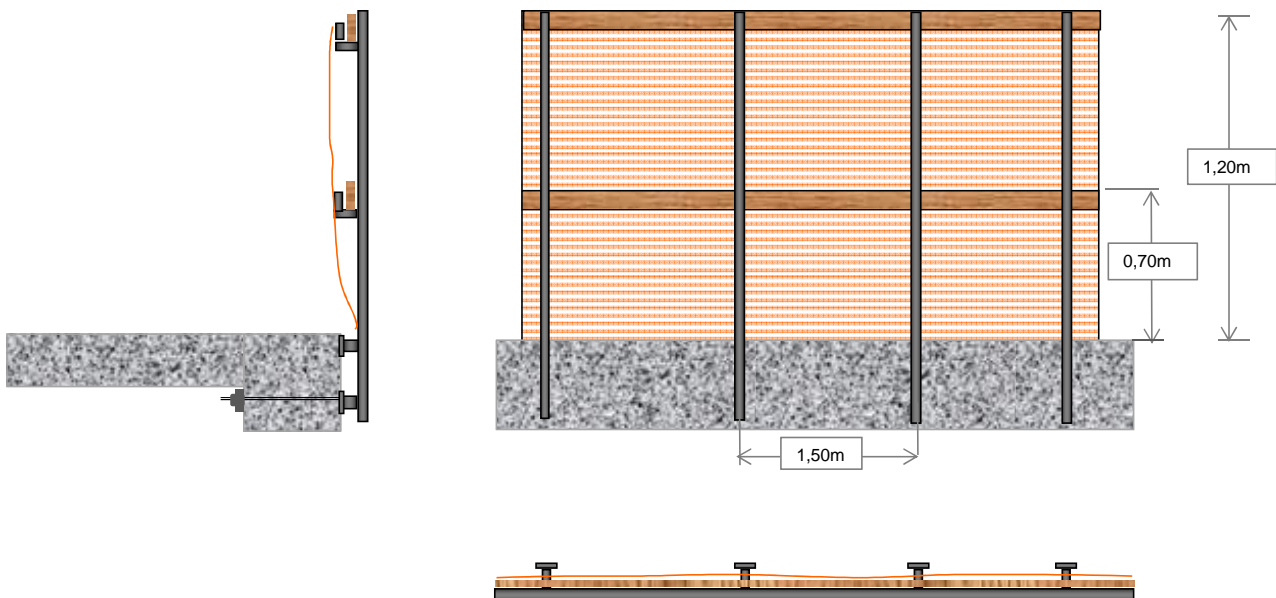


Ilustración 9. Croquis GcR por apriete

- Mediante barras de acero corrugado y conector:

Se realizan taladros en la losa de hormigón y se introducen barras de acero corrugado hasta un tercio de su longitud, de forma que sobresalgan hacia fuera 10 cm y sobre esas armaduras se encajan los montantes con conectores. Se puede realizar en el borde o retranqueado en el interior.



Fotografía 18. Detalle fijación con conector



Fotografía 19. GcR fijado con conector

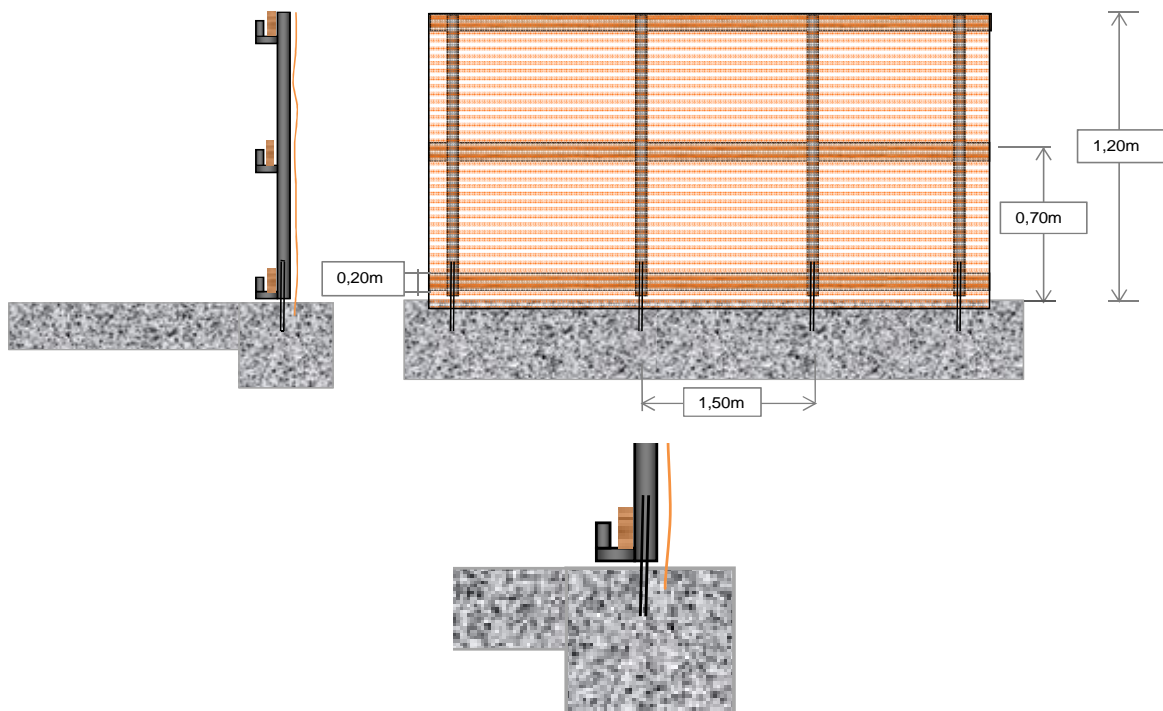


Ilustración 10. Croquis GcR con conector

Tabla 4. Valoración del sistema GcR de montantes metálicos

VENTAJAS	TIPOLOGÍA 2		
	Tornillos	Tensores	Conector
Funcionalidad del sistema	3	1	4
Adaptabilidad de los vanos	3	1	3
Facilidad montaje/desmontaje	3	2	3
Reutilización del sistema	2	2	2
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	mixto	mixto	mixto

Tipología 3: Protección de borde con puntal metálico (montante)

Esta tipología se compone de travesaño superior, travesaño intermedio, rodapié de madera, una malla para el cerramiento de los vanos y como montantes puntales metálicos.

Este caso no dispone de un sistema de unión específico entre travesaños y montantes sino que se unen mediante atado con alambre o similar, por lo que la sujeción de éstos es muy deficiente.



Fotografía 20. GcR de puntales



Fotografía 21. Detalle unión con alambres

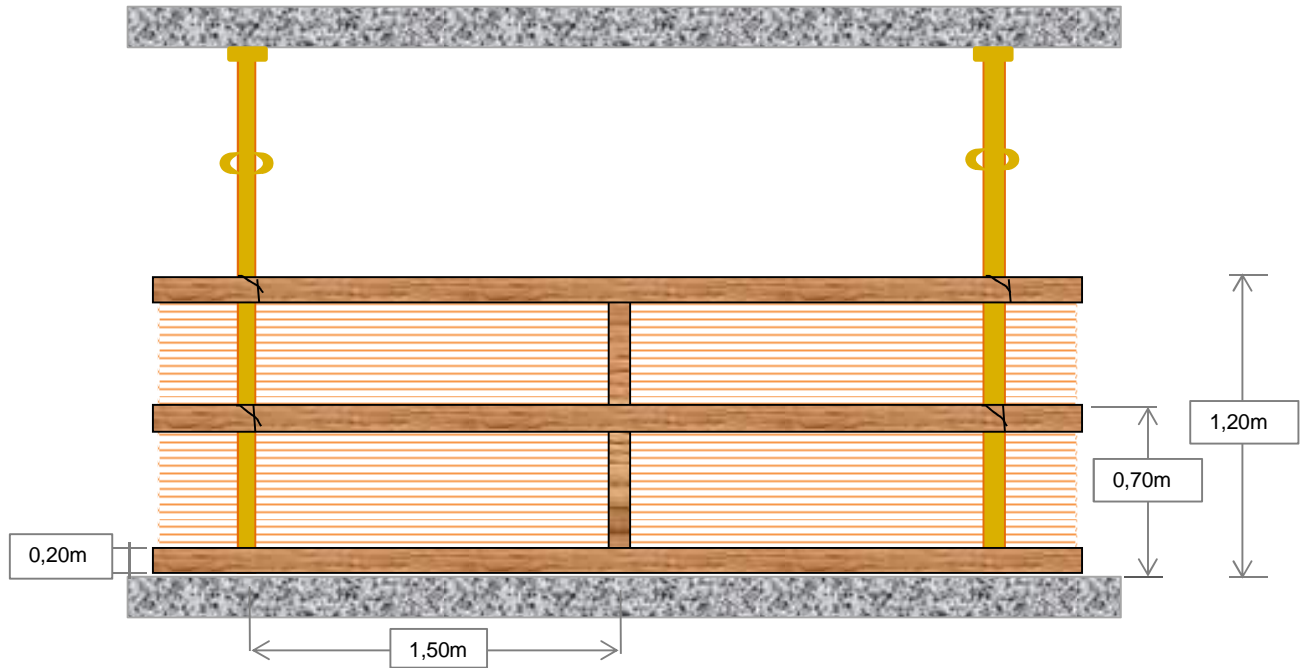


Ilustración 11. Croquis GcR de puntales

Tabla 5. Valoración del sistema GcR de puntales

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 3
Funcionalidad del sistema	3
Adaptabilidad de los vanos	3
Facilidad montaje/desmontaje	3
Reutilización del sistema	2
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	mixto

Tipología 4: Protección de borde metálico

Esta tipología se compone de travesaño superior, travesaño intermedio, rodapié y postes metálicos, además de una malla para el cerramiento de los vanos.

La fijación se realiza mediante la ejecución de taladros en el hormigón para la colocación de anclajes fijados con tornillos, mejorando el anclaje respecto a la tipología 2.1 por fijarse en tres puntos.

El resto de componentes, travesaños y rodapié, también se fijan a los montantes y entre sí mediante tornillos.



Fotografía 22. GcR metálico



Fotografía 23. Detalle unión de elementos por tornillos



Fotografía 24. Detalle fijación por tornillos

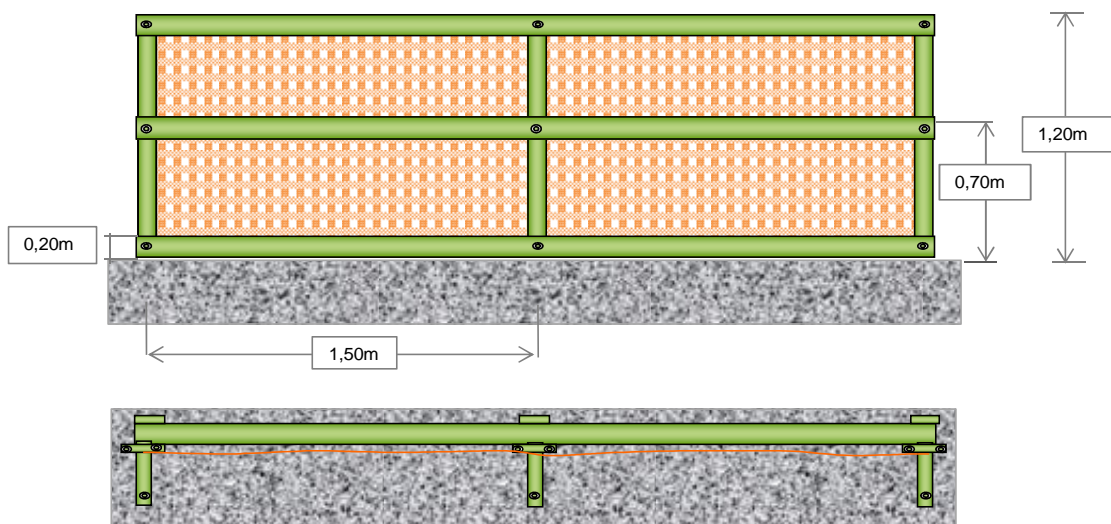


Ilustración 12. Croquis GcR metálico

Tabla 6. Valoración del sistema GcR metálico

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 4
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	2
Facilidad montaje/desmontaje	2
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

Tipología 5: Protección de borde de malla y cable de acero

Esta tipología está compuesta por un cable de acero superior, uno inferior y una malla no resistente para cerrar el vano.

La fijación de los cables se realiza mediante casquillos anclados a la estructura con ayuda de adhesivos estructurales para mayor adherencia y abrazaderas que fijan los cables de acero. Por tanto, es un sistema con una funcionalidad reducida.



Fotografía 26. Detalle fijación por casquillos



Fotografía 25. GcR de red y cable de acero

Tabla 7. Valoración del sistema GcR de red y cable de acero

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 5
Funcionalidad del sistema	1
Adaptabilidad de los vanos	4
Facilidad montaje/desmontaje	3
Reutilización del sistema	3
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

Tipología 6: Protección de borde de albañilería

Esta tipología se realiza construyendo un tabique de albañilería de 1.20 m de altura de bloque cerámico o bloque de hormigón y mortero.

Como tiene carácter definitivo, no consigue el requisito de rapidez de instalación ni de provisionalidad que debe tener un sistema de GcR y necesita muchos recursos humanos y materiales.



Fotografía 27. GcR de albañilería

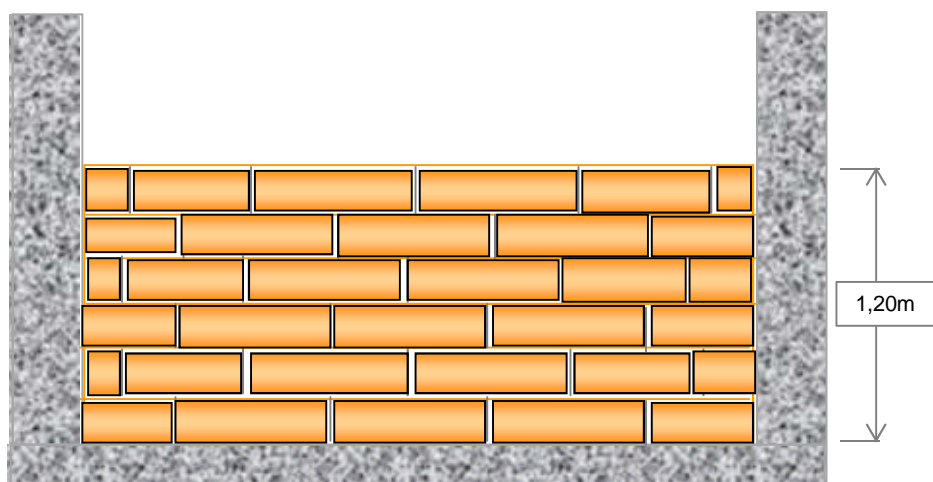


Ilustración 13. Croquis GcR de albañilería

Tabla 8. Valoración del sistema GcR de albañilería

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 6
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	4
Facilidad montaje/desmontaje	1
Reutilización del sistema	0
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	"in situ"

- Sistema de protección de borde sujeto al encofrado

Tipología 7: Protección de borde provisional

Esta tipología, a diferencia de las anteriores, es la única de las recopiladas que se emplea en fase previa al hormigonado. Está formada por una estructura metálica con una malla, también metálica, como protección intermedia y se sujeta al encofrado introduciéndose en un elemento rectangular a modo de soporte, el cual se atornilla al encofrado.

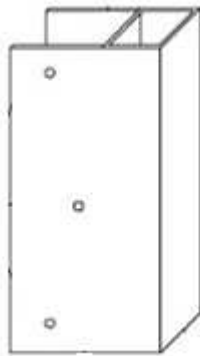


Ilustración 14. Detalle del sistema de fijación.

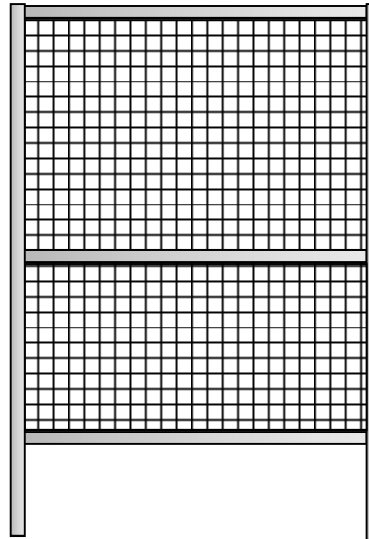


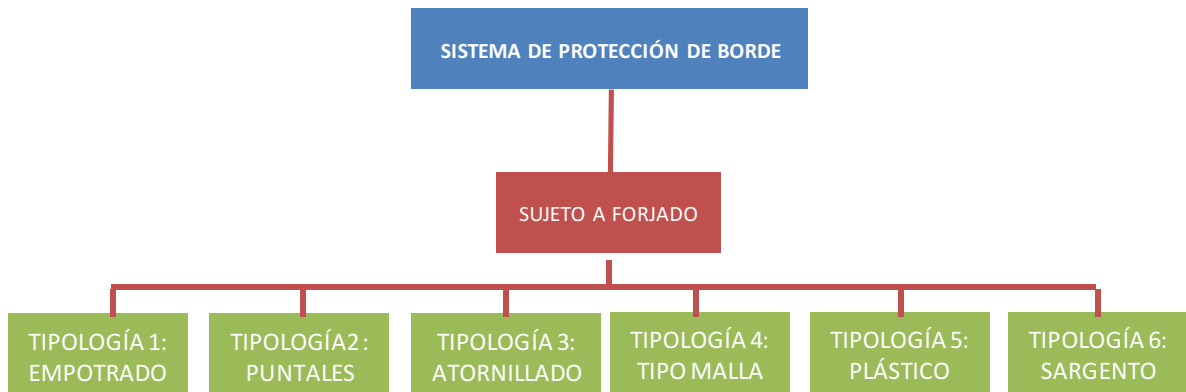
Ilustración 15. GcR metálico para encofrado.



Ilustración 16. Detalles fijación a la estructura

2.4.2 España

El esquema adjunto indica las tipologías de SPPB más comúnmente utilizadas en España y las cuales se van a proceder a analizar:



Esquema 2. Esquema de los sistemas de protección en España

- Sistema de protección de borde sujeto en la estructura hormigonada

Tipología 1: Anclaje empotrado

Este SPPB es uno de los más utilizados en España.

Consiste en introducir en el hormigón un cartucho, cuando se está hormigonando, en el cual se colocará posteriormente el poste, soporte de la barandilla.

Este cartucho podrá ser de cualquier material, ya que su única misión es servir de “encofrado” para dejar un agujero en el hormigón.



Fotografía 28. SPPB empotrado

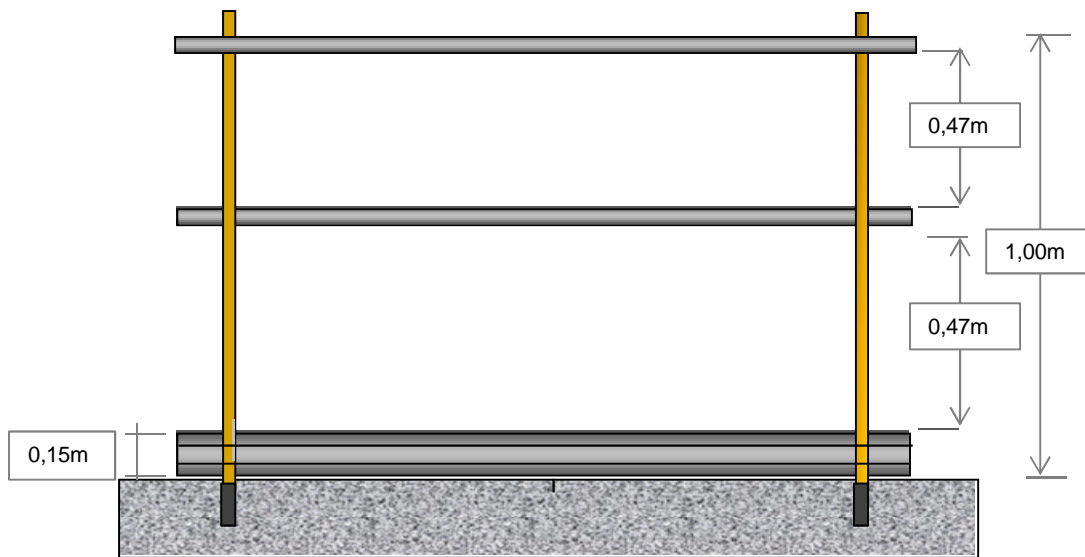


Ilustración 17. Croquis SPPB empotrado

Tabla 9. Valoración del SPPB empotrado

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 1
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	2(*)
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

(*) Adaptabilidad condicionada a la variedad de longitudes de barandillas de que disponga el fabricante del SPPB.

Tipología 2: Montantes mediante puntales

Esta tipología está formada por travesaños y rodapié metálicos y puntales como montantes.

El sistema aunque si cumple los requisitos de funcionalidad, no es un sistema normalizado, trabaja por el rozamiento de superficies metálicas sobre el hormigón y depende de la fuerza aplicada y del coeficiente de rozamiento entre el hormigón y el puntal.



Fotografía 29. SPPB de puntales

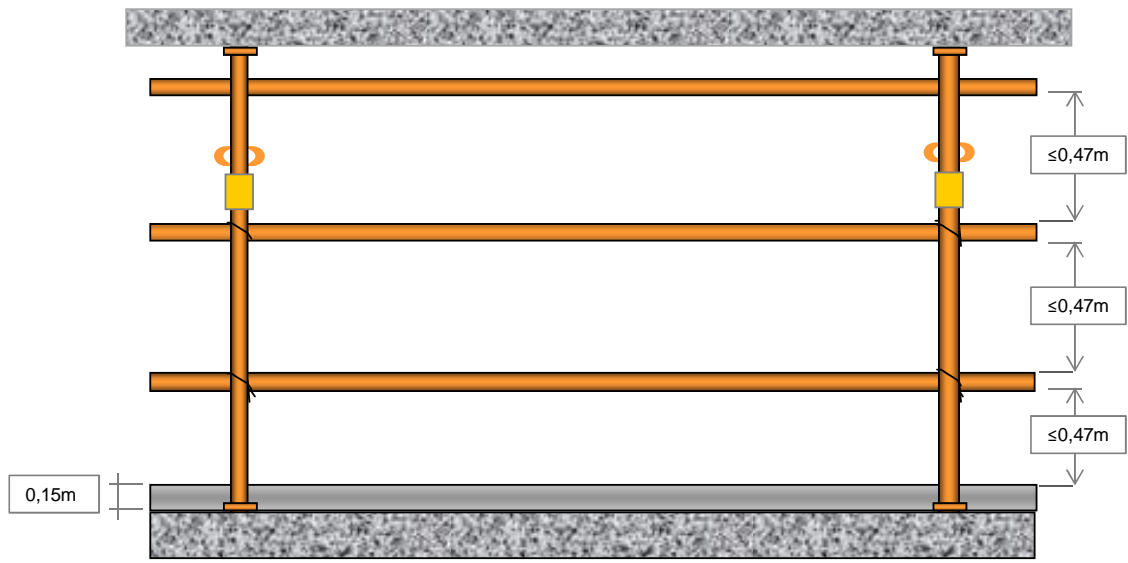


Ilustración 18. Croquis SPPB de puntales

Tabla 10. Valoración del SPPB de puntales

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 3
Funcionalidad del sistema	3
Adaptabilidad de los vanos	3
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

Tipología 3: Atornillado al suelo

Está compuesto por todos sus elementos de metal.

El montaje del sistema se realiza mediante soportes atornillados al forjado y a los cuales se les acoplan el resto de los componentes.



Fotografía 30. SPPB atornillado

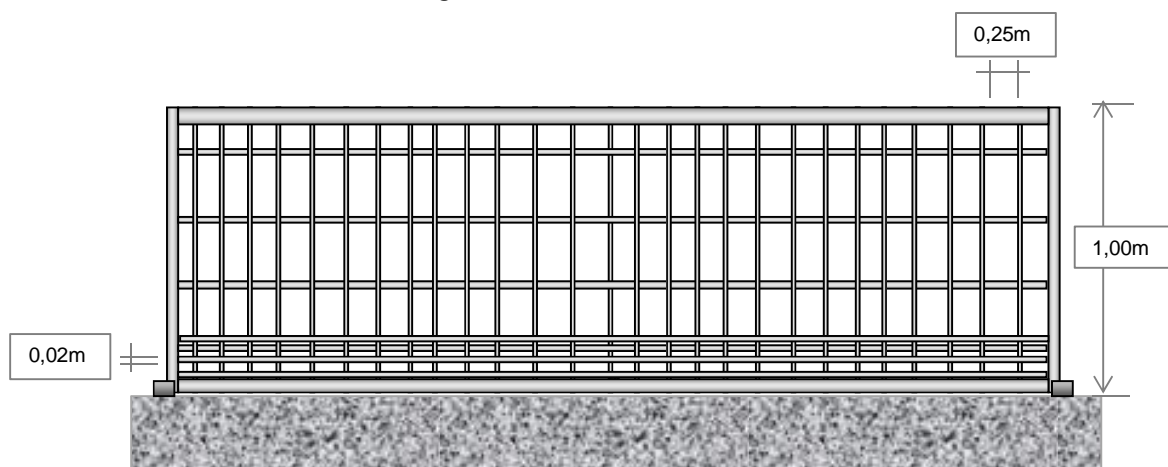


Ilustración 19. Croquis SPPB atornillado

Tabla 11. Valoración del SPPB atornillado

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 4
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	2(*)
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

(*) Adaptabilidad condicionada a la variedad de longitudes de barandillas de que disponga el fabricante del SPPB.

Tipología 4: Tipo malla

Esta tipología se compone de postes metálicos y protección intermedia formada por red tipo malla y debería disponer de un rodapié.

Las red de seguridad utilizada como protección intermedia debe ser de tipo U (red de seguridad sujeta a una estructura soporte para su utilización vertical), de acuerdo con la norma UNE-EN 1263-1: 2004.

Hay que tener en cuenta que la red debe estar instalada tensa para que en caso de impacto, no deforme lo suficiente como para que el trabajador pueda caer por el borde del forjado.



Fotografía 31. SPPB de malla

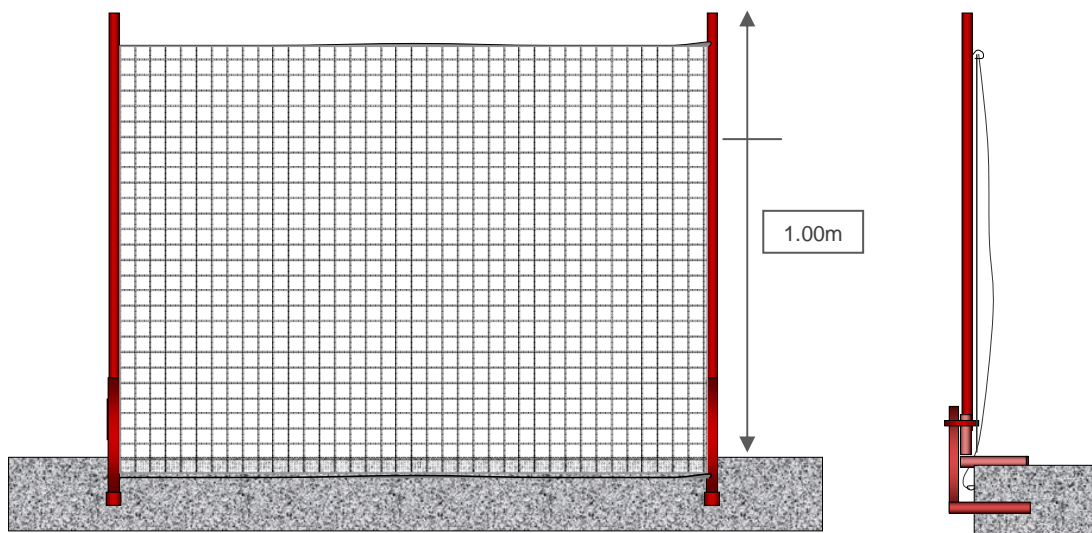


Ilustración 20. Croquis SPPB de malla

Tabla 12. Valoración del SPPB de malla

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 5
Funcionalidad del sistema	3
Adaptabilidad de los vanos	4
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

Tipología 5: Paneles de plástico

Estos SPPB se componen de postes metálicos y como protección intermedia paneles de plástico formando un único cuerpo.

El cuerpo intermedio se une a los montantes mediante bulones y pasadores y se sujeta en la estructura mediante un sistema de fijación tipo sargento o empotrados.

El plástico usado para la fabricación de los paneles se trata con aditivos para evitar el envejecimiento y pérdida de propiedades.



Fotografía 32. SPPB de plástico

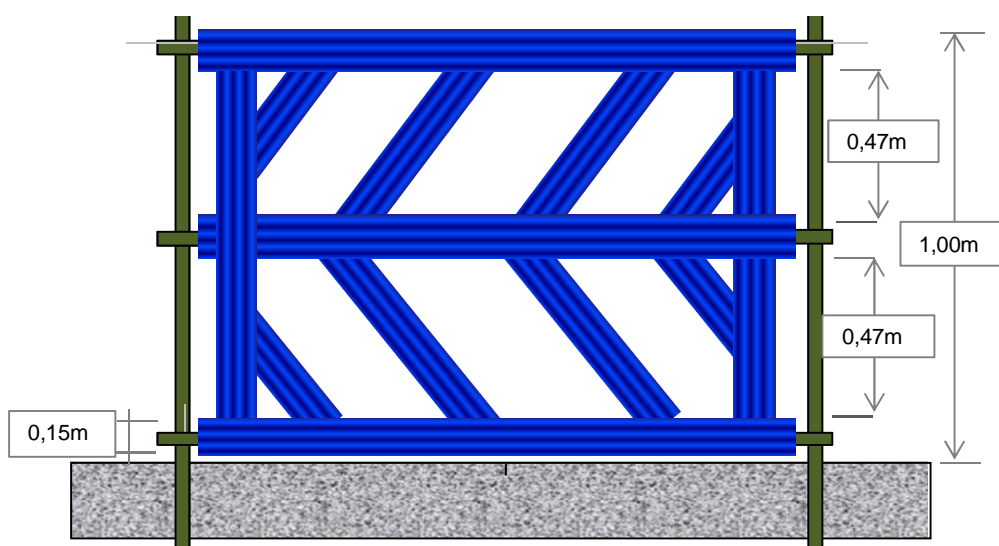


Ilustración 21. Croquis SPPB de plástico

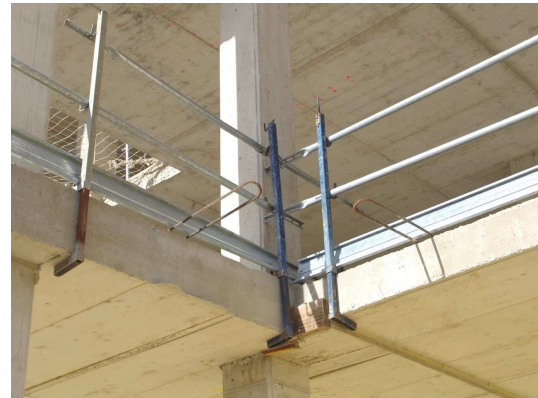
Tabla 13. Valoración del SPPB de plástico

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 6
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	2(*)
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto	prefabricado

(*) Adaptabilidad condicionada a la variedad de longitudes de paneles de que disponga el fabricante del SPPB.

Tipología 6: Montantes tipo “Sargento”

Este consta de tubo cuadrado o tubular (poste) que se sujeta en forma de pinza al canto del forjado. La anchura de esta pinza es variable, de acuerdo con el espesor del canto. En el mismo van unidos unas varillas donde se apoyan los diferentes elementos de la barandilla. Para aumentar el rozamiento en algunos sargentos se les da forma de diente de sierra en la zona de contacto con el hormigón.



Fotografía 33. SPPB sargento

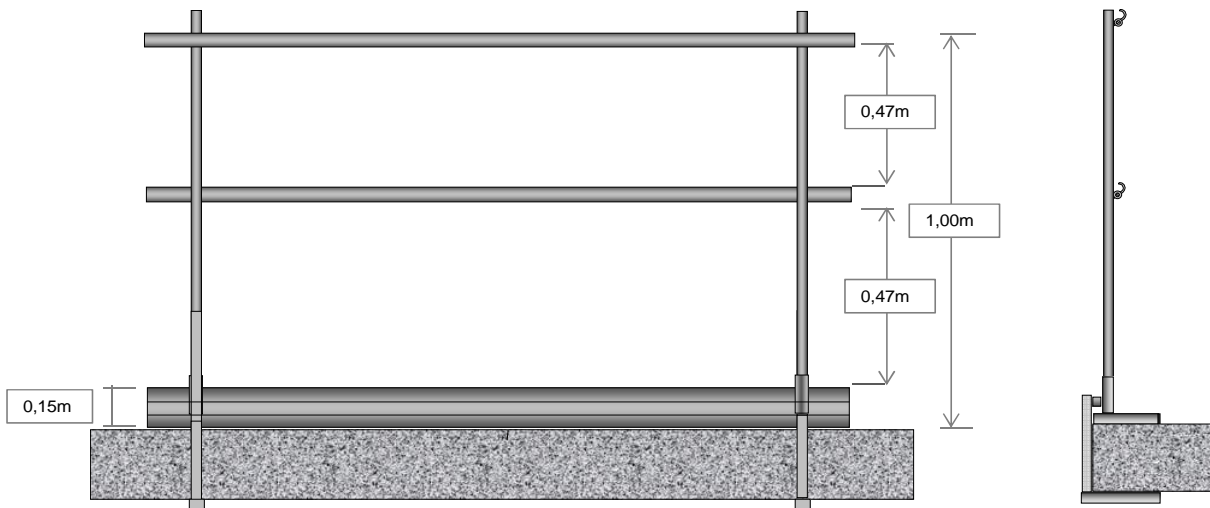


Ilustración 22. Croquis SPPB sargento

Tabla 14. Valoración del SPPB sargento

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	TIPOLOGÍA 2
Funcionalidad del sistema	4
Adaptabilidad de los vanos	2(*)
Facilidad montaje/desmontaje	4
Reutilización del sistema	4
Sistema prefabricado, “in situ” o mixto	prefabricado

(*) Adaptabilidad condicionada a la variedad de longitudes de barandillas de que disponga el fabricante del SPPB.

Conclusiones del estudio de las tipologías SPPB

Como resumen del estudio realizado de las tipologías de protección de borde, procedemos a compararlas en la Tabla 15. Observando esta tabla llegamos a una serie de conclusiones que a continuación se desarrollan.

En primer lugar, se observa cómo hay unas tipologías que se encuentran similares tanto en Brasil como en España.

La tipología de puntales, por ejemplo, es muy parecida en ambos países, con la diferencia del material usado en las barandillas. Por tanto, la valoración que se ha hecho depende de ello.

En el caso de Brasil, que las barandillas son de madera tiene un valor de facilidad de montaje y reutilización del sistema menor que en el caso de ser metálicas, como el de España, ya que en el caso de que se corten en obra, retrasa su proceso de montaje. Además, se deteriorarán más rápidamente, lo que limita el número de usos que se le puede dar al sistema.

Otro ejemplo, son las tipologías de SPPB atornillado al hormigón. De este tipo comparamos tres casos: la tipología 2.1 y 4 de Brasil y la tipología 3 de España.

Los sistemas 4 de Brasil y 3 de España son muy similares entre ellos, por lo que tienen una valoración idéntica. En cambio, la 2.1 formada por montantes metálicos atornillados al forjado tiene una calificación menor que las otras dos en cuanto a funcionalidad y reutilización. En cuanto a la funcionalidad porque tiene un anclaje más débil ya que solo tiene un punto de anclaje en comparación a dos y tres puntos de los otros sistemas. Y por lo que respecta a la reutilización, por los mismos motivos que en la tipología de puntales.

El caso de la tipología 2.3 de acero corrugado y conector (Brasil) y la 1. Empotrado (España) procedemos a compararlas por tener una forma de trabajo parecida.

El sistema empotrado tiene una mayor calificación por funcionalidad al ser un tipo de SPPB ensayado y del que se tiene la certeza de que resiste los esfuerzos a los que se le somete. Por otro lado, el sistema 2.3 aunque tiene una mayor adaptabilidad al realizarse el taladro después del hormigonado pudiéndose modificar las distancias según la conveniencia, no se conoce la resistencia que soportará el conector empotrado en el forjado.

Los demás tipos no se pueden comparar entre ellos por ser tipologías diferentes, por lo que los analizamos cada uno de ellos por separado.

En conclusión, después de valorar los sistemas, se observa que los más eficaces en su conjunto son para Brasil el metálico atornillados al forjado (sistema 4) y el sujeto al encofrado (sistema 7) y para España los de tipo sargento tanto de plástico como metálico (sistema 5 y 6).

Tabla 15. Cuadro comparativo tipologías de los sistemas de protección

		Brasil						SUEJETOS AL ENCOFRADO		
		SUEJETOS AL FORIADO			SUEJETOS AL ENCOFRADO					
		TIPOLOGÍA 1	TIPOLOGÍA 2		TIPOLOGÍA 3	TIPOLOGÍA 4	TIPOLOGÍA 5	TIPOLOGÍA 6	TIPOLOGÍA 7	
		Madera	Tornillos	Tensores	Conector	Puntales	Metálico	Malla y cable	Albanilería	
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	Funcionalidad del sistema	4	3	1	4	3	4	1	4	
	Adaptabilidad de los vanos	4	3	1	3	3	2	4	4	
	Facilidad montaje/desmontaje	1	3	2	3	3	3	3	1	
	Reutilización del sistema	1	2	2	2	2	4	3	0	
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto		"in situ"	mixto	mixto	mixto	mixto	prefabricado	prefabricado	"in situ"	
		España								
		TIPOLOGÍA 1	TIPOLOGÍA 2		TIPOLOGÍA 3	TIPOLOGÍA 4	TIPOLOGÍA 5	TIPOLOGÍA 6		
		Empotrado	Puntales	Atornillado	Malla	Plástico	Sargento			
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	Funcionalidad del sistema	4	3	4	3	4	4	4	4	
	Adaptabilidad de los vanos	2	3	2	2	2	2	2	2	
	Facilidad montaje/desmontaje	4	4	3	4	4	4	4	4	
	Reutilización del sistema	4	4	4	4	4	4	4	4	
Sistema prefabricado, "in situ" o mixto		prefabricado	prefabricado	prefabricado	prefabricado	prefabricado	prefabricado	prefabricado	prefabricado	

2.4.3 Perú

Por la búsqueda que se ha realizado sobre las protecciones de borde en Perú se observa que este país tiene mayor tradición en el empleo de EPIs como los dispositivos anticaídas que en sistemas de protección de borde. Por ello, no se ha encontrado mucha información acerca de tipologías de SPPB. La información que se ha obtenido es a base de fotografías de obras reales en Perú. Ésta se unifica y resume de la siguiente forma:

Se clasifican las protecciones de borde que se emplean en las obras de edificación de Perú en dos grupos:

1. Un grupo de **SPPB industrializados** de empresas como Alsina, Peri...los cuales son los mismos modelos que se comercializan en Europa.
2. Un segundo grupo de **SPPB de fabricación propia en obra**, sin que dispongan de ningún tipo de control de calidad.

Del segundo grupo se disponen ejemplos como:

- 2.1 SPPB de albañilería. Es la misma tipología que en Brasil, se construye un tabique de ladrillo o bloque y mortero.
- 2.2 SPPB de malla atada a puntales. Esta tipología se observa que es de las más utilizadas en la práctica.
- 2.3 SPPB de madera, cortada "in situ".

SPPB Albañilería:



Fotografía 34. Ejemplo SPPB albañilería (Perú)

Malla atada a puntales:



Fotografía 35. Ejemplo SPPB con puntales (Perú)

De madera:



Fotografía 36. Ejemplo SPPB de madera (Perú)

Hay que destacar de los ejemplos la no conformidad de los sistemas, ya sea por no proteger la totalidad del edificio del riesgo como en la Fotografía 34 o por no funcionalidad del sistema en sí según como está instalado en la imagen (Fotografías 35 y 36).

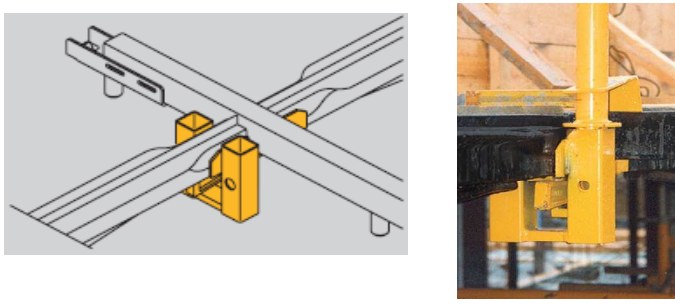


Por otra parte, el primer grupo de SPPB industrializados son tipologías empleadas durante la ejecución de los forjados, que se clasifican según el fabricante y su forma de sujeción.

La unión del sistema de protección al encofrado normalmente se realiza por la sujeción a una de las correas o portasopandas del encofrado a través de:

- Abrazaderas.
- Grapas.
- Pasadores.


Ejemplos:

- **Ulma** Esquema 3. Tipos de sistemas de sujeción ULMA

SISTEMA DE SUJECIÓN	
ULMA	Abrazadera
	
	Grapa
	
Pasadores	
	

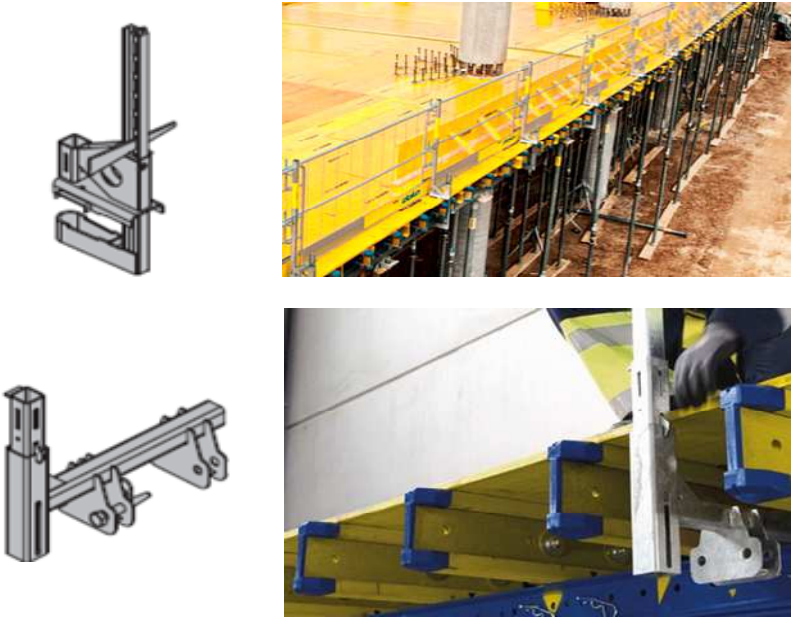
▪ **Alsina**

Esquema 4. Tipos de sistemas de sujeción ALSINA

SISTEMA DE SUJECIÓN	
Abrazadera	
ALSINA	

▪ **Doka**

Esquema 5. Tipos de sistemas de sujeción DOKA

SISTEMA DE SUJECIÓN	
Abrazadera	
DOKA	

Capítulo 3.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE Y RESULTADOS.

En este segundo bloque se procede a evaluar tanto analítica como experimentalmente un sistema provisional de protección de borde metálico, sujeto a la sopanda de un encofrado tipo según los procedimientos de evaluación de las normas estudiadas en el bloque anterior.

3.1 Descripción y características del SPPB

La evaluación se realiza sobre un Sistema Provisional de Protección de Borde clase A aportado por la empresa ATT Prometal, (fabricante de sistemas de protección colectiva).

El *SPPB* tiene las siguientes características técnicas y materiales:

- Barandilla principal e intermedia de tubo de acero galvanizado de $\varnothing 40\text{mm}$ y espesor de 1.5mm. Tiene dos longitudes, una de 2420mm y otra de 1500mm, y disponen en sus extremos de unas ranuras colisas para su fijación a los postes verticales.
- Postes verticales: fabricados por tubo de acero $\varnothing 40\text{mm}$, espesor de 1.5mm y 1200mm de longitud. Este tubo lleva soldadas unas varillas dispuestas a distintas alturas, con el fin de alojar las barandillas y el rodapié.
- Rodapié: chapa de acero conformada en "C" de 150mm de alto, 1.3mm de espesor, y tiene dos longitudes, una de 2420mm y otra de 1500mm
- Sistema de fijación a la estructura: sistema de anclaje por apriete mediante barra dywidag.

Las barandillas y postes son secciones tubulares de acero S275JR.

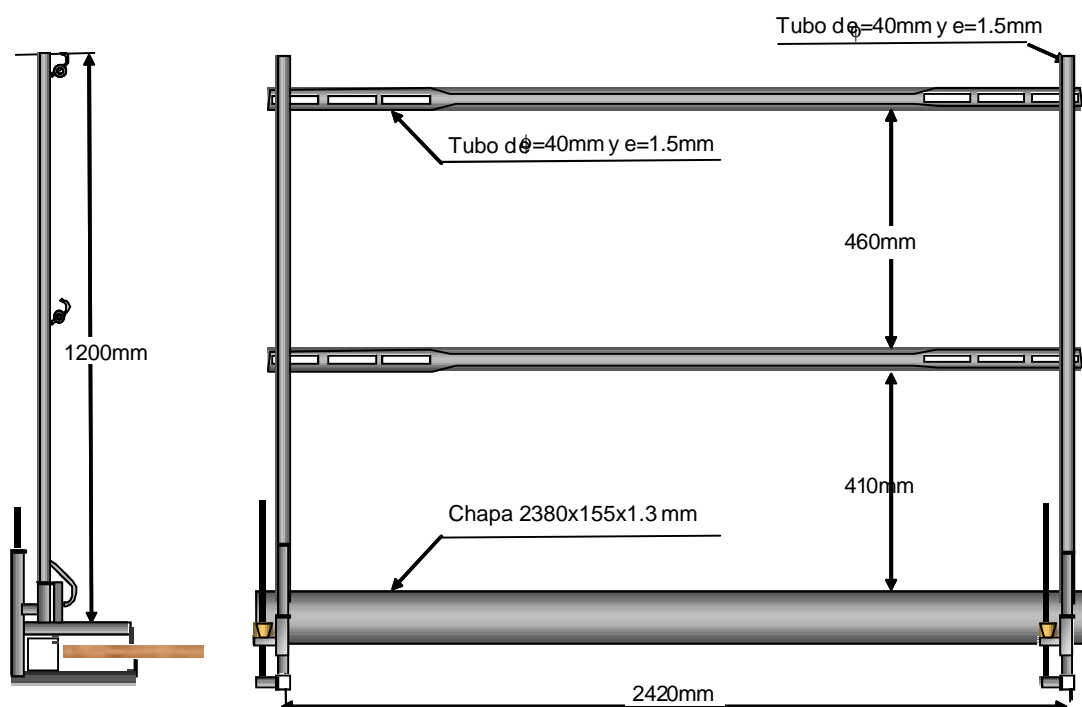


Ilustración 23. Esquema del SPPB

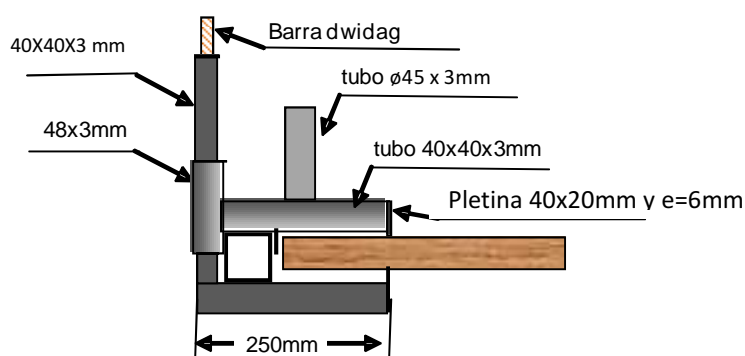


Ilustración 24. Detalle del sistema de fijación

En el **Anexo A** se pueden observar fotografías del SPPB y fotografías de detalle de los componentes.

3.2 Métodos de ensayo utilizados:

En este proyecto se evaluará el sistema de forma analítica de acuerdo con las normas estructurales europeas y de forma experimental, siguiendo el procedimiento indicado en la UNE-EN 13374:2013. Sin embargo se incluirán también los métodos experimentales que indiquen las normas OSHA 1926.502 y RTP-01 con la finalidad de comprobar que el SPPB cumple los requisitos de cada uno de ellos.

Evaluación analítica

En la evaluación analítica se han considerado las barandillas como vigas biapoyadas, siendo los apoyos las uniones con el poste y el poste como una articulación en su fijación al encofrado.

En la realización de los cálculos se ha tenido como referencia el procedimiento seguido por la tesis "Consideraciones respecto a los sistemas provisionales de protección de borde (García, 2010) y el libro "Manual de cálculo y utilización de las protecciones colectivas en la construcción" (P-A. Beguería 1999).

Se comprueban tres situaciones en las protecciones de borde: el Estado Límite Último, las Cargas Accidentales y el Estado Límite de Servicio.

El análisis del **Estado Límite Último (ELU)** se realiza para el caso de las barandillas, para la barandilla principal ya que es idéntico que en la intermedia. Se calculará la situación más desfavorable (máximo momento flector) que se produce cuando la carga está situada en el centro de la barandilla. Sin embargo, también se analizará el máximo cortante cuando la carga está en el apoyo.

En el poste, la situación más desfavorable es la producida cuando la carga se aplica en su extremo volado, siendo la sección inferior donde se produce el máximo momento flector y el máximo cortante.

El cálculo para **cargas accidentales (CA)** se realiza en la barandilla siguiendo el mismo procedimiento pero aplicando una carga vertical en la posición más desfavorable (centro de la barandilla).

Para el **Estado Límite de Servicio (ELS)**, el desplazamiento del sistema se obtiene como la suma de la flecha de la barandilla con la carga en el centro del vano y la flecha del poste con la carga en su extremo y de magnitud la mitad de la carga de la barandilla.

Evaluación experimental

Por otra parte, en el apartado de "Ensayo de conformidad con los requisitos de carga estática para clase A" de la UNE-EN 13374:2013, se puede distinguir entre el ensayo de límite elástico y el de resistencia. La evaluación de estos requisitos sigue la misma metodología, pero los sistemas de aplicación de carga a los que se somete el *SPPB* son distintos en cada uno de los casos.

- Límite de servicio: se evalúa la capacidad del sistema de deformarse sin sobrepasar un límite máximo.

- Resistencia: se evalúa la capacidad resistente del *SPPB* bajo el criterio de Estado Límite Último (cargas mayoradas).

Se emplean cuatro muestras representativas para evaluar el requisito de "límite de servicio" y otras cuatro, se utilizan para evaluar el "Ensayo de resistencia".

3.2.1. Realización de la evaluación analítica

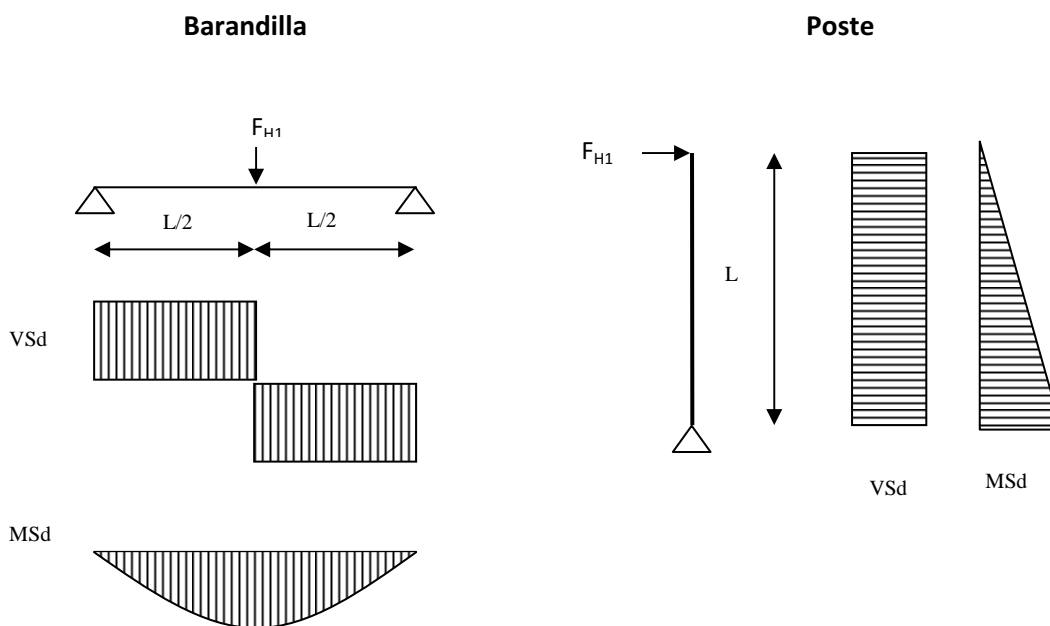
Según la norma UNE-EN 13374, las comprobaciones se realizan por el método de estados límites que indica la norma europea para cálculo estructural, Eurocódigo 3 (ENV 1993-1-1-Eurocódigo 3,1993).

Se van a analizar las tres situaciones anteriormente citadas, el ELU, ELS y CA y cada una de ellas debe superar que el efecto producido por las cargas aplicadas sea inferior a la resistencia del sistema, $E_d \leq R_d$.

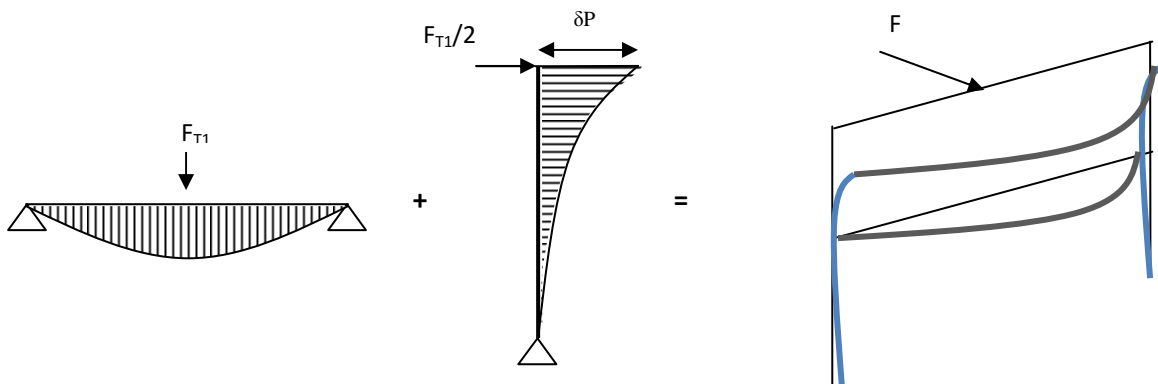
Los valores de los coeficientes de seguridad adoptados son distintos según se trate de estudiar los ELU o ELS. La seguridad se introduce a través de coeficientes parciales de minoración de la resistencia del material (γ_M que es 1.1 para materiales metálicos dúctiles) y de mayoración de las acciones (γ_F de 1.5 para todas las cargas permanentes y variables).

A continuación se muestran los modelos de cálculo para las barandillas cuando la carga está aplicada en el punto medio y el poste cuando la carga se aplica en su extremo.

Diagramas del Estado Límite Último:



Diagramas del Estado Límite de Servicio



- CÁLCULO ESTADO LÍMITE ÚLTIMO (ELU). BARANDILLA

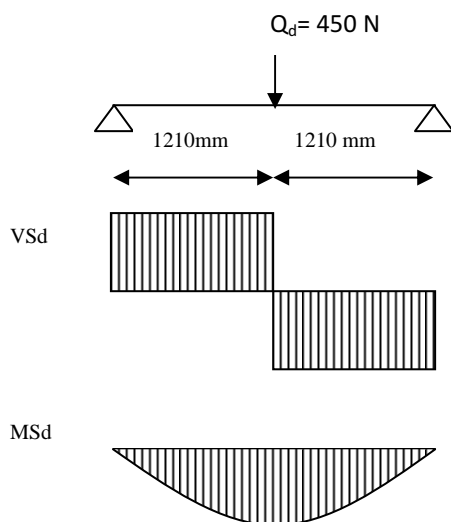
En el Estado Límite Último, la fuerza externa F_{H1} que se le aplica al sistema es de 300 N mayorada por el coeficiente γ_f , según la Tabla 2.de la UNE-EN 13374:2013.

Carga de cálculo:

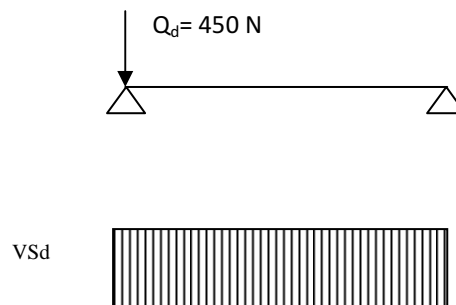
$$Q_d = \gamma_f \cdot F_{H1} = 1.5 \cdot 300 = 450 \text{ N}$$

Situaciones más desfavorables

Centro de la barandilla. Diagramas



Extremo. Diagramas



Comprobaciones a realizar

Tabla 16. Fórmulas ELU barandilla

	Solicitud	Comprobación	Acciones	Resistencia de la sección - Acero
Centro barandilla	Flexión	$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} = \frac{Q_d \cdot L}{4}$	$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$
	Cortante	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	$V_{Ed} = \frac{Q_d}{2}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$
	Interacción flexión-cortante	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd}}{2}$	$V_{Ed} = \frac{Q_d}{2}$	$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{A_v \cdot f_y / \sqrt{3}}{2 \gamma_M}$
Extremo barandilla	Cortante	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	$V_{Ed} = Q_d$	$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{A_v \cdot f_y / \sqrt{3}}{2 \gamma_M}$

Leyenda:

Q_d : Carga de cálculo

γ_F : Coeficiente parcial de seguridad para cargas permanentes y variables.

L: Longitud de la viga.

V_{Ed} : Máximo cortante de cálculo.

M_{Ed} : Máximo momento flector de cálculo.

V_{Rd} : Esfuerzo cortante que es capaz de resistir la sección.

M_{Rd} : Máximo momento flector que es capaz de resistir la sección.

W: Momento resistente de la sección.

A_v : Área de cortante.

A: Área de la sección.

f_y : Límite elástico del acero empleado.

γ_M : Coeficiente de minoración de la resistencia del material.

▪ Cálculo en el centro de la barandilla

Cálculo a flexión

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

- Acciones: $M_{Ed} = \frac{Q_d \cdot L}{4} = \frac{450 \text{ N} \cdot 2,42 \text{ m}}{4} = 272,25 \text{ N} \cdot \text{m} \approx 0,27 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- Resistencia de la sección: $M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$

Cálculo de W

La W se obtiene de averiguar el momento resistente de la sección según la clase a la que pertenezca:

Clase	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
W	Plástico (W_{pl})		Elástico (W_e)	Elástico eficaz (W_{eff})

Para solicitaciones tubulares la clasificación se establece comparando el diámetro exterior y el espesor del tubo con el parámetro de abolladura ϵ

	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
$d/t \leq$	$50\epsilon^2$	$70\epsilon^2$	$90\epsilon^2$

Donde:

$$d/t = 40/1.5 = 26.66$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.924. \text{ Siendo } f_y, \text{ el límite elástico del acero (275 N/mm}^2\text{).}$$

$$50\epsilon^2 = 50 \cdot 0.924 = 42.68$$

Como $d/t = 26.66 \leq 42.68$, la sección se clasifica como CLASE 1 y se calcula el momento resistente plástico (W_{pl}):

$$W_{pl} = \frac{4}{3} (R_e^3 - R_i^3) = \frac{4}{3} (20^3 - 18.5^3) = 2224.5 \text{ mm}^3$$

Después del cálculo del módulo resistente W, obtenemos el momento flector que es capaz de resistir la sección:

$$M_{Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{2224.5 \cdot 275}{1.1} = 556125 \text{ N} \cdot \text{mm} = 0.55 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{Ed} =$	0,27 kN·m
$M_{Rd} =$	0,55 kN·m
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	CUMPLE

Cálculo a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

-Acciones: $V_{Ed} = \frac{Q_d}{2} = \frac{450}{2} = 225 \text{ N} = 0.25 \text{ kN}$

-Resistencia de la sección: $V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M} = 115,5 \cdot \frac{275 / \sqrt{3}}{1,1} = 16670.98 \text{ N} = 16.67 \text{ kN}$

Donde A_v para secciones de perfiles huecos circulares y tubos de espesor constante es:

$$A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \cdot 181,42}{\pi} = 115,5 \text{ mm}^2.$$

$$A = \pi(Re^2 - Ri^2) = \pi(20^2 - 18,5^2) = 181,42 \text{ mm}^2.$$

$V_{Ed} =$	0,225 kN
$V_{Rd} =$	16,67 kN
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	CUMPLE

Cálculo interacción flexión-cortante

“En aquellos casos en que la sección se vea sometida al efecto combinado de solicitaciones de flexión y cortante, la comprobación frente a este efecto se llevará a cabo considerando su interacción, traduciéndose ello en una reducción de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.

Cuando el valor de cálculo del esfuerzo cortante V_{Ed} no supere el 50% de la resistencia plástica de la sección V_{Rd} , no deberá reducirse el valor de la resistencia de cálculo de la sección a flexión.” Apartado 34.7.1. *Flexión y cortante. DB-SE-A.*

Como $V_{Ed} < 0,5 V_{Rd} \rightarrow 0,23 \text{ kN} < 7,13 \text{ kN}$, no tenemos en cuenta para este caso la interacción flexión-cortante.

- **Cálculo extremo barandilla**

Cálculo a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

-Acciones: $V_{Ed} = Q_d = 450N = 0,45kN$

-Resistencia de la sección: $V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M} = 115,5 \cdot \frac{275 / \sqrt{3}}{1,1} = 16670,98N = 16,67kN$

$V_{Ed} =$	0,45 kN
$V_{Rd} =$	16,67 kN
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	CUMPLE

- CÁLCULO DE CARGA ACCIDENTAL. BARANDILLA

En la Carga Accidental, la fuerza externa F_D que se le aplica al sistema es de 1250 N sin mayoración en este caso porque el coeficiente $\gamma_f=1,0$, según la Tabla 2.de la UNE-EN 13374:2013.

Carga de cálculo:

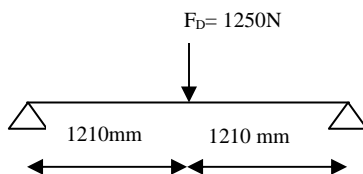
$$Q_d = \gamma_F \cdot F_D = 1,0 \cdot 1250 = 1250 N$$

Comprobaciones

Tabla 17. Fórmulas CA barandilla

	<i>Solicitación</i>	<i>Comprobación</i>	<i>Acciones</i>	<i>Resistencia de la sección - Acero</i>
Centro barandilla	<i>Flexión</i>	$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} = \frac{F_D \cdot L}{4}$	$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$
	<i>Cortante</i>	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	$V_{Ed} = \frac{F_D}{2}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{F_y}{\sqrt{3}}$
	<i>Interacción flexión-cortante</i>	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd}}{2}$	$V_{Ed} = F_D$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{F_y}{\sqrt{3}}$
Extremo barandilla	<i>Cortante</i>	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	$V_{Ed} = \frac{F_D}{2}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{F_y}{\sqrt{3}}$

▪ Cálculo en el centro de la barandilla



Cálculo a flexión

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

- Acciones: $M_{Ed} = \frac{F_D \cdot L}{4} = \frac{1250 N \cdot 2420 mm}{4} = 756250 N \cdot mm = 0.756 kN \cdot m$

- Resistencia de la sección: $M_{Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{2224,5 \cdot 275}{1.0} = 611737.5 N = 0.61 kN$

$M_{Ed} =$	0,75 kN·m
$M_{Rd} =$	0,61 kN·m
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	NO CUMPLE

$$756250 N \cdot mm = 2224,5 \cdot f_y \rightarrow f_y = 339.96 N / mm^2$$

Para que cumpla con la Carga accidental la barandilla debe trabajar a una tensión de 339,96 N/mm², superior a la tensión en el límite elástico de 275 N/mm² pero inferior a la mínima resistencia última a tracción para el acero S275, de 430 N/mm². Si hacemos trabajar a esa resistencia, las barandillas cumplen con la carga accidental.

Tabla 18. Límite elástico mínimo y resistencia a tracción. Capítulo V de la EAE

Tabla 27.1.d. Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	t ≤ 40		40 < t ≤ 80	
	f _y	f _u	f _y	f _u
S 235	235	360 < f _u < 510	215	360 < f _u < 510
S 275	275	430 < f _u < 580	255	410 < f _u < 560
S 355	355	490 < f _u < 680	335	470 < f _u < 630

- $M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 2224,5 \cdot 430 = 956535 N \cdot mm = 0.95 kN \cdot m$

$M_{Ed} =$	0,756 kN·m
$M_{Rd} =$	0,95 kN·m
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	CUMPLE

Cálculo a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

-Acciones: $V_{Ed} = \frac{F_D}{2} = \frac{1250\text{ N}}{2} = 630\text{ N} = 0,63\text{ kN}$

-Resistencia de la sección: $V_{Rd} = A_v \cdot f_y / \sqrt{3} = 115,5 \cdot 275 / \sqrt{3} = 18338,08\text{ N} \approx 18,33\text{ kN}$

$V_{Ed} =$	0,63 kN
$V_{Rd} =$	18,33 kN
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	CUMPLE

▪ **Cálculo en el extremo de la barandilla**

Cálculo a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

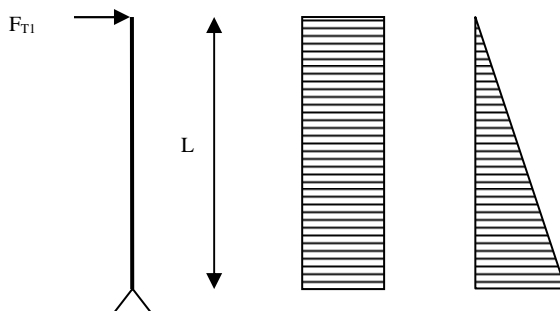
-Acciones: $V_{Ed} = F_D = 1250\text{ N} = 1,25\text{ kN}$

-Resistencia de la sección: $V_{Rd} = A_v \cdot f_y / \sqrt{3} = 115,5 \cdot 275 / \sqrt{3} = 18338,08\text{ N} = 18,38\text{ kN}$

$V_{Ed} =$	1,25 kN
$V_{Rd} =$	18,38 kN
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	CUMPLE

- **CÁLCULO ESTADO LÍMITE DE ÚLTIMO. POSTE**

En el poste, la fuerza externa F_{H1} que se le aplica al sistema es de 300 N mayorada por el coeficiente γ_F , según la Tabla 2.de la UNE-EN 13374:2013.



Carga de cálculo:

$$Qd = \gamma_F \cdot F_{T1} = 1,5 \cdot 300 = 450\text{ N}$$

Comprobaciones

Tabla 19. Fórmulas ELU poste

	Solicitud	Comprobación	Acciones	Resistencia de la sección - Acero
Centro barandilla	Flexión	$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	$M_{Ed} = Q_d \cdot L$	$M_{Rd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$
	Cortante	$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	$V_{Ed} = F_{H1}$	$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$
	Interacción flexión-cortante	$V_{Ed} \leq \frac{V_{Rd}}{2}$	$V_{Ed} = \frac{F_{H1}}{2}$	$\frac{V_{Rd}}{2} = \frac{A_v}{2} \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M}$

Cálculo a flexión

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Comprobación:

- Acciones: $M_{Ed} = Q_d \cdot L = 450 \cdot 1200 = 540000 \text{ N} \cdot \text{mm} = 0.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$

- Resistencia de la sección: $M_{Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{2224,5 \cdot 275}{1,1} = 556125 \text{ N} \cdot \text{mm} = 0,55 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{Ed} =$	0,54 kN·m
$M_{Rd} =$	0.55 kN·m
$M_{Ed} \leq M_{Rd}$	CUMPLE

Cálculo a cortante

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

-Acciones: $V_{Ed} = F_{H1} = 450 \text{ N} \cdot \text{m} = 0,45 \text{ kN} \cdot \text{m}$

-Resistencia de la sección: $V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M} = 115,5 \cdot \frac{275 / \sqrt{3}}{1,1} = 16670.98 \text{ N} = 16.67 \text{ kN}$

$V_{Ed} =$	0,45kN
$V_{Rd} =$	16,67 kN
$V_{Ed} \leq V_{Rd}$	CUMPLE

Cálculo interacción flexión-cortante

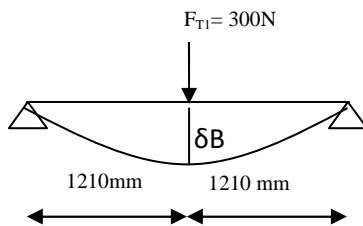
En este caso la interacción flexión-cortante tampoco se tiene en cuenta ya que $V_{Ed} < 0,5 V_{Rd}$
 $\rightarrow 0,45 \text{ kN} < 8,33 \text{ kN}$.

- CÁLCULO DE ESTADO LIMITE DE SERVICIO (ELS). BARANDILLA Y POSTE.

En el poste, la fuerza externa F_{T1} que se le aplica al sistema es de 300 N mayorada por el coeficiente γ_f , según la Tabla 2.de la UNE-EN 13374:2013.

Calculamos por separado la flecha de la barandilla y la flecha del poste y posteriormente, realizamos el sumatorio del sistema completo.

- **Cálculo en el centro de la barandilla.**



Carga de cálculo:

$$Q_d = \gamma_F \cdot F_{T1} = 1.0 \cdot 300 = 300 \text{ N}$$

Para calcular el desplazamiento que se produce en la barandilla, se emplea la siguiente fórmula:

$$\delta_B = \frac{Q_d \cdot L^3}{48 E \cdot I_x}$$

Para el acero el módulo de elasticidad $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

La inercia se calcula mediante la fórmula:

$$I_B = \frac{\pi}{4} (R_e^4 - R_i^4)$$

$$I_B = \frac{\pi}{4} (20^4 - 18,5^4) = 33666,05 \text{ mm}^4$$

$$\text{Resultando la flecha de la barandilla} \rightarrow \delta_B = \frac{3002420^3}{482,1 \cdot 10^5 \cdot 33666,04} = 12,52 \text{ mm}$$

- **Cálculo en el extremo del poste.**

$$\delta_P = \frac{Q_d / 2 \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_x}$$

Para el acero el módulo de elasticidad $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
La inercia del poste se calcula con la siguiente fórmula:

$$I_P = \frac{\pi}{4} (R_e^4 - R_i^4)$$

$$I_P = \frac{\pi}{4} (20^4 - 18,5^4) = 33666,05 \text{ mm}^4$$

$$\text{Resultando la flecha de la barandilla} \delta_P = \frac{Q_d / 2 \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I_x} = \frac{1501200^3}{3,2 \cdot 10^5 \cdot 33666,04} = 12,22 \text{ mm}$$

Como el movimiento del sistema se calcula como la suma de la flecha de la barandilla más la del poste, realizamos el sumatorio y el requisito que debe cumplir es que el desplazamiento total sea menor de 55mm.

$$\delta_S = \delta_B + \delta_P = 12,52 + 12,22 = 24,74 \text{ mm} \leq 55 \text{ mm} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- COMPROBACIÓN QUE EL ELEMENTO NO DESLIZA

Se comprueba que el sistema no desliza por la acción de la fuerza horizontal. Suponemos la situación más desfavorable de $\mu = 0.15$ para el caso de superficies de acero lubricadas.

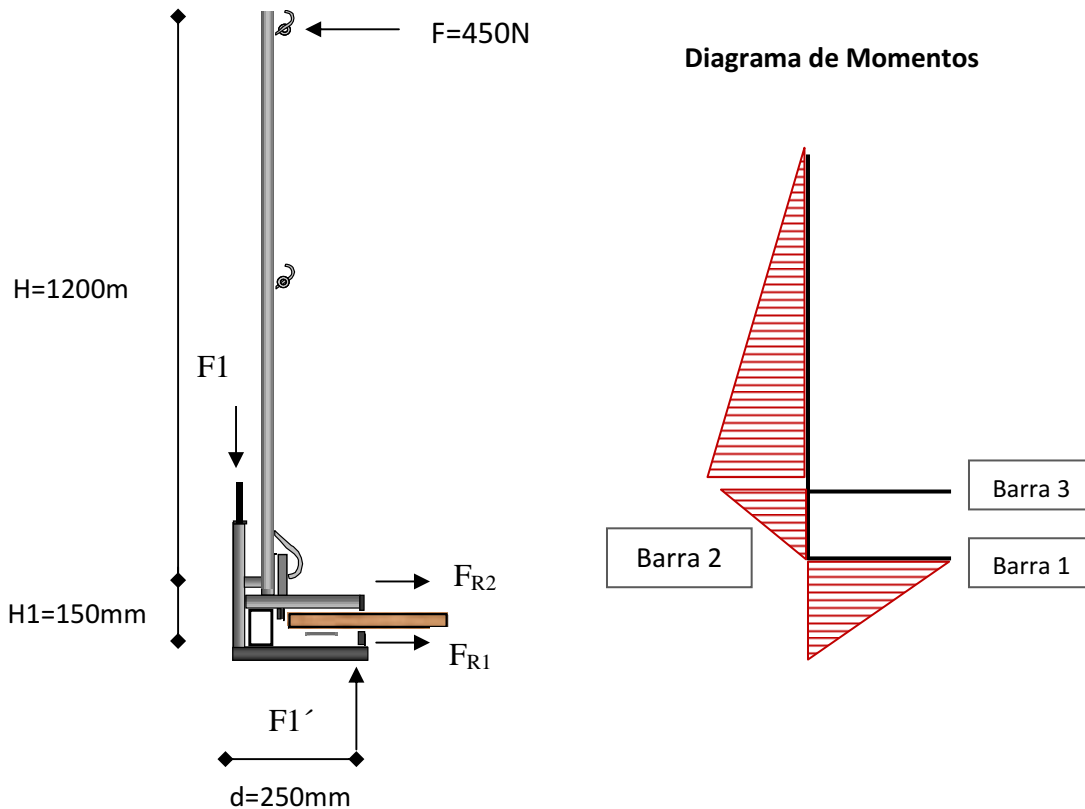
Sabiendo que $F_1 = 2295 \text{ N}$, calculado en el apartado siguiente de "Comprobación del dimensionamiento de las secciones de las barras".

$$\begin{aligned} F &\leq 2 \cdot F_{RD} = 2 \cdot \mu \cdot F_1 \\ 1.5 \cdot 300 &\leq 2 \cdot 0.15 \cdot 2295 \\ 450 \text{ N} &\leq 688.5 \text{ N} \rightarrow \text{NO DESLIZA.} \end{aligned}$$

- COMPROBACIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS SECCIONES DE LAS BARRAS

En la siguiente figura se muestra el esquema de acciones y reacciones de un sistema. La acción es la fuerza exterior F de 300 N mayorada y las reacciones son las fuerzas que aparecen al sujetar el soporte al encofrado.

Aplicamos las ecuaciones de equilibrio para obtener la fuerza (F_1) que le transmite el sistema al encofrado:



$$F = 300 \cdot 1.50 = 450N$$

$$\sum F_V = 0 \rightarrow F_1 = F_1'$$

$$\sum F_H = 0 \rightarrow F = F_{R1} + F_{R2} = 2F_R$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F \cdot H + F_{R1} \cdot H1 = F_1 \cdot d \rightarrow F_1 = \frac{F \cdot H + F_{R1} \cdot H1}{d}$$

$$F_{R1} = F_{R2} = \frac{F}{2} = 225N$$

$$F_1 = \frac{450 \cdot 1200 + 225 \cdot 150}{250} = 2295 N = 2.3 kN$$

Por tanto, el encofrado debe ser capaz de resistir una carga que le transmite el sistema de 2.3kN. Observamos que a mayor distancia d, menor es la F1 y más eficaz es el anclaje.

Comprobamos el dimensionamiento de las barras utilizadas en el SPPB estudiado:

BARRA 1

Momento de cálculo:

$$M_1 = F_1 \cdot d = 2295 \cdot 250 = 573750 N \cdot mm$$

Módulo resistente necesario, W:

$$W = \frac{M_1}{f_y} = \frac{573750 N \cdot mm}{275 N / mm^2} = 2086.36 mm^3 = 2.08 cm^3$$

Mirando en un prontuario de perfiles, para el perfil hueco utilizado en el sistema de 40x3mm, el momento resistente es de $W=4.51 cm^3$ y por tanto, es suficiente para el módulo resistente necesario de la barra 1. Observamos que con un perfil de 40x2mm con un $W= 3.40 cm^3$ ya cumpliría.

BARRA 2

Momento de cálculo

$$M_2 = F_R \cdot H1 = 225 \cdot 150 = 33750 N \cdot mm$$

Módulo resistente necesario, W:

$$W = \frac{M_2}{f_y} = \frac{33750 N \cdot mm}{275 N / mm^2} = 122,727 mm^3 = 0.122 cm^3$$

Se ha utilizado el mismo tipo perfil hueco de 40x3mm para todo el sistema de fijación, por lo que el momento resistente es de $W=4.51 cm^3$ y por tanto, es más que suficiente para el módulo necesario de la barra 2.

BARRA 3

La barra 3 como no recibe momentos, el perfil que se ha utilizado es el mismo que para las otras barras, un perfil hueco cuadrado de 40X3mm.

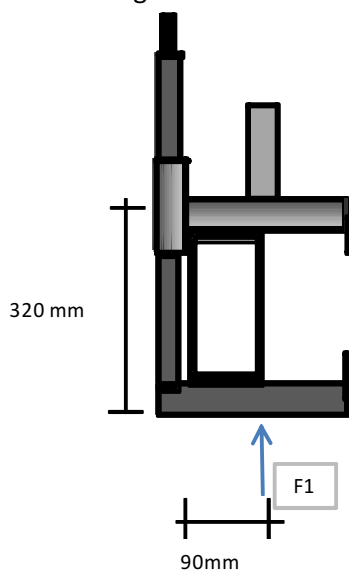
- DIMENSIONES MÍNIMAS Y MÁXIMAS DE LA SOPANDA

Comprobamos las dimensiones mínimas y máximas que puede tener la sopanda en la que se fije el sistema y que siga cumpliendo por un lado, el deslizamiento y por otro, las secciones de las barras 1, 2 y 3.

DIMENSIÓN MÁXIMA

Observando las dimensiones de las sopandas que existen en el mercado, elegimos la de mayores dimensiones para comprobar analíticamente si el sistema cumpliría instalado en una sopanda con una altura H_1 máxima, siendo ésta el canto máximo de sopanda + la altura de las mordazas.

Para ello elegimos el modelo CC4 del fabricante ULMA, de 240mm de alto y 90 mm de ancho.



En este caso, $H_1 = 240\text{mm} + 40\text{mm} + 40\text{mm} = 320\text{mm}$ y el punto de contacto de la fuerza F_1 es a $d = 90\text{mm}$.

Esquema 6. Esquema simplificado de la fijación a una sopanda 240x90mm

- Comprobación del dimensionamiento de las barras

$$\sum F_V = 0 \rightarrow F_1 = F_1'$$

$$\sum F_H = 0 \rightarrow F = F_{R1} + F_{R2} = 2F_R$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F \cdot H + F_{R1} \cdot H1 = F_1 \cdot d \rightarrow F_1 = \frac{F \cdot H + F_{R1} \cdot H1}{d}$$

$$F_{R1} = F_{R2} = \frac{F}{2} = 225\text{N}$$

$$F_1 = \frac{450 \cdot 1200 + 225 \cdot 320}{90} = 6800\text{N} = 6.8\text{kN}$$

Comprobamos que el dimensionamiento de las barras 1,2 y 3 resisten la F_1 máxima de 6.8 kN.

BARRA 1

Momento de cálculo:

$$M_1 = F_1 \cdot d = 6800 \cdot 90 = 612000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Módulo resistente necesario, W:

$$W = \frac{M_1}{f_y} = \frac{612000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{275 \text{ N} / \text{mm}^2} = 2225 \text{ mm}^3 = 2.23 \text{ cm}^3$$

Como el perfil hueco utilizado en el sistema de 40x3mm tiene un momento resistente de $W=4.51 \text{ cm}^3$, sigue cumpliendo para el caso de H_1 máxima.

BARRA 2

Momento de cálculo

$$M_2 = F_R \cdot H_1 = 225 \cdot 320 = 72000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

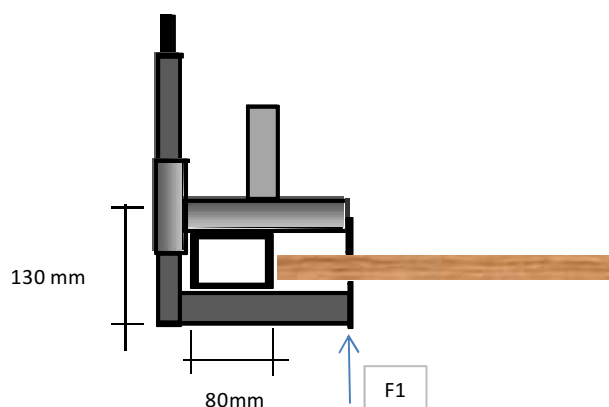
Módulo resistente necesario, W:

$$W = \frac{M_2}{f_y} = \frac{72000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{275 \text{ N} / \text{mm}^2} = 262 \text{ mm}^3 = 0.26 \text{ cm}^3$$

Como se ha utilizado el mismo tipo de perfil hueco de 40x3mm, el momento resistente es de $W=4.51 \text{ cm}^3$ y es más que suficiente para el módulo necesario.

DIMENSIÓN MÍNIMA

Realizamos las comprobaciones para la sopanda de dimensión mínima encontrada en el mercado. Siendo esta el modelo ALUMECANO de Alsina con unas dimensiones de 80x50mm.



En este caso,
 $H_1 = 80 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$ y el punto de contacto de la fuerza F_1 es a $d = 250 \text{ mm}$.

Esquema 7. Esquema simplificado de la fijación a una sopanda de 80x50mm.

Como los módulos resistentes de las barras cumplen a momentos máximos producidos por una mayor distancia H_1 , realizamos para la dimensión mínima la comprobación del deslizamiento del sistema, ya que a menor F_1 más riesgo de deslizamiento existe.

$$F_1 = \frac{450 \cdot 1200 + 225 \cdot 130}{250} = 2277 \text{ N} = 2.27 \text{ kN}$$

Deslizamiento:

$$\begin{aligned} F &\leq 2 \cdot F_{RD} = 2 \cdot \mu \cdot F_1 \\ 1.5 \cdot 300 &\leq 2 \cdot 0.15 \cdot 2277 \\ 450 \text{ N} &\leq 683.1 \text{ N} \rightarrow \text{NO DESLIZA.} \end{aligned}$$

Por tanto, el sistema de fijación cumple siendo instalado tanto en sopandas de máximas como de mínimas dimensiones.

3.2.2. Realización de la evaluación experimental

En este punto vamos a realizar los ensayos tanto de Límite de servicio como de Resistencia en el laboratorio de AIDICO. Estas comprobaciones las desarrollaremos según las pautas indicadas en cada norma que estamos estudiando (UNE-EN 13374:2013, OSHA 1926.502 y RTP-01).

Hay que tener en cuenta que los ensayos se realizan fijando el sistema a una estructura de encofrado con un perfil que simula las dimensiones medias longitudinales y transversales de una sopanda del mercado.

Datos del SPPB

Las muestras fueron aportadas por la empresa ATT Prometal (fabricante de sistemas de protección colectiva) y fueron recepcionadas y almacenadas en las instalaciones del Laboratorio de Elementos de Seguridad de AIDICO hasta el instante del ensayo.

Se le asignó al SPPB el siguiente número de albarán: **74849**.

El fabricante proporciona 8 muestras representativas de cada uno de los elementos del sistema (16 barandillas, 8 postes, 8 sistemas de fijación y 8 rodapiés).

Equipamiento empleado

El Laboratorio de Elementos de Seguridad dispone de un sistema multiaxial de ensayo que lleva instalados dos actuadores de carga, uno para la aplicación de cargas verticales y otro para la aplicación de cargas horizontales. Los datos de carga y desplazamiento quedan registrados a través de un software específico.

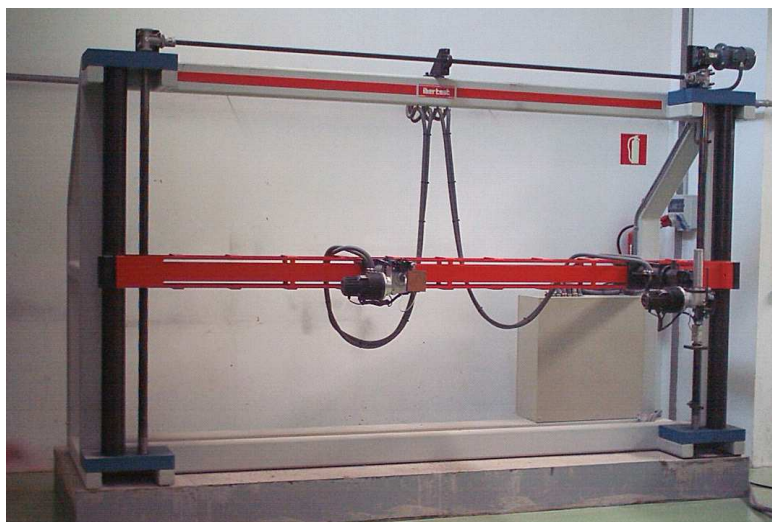


Ilustración 25. Equipamiento empleado para los ensayos estáticos

En cada una de las muestras de ensayo, los ciclos de carga son aplicados en cuatro puntos donde se produce el mayor momento flector y el mayor desplazamiento (zonas críticas del sistema).

- **Procedimiento de la NORMA UNE EN 13374:2013**

Como ya se ha indicado anteriormente, en cada uno de los SPPB, los ciclos de carga se aplican tanto de forma perpendicular como paralela en los puntos más desfavorables del sistema, indicados en la figura adjunta.

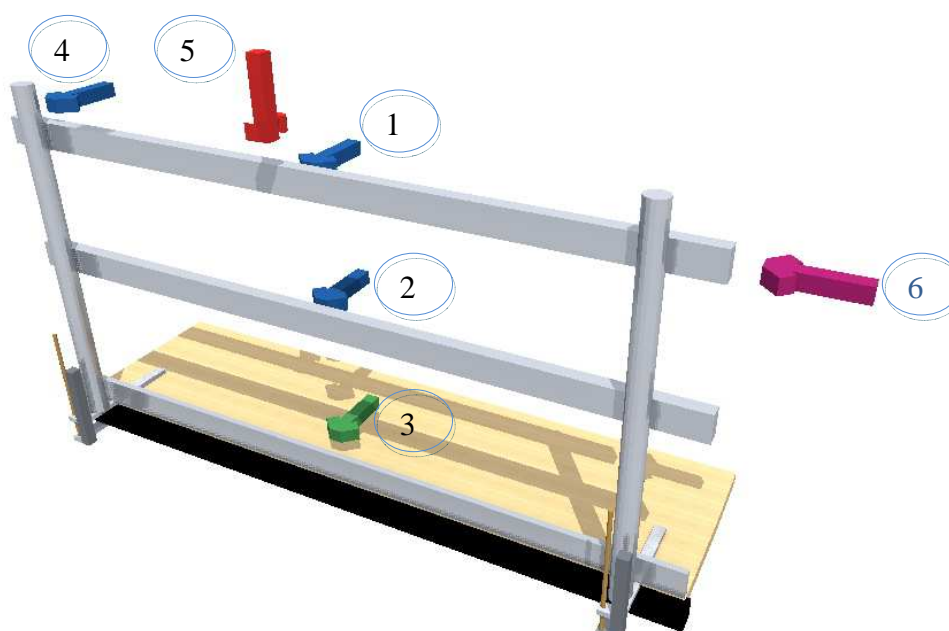


Ilustración 26. Disposición de los puntos de aplicación de carga UNE EN 13374:2013.

Disposición de los puntos de aplicación de carga en el SPPB objeto de ensayo:

- Disposición 1: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla principal.
- Disposición 2: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla intermedia.
- Disposición 3: Aplicación fuerzas estáticas en el centro del rodapié.
- Disposición 4: Aplicación fuerzas estáticas en la parte superior del poste.
- Disposición 5: Aplicación fuerzas estáticas accidentales en el centro de la barandilla principal.
- Disposición 6: Aplicación fuerzas estáticas paralelas en la parte superior del poste.

Ensayos según el punto 7. Métodos de Ensayo de la norma UNE-EN 13374:2013:

Comprobación del “Ensayo de límite de servicio”

- **Preensayo**

Antes de cada ensayo, al sistema se le aplica una carga inicial (300 N o 200 N, ya sea para las barandillas y postes o para el rodapié) perpendicular al sistema, la misma que la carga de ensayo, con el propósito de asegurarse que el sistema está correctamente fijado y absorbe las pequeñas holguras. Esta carga debe mantenerse durante un minuto y retirarse a continuación.

La posición del sistema (δ_1) es el parámetro de referencia para las medidas en el ensayo de flecha.

- **Ensayo**

Tras la carga inicial, se vuelve a cargar el sistema alcanzando la carga característica:

- Para postes y barandillas $F_{T1}= 300$ N
- Para plintos $F_{T2}=200$ N.

Comprobación del “Ensayo de resistencia”

- **Procedimiento:**

Después del ensayo de límite de servicio se aplica una carga máxima $F_{m\acute{a}x}$ que se mantiene durante un minuto.

Esta carga de ensayo se obtiene de aplicar a la carga inicial (300N o 200N) un coeficiente de mayoración de acciones, γ_F de valor 1.5 para todas las cargas permanentes y variables y un coeficiente de minoración de la resistencia del material, γ_M siendo 1.1 para materiales metálicos dúctiles.

$$F_{m\acute{a}x} = \gamma_M \times \gamma_F \times Q_k$$

En este tiempo, no deben de observarse plastificaciones, roturas o separaciones de cualquier parte del conjunto.

Seguidamente se aumenta hasta la carga última R_u , que provoca un fallo en el conjunto o en uno de los elementos del sistema y no debe ser menor que la carga máxima de ensayo $F_{m\acute{a}x}$.

Estos ensayos se repiten en las Disposiciones 1 a 4.

Comprobación de “Ensayo de Carga Accidental”

- **Procedimiento:**

Posteriormente se aplica una carga de 1250 N que actúa hacia abajo con un ángulo de $\pm 10^\circ$ en cualquier parte a lo largo de la barandilla superior.

Comprobación de “Carga paralela”

- **Procedimiento:**

Por último se aplica una carga de $F_{\max} = (\gamma_M \times \gamma_F \times F_{H2}) = 1.1 \times 1.5 \times 200 \approx 350N$, que debe actuar de forma paralela al sistema a lo largo de su longitud.

Comprobación de “Ensayo de carga viento”

- **Procedimiento:**

Se aplica una carga puntual perpendicular al sistema de protección hacia dentro y hacia fuera, de 825 N, obtenida mediante la fórmula:

$$F_{\max W} = (\gamma_M \times \gamma_F \times Q_{MW}) = 1.1 \times 1.5 \times 500 = 825N$$

Comprobación de “Ensayo de combinación de acciones”

- **Procedimiento:**

La carga repartida Q_{ww} y F_{H1} se aplican simultáneamente al sistema de protección en dirección hacia afuera mediante una carga puntual de 780 N que se obtiene de la fórmula siguiente:

$$Q_{WW} + F_{H1} = 472N \rightarrow F_{\max_comb_1} = (\gamma_M \times \gamma_F \times (Q_{WW} + F_{H1})) = 1.1 \times 1.5 \times 472 = 780N$$

La realización de estos ensayos se puede observar en el **Anexo D. Fotografías del ensayo estático según UNE EN 13374:2013.**

- Procedimiento de la NORMA OSHA 1926.502

“Ensayo Resistencia”

Este método de ensayo especifica diferentes magnitudes de carga en función del elemento del SPPB donde se aplique y el sistema debe ser capaz de resistirlas. Los puntos de aplicación de carga son los que se indican en la figura siguiente.

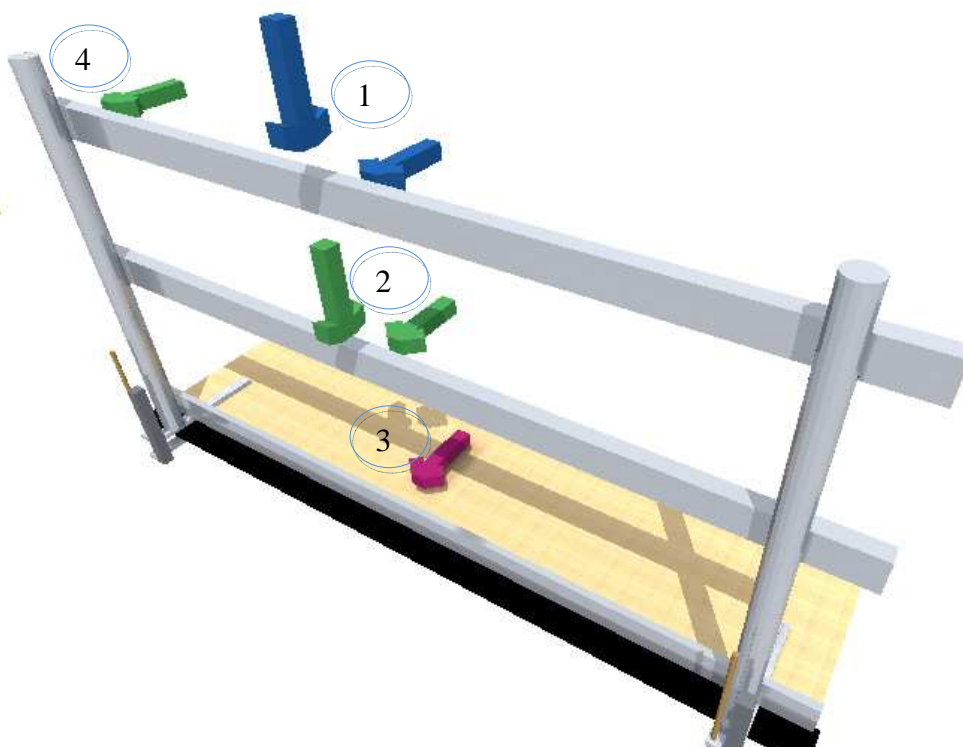


Ilustración 27. Disposición de los puntos de carga OSHA 1926.502

Disposición de los puntos de aplicación de carga en el SPPB objeto de ensayo:

Disposición 1: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla principal.

Disposición 2: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla intermedia.

Disposición 3: Aplicación fuerzas estáticas en el centro del rodapié.

Disposición 4: Aplicación fuerzas estáticas en la parte superior del poste.

Primero, se aplica una carga horizontal y vertical sobre la Disposición 1 (barandilla superior) de 0.89 kN.

A continuación, se aplica una fuerza de 0.67 kN en dirección horizontal y vertical sobre la Disposición 2 (barandilla intermedia).

Éste mismo valor de fuerza se aplica en la Disposición 4 (poste) en sentido horizontal, perpendicular al sistema.

Y por último se cargan 0.22 kN en sentido horizontal en la Disposición 3 (rodapié).

La realización de estos ensayos se puede observar en el **Anexo E. Fotografías del ensayo estático según OSHA 1926.502.**

- Procedimiento de la NORMA RTP-01

En este caso, la norma no especifica el procedimiento para realizar el ensayo, por tanto, como se ha dicho en el desarrollo de la norma en el punto 2.2.3 del Capítulo 2, realizaremos el ensayo del modo más desfavorable: aplicar una carga de dirección horizontal de 150 kgf/ml en las barandillas y el poste.

En el esquema siguiente se muestran los puntos de aplicación de carga:

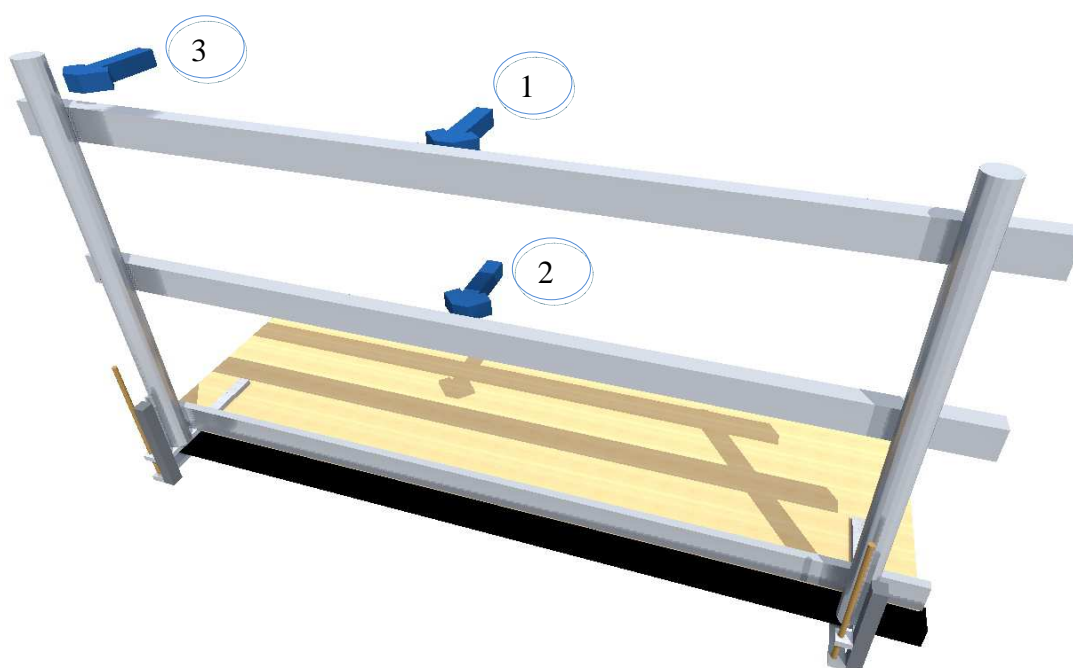


Ilustración 28. Disposición de los puntos de carga RTP-01

Disposición de los puntos de aplicación de carga en el SPPB objeto de ensayo:

Disposición 1: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla principal.

Disposición 2: Aplicación fuerzas estáticas en el centro de la barandilla intermedia.

Disposición 3: Aplicación fuerzas estáticas en la parte superior del poste.

La realización de estos ensayos se puede observar en el **Anexo F. Fotografías del ensayo estático según RTP-01.**

Capítulo 4.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

4.1 Según norma UNE-EN 13374:2013

4.1.1 Comprobación de los requisitos geométricos:

En primer lugar se realiza la comprobación de las características geométricas del SPPB con los requisitos mínimos que indica la norma UNE-EN 13374:2013. Como se observa en la Tabla 20 el sistema a ensayar cumple con todas las especificaciones.

Tabla 20. Comprobación requisitos geométricos UNE-EN 13374:2013

	SPPB muestra (mm)	EN 13374:2013 (mm)
Altura poste	1200	-
Altura barandilla superior	1116	min.1000
Altura rodapié	155	min.150
Separación borde inferior rodapié y sup. trabajo	6	máx.20
Separación entre postes	2320	No especifica
Separación entre barandillas	460	máx.470
Separación barandilla-rodapié	410	máx.471
Dimensiones tubo	ø40x1.5	No especifica

4.1.2 Resultados de los ensayos

“Ensayo de límite de servicio”

Las deformaciones registradas (δ) tras el ensayo deben cumplir en cada caso los siguientes criterios de aceptabilidad:

- Los valores de flecha media $\delta_m \leq 55\text{mm}$ y los valores individuales $\delta \leq 60\text{mm}$.

Por tanto los parámetros registrados durante el ensayo son:

- δ_1 : Deformación producida en el elemento tras la precarga inicial (flecha de referencia para el inicio del ensayo).
- δ_2 : Deformación producida en el elemento tras aplicación de la carga.
- δ : Deslizamiento característico del sistema ($\delta_2 - \delta_1$).
- δ_m : Valor medio de flecha de todas las muestras de ensayo.
- Q_k : Carga característica para el caso considerado.

Tabla 21. Resultados ensayo límite de servicio

Elemento	Q_k	74849-F1	74849-F2	74849-F3	74849-F4	Flecha media
		δ (mm)	δ (mm)	δ (mm)	δ (mm)	δ_m (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	300 N	29,45	30,67	29,95	29,49	29.89
Barandilla intermedia (*) (Disposición 2)	300 N	-	-	-	-	-
Rodapié (Disposición 3)	200 N	10.6	10.49	10.5	10.5	10.52
Poste (Disposición 4)	300 N	54,12	34,91	46,09	30,58	41.42

(*) El ensayo en la barandilla intermedia no se realiza por ser más desfavorable el caso de barandilla superior.

Como se puede comprobar en la Tabla 21 los resultados de límite de flecha de los componentes del sistema cumplen que $\delta_m \leq 55\text{mm}$ y en cada una de las muestras que $\delta \leq 60\text{mm}$.

Los parámetros del ensayo, δ_1 y δ_2 , utilizados para obtener δ se pueden observar en la tabla del **Anexo B**.

En el **Anexo C** se muestran los gráficos Fuerza-Desplazamiento correspondientes al ensayo de límite elástico de cada una de las Disposiciones: gráficos 7-18.

▪ **Resultados de “Ensayo de resistencia” y “Resistencia última”**

Los parámetros registrados durante el ensayo en este caso son:

- δ_2 : Deformación producida en el elemento en la aplicación de la carga máxima.
- δ_3 : Deformación residual tras la carga máxima aplicada.
- $\delta_{m\acute{a}x}$: Deformación máxima ($\delta_2 - \delta_1$).

- Q_k : Carga característica = $F_{m\acute{a}x}$.

Tabla 22. Resultados ensayo de resistencia UNE-EN 13374:2013

	$F_{m\acute{a}x}$	Muestra-R1	Muestra-R2	Muestra-R3	Muestra-R4
		$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	500 N	23	23	24	24
Barandilla intermedia (Disposición 2)	500 N	-	-	-	-
Rodapié (Disposición 3)	350 N	18.7	21.14	19.8	19.4
Poste (Disposición 4)	500 N	33	50	52	32

En el **Anexo B** se pueden comprobar los valores de δ_2 y δ_3 , empleados para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$ y en el **Anexo C** se disponen los gráficos Fuerza-Deformación del ensayo de resistencia de cada una de las Disposiciones: gráficos 19-30.

A continuación, se debería realizar la comprobación de “Carga máxima de viento” y “Combinación de cargas”. En este caso se ha omitido su realización ya que se ensayan los mismos valores de fuerza en el “Ensayo de Resistencia” de la norma OSHA 1926.502 y se comprueba ahí su cumplimiento.

Si se realiza una comprobación en el rodapié, llegando a cargas de 700N y observando que sí llega a cumplir, los demás componentes se evalúan con la OSHA.

▪ Resultados “Ensayo Resistencia última”

Los valores de resistencia última que se muestran en la Tabla 23, son los obtenidos tras la aplicación de fuerzas máximas sobre el centro de la barandilla superior (disposición 1), la parte superior del poste (disposición 4), y en el centro del rodapié (disposición 3).

Se comprueba como en ningún caso la Resistencia última, R_u es menor que la carga máxima de resistencia $F_{m\acute{a}x}$.

En el rodapié no se realiza el ensayo en todas las muestras ya que se observa que es capaz de llegar a mayor carga y la barandilla y el poste son más desfavorables.

Tabla 23. Resultados ensayo de resistencia última UNE-EN 13374:2013

	Muestra-Ru1	Muestra-Ru2	Muestra-Ru3	Muestra-Ru4
	Ru (kN)	Ru (kN)	Ru (kN)	Ru (kN)
Barandilla superior (Disposición 1)	0.7373	0.7624	0.7515	0.7443
Rodapié (Disposición 3)	1.20	-	-	-
Poste (Disposición 4)	0.7319	0.7223	0.6996	0.7239

▪ **Resultados de “Ensayo de Carga Accidental” y “Carga paralela”**

Para este ensayo, la norma solo le exige que el sistema sea capaz de resistir las fuerzas accidentales y paralelas.

Tabla 24. Resultados ensayo carga accidental y paralela

	F_{max}	El sistema es capaz de resistir F_{max}
Carga accidental (Disposiciones 1)	1250 N	SI
Carga paralela (Disposición 5)	350 N	SI

4.2 Según norma OSHA 1926.502

4.2.1 Comprobación de los requisitos geométricos:

Realizamos la comprobación de las características geométricas del SPPB con los requisitos que indica la OSHA 1926.502. Como se observa en la Tabla 25 el sistema a ensayar cumple con las especificaciones mínimas.

Tabla 25. Comprobación requisitos geométricos OSHA 1926.502

	SPPB muestra (mm)	OSHA 1926.502
Altura poste	1200	No especifica
Altura barandilla superior	1116	mín. 1100
Altura rodapié	155	min. 90
Separación borde inferior rodapié y sup. trabajo	6	máx. 6
Separación entre postes	2320	máx. 2440 (8pies)
Separación entre barandillas	460	No especifica
Separación barandilla-rodapié	410	No especifica
Dimensiones tubo	ø40x1.5	ø38 (1 ½ pulgadas)

4.2.2 Resultados de los ensayos

- “Ensayo de resistencia”

Para el ensayo de resistencia no se define que deba cumplir ningún criterio concreto de aceptabilidad en cuanto a deformaciones.

Los parámetros registrados durante el ensayo son:

- δ_2 : Deformación producida en el elemento en la aplicación de la carga.
- δ_3 : Deformación residual tras la carga máxima aplicada.
- $\delta_{\text{máx}}$: Deformación máxima ($\delta_2 - \delta_1$).
- Qk: Carga característica = Fmáx.

Tabla 26. Resultados ensayo de resistencia carga horizontal OSHA 1926.502

	F_{max}	Muestra-R1	Muestra-R2	Muestra-R3
		$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	890 N	57	57	55
Barandilla intermedia (Disposición 2)	666 N	-	-	-
Rodapié (Disposición 3)	220 N	17	17	17
Poste (Disposición 4)	666 N	74	81	90

En el **Anexo B**, tabla 32, se pueden comprobar los valores de δ_2 y δ_3 , empleados para obtener $\delta_{m\acute{a}x}$ y en el **Anexo C** se disponen los gráficos Fuerza-Deformación del ensayo de resistencia de cada una de las Disposiciones: gráfica 31-39.

4.2.3 Resultados de “Ensayo de Carga Vertical”

Únicamente se indica como requisito a cumplir que cuando la carga se aplica en dirección vertical en la barandilla superior, el sistema no debe quedar a una altura inferior a 1.00 m de la superficie de trabajo.

Tabla 27. Resultados ensayo de resistencia carga vertical OSHA 1926.502

	F_{max}	Muestra-V1	
		$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	δ_3 (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	890 N	61.87	4.58
Barandilla intermedia (Disposición 2)	666 N	44.69	1.70

Como la altura total del sistema es 1150mm:

- Disposición 1: $1150 - 61.87 = 1088.13\text{mm}$ → Cumple

En el **Anexo C** se disponen los gráficos Fuerza-Deformación del ensayo de resistencia de cada una de las Disposiciones: gráfica 40-41.

4.3 Según norma RTP-01

4.3.1 Comprobación de los requisitos geométricos:

Se realiza primero la comprobación de las características geométricas del SPPB con los requisitos que indica la RTP-01.

En este caso, como se observa en la Tabla 28 el sistema a ensayar no cumple con todas las especificaciones, ya que la altura de la barandilla superior y el rodapié son de dimensiones menores a las exigidas en la norma así como la separación entre el borde inferior del rodapié y la superficie de trabajo en la RTP no existe.

Tabla 28. Comprobación requisitos geométricos RTP-01

	SPPB muestra (mm)	RTP-01 (mm)
Altura poste	1200	1200
Altura barandilla superior	1116	1200
Altura rodapié	155	200
Separación borde inferior rodapié y superficie trabajo	6	0
Separación entre postes	1500 (*)	máx.1500 (*)
Separación entre barandillas	Máx. 470	Máx. 460
Separación barandilla intermedia-rodapié	Máx. 470	Máx. 460
Dimensiones tubo	ø40x1.5	No especifica
Malla intermedia	No dispone	Aberturas de 20-40

(*) Este requisito cumple con las barandillas de dimensión 1500mm que dispone el fabricante para el modelo de SPPB.

Como el sistema según está diseñado no cumple los criterios geométricos para Brasil, se deberían hacer las siguientes modificaciones para poderse comercializar en este país.

- Aumentar el tamaño del rodapié en 5cm para que apoye sobre la superficie de trabajo. Además, realizar dos cortes en la chapa para que al insertarlo en el alojamiento de los postes encaje apoyado en la fijación.
- Aumentar hasta 1200mm la altura a la que queda apoyada la barandilla superior.
- Disponer los elementos para que la separación entre las barandillas y el rodapié no supere los 460mm.
- Añadir como elemento del sistema una malla de protección con aberturas de 20-40mm.
- Únicamente proporcionar barandillas de dimensión 1500mm.

4.3.2 Resultados de los ensayos

- “Ensayo de Resistencia”

Para el ensayo se aplica una carga de 150kgf/ml es decir, 2.2 kN en los puntos de la Ilustración 29 pero observamos que al aplicar una fuerza tan alta el sistema no es capaz de resistir.

Los parámetros registrados durante el ensayo son:

- δ_2 : Deformación producida en el elemento en la aplicación de la carga.
- Q_k : Carga característica.

Tabla 29. Resultados ensayo de resistencia carga horizontal RTP-01

	F_{max}	Muestra-R1
		δ_2 (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	2.2 N	158 (1.34 kN)
Poste (Disposición 4)	2.2 N	156 (0.69kN)

En la Tabla 29 se muestran las deformaciones y las cargas máximas a las que ha podido llegar el sistema.

En el **Anexo C** se disponen los gráficos Fuerza-Deformación del ensayo de resistencia de cada una de las Disposiciones: gráfica 42-43.

En conclusión, no se ha podido finalizar el ensayo de resistencia y por tanto el SPPB no cumple con el requisito de la RTP-01.

Capítulo 5.

ANÁLISIS DE LAS GRÁFICAS DE RESULTADOS

5.1 Análisis de las gráficas de resultados experimentales

Conclusiones generales

Los resultados obtenidos con la norma europea muestran que el sistema es capaz de superar los requisitos tanto de límite elástico como de resistencia y de carga accidental y paralela (Tablas 20-24).

Del mismo modo, el sistema ensayado con la norma OSHA 1926.502 supera los requisitos que se le exigen (Tabla 25-27). La problemática se encuentra en la norma brasileña que, ya partiendo de la no conformidad con algunos aspectos de los requisitos geométricos (Tabla 28), el ensayo experimental tampoco es superado por el sistema (Tabla 29).

5.1.1 Análisis del ensayo UNE EN 13374:2013

Requisito de límite de servicio

En las gráficas de límite de servicio 7, 10, 13 y 16 del Anexo C puede comprobarse que en las cuatro muestras, el comportamiento de las barandillas es muy similar, siendo elástico y lineal. El mayor desplazamiento se obtiene cuando se aplica a cada barandilla la máxima fuerza de 0.3kN, no superando en ningún caso el límite de 60mm.

En el caso de los postes (Gráficas 9, 12, 15 y 18) también se cumple que el desplazamiento sea inferior a 60mm cada uno. Aunque en la muestra 1 haya un desplazamiento tras la precarga y la carga que sobrepasa este valor (71,17 mm), se debe restar al total el valor tras la precarga de 17.05 mm, ya que son movimientos de ajuste en el sistema de fijación. El valor final es de 54.12mm que pese a ser cercano al límite, cumple con el requisito.

Los demás ensayos de postes muestran desplazamientos menores y más similares entre sí (34.91mm, 46.09mm, 30.58mm) ya que el sistema de fijación ha absorbido las pequeñas holguras. Son diagramas no lineales durante la aplicación de la carga ya que se desplaza a mayor velocidad que aumenta la fuerza. Dejan una pequeña deformación residual después de su recuperación, pero esto no es impedimento para que el sistema cumpla.

En cuanto al rodapié (Gráficas 8, 11, 14 y 17), los datos inferiores al límite establecido. En general, tanto los resultados del límite de servicio como de resistencia del rodapié no presentan inconvenientes ya que son más desfavorables los casos de barandilla superior y postes.



Fotografía 37. Ensayo de límite elástico, aplicando la carga en el centro de la barandilla.



Fotografía 38. Ensayo de límite elástico, aplicando la carga en lo alto del poste.

Requisito de resistencia

En las gráficas 19, 22, 25 y 28 del Anexo C se muestra el diagrama fuerza-desplazamiento cuando la carga se aplica en el centro de la barandilla principal.

En cada una de las muestras se observa como el diagrama es lineal hasta la carga de 0.40kN y a partir de ese punto empieza ligeramente a perder la linealidad hasta el máximo de 0.50 kN. La descarga se produce de forma paralela a la de aplicación y sin apreciarse apenas deformaciones remanentes o roturas, por lo que cumple con el ensayo.

Las gráficas correspondientes a 21, 24, 27 y 30 del Anexo C son los diagramas fuerza-desplazamiento de los postes.

La gráfica R2 muestra un diagrama no lineal hasta la carga máxima con, además pequeñas caídas de carga producidas por deslizamientos del sistema de fijación al alcanzar altas cargas. Aún así, se descarga siguiendo una línea idéntica a la fuerza por lo que el comportamiento del poste es elástico.

El gráfico de R3 es prácticamente como el R2, con la diferencia que en la descarga si se queda en este una pequeña deformación remanente de aproximadamente 13 mm. Los demás gráficos no presentan ninguna anomalía considerable.

En ningún caso se aprecian plastificaciones significativas o roturas, por ello las muestras de postes cumplen con el ensayo.



Fotografía 39. Aplicación de la carga en la barandilla superior UNE EN 13374:2013



Fotografía 40. Aplicación de la carga en el poste UNE EN 13374:2013

En la fotografía 40 (correspondiente a la muestra R2) se puede comprobar el gran desplazamiento de la muestra del poste R3 cuando el actuador le aplica la máxima carga.

Requisito de carga accidental y paralela

El único requisito que la norma les exige a los sistemas para cumplir estos ensayos es que resistan las cargas, sin ningún criterio de deformación.

En las Fotografías 41 y 42 se comprueba que resisten las fuerzas, del mismo modo que ocurre en todas las demás muestras.



Fotografía 42. Aplicación de la carga accidental



Fotografía 41. Aplicación de la carga paralela

5.1.2 Análisis del ensayo OSHA 1926.502

Requisito de resistencia

- Carga horizontal: barandilla superior

Los gráficos 31,34 y 37 muestran los diagramas de comportamiento cuando la carga de 0.89 kN se aplica de forma horizontal en el centro de las barandillas principales.

En las tres muestras ensayadas, estos diagramas son lineales hasta la carga de 0.60kN, sin embargo a partir de este punto se pierde la linealidad hasta la aplicación de la fuerza máxima. Las descargas se producen lineales dejando pequeñas deformaciones residuales de entre 8 y 10 mm.

La norma no plantea ningún requisito específico de aceptabilidad más allá de que el sistema soporte las cargas aplicadas. Por tanto el sistema cumple sin inconvenientes.



Fotografía 43. Aplicación de la carga en la barandilla superior OSHA 1926.502

- Carga vertical

Barandilla superior

En la gráfica 40, se observa un diagrama ligeramente no lineal con una descarga paralela a la carga y dejando una pequeña deformación residual.

El requisito que la norma OSHA le exige es que al aplicar esta carga vertical el sistema no quede a una altura inferior a 1.00 m de la superficie de trabajo, lo cual ya se ha comprobado en el apartado 4.2.3 Resultados de "Ensayo de Carga Vertical" que cumple con la exigencia.

Barandilla intermedia

Este ensayo corresponde a la gráfica 41. Como la carga del ensayo anterior es mayor (0.89 kN frente a 0.66 kN) y el ensayo resulta favorable, éste cumple perfectamente sin ninguna anomalía y además, con apenas deformación residual.

Requisito de resistencia postes

Los postes se comportan de forma no lineal hasta la carga de 0.20kN y 0.30 kN como se puede ver en las gráficas 33, 36 y 39 del Anexo C.

Seguidamente responden linealmente hasta casi los 0.60 kN aproximadamente y en el último tramo, se producen pequeñas caídas de carga a causa del desplazamiento grande del poste (120mm aprox.) y el consecuente deslizamiento de la fijación.

La descarga se realiza de forma idéntica a las cargas, descargándose rápidamente en los últimos 0.10kN y dejando una flecha residual apreciable, sobretodo en los diagramas 36 y 39 (20mm). Aun así los postes cumplen el ensayo resistiendo la carga de 0.66kN.

En la Fotografía 45 se observa la deformación del poste con la aplicación de la carga máxima en el extremo.



Fotografía 44. Aplicación de la carga en el poste OSHA 1926.502

Requisito de resistencia rodapiés

El rodapié cumple sin inconvenientes. Los diagramas de los rodapiés no presentan ninguna anomalía, ya que son gráficas completamente lineales con una descarga elástica y muy próxima y paralela a la carga.

Se puede ver en las gráficas 32, 35 y 38 del Anexo C.



Fotografía 45. Aplicación de la carga en el rodapié OSHA 1926.502

5.1.3 Análisis del ensayo RTP-01

Como se puede ver en el Anexo C, gráfica 42, aplicando la carga en el centro de la barandilla superior, el sistema se deforma muy rápidamente perdiendo toda la funcionalidad y al alcanzar los 1.3 kN se empieza a apreciar como el sistema únicamente seguiría deformándose sin absorber fuerza. Además provoca que el equipo llegue al final de su recorrido sin haberse aplicado la totalidad de la carga prevista.

En el poste, el ensayo solo llega a una carga de 0.70 kN deformándose totalmente y sin ser capaz de resistir más carga (gráfico 43).

En las Fotografías 65 y 66 del Anexo F se puede apreciar la gran deformación que sufre el sistema.

Capítulo 6.

MANUAL DE INSTRUCCIONES

Según la norma UNE-EN 13374:2013 es imprescindible que se suministre por parte del fabricante un manual de instrucciones como parte del sistema de protección.

El manual debe incluir mínimo los siguientes puntos:

- Una lista con cada uno de los componentes y una descripción con la cual pueda identificarse el elemento.
- Las instrucciones para la secuencia de ensamblaje.
- Los requisitos en cuanto a la fijación a la estructura.
- Las instrucciones para el desmantelamiento de los componentes y su manipulación.
- Las formas de las distintas configuraciones unido a sus clases y dimensiones respectivas.
- Las restricciones de limitación de uso con relación a las condiciones climáticas.
- Una explicación de la clasificación y del rango de aplicaciones y cualquier limitación del sistema.
- Una especificación exhaustiva de los elementos no fabricados ex profeso, en caso de que sean necesarios.
- Las cargas transmitidas a la estructura soporte.
- Los criterios de rechazo de los componentes usados o deteriorados.
- Las instrucciones para el almacenamiento, mantenimiento o reparación.
- Información acerca de las aplicaciones para las que el sistema de protección de borde es apropiado.

Seguidamente se ha realizado el manual de montaje, utilización y desmontaje del SPPB objeto de estudio incluyendo los puntos indicados anteriormente.



Sistema Provisional de
Protección de Borde con
sistema de fijación por apriete
SPPB clase A

ÍNDICE

- 1. Introducción
- 2. Objeto
- 3. Características y componentes del sistema
- 4. Recepción y manipulación de materiales.
 - 4.1 Recepción del material
 - 4.2 Manipulación del material.
- 5. Montaje y utilización
 - 5.1 Consideraciones previas
 - 5.2 Secuencia de montaje
 - 5.3 Secuencia de desmontaje
- 6. Mantenimiento o reparación y sustitución
 - 6.1 Revisión
 - 6.2 Mantenimiento
- 7. Almacenamiento
 - 7.1 Almacenamiento anterior al montaje
 - 7.2 Almacenamiento después de su utilización
- 8. Restricciones de uso
 - 8.1 Rechazo de los componentes usados o deteriorados.
 - 8.1 Restricciones de uso por la geometría del sistema
- 9. Puntos singulares
- 10. Normativa

1. Introducción

Tal como indica la actual normativa en prevención de riesgos laborales es imprescindible proteger las zonas donde exista riesgo de caída en altura (desniveles, huecos y aberturas existentes). Dicha altura se establece en 2m. La norma UNE-EN 13374:2013 se aplica a los sistemas de protección provisionales de borde para superficies horizontales o inclinadas y especifica los requisitos.

CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA

CLASE A

La protección clase A proporciona resistencia sólo para cargas estáticas, basada en los requisitos siguientes:

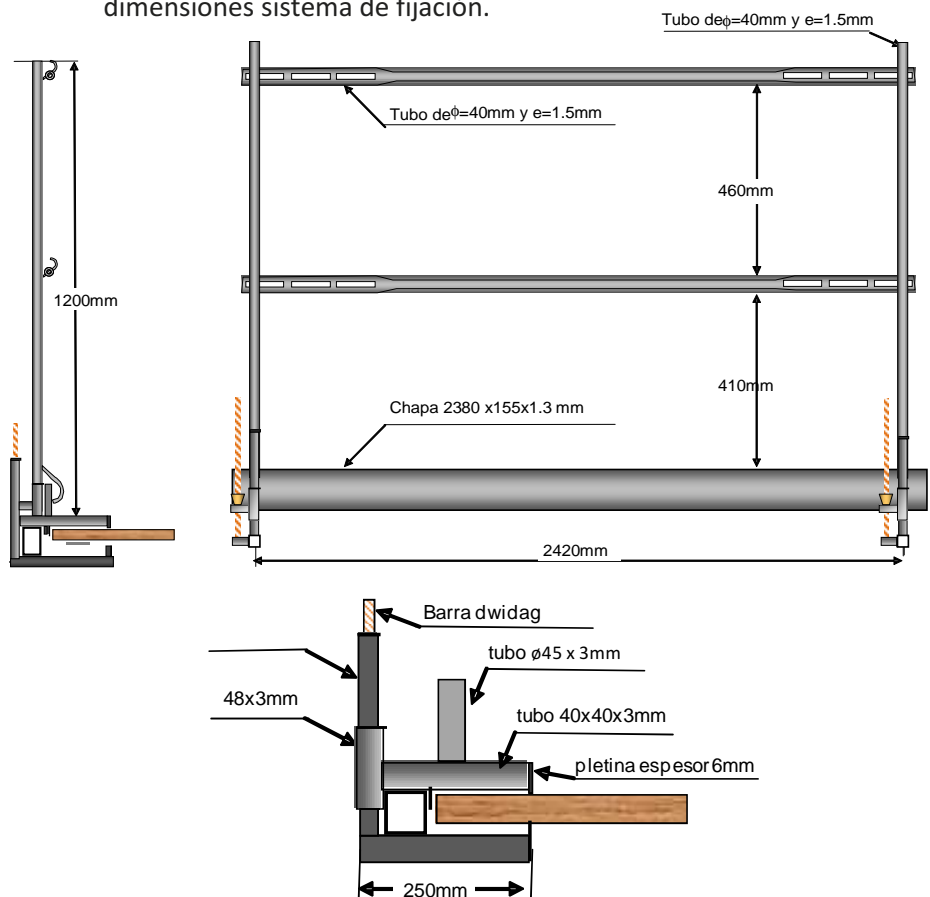
- Soportar a una persona que se apoye sobre ella o para sujetar su mano cuando camina junto a ella.
- Detener a una persona que camina o cae en dirección de la protección.
- La protección de Clase A no debe usarse si el ángulo de la superficie de trabajo es mayor a 10°.

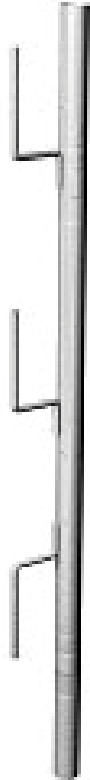
El objeto de este Manual de instrucciones es describir el montaje, la utilización y desmontaje de un sistema de protección de borde sujeto al encofrado mediante un sistema de apriete.

3. Características y componentes del sistema

El SPPB tiene las siguientes características técnicas y materiales:

- Barandilla principal e intermedias tubo de acero galvanizado de $\varnothing 40\text{mm}$ y espesor de 1.5mm. Tienen dos longitudes totales, una de 2420mm y otra de 1500mm y disponen en sus extremos de unas ranuras colisas para su fijación a los postes verticales.
- Postes verticales: fabricados por tubo de acero $\varnothing 40\text{mm}$ y espesor de 1.5mm y 1200mm de longitud. Este tubo lleva soldadas unas varillas dispuestas a distintas alturas, con el fin de alojar las barandillas y el rodapié.
- Rodapié: chapa de acero conformada en "C" de 150mm de alto, 1.3mm de espesor, y una longitud total de 2500mm y de 1550mm.
- Sistema de fijación a la estructura: sistema de anclaje por apriete mediante barra dywidag. Ver plano 1 adjunto. Especificaciones dimensiones sistema de fijación.





POSTE DE ACERO GALVANIZADO $\phi 40 \times 40 \text{mm}$ Y
L=1200mm



SISTEMA DE FIJACIÓN CON BARRA DWIDAG

BARANDILLA DE ACERO GALVANIZADO
 $\phi 40 \times 40 \text{mm}$ Y L=2420mm Y L=1500mm



RODAPIÉ DE CHAPA GALVANIZADA L=2500mm Y L=1550mm y e= 1.5mm



4. RECEPCIÓN Y MANIPULACIÓN DE MATERIALES

4.1 RECEPCIÓN DEL MATERIAL

Una vez que se reciba el material en la obra, se realizará un control cualitativo para verificar que el material se encuentra en buen estado: ausencia de golpes, fisuras, mal estado de soldaduras y apariencia de óxido en las piezas.

4.2 MANIPULACIÓN DEL MATERIAL

El material llegará a la obra correctamente en cajas. Se debe realizar un reparto de los materiales en la zona de trabajo para así evitar sobrecargas puntuales, separando por lo menos 1m de las zanjas, cantos de forjado, huecos o similares.

Antes del desembalaje se debe prever una zona de acopio con espacio suficiente, limpia y plana, para evitar posibles esparcimientos al liberar los elementos de sujeción de la carga, que pudieran ocasionar accidentes.

El corte de los elementos de embalaje se realizará con la herramienta adecuada y uso de guantes para evitar cortes.

Sistema anticaídas tipo percha



5. Montaje y utilización

5.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

- Identificar y coordinar con el responsable de la obra la zona a proteger, la accesibilidad, la zona de acopios y medios auxiliares necesarios para realizar el montaje.
- Substituir componentes dañados o en mal estado.
- No mezclar componentes/sistemas de otros fabricantes. Si el material procede de una puesta previa deberá ser inspeccionado por persona competente.
- Tener en cuenta que las cargas máximas que puede transmitir el SPPB y que debe ser capaz de soportar la estructura son **2.3 kN**.

5.2 SECUENCIA DE MONTAJE

- Paso previo

Para la instalación del sistema se parte de un mecano de encofrado ya montado. Se debe instalar un sistema anticaídas por ejemplo tipo percha o de línea de vida entre pilares. Se montarán los sistemas requeridos en función del área de encofrado.

- Pasos para el MONTAJE DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN
Ver planos adjuntos (1-5).

5.3 SECUENCIA DE DESMONTAJE

Para el desmontaje del sistema será necesaria la instalación de equipos de protección individual (EPI) como una línea provisional de anclaje sujeta a los pilares más próximos al borde perimetral.

El acopio de los materiales debe realizarse sobre superficies planas, separadas de las zonas con desniveles.

- Paso previo

Los operarios se sujetan a la EPI instalada.

- Pasos para el DESMONTAJE DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN.
Ver planos adjuntos (8-11).

6. Mantenimiento o reparación y sustitución

Las tareas de mantenimiento, reparación o sustitución de los elementos en obra deberán realizarse por personal cualificado.

6.1 REVISIÓN

Se deben verificar periódicamente los componentes de la instalación ya que pueden ser alterados o modificados por las siguientes causas:

- Causas meteorológicas como viento, lluvia o hielo.
- Modificaciones del montaje o replanteo inicial.
- Por el uso diario o por pequeños golpes.
- Alteraciones involuntarias.
- Después de la caída de una persona u objeto hacia o en el sistema de protección de borde, y sus accesorios, el sistema sólo debe reutilizarse después de haber sido inspeccionado por una persona cualificada.

6.2 MANTENIMIENTO DE LOS POSTES Y BARANDILLAS

Se deben de sustituir cuando presenten desgaste, estén deformados por golpes, tengan abolladuras o su estado de oxidación lo exija.

Esto se puede comprobar realizando con frecuencia una revisión visual por trabajadores formados adecuadamente.

La inspección consiste en comprobar:

- La buena sujeción de los postes y sus barandillas.
- Que no existan objetos retenidos, y si fuera así se retirarán en ese mismo momento.
- Si se ha producido la caída de una persona u objeto pesado sobre los elementos metálicos, se procederá de inmediato a la sustitución de todo el módulo por uno nuevo.

7. Almacenamiento

7.1 ALMACENAMIENTO ANTERIOR AL MONTAJE

Conservar los componentes en sitios o recintos techados y sin humedad, protegidos de los efectos de los rayos "UV".

No serán almacenados cerca de focos de altas temperaturas, o lugares donde puedan estar en contacto con sustancias agresivas (fuegos, reactivos químicos, cementos, hormigón, líquidos, disolventes, aceites, grasas, soldaduras, etc.).

7.2 ALMACENAMIENTO DESPUÉS DE SU UTILIZACIÓN

Antes de almacenar los SPPB usados, es indispensable efectuar un examen para comprobar la probabilidad de su reutilización. Las piezas metálicas deformadas se deben eliminar y sustituir por otras nuevas, ya que su poder de absorción de energía ha disminuido.

La limpieza de estos componentes antes de su almacenamiento también es esencial, así como el lijado y pintado de algunas partes oxidadas que aumentará su vida útil.

Tener en cuenta en el almacenamiento anterior y posterior: Repartir los materiales para evitar sobrecargas puntuales, separando al menos 1m de los bordes de zanjas, perímetro del encofrado o huecos.

8. Restricciones de uso

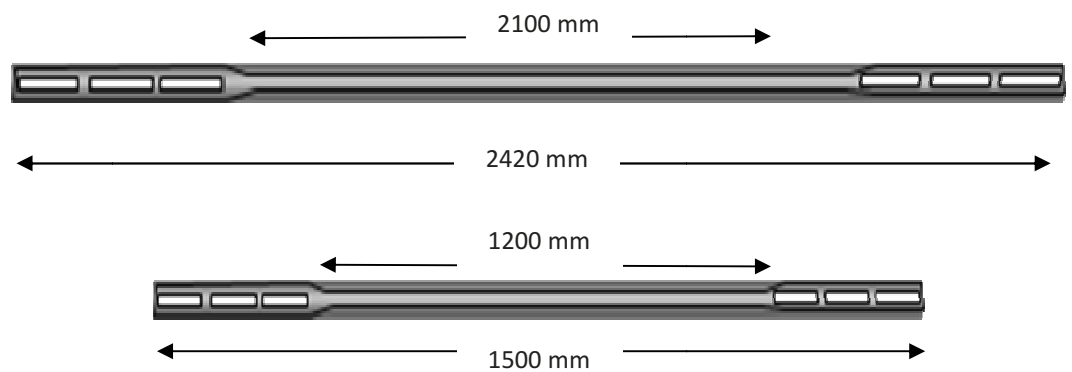
- Queda prohibido el montaje realizado por la combinación de componentes no certificados por el fabricante y que no formen parte de este sistema.
- No sobrecargar ningún componente.
- No utilizar próximo a una línea eléctrica y si ha de utilizarse cerca de ella, se deberá cortar el suministro.
- No utilizar en planos de inclinación superiores a 10 °
- No realizar los trabajos en condiciones climatológicas adversas, como fuertes vientos, nieve ó hielo.

8.1 RECHAZO DE COMPONENTES USADOS O DETERIORADOS

- Siempre que alguna pieza del conjunto ofrezca dudas sobre su estado de conservación.
- Si se observa una importante oxidación.
- Material deformado, golpeado que impida o dificulte el montaje.
- Por soldadura en mal estado.

8.2 RESTRICCIONES DE USO POR LA GEOMETRIA DEL SISTEMA

Los huecos menores de 1.20 x 1.40 m no pueden protegerse mediante la instalación de este sistema puesto que las dimensiones mínimas que puede cubrir son de 1.20 m.



9. Puntos singulares

- Esquinas
- Huecos
- Voladizos

Ver planos 6 y 7.

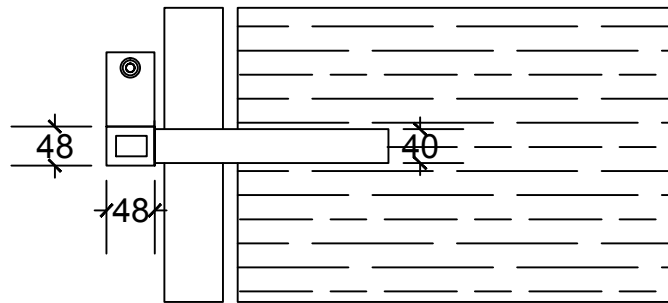
10. Normativa

Están fabricados cumpliendo la norma **UNE-EN 13374:2013**

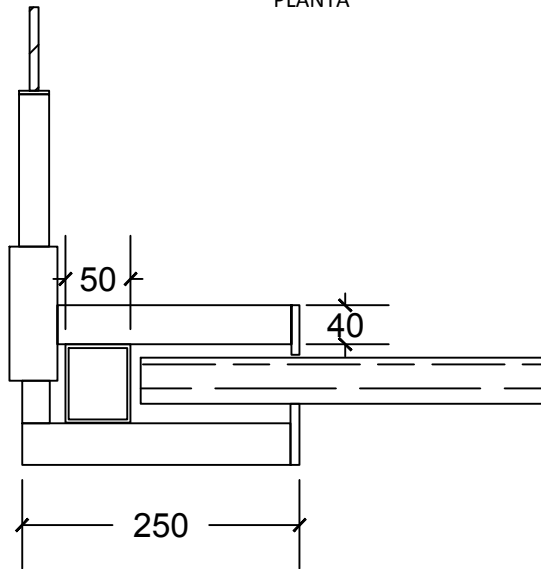
“Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones del producto métodos de ensayo”.

Y cumpliendo los requisitos de la norma **OSHA 1926.502. Fall protection Systems criteria and practices.**

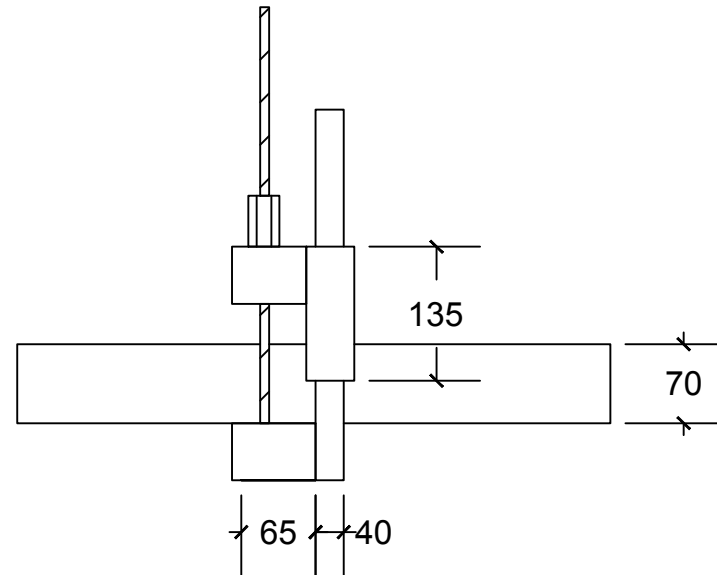
Ensayos realizados por AIDICO, siguiendo las especificaciones de la norma para SPPB clase A.



PLANTA



ALZADO



PERFIL

PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

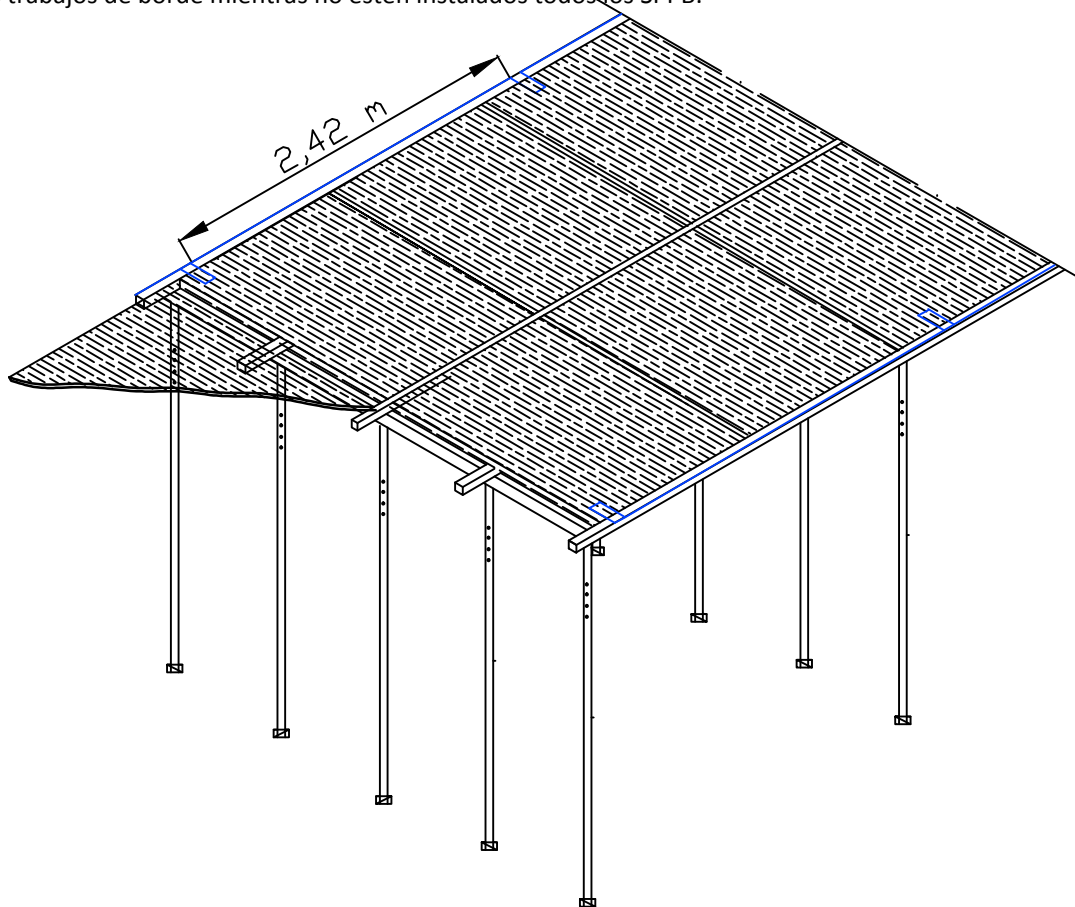
DIMENSIONES SISTEMA DE FIJACIÓN

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **1** /1

PUNTO 1

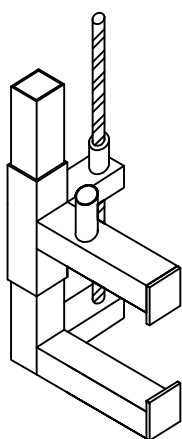
Se replantean los sistemas de fijación a lo largo del perímetro a proteger, considerando una distancia entre ellos de 2,42m y a 120mm en los cambios de dirección. El operario seguirá sujeto al sistema anticaídas en los trabajos de borde mientras no estén instalados todos los SPPB.



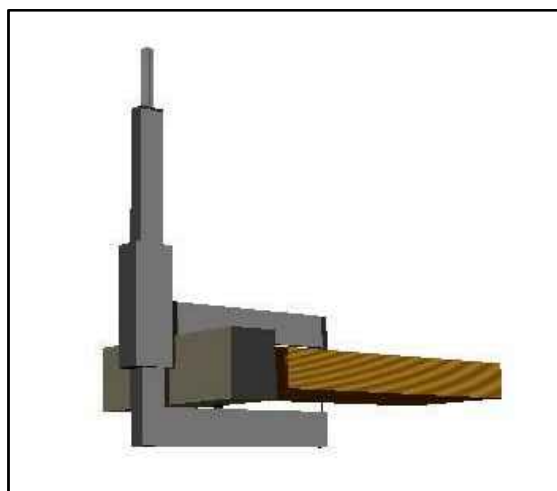
PUNTO 2

Ajustar la distancia entre las pinzas del sistema de fijación consiguiendo una apertura ligeramente superior al canto de la sopanda.

Apretar la barra dwidadg hasta que quede bien sujeto a la sopanda del encofrado.



VOLUMEN 3D



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

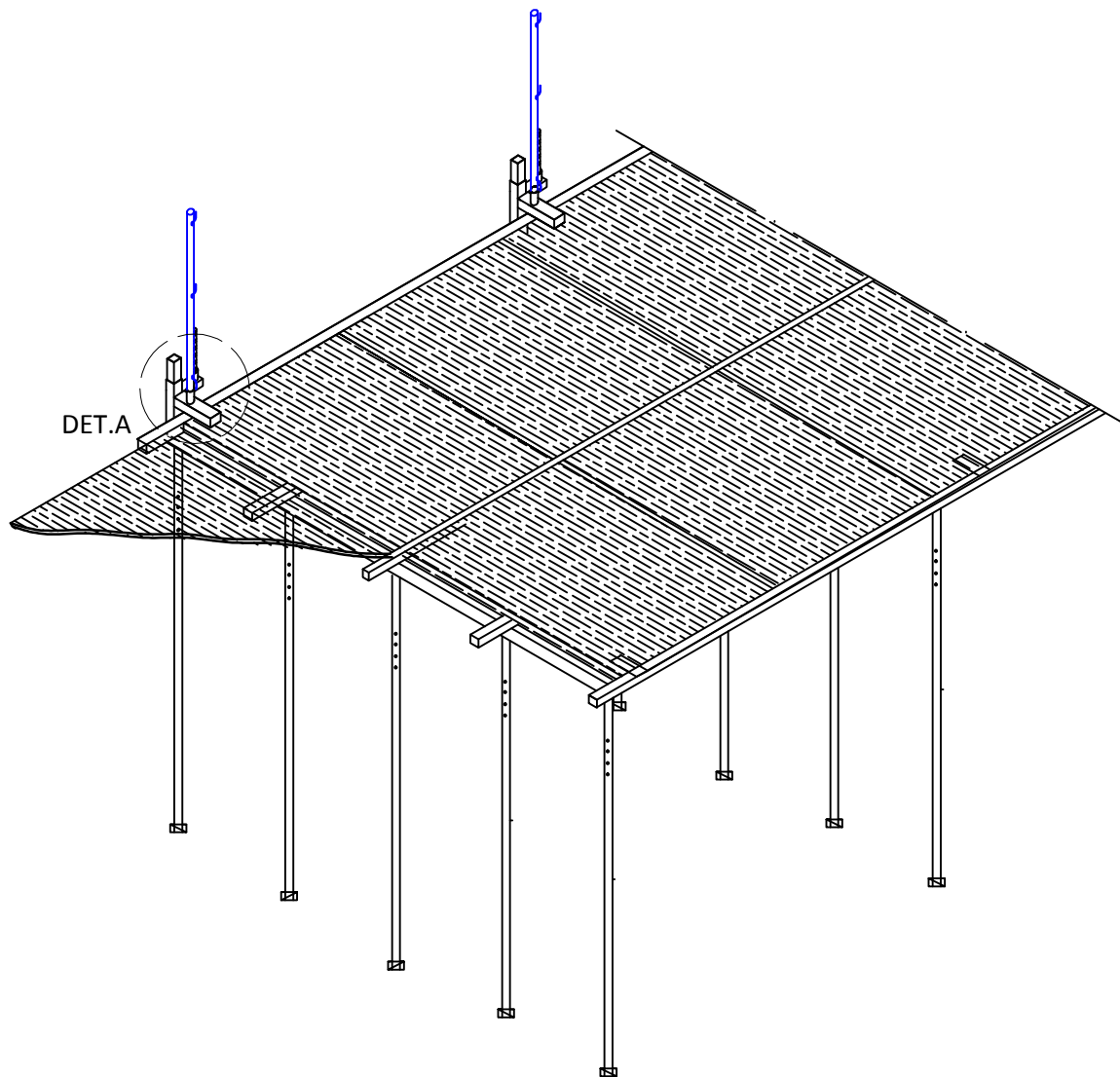
SECUENCIA DE MONTAJE: Replanteo y sujeción del sistema de encofrado

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

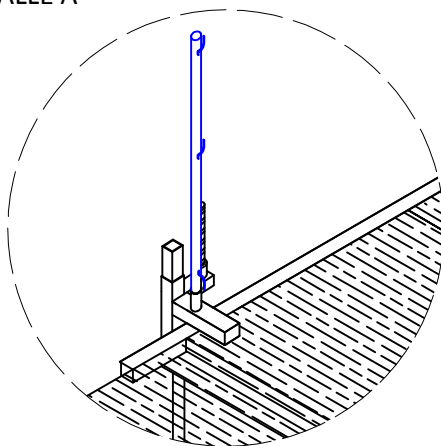
Nº **1** /11

PUNTO 3

Manteniendo la máxima verticalidad insertar el poste en la parte correspondiente del sistema de fijación.



DETALLE A



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

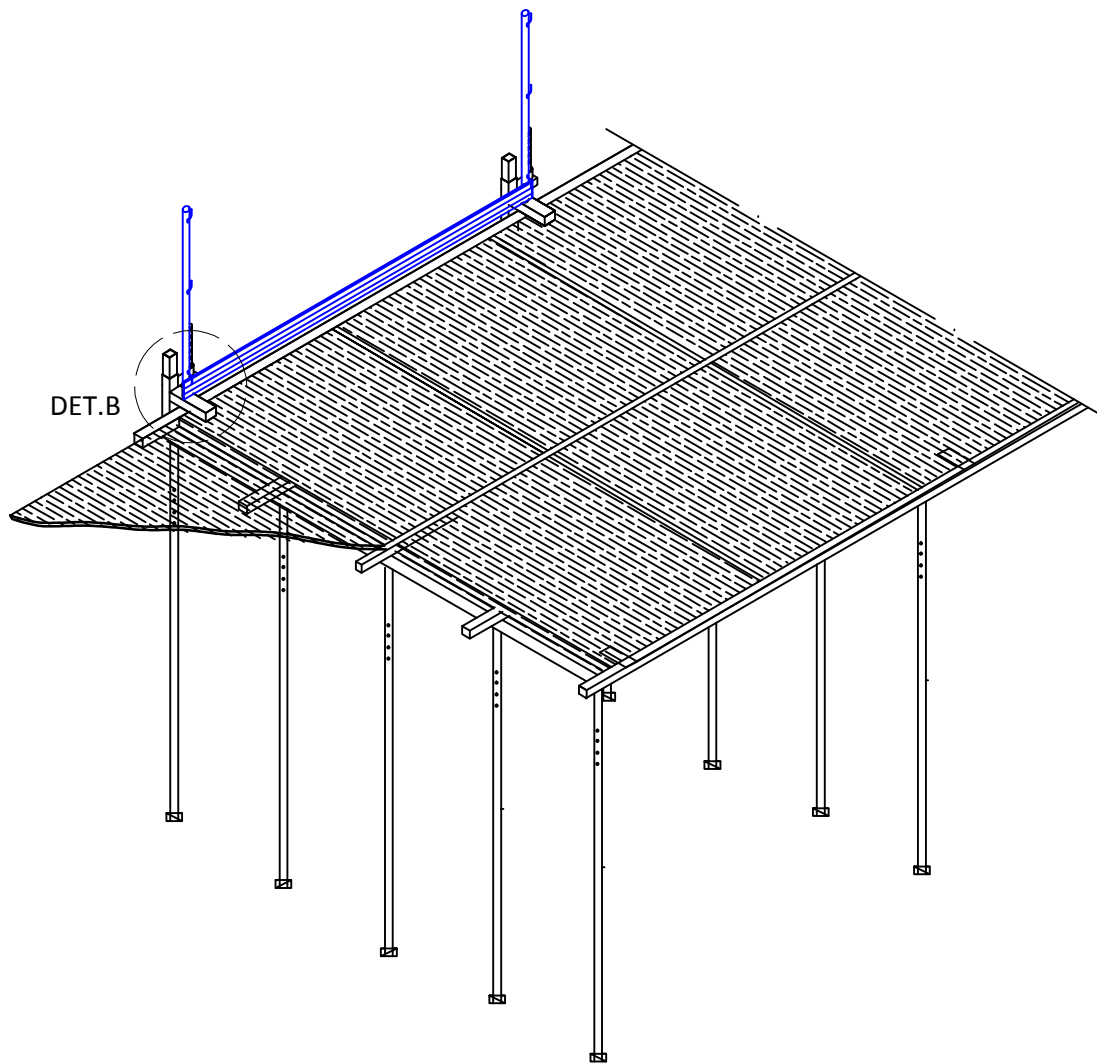
SECUENCIA DE MONTAJE: Punto 3-Instalación de postes

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

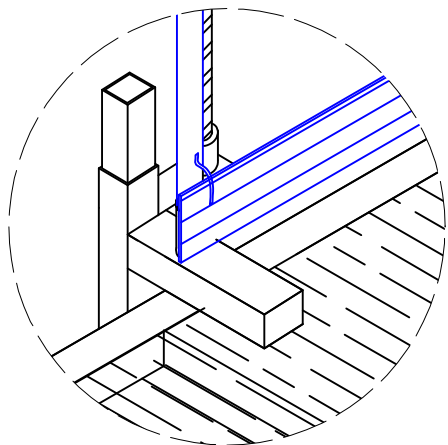
Nº **2** /11

PUNTO 4

Colocar el rodapié introduciéndolo por el alojamiento inferior del guardacuerpo.



DETALLE B



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

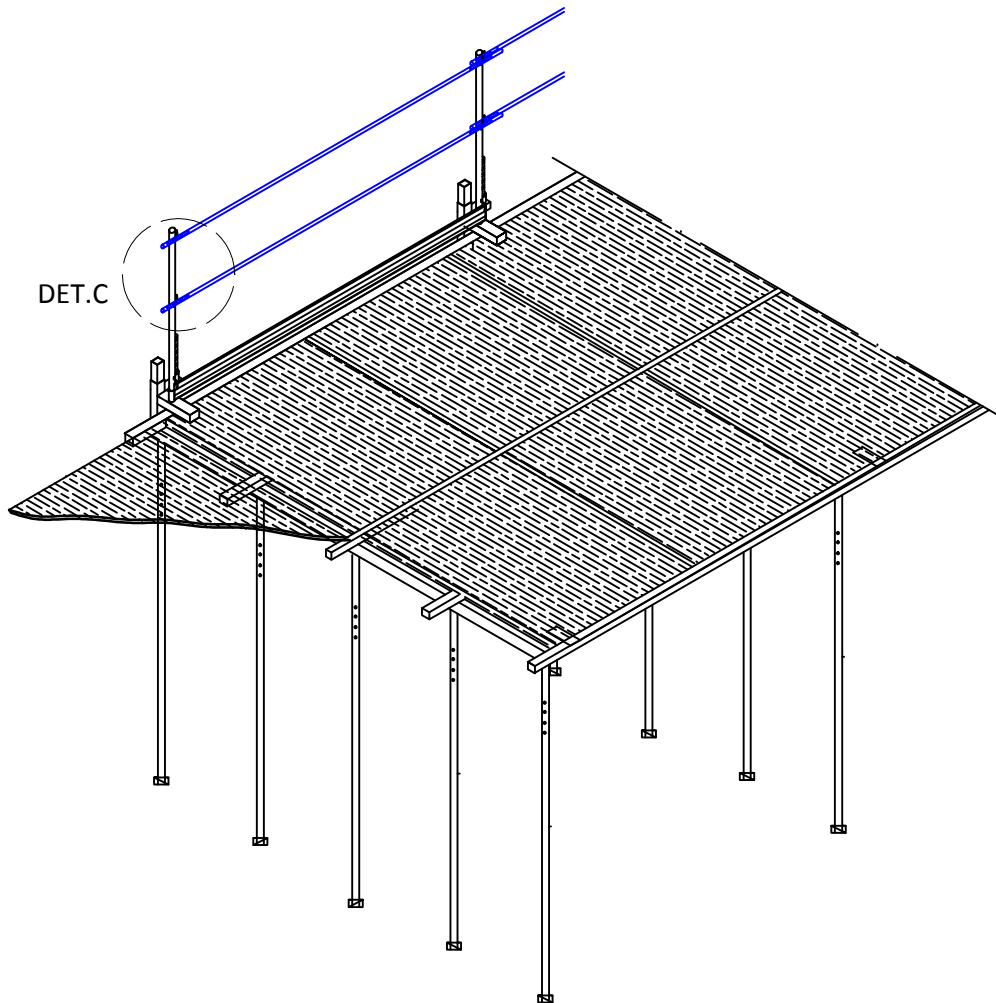
SECUENCIA DE MONTAJE: Punto 4- Instalación de rodapiés

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

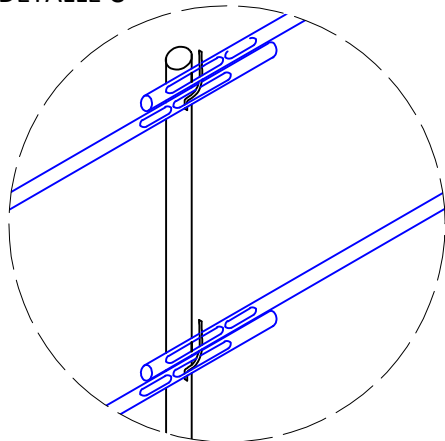
Nº **3** /11

PUNTO 5

Colocar la barandilla principal en los ganchos de alojamiento de los postes. Posteriormente se coloca la barandilla intermedia del mismo modo.



DETALLE C



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

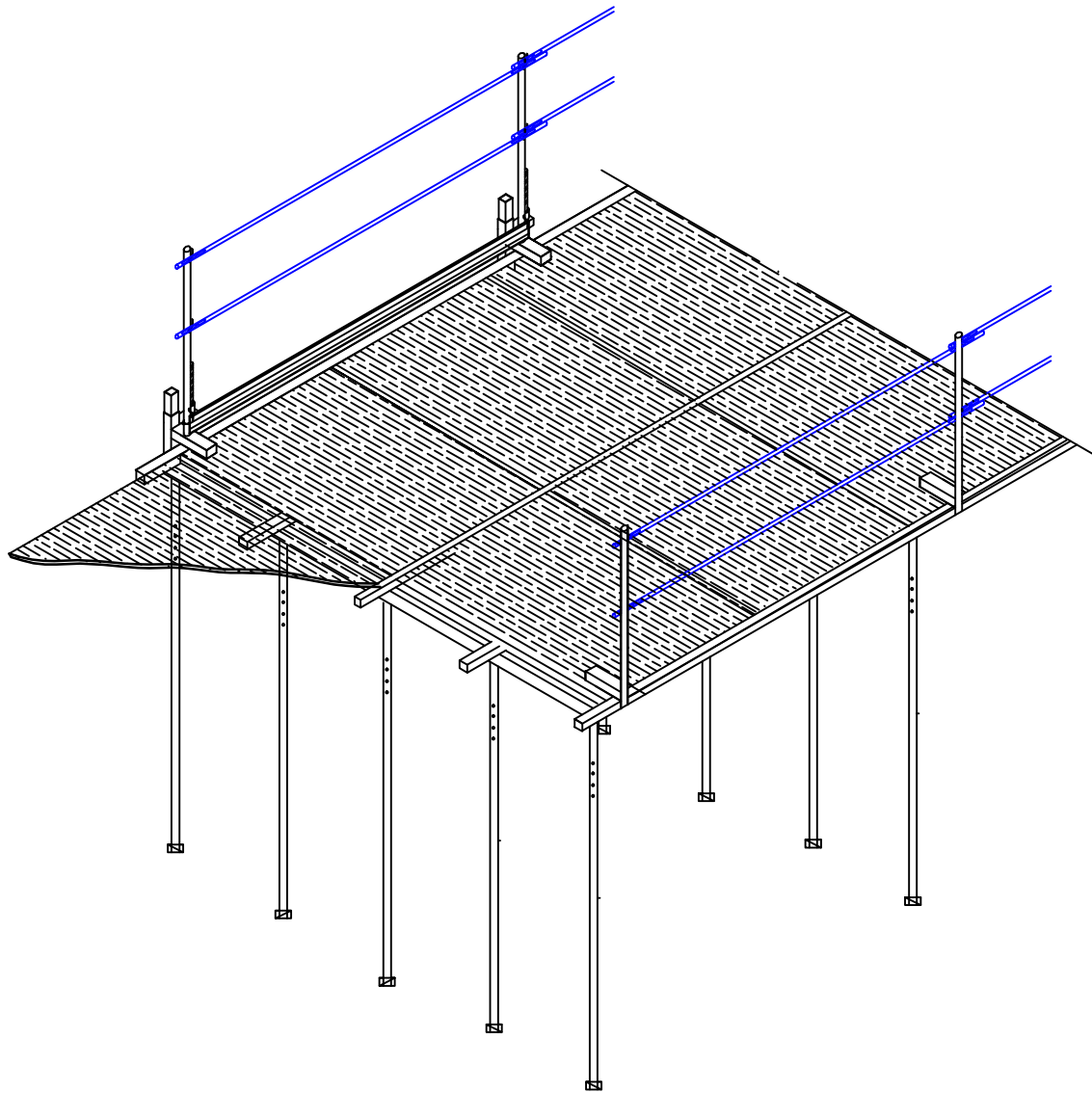
SECUENCIA DE MONTAJE: Punto 5-Instalación de barandillas

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **4** /11

PUNTO 6

Verificación de la correcta alineación e instalación de los componentes así como de las uniones entre tramos. Se procede al montaje de los siguientes tramos. Cuando se termine todo el montaje de los SPPB, el operario podrá soltarse del dispositivo anticaídas. Nunca dejar tramos de SPPB parcialmente montados.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

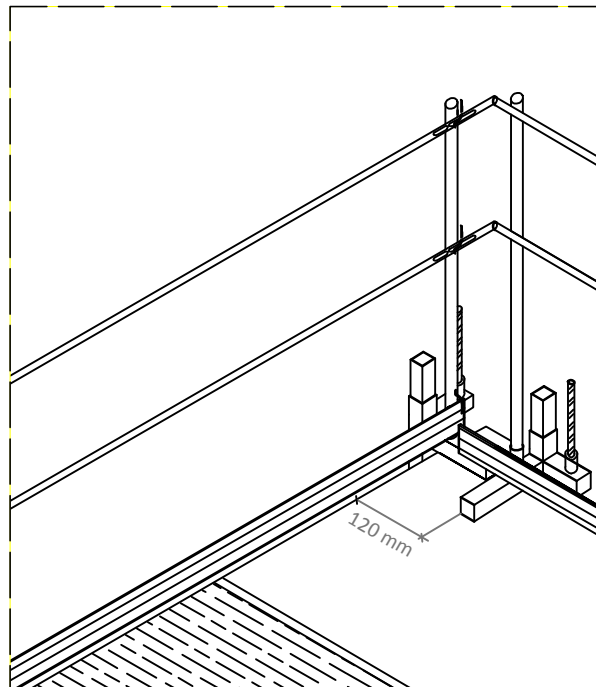
SECUENCIA DE MONTAJE: Punto 6- Verificación de la instalación.

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **5** /11

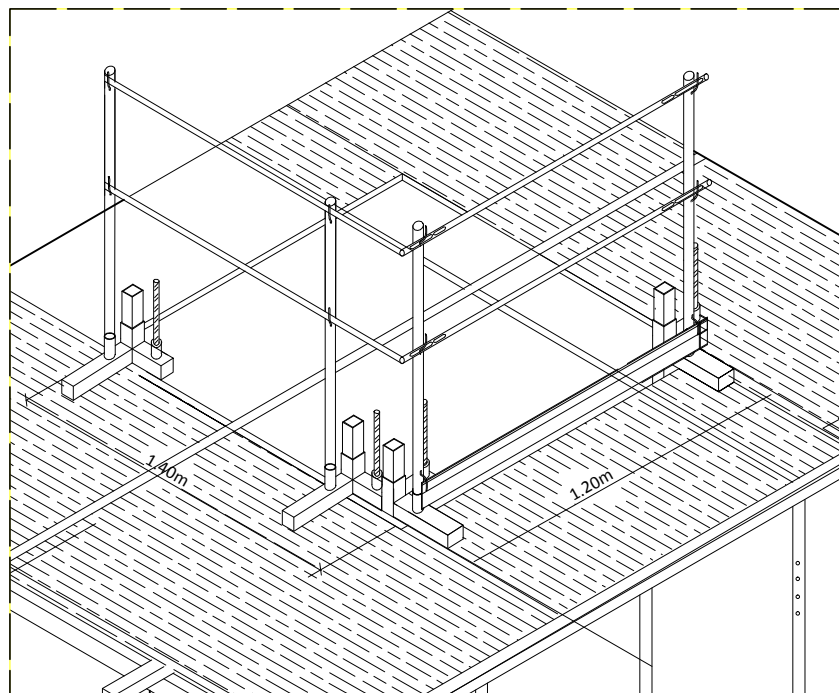
CAMBIOS DE DIRECCIÓN

Cuando exista el encuentro de dos SPPB en una esquina o cambio de dirección no podrá haber un hueco entre ellos mayor a 120 mm.



HUECOS

Los huecos de menor dimensión existentes en el encofrado que se pueden proteger mediante el SPPB serán de 1.20 x 1.40 m.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

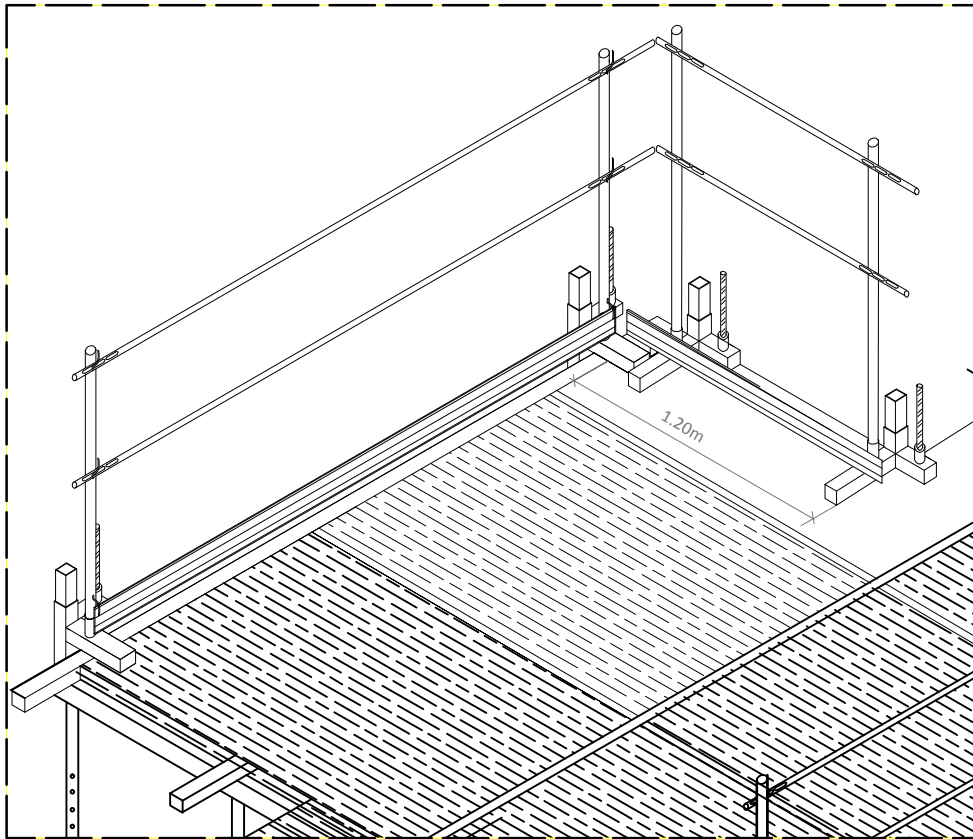
PUNTOS SINGULARES-ESQUINAS Y HUECOS

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **6** /11

VOLADIZOS

En el caso de voladizos, se podrá proteger mediante el SPPB cuando la dimensión de voladizo sea mayor o igual a 1200 mm. y el hueco entre los SPPB en el cambio de dirección debe ser menor que 120 mm.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

PUNTOS SINGULARES-VOLADIZO

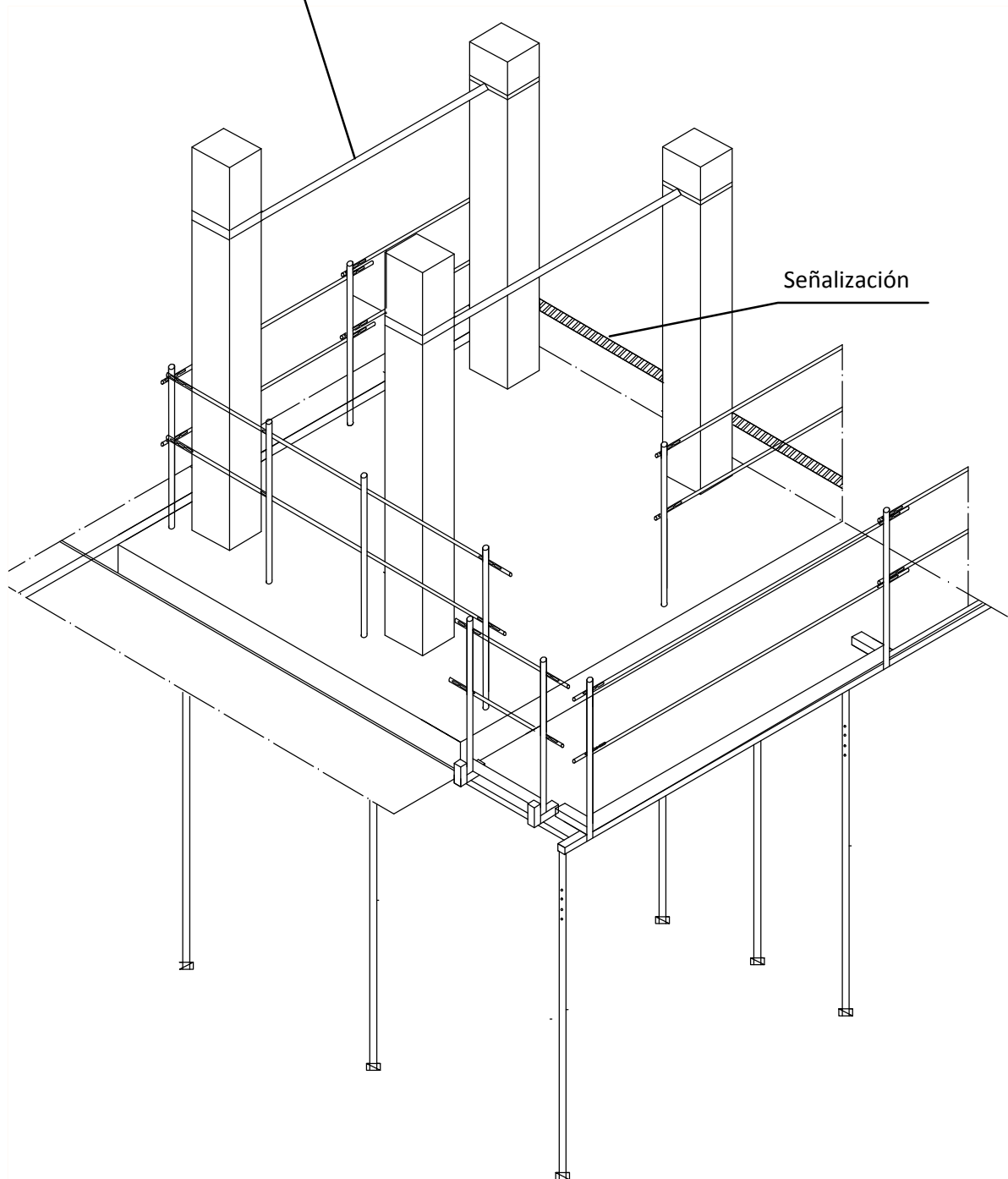
MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **7** /11

PUNTO 1

Los operarios se sujetan a los EPIs instalados antes de proceder a la retirada de las protecciones. Se señala la zona para no pasar y se retiran dos barandillas para poder pasar a la zona de encofrado.

EPI- línea provisional de anclaje sujeta a pilares



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

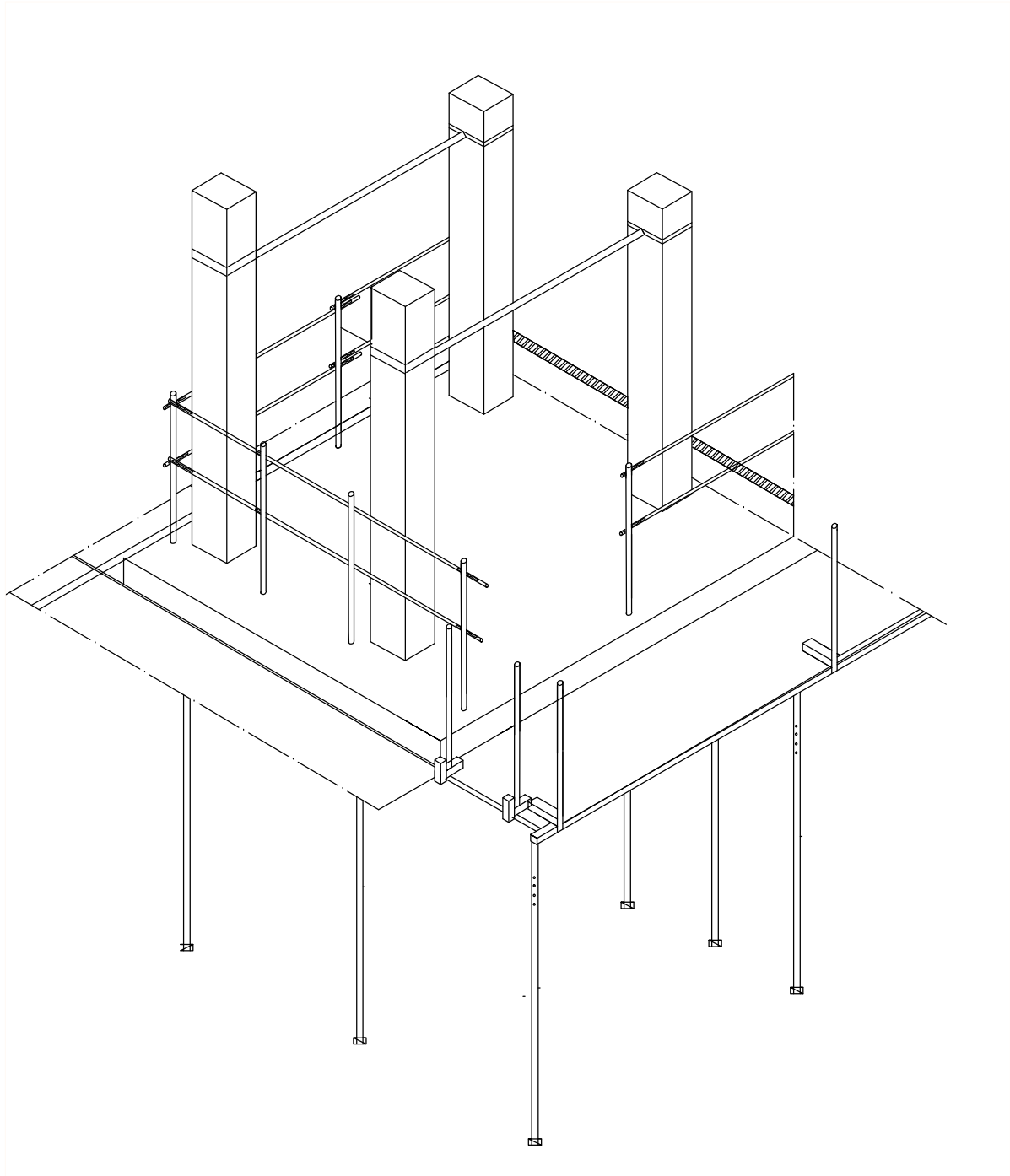
SECUENCIA DE DESMONTAJE-Punto 1- Protección con EPIs

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **8** /11

PUNTO 2

Se retiran los rodapiés de las varillas de los postes y a continuación, las barandillas.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

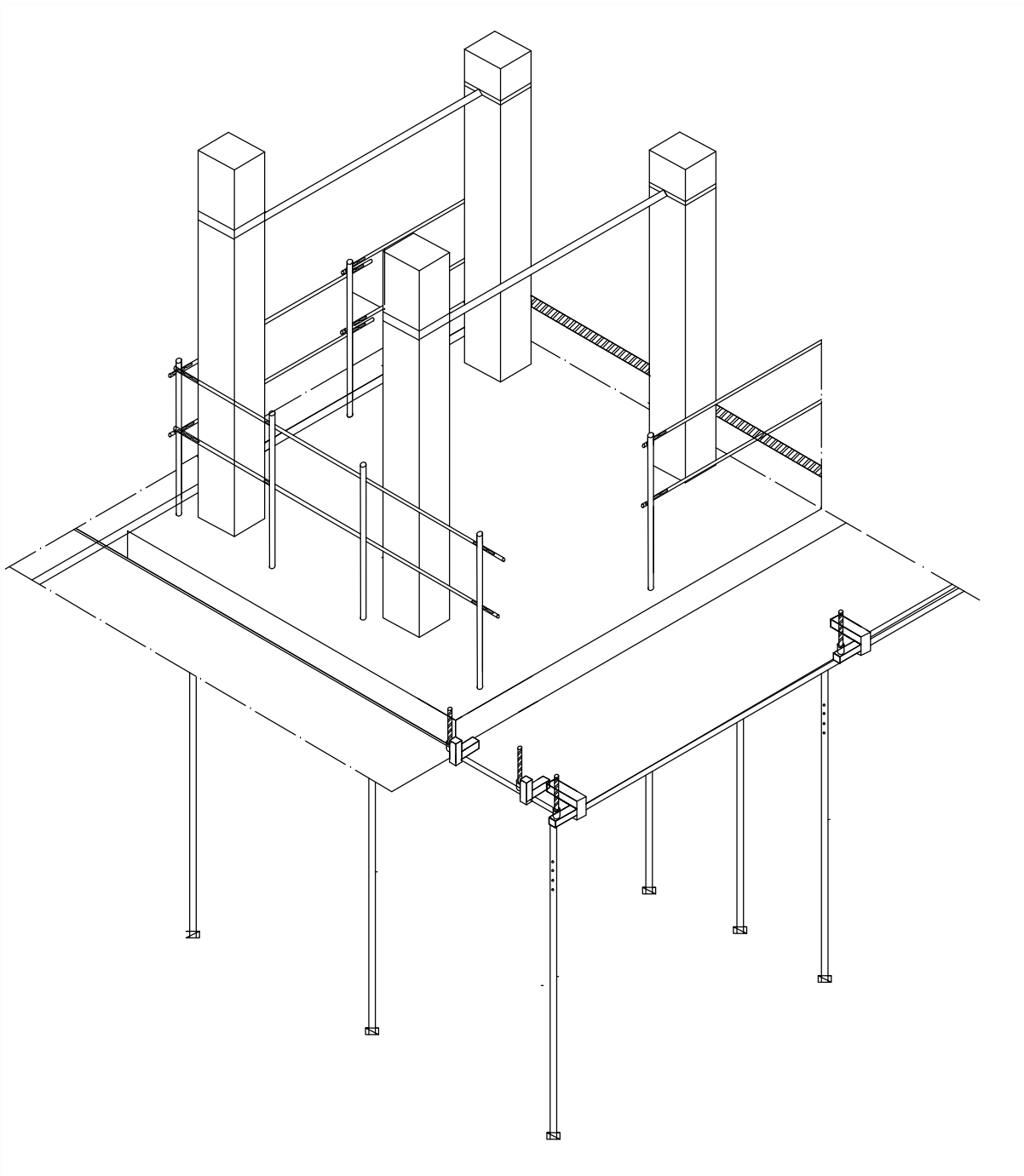
SECUENCIA DE DESMONTAJE: Punto 2- Retirada de rodapiés y barandillas

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **9** /11

PUNTO 3

Se retiran los postes del sistema de fijación.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

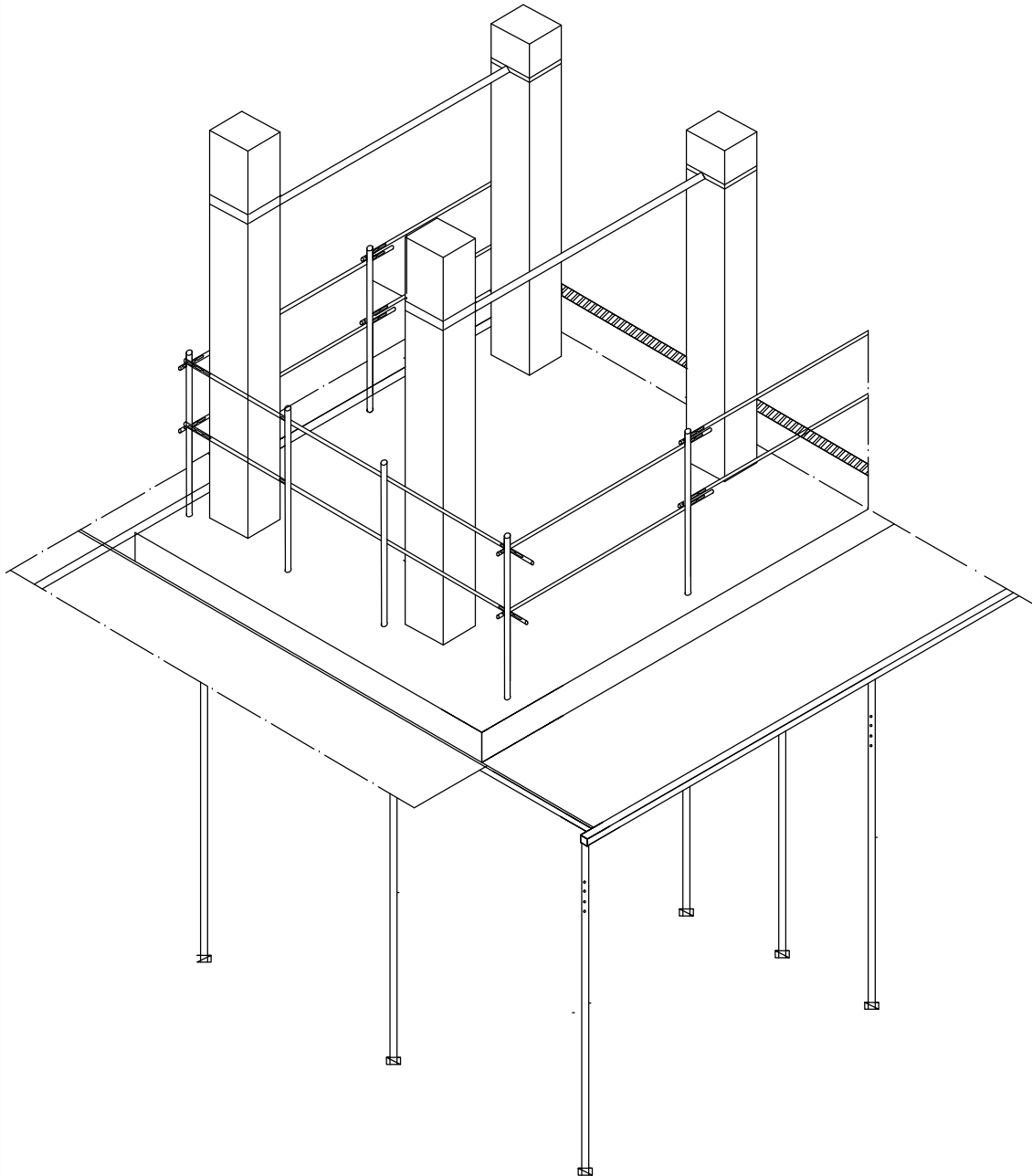
SECUENCIA DE DESMONTAJE: Punto 4- Retirada de los postes

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº
10/11

PUNTO 4

Se afloja la barra dywidag de los sistemas de fijación y se retiran. Se procede del mismo modo en los restantes SPPB. Los operarios, desde la zona hormigonada, vuelven a colocar las barandillas y se quitan del EPI.
Y por último, se desmonta el encofrado desde el suelo.



PROYECTO:

SISTEMA PROVISIONAL DE PROTECCIÓN DE BORDE
CLASE A, SUJETO A MECANO DE ENCOFRADO.

PLANO:

SECUENCIA DE DESMONTAJE: Punto 4- Retirada de la fijación.

MANUAL DE MONTAJE,
UTILIZACIÓN Y DESMONTAJE

Nº **11** /11

Capítulo 7.

CONCLUSIONES

En un primer bloque, se realiza un estudio en España (Europa) y en los países latinoamericanos (Perú y Brasil), en relación a la normativa de aplicación a los SPPB, en el que se concluye lo siguiente:

En España, se puede observar una evolución en la normativa, que ha pasado de ser muy poco concreta y sin exigir apenas ningún requisito mecánico para la conformidad de los SPPB, a disponer de una norma específica y detallada (procedente de Europa y la cual España ha adoptado) de todos los aspectos de diseño y mecánicos que debe cumplir un SPPB.

En Brasil y en Perú, en cambio, aún existe una legislación poco concreta en cuanto a los aspectos mecánicos a exigirle a la protección. Se observa, que empieza a cobrar mayor importancia la necesidad de proteger a los trabajadores contra el riesgo de caída y que los SPPB en las obras sean un elemento obligatorio y más normalizado.

En general, las diferentes normativas son bastante similares en cuanto a los requisitos geométricos pero presentan grandes diferencias en los requisitos mecánicos.

Seguidamente, se han analizado los diferentes tipos de SPPB que se emplean en Brasil y España, ya sean fijados al borde del forjado o a un sistema de encofrado. Estos se han valorado en función de sus características funcionales, de adaptabilidad, facilidad de montaje y desmontaje y reutilización en otra obra. Se llega a la conclusión que los sistemas más eficaces teniendo en cuenta las valoraciones obtenidas de cada uno de ellos son los de material metálico ya sean atornillados o sujetos por sargentos.

Los SPPB de Perú no se incluyen en la comparación ya que no se ha tenido una serie de tipologías claras como consecuencia de observar un mayor empleo de EPI's que de protecciones colectivas en este país. Por esto, es de señalar el inconveniente que puede suponer para el empleo del SPPB esta mentalidad de protección antes individual que colectiva.

En un segundo bloque, se ha procedido a realizar un estudio sobre la validación de un sistema provisional de protección de borde, ya diseñado y fabricado por una empresa española.

Se ha estudiado analíticamente conforme a la normativa europea para comprobar que el sistema cumple los requisitos mínimos y además comprobando las secciones de los elementos usados en la fijación.

Posteriormente se han realizado los ensayos estáticos correspondientes. Se observa que la evaluación experimental de la norma europea es más exigente que la analítica, al realizar en el ensayo de resistencia la comprobación de resistencia última que analíticamente no se exige.

Del mismo modo, con la OSHA el SPPB no presenta ningún problema en cuanto al cumplimiento. Ésta es más exigente en el valor de las cargas de ensayo pero solo requiere que el sistema sea capaz de resistirlas. En cambio, la europea con unas fuerzas menores limita al SPPB en unas deformaciones, lo que es más restrictivo.

Hay que destacar que el mismo sistema con la norma brasileña no es capaz de superar los requisitos ni analíticos ni experimentales, por ser en esta norma más exigente en las fuerzas a aplicar que las anteriores.

Para que cumpla se deberían realizar una serie de modificaciones geométricas indicadas en el apartado 4.3.1 del Capítulo 4 y se debería realizar un estudio para desarrollar otro tipo de fijación que resista estos valores de carga. Esto puede ser una futura vía por la cual continuar el proyecto así como la validación para otros países de Latinoamérica con un mercado de la construcción en auge como Méjico o Argentina según los datos de la gráfica 5 del apartado 2.1.

Un punto importante a tener en cuenta es el papel del técnico en la obra. Este deberá asegurarse de que el SPPB dispone de la documentación siguiente: un manual de instrucciones que le proporcionará el fabricante del sistema, una nota de cálculo realizada por una persona o entidad independiente y/o un informe de ensayos realizado por un laboratorio competente así como, una declaración de evaluación satisfactoria, emitida por la entidad independiente. Además, deberá asegurarse de que la evaluación del SPPB se realice con el sistema de encofrado que se montará en la obra.

En la realización del manual de instrucciones, para la secuencia de montaje del SPPB se ha procedido a utilizar como EPI el sistema Alsipercha ya que existe una gran dificultad en encontrar sistemas de protección que puedan ser instalados durante la fase de instalación de los sistemas provisionales de protección de borde.

El mismo fabricante de la protección dispone de unos postes (diseñados según la UNE EN 795. Protección contra caídas de altura. Dispositivos de anclaje. Requisitos y ensayos) para ser empleados con esta función pero se están empezando ahora a comercializar.

Finalmente, se llega a la conclusión que la finalidad del trabajo de comprobar la viabilidad de exportación del SPPB a Perú y Brasil ha sido satisfactoria en el caso de Perú. Y aunque para Brasil no es posible a menos de realizar las modificaciones, con el cumplimiento de la OSHA se abre otra posible vía de exportación a Estados Unidos.

Capítulo 8.

BIBLIOGRAFÍA

Aceros Arequipa. «Manual del maestro constructor.» <http://www.acerosarequipa.com/>.

AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. *ENV 1993-1-3. Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-3: Reglas generales. Reglas adicionales para perfiles y chapas de paredes delgadas conformadas en frío.* 1993.

AENOR, Asociación Española de Normalización;. *UNE-EN 13374:2013. Sistemas provisionales de protección de borde. Especificaciones de producto. Métodos de ensayo.* 2013.

AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción. «Sistema Provisional de Protección de Borde Clase A. N°Albaran:74804.» Informe de Ensayo, 2014.

American Wood Council. *Beam formulas with shear and moment diagrams.* 2007.

ATT Prometal, Aplicaciones Técnicas y Tecnológicas Prometal S.L. *Manual de Instrucciones. Sistema provisional de protección de borde. Barandilla sobre balaustre 1.200 y casquillo redondo atornillable.* 2012.

Blanco, Arq. José Antonio Esparza. «Caída de altura: soluciones alternativas.» *Revista Costos*, n° 217 (Abril 2012).

Conejo, Carina La Madrid Ruiz. «Capítulo I. Generalidades. Antecedentes generales de la construcción. Marco normativo de la seguridad y salud en el Perú.» En *Propuesta de un plan de seguridad para obras de construcción*, 1-18. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.

Costa, Aledson Damasceno. «4.3.1 Guarda-Corpo de Forma de Viga.» En *Dossiê Técnico-Sistema de Proteção Coletiva contra Queda de Altura na Indústria da Construção Civil*, 15-20. Rede de Tecnologia da Bahia-RETEC/BA, 2007.

Doka. *Edge Protection system XP. Instructions for assembly and use.* 2012.

Encofrados J. Alsina, S.A. *Alsipercha.*

—. *Alumecano.*

—. *Baranda Seguridad.*

Fernandes, Profesor Ricardo Carvalho. «Estructuras metálicas.» Universidade Federal da Bahia.

—. «Paredes de concreto-Em preparo.» Universidade Federal da Bahia.

Fernandes, Ricardo Carvalho. *GPSustentável*.

<https://sites.google.com/site/eng04carvalho/>.

Freile, Cristina Correa. «La vivienda social en Ecuador.» Universidad Politécnica de Cataluña.

Fundacentro, Fundação Jorge Duprat e Figueiredo. *Proteções Coletivas-Modelo de dimensionamiento de Guarda-Corpo*. 2002.

—. *Recomendação Técnica de Procedimentos-Medidas de Proteção contra Quedas de Altura*. 2003.

García, Maria de las Nieves González. «Consideraciones respecto a los sistemas provisionales de protección de borde.» Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2010.

Gil, Francisco Baños. *Medidas de protección en trabajos con encofrados horizontales en estructuras de hormigón en edificación*. Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.

Góes, Thiago Barros. *Análise do sistema do guarda-corpo e rodapé em canteiros de obra*. Salvador, 2012.

Governo Federal do Brasil. *Consolidação das Leis do Trabalho*. 1943.

INE, Instituto Nacional de Estadísticas. *Anual Estadístico Sectorial*. Perú, 2012.

Martínez, Carlos Lozano. «Nueva normativa de sistemas de protección de borde y su aplicación práctica en obras.» *Boletín Informativo. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Alicante*, nº 37 (Julio-Agosto 2005).

Ministerio de Fomento. «Capítulo V Materiales.» En *Instrucción de Acero Estructural (EAE)*. 2011.

Ministerio de Fomento. «Capítulo X Estados límite de servicio.» En *Instrucción de Acero Estructural (EAE)*. 2011.

—. *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-A, Seguridad estructural*. Madrid, 2006.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. *Norma G.050 Seguridad durante la Construcción*. 2008.

—. *Norma Técnica E.030. Diseño Sismo Resistente*. 2006.

Ministerio do Trabalho e Emprego. *NR 18 - Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção*. 2011.

Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor. U.S. Department of Labor, Washington, DC. «OSHA 1926.502. Fall Protection Systems criteria and practices, subpart M.»

OIT, Oficina Internacional del Trabajo. «Capítulo V. El caso de Perú.» En *Seguridad y salud en el trabajo de construcción: el caso de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú*, 99-131. 2000.

P-A. Beguería, A.Cobo, N. González. *Manual de cálculo y utilización de las protecciones colectivas en la construcción*. Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Girona, 1999.

Pampalon, Granfranco. *Trabalho em altura Prevenção de Acidentes por quedas*. Ministério do Trabalho e emprego, 2002.

Paula, Dr. Germano Mendes De. «En América Latina y el mundo: Evolución del sector de la construcción y su impacto en la industria siderúrgica.» *Boletín técnico*, Abril-Junio 2011.

Santos, Camila Rodrigues Ferreira Guimarães. *Diagnóstico de sistemas de proteção coletiva em canteiros de obras na região de São Carlos*. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2013.

ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS DE DETALLE DESPIECE SPPB

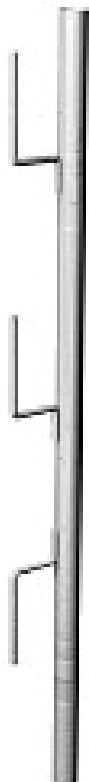


Fotografía 46. Sistema de fijación



Fotografía 47. Fotografía del Sistema provisional de protección de borde

POSTE DE ACERO GALVANIZADO $\phi 40 \times 40 \text{mm}$ Y $L=1200 \text{mm}$



SISTEMA DE FIJACIÓN CON BARRA DYWIDAG

BARANDILLA DE ACERO GALVANIZADO $\phi 40 \times 40 \text{mm}$ Y
 $L=2420 \text{mm}$ Y $L=1500 \text{mm}$



RODAPIÉ DE CHAPA GALVANIZADA $L=1500 \text{mm}$



ANEXO B: PARÁMETROS REGISTRADOS EN LOS ENSAYOS

Tabla 30. Parámetros registrados en el ensayo de límite de servicio UNE EN 13374:2013

Elemento	Qk	74849-F1		74849-F2		74849-F3		74849-F4	
		δ_2 (mm)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_1 (mm)	δ_2 (mm)	δ_1 (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	300 N	33,86	4,41	33.32	2,65	35.57	5.61	32,36	2.86
Barandilla intermedia (*) (Disposición 2)	300 N	-	-	-	-	-	-	-	-
Rodapié (Disposición 3)	200 N	10.6	0	10.49	0	10.5	0	10.5	0
Poste (Disposición 4)	300 N	71,17	17,04	5,65	13.22	59,31	13,22	34,48	3,90

Tabla 31. Parámetros registrados en el ensayo de resistencia UNE EN 13374:2013

Elemento	Qk	Muestra-R1			Muestra-R2			Muestra-R3			Muestra-R4		
		δ_1	δ_2	δ_3	δ_1	δ_2	δ_3	δ_1	δ_2	δ_3	δ_1	δ_2	δ_3
Barandilla superior (Disp. 1)	300 N	27.87	50.74	3.60	29.20	52.15	3.48	28.63	49.56	3.46	28.40	46.54	2.44
Barandilla intermedia (Disp. 2)	300 N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rodapié (Disp. 3)	200 N	0	47.14	1.33	0	48.67	7.48	0	46.10	3.05	0	46.10	1.98
Poste (Disp. 4)	300 N	30.02	42.55	9.55	37.65	56.48	6.48	29.59	65.11	13.11	28.48	3.72	6.72

Tabla 32. Parámetros registrados en el ensayo de resistencia OSHA 1926.502

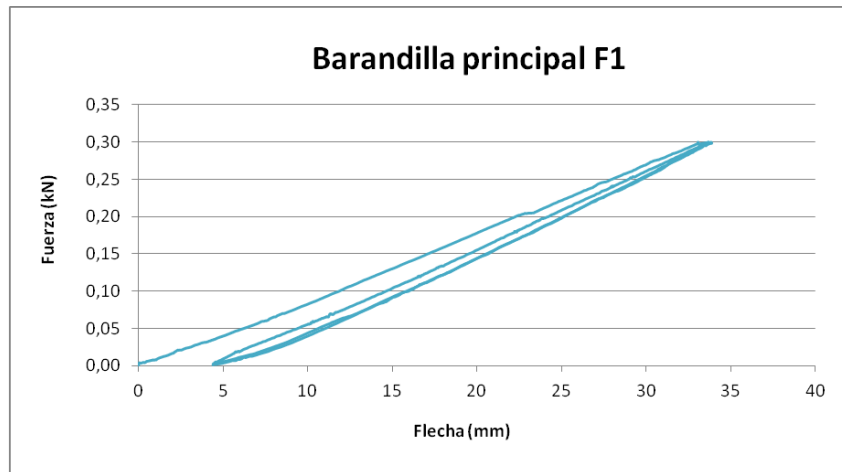
	Qk	Muestra-R1			Muestra-R2			Muestra-R3		
		$\delta 1$ (mm)	$\delta 2$ (mm)	$\delta 3$ (mm)	$\delta 1$ (mm)	$\delta 2$ (mm)	$\delta 3$ (mm)	$\delta 1$ (mm)	$\delta 2$ (mm)	$\delta 3$ (mm)
Barandilla superior (Disposición 1)	890 N	59.87	116.47	9.96	60.12	117.07	10.65	59.75	115.21	7.85
Barandilla intermedia (Disposición 2)	666 N	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rodapié (Disposición 3)	220 N	16.06	33.46	1.35	16.37	33.48	1.06	16.45	33.27	0.70
Poste (Disposición 4)	666 N	34.67	108.65	10.94	39.72	120.31	20.73	28.29	118.66	18.76

ANEXO C: GRÁFICOS DE LOS ENSAYOS

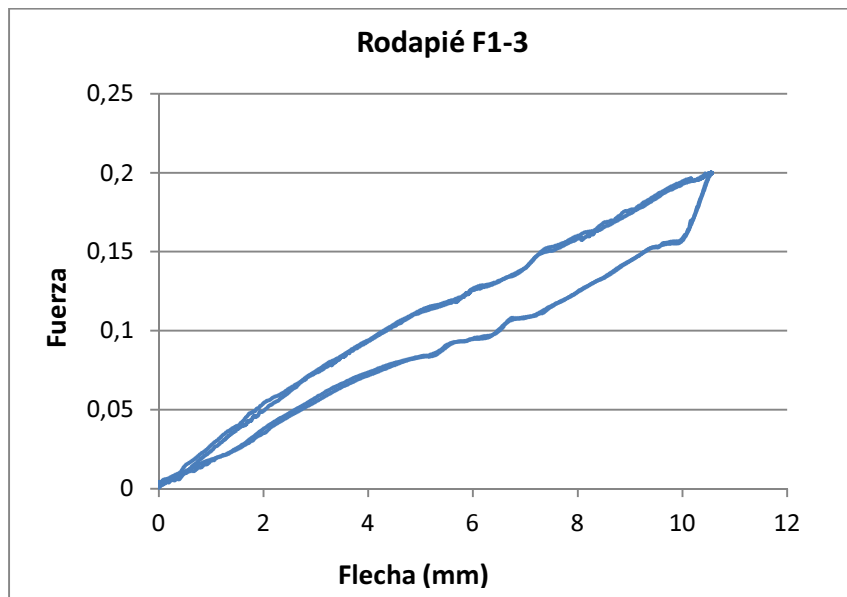
UNE-EN 13374:2013

Ensayo de límite elástico

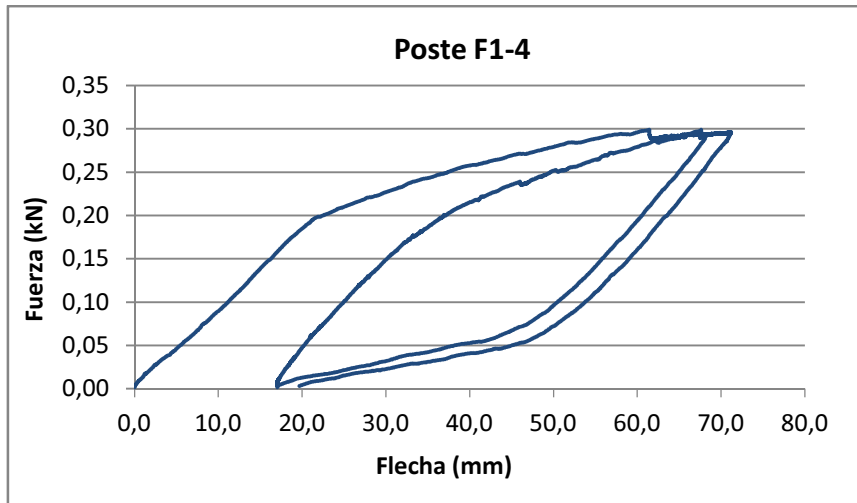
- Muestra 1



Gráfica 7. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

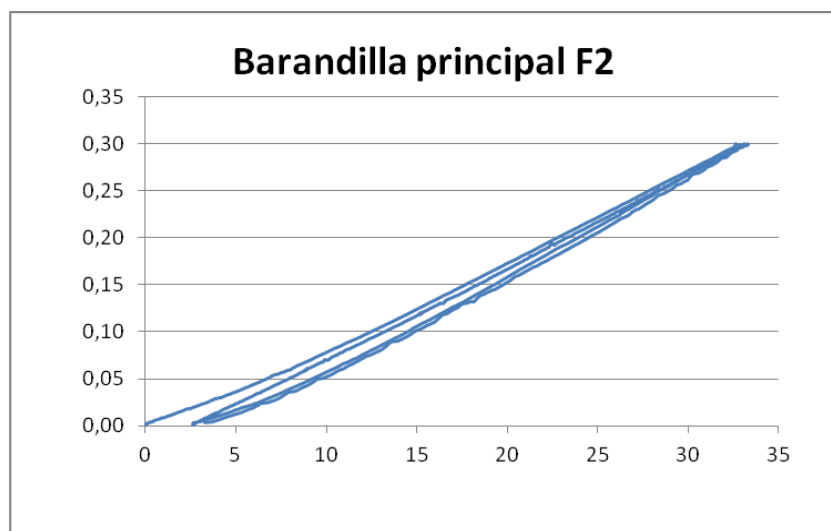


Gráfica 8. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013

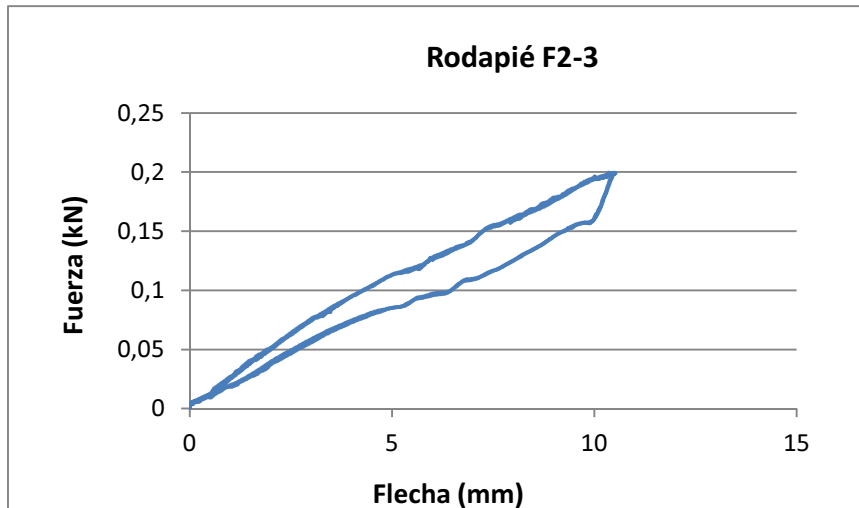


Gráfica 9. Ensayo de límite elástico poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013

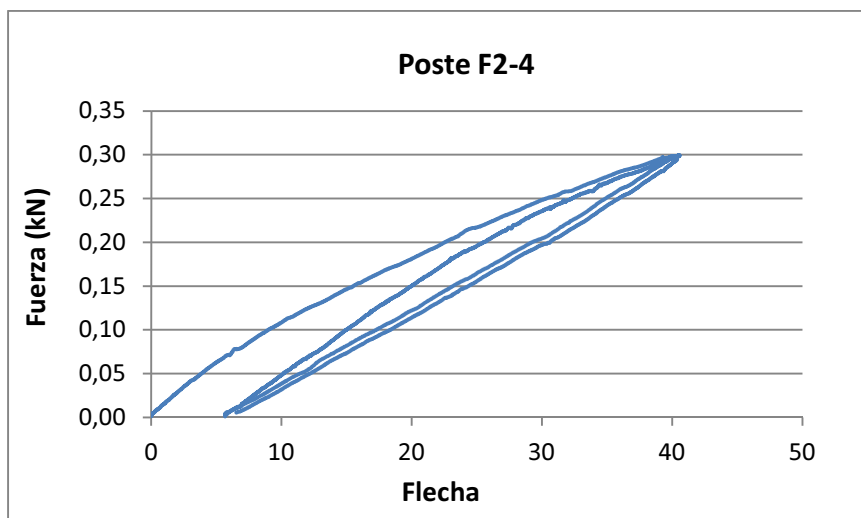
- **Muestra 2**



Gráfica 10. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 2 UNE-EN 13374:2013

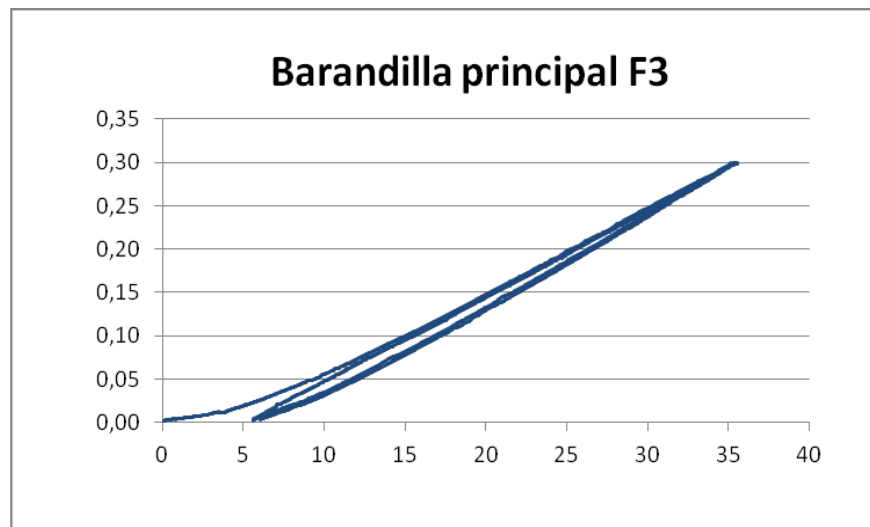


Gráfica 11. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 2 UNE-EN 13374:2013

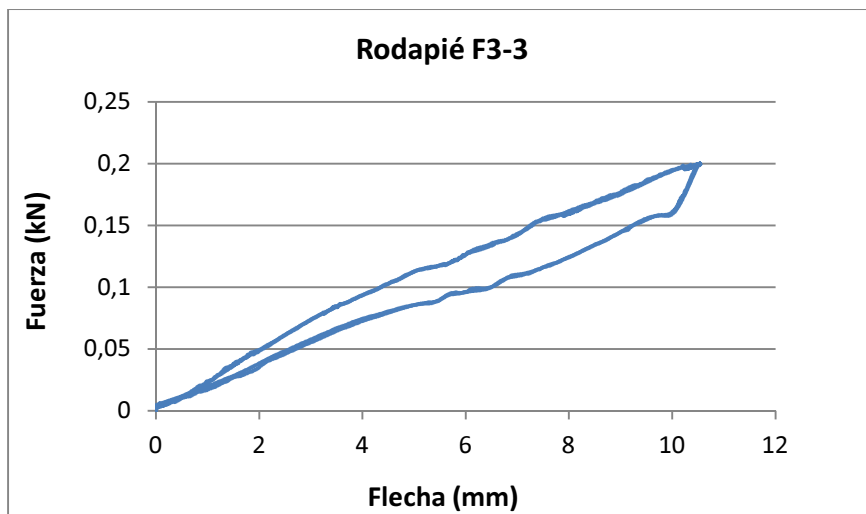


Gráfica 12. Ensayo de límite elástico poste muestra 2 UNE-EN 13374:2013

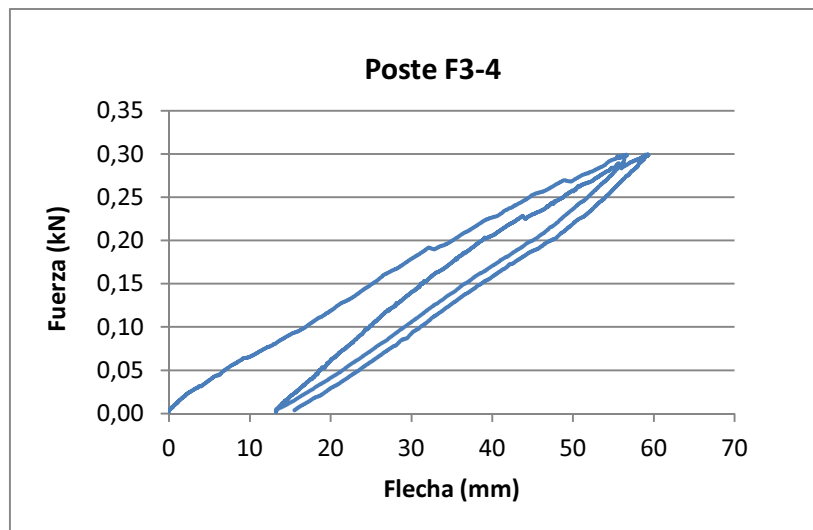
- **Muestra 3**



Gráfica 13. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 3 UNE-EN 13374:2013

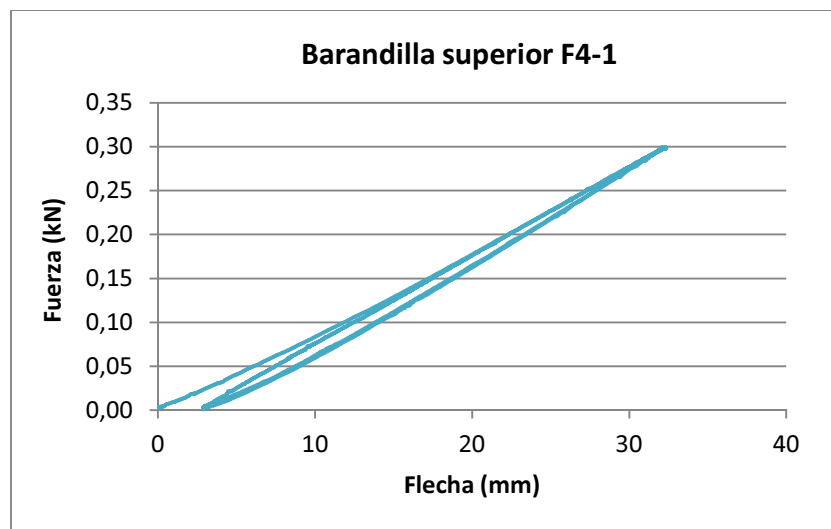


Gráfica 14. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 3 UNE-EN 13374:2013

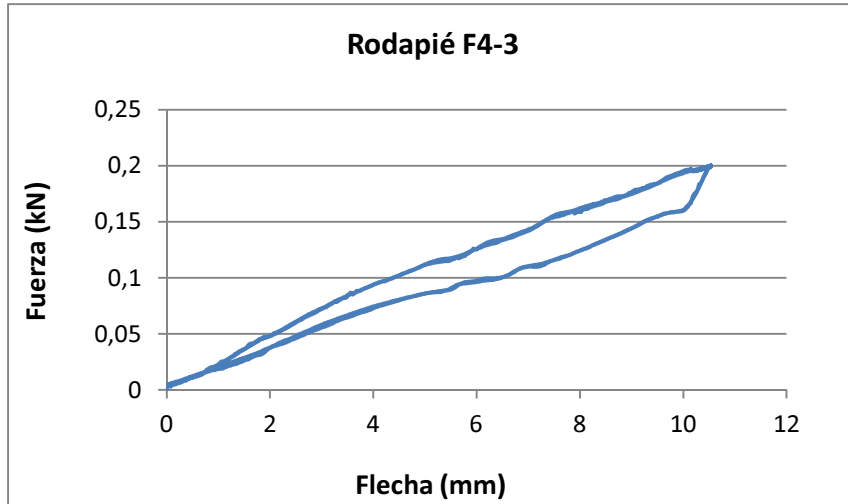


Gráfica 15. Ensayo de límite elástico poste muestra 3 UNE-EN 13374:2013

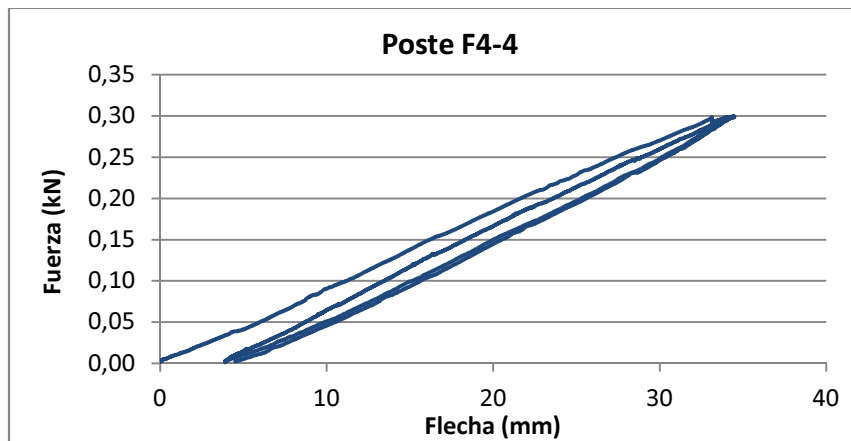
- **Muestra 4**



Gráfica 16. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 4 UNE-EN 13374:2013



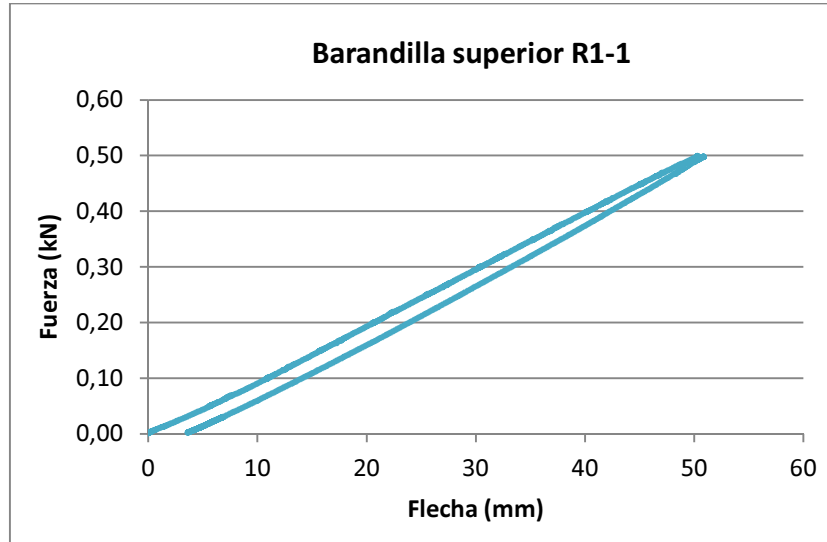
Gráfica 17. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 4 UNE-EN 13374:2013



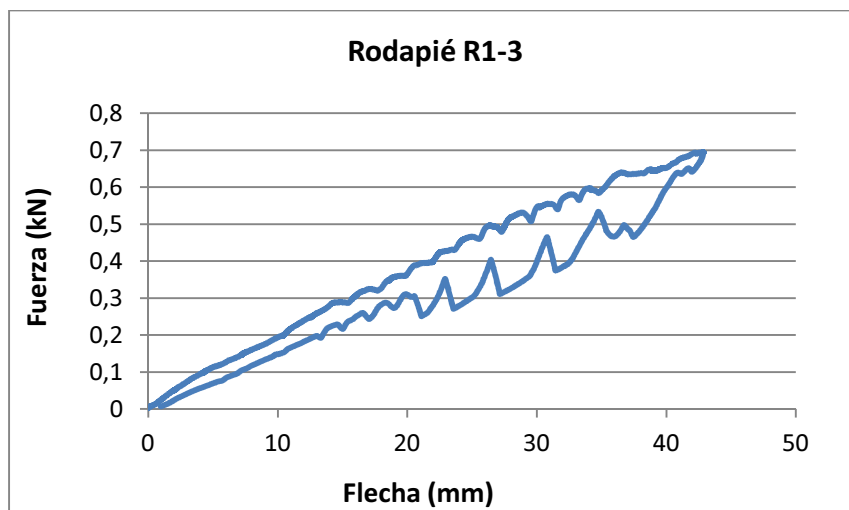
Gráfica 18. Ensayo de límite poste muestra 4 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de resistencia

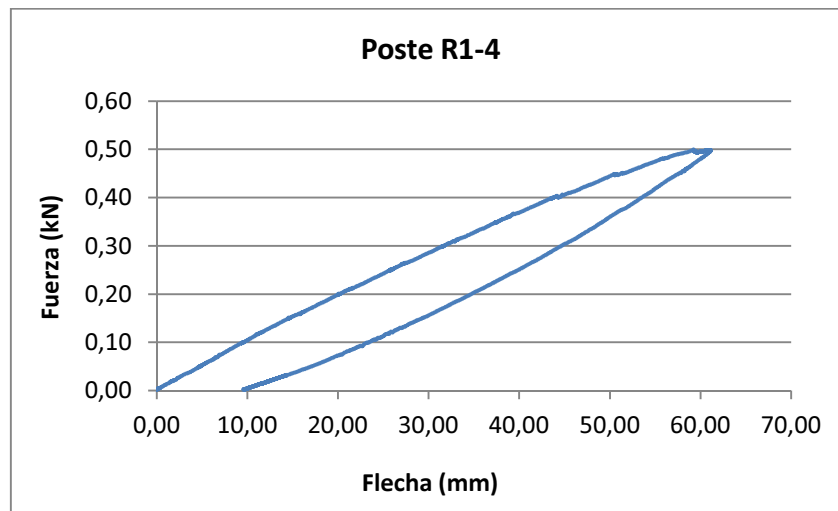
- Muestra 1



Gráfica 19. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

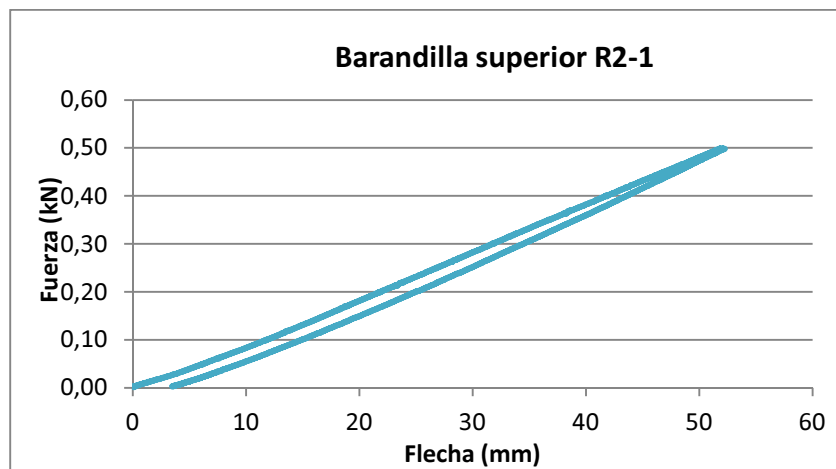


Gráfica 20. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 UNE EN 13374:2013

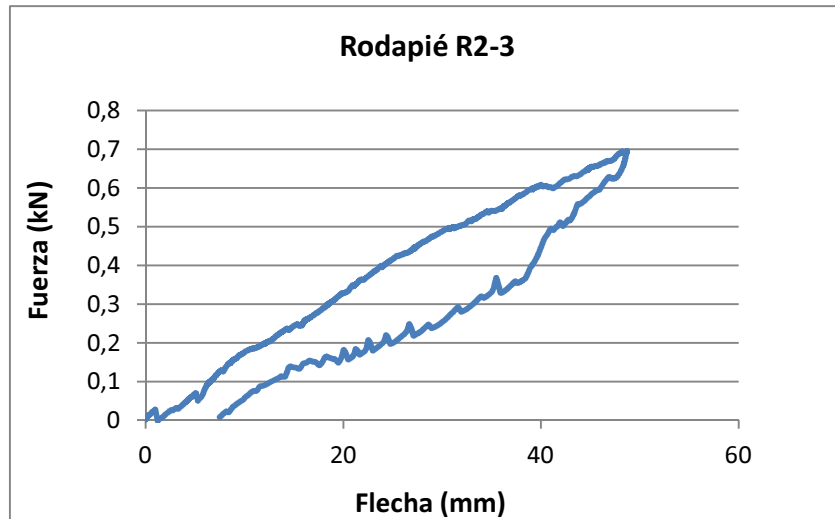


Gráfica 21. Ensayo de resistencia poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013

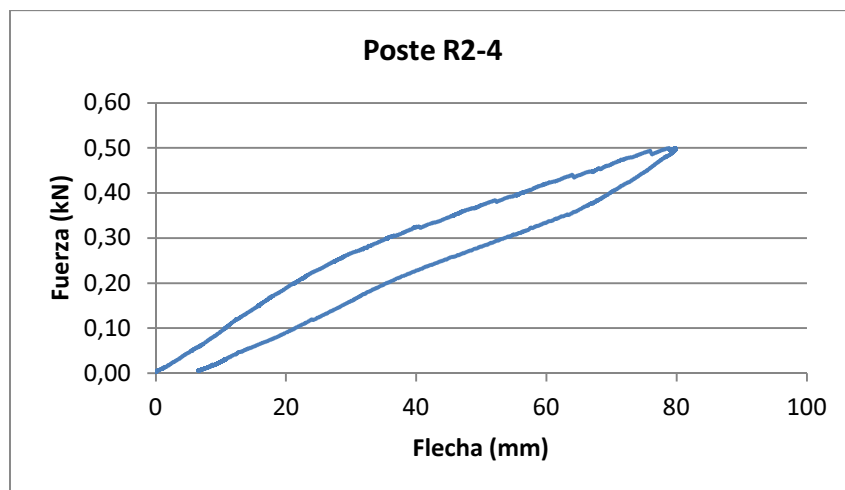
- **Muestra 2**



Gráfica 22. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 2 UNE-EN 13374:2013

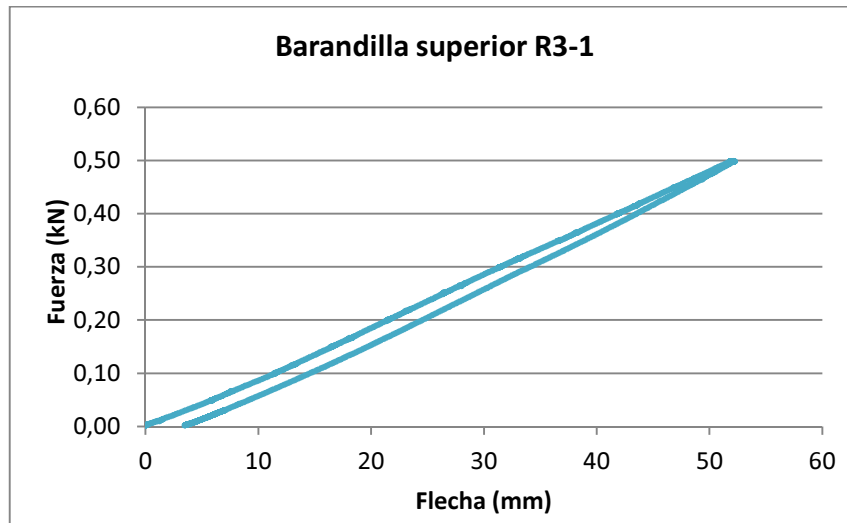


Gráfica 23. Ensayo de resistencia rodapié muestra 2 UNE EN 13374:2013

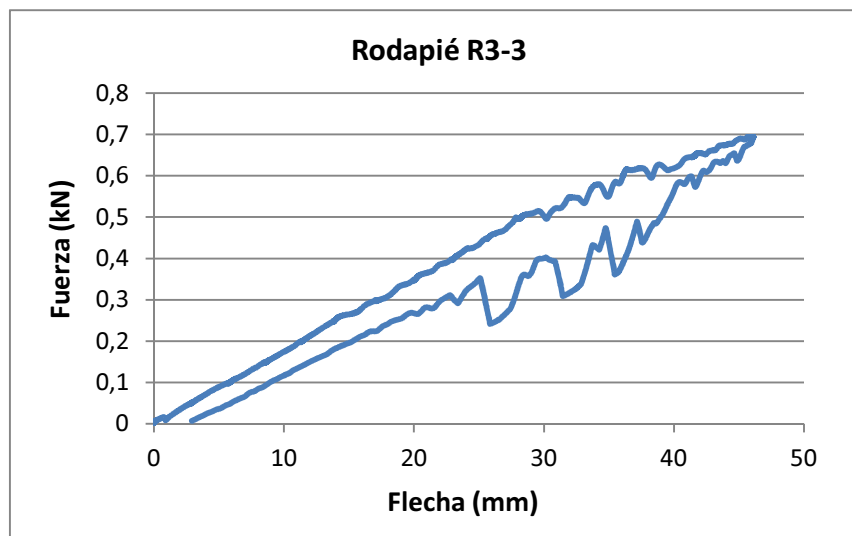


Gráfica 24. Ensayo de resistencia poste muestra 2 UNE-EN 13374:2013

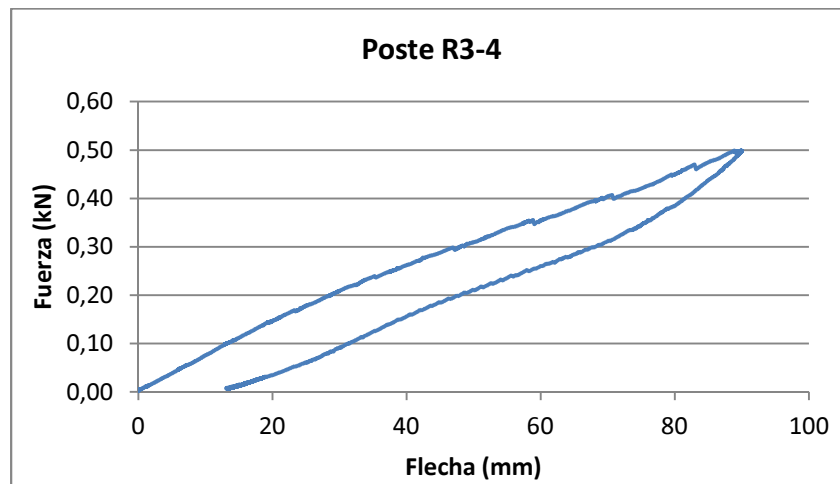
- **Muestra 3**



Gráfica 25. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 3 UNE-EN 13374:2013

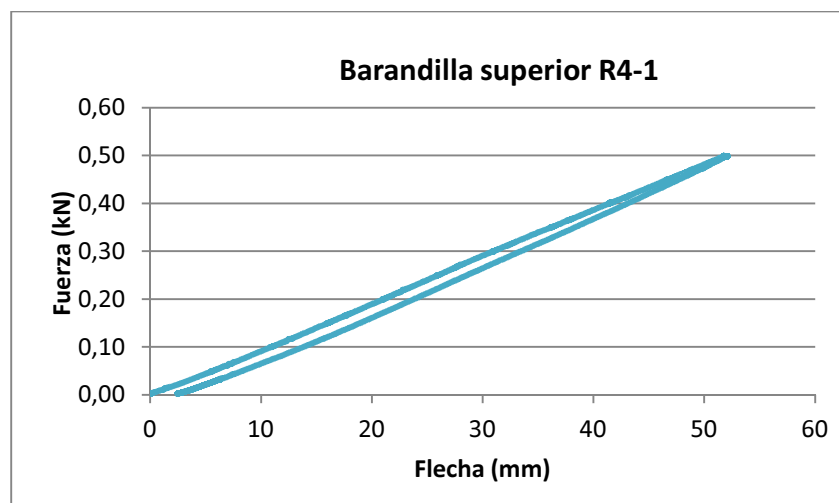


Gráfica 26. Ensayo de resistencia rodapié muestra 3 UNE EN 13374:2013

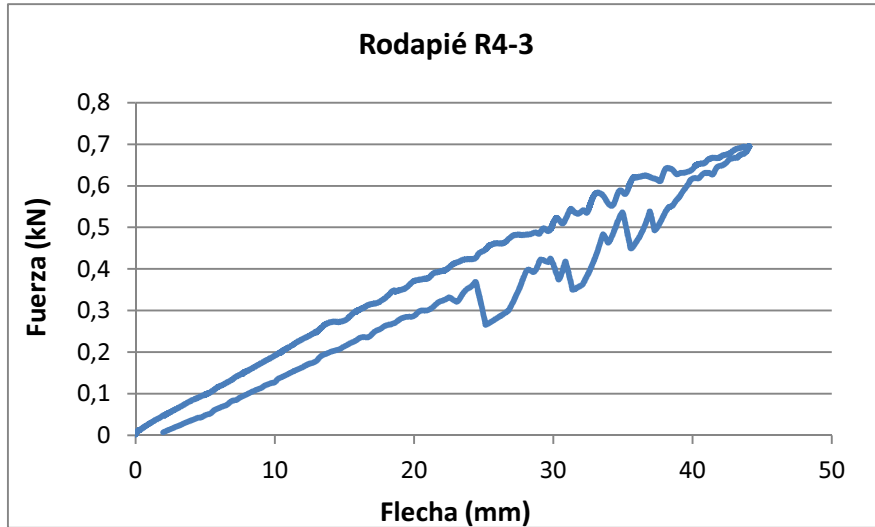


Gráfica 27. Ensayo de resistencia poste muestra 3 UNE-EN 13374:2013

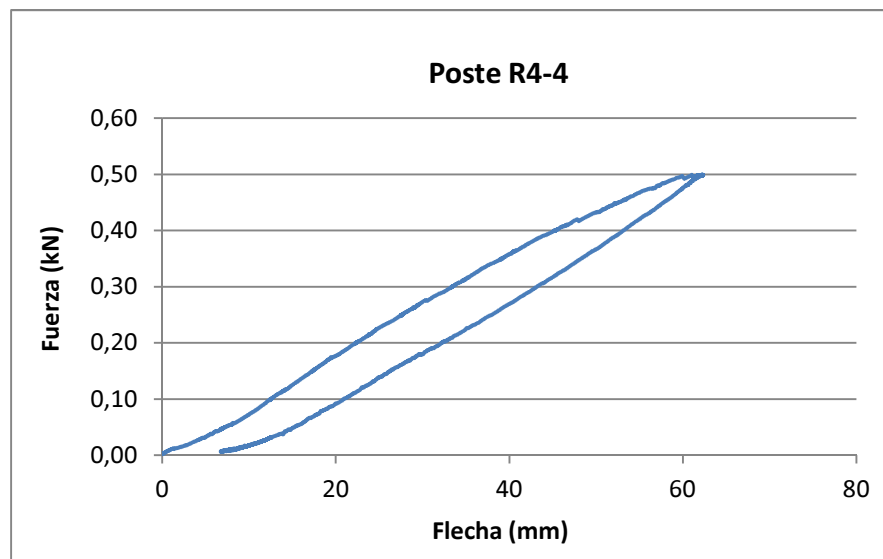
- **Muestra 4**



Gráfica 28. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 4 UNE-EN 13374:2013



Gráfica 29. Ensayo de resistencia rodapié muestra 4 UNE EN 13374:2013

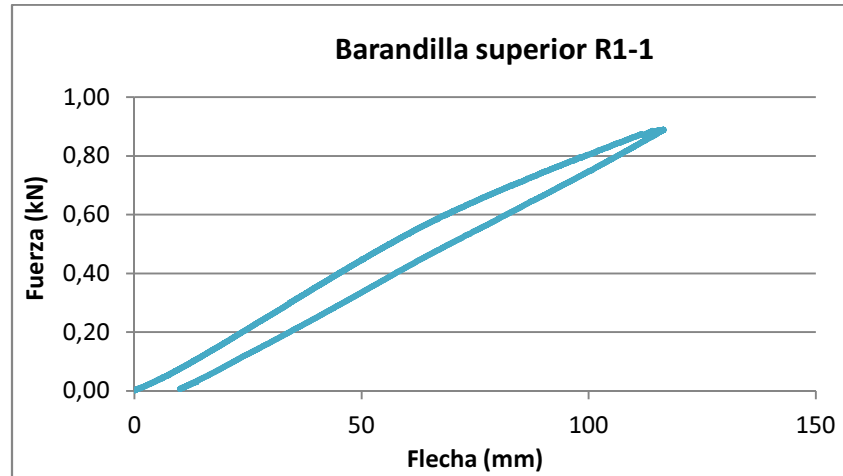


Gráfica 30. Ensayo de resistencia poste muestra 4 UNE EN 13374:2013

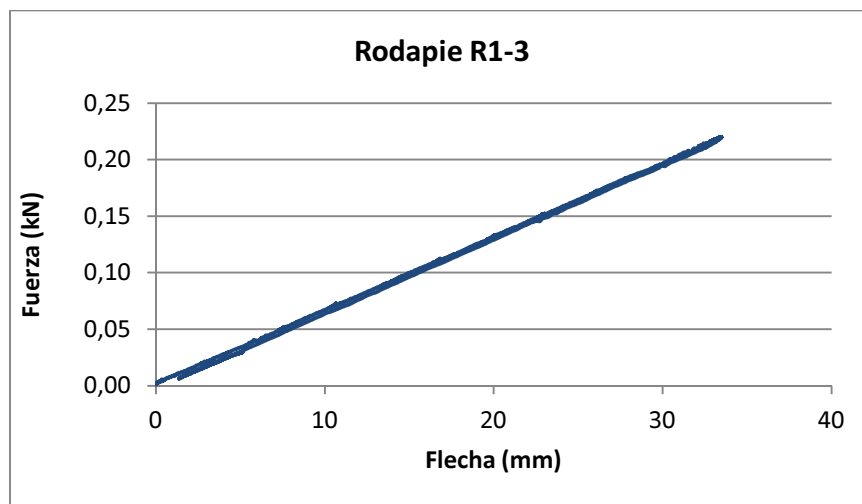
OSHA 1926.502

Ensayo de resistencia

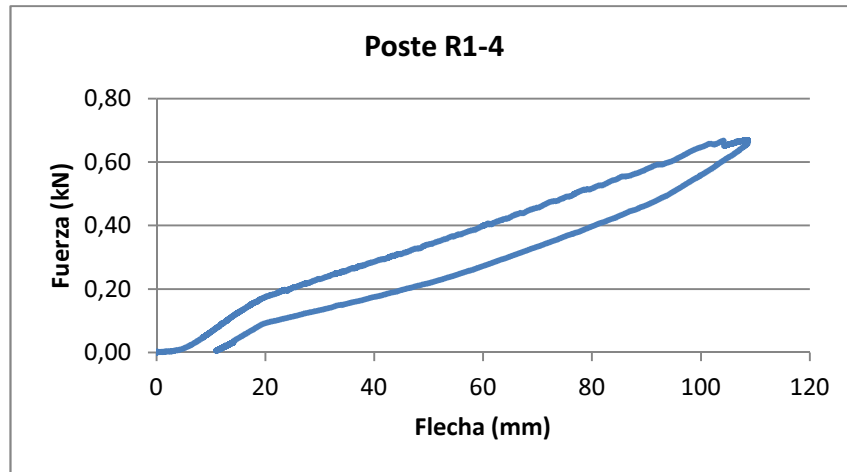
- Muestra 1



Gráfica 31. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 OSHA 1926.502

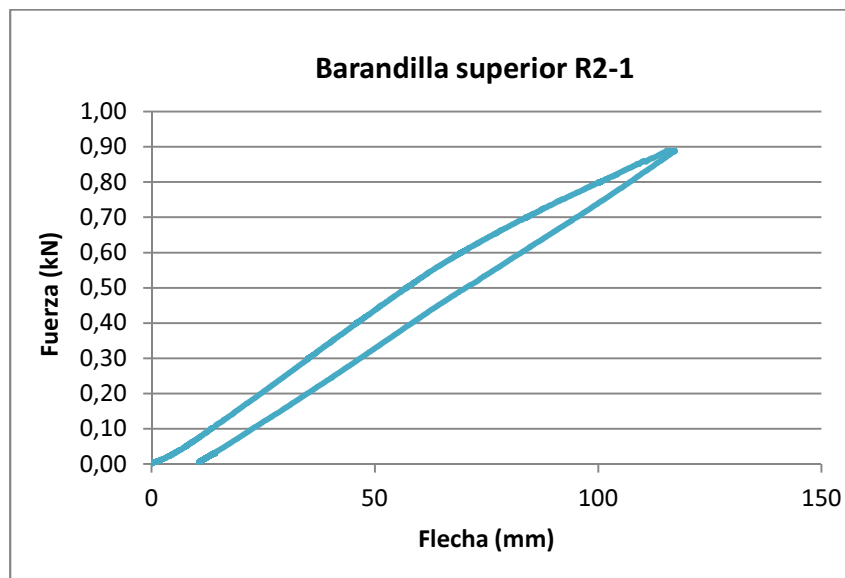


Gráfica 32. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 OSHA 1926.502

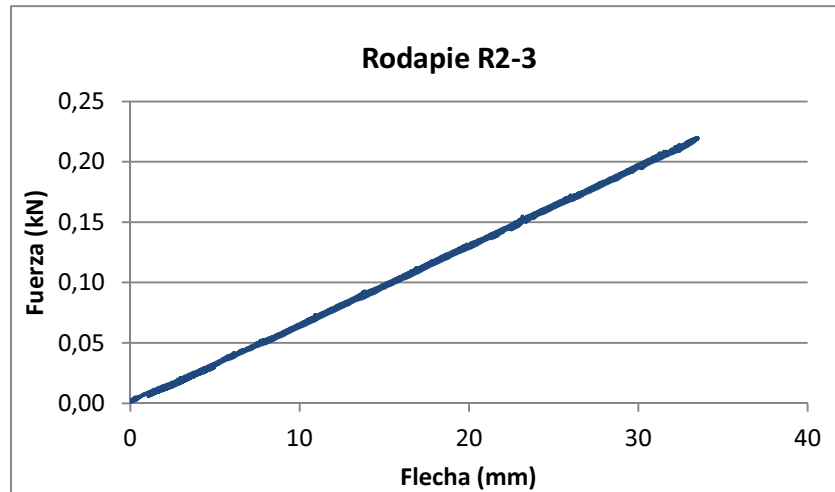


Gráfica 33. Ensayo de resistencia poste muestra 1 OSHA 1926.502

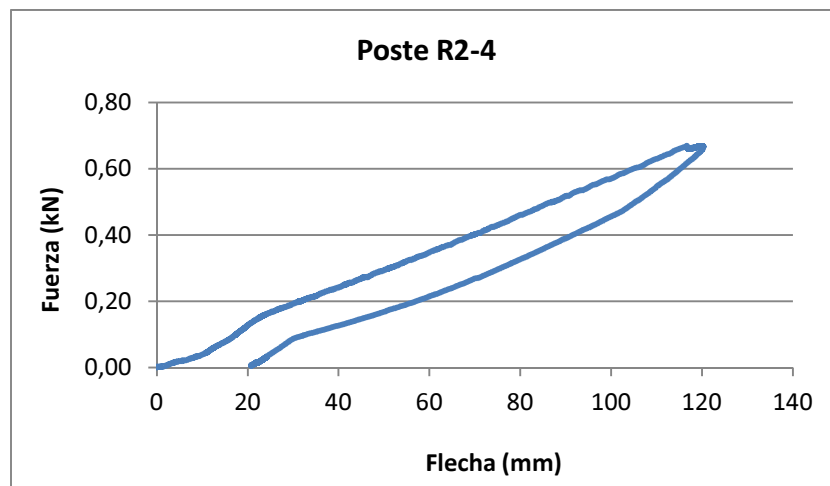
- **Muestra 2**



Gráfica 34. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 2 OSHA 1926.502

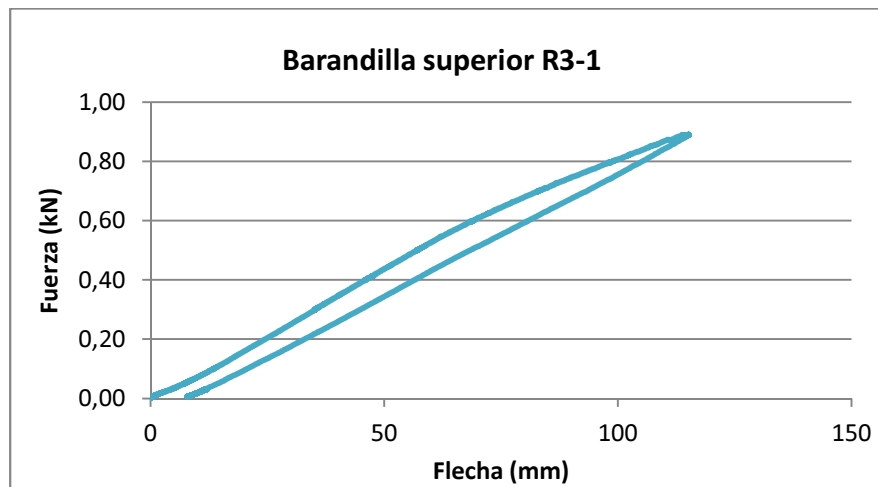


Gráfica 35. Ensayo de resistencia rodapié muestra 2 OSHA 1926.502

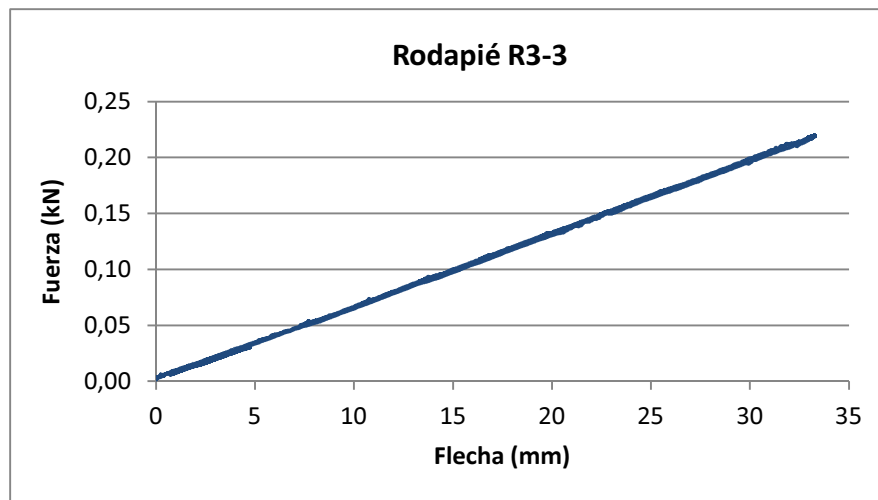


Gráfica 36. Ensayo de resistencia poste muestra 2 OSHA 1926.502

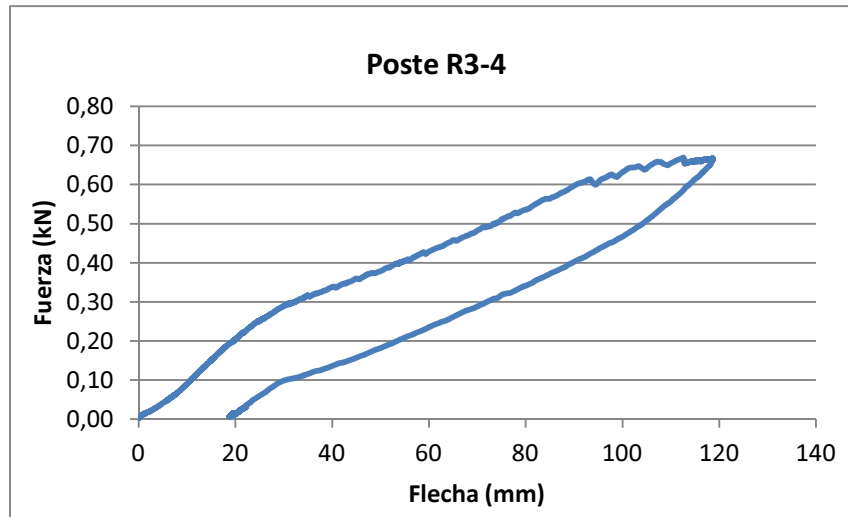
- **Muestra 3**



Gráfica 37. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 3 OSHA 1926.502



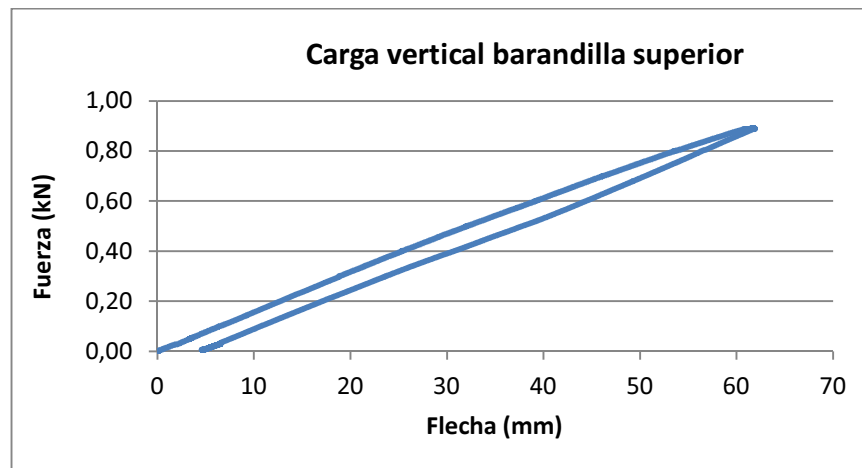
Gráfica 38. Ensayo de resistencia rodapié muestra 3 OSHA 1926.502



Gráfica 39. Ensayo de resistencia poste muestra 3 OSHA 1926.502

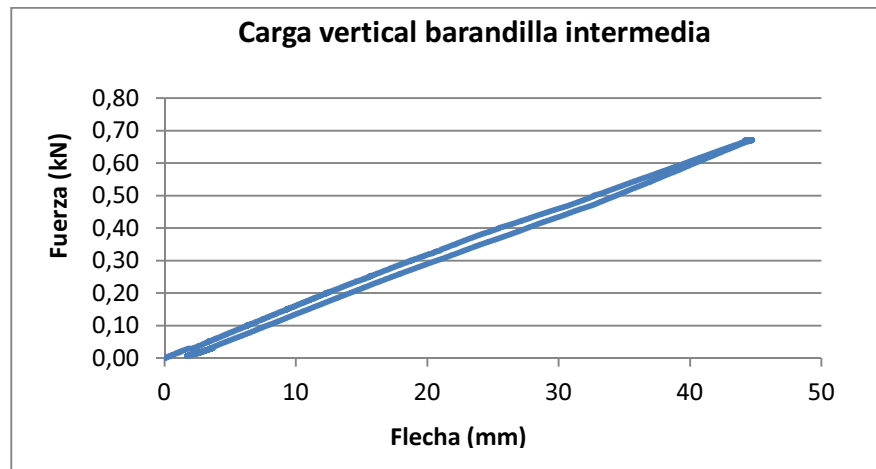
Ensayo carga vertical

- Disposición 1



Gráfica 40. Ensayo de resistencia carga vertical barandilla principal muestra 1 OSHA 1926.502

- **Disposición 2**

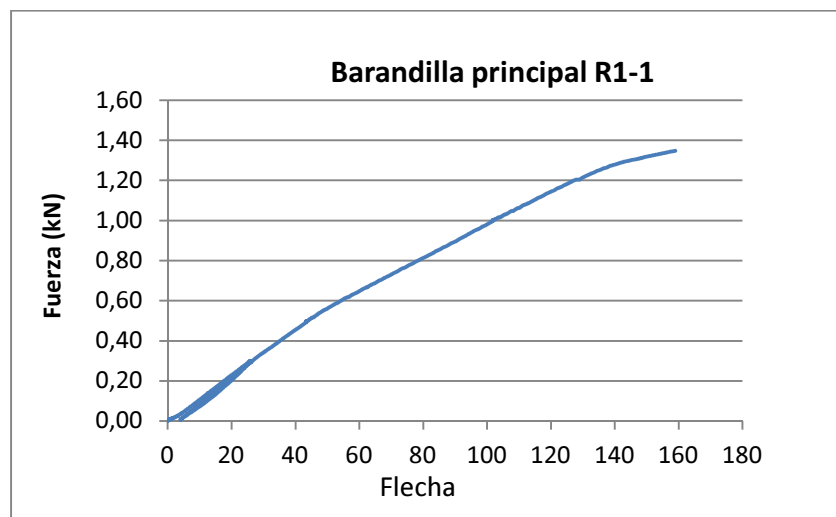


Gráfica 41. Ensayo de resistencia carga vertical barandilla intermedia muestra 1 OSHA 1926.502

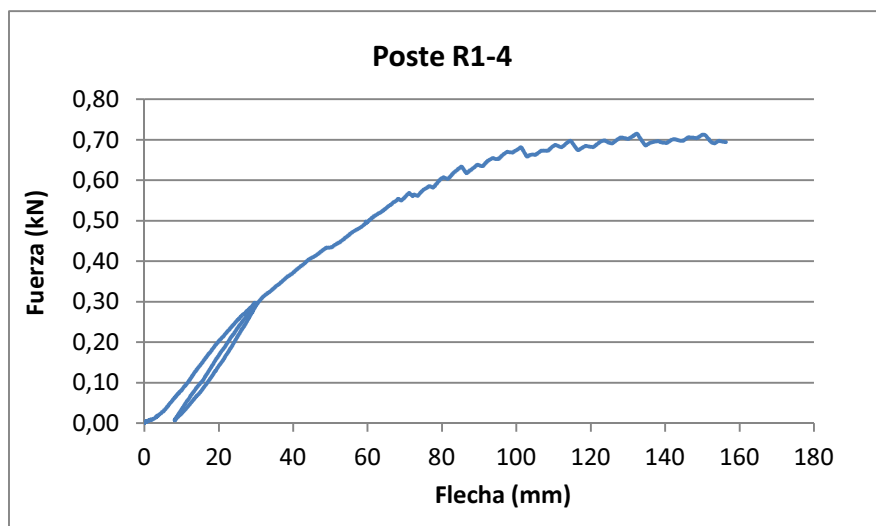
RTP-01

Ensayo de resistencia

- **Muestra 1**



Gráfica 42. Ensayo de resistencia barandilla muestra 1 RTP-01



Gráfica 43. Ensayo de resistencia poste muestra 1 RTP-01

ANEXO D: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN UNE EN 13374:2013

▪ Disposición 1-Barandilla superior

Ensayo de límite elástico



Fotografía 48. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de resistencia



Fotografía 49. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

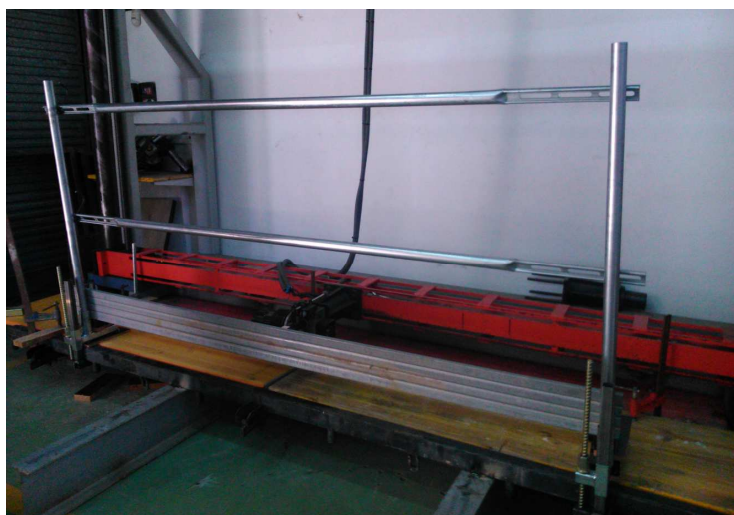
Ensayo de Resistencia última



Fotografía 50. Ensayo de resistencia última barandilla ppal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

- **Disposición 3-Rodapié**

Ensayo de límite elástico



Fotografía 51. Ensayo de límite elástico rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de Resistencia



Fotografía 52. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013

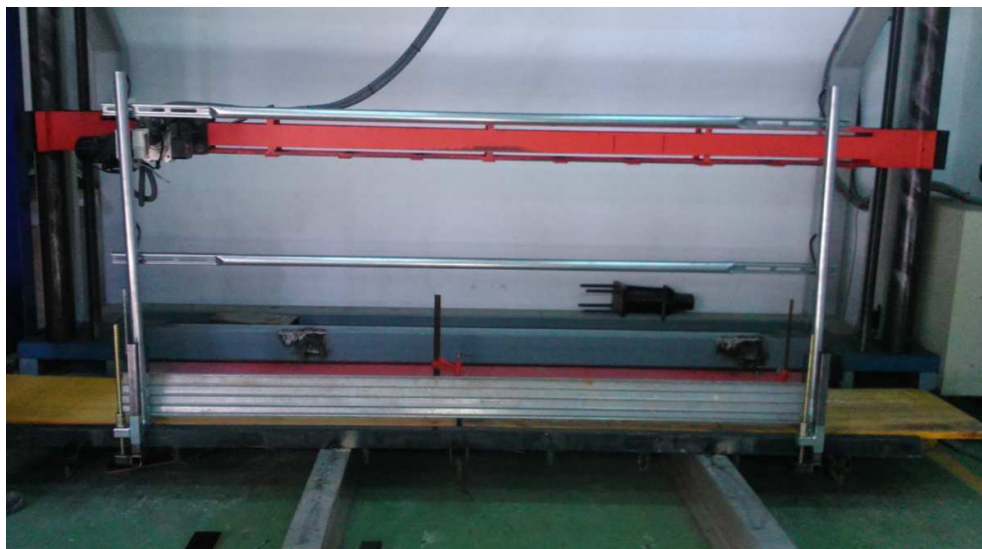
Ensayo de Resistencia última



Fotografía 53. Ensayo de resistencia última rodapié muestra 1 UNE-EN 13374:2013

- **Disposición 4- Poste**

Ensayo de límite elástico



Fotografía 54. Ensayo de límite elástico poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de Resistencia



Fotografía 55. Ensayo de resistencia poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de Resistencia última



Fotografía 56. Ensayo de resistencia última poste muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de Carga Accidental

- Disposición 5- barandilla principal



Fotografía 57. Ensayo de carga accidental barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

Ensayo de Carga Paralela

- Disposición 6-poste



Fotografía 58. Ensayo de límite elástico barandilla principal muestra 1 UNE-EN 13374:2013

ANEXO E: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN OSHA 1926.502

▪ Disposición 1-Barandilla superior

Ensayo de Resistencia (Carga Horizontal)



Fotografía 59. Ensayo de resistencia barandilla principal muestra 1 OSHA 1926.502

Ensayo de Resistencia (Carga vertical)



Fotografía 60. Ensayo de resistencia carga vertical barandilla ppal muestra 1 OSHA 1926.502

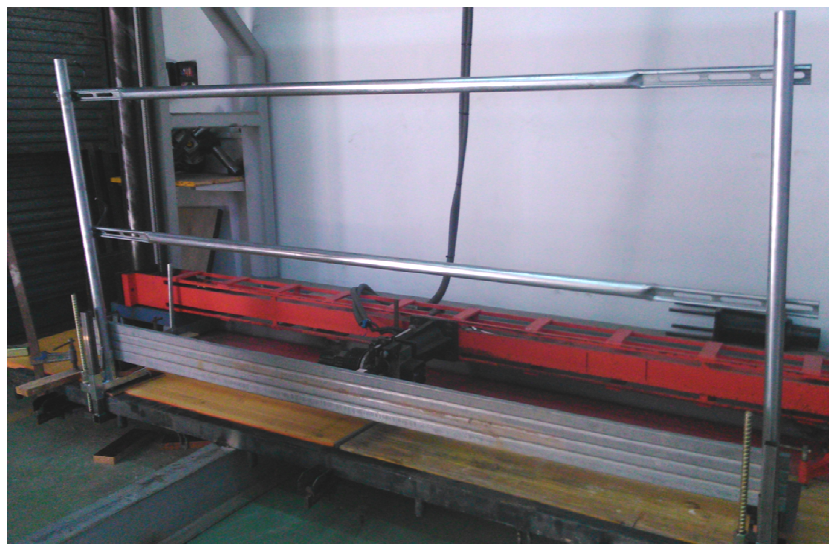
- **Disposición 2-Barandilla intermedia**

Ensayo de Resistencia (Carga vertical)



Fotografía 61. Ensayo de resistencia carga vertical b. intermedia muestra 1 OSHA 1926.502

Disposición 3-Rodapié



Fotografía 62. Ensayo de resistencia rodapié muestra 1 OSHA 1926.502

- **Disposición 4-Poste**

Ensayo de Resistencia



Fotografía 63. Ensayo de resistencia poste muestra 1 OSHA 1926.502

ANEXO F: FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO ESTÁTICO SEGÚN RTP-01



Fotografía 64. Ensayo de resistencia barandilla superior muestra 1 RTP-01



Fotografía 65. Ensayo de resistencia poste muestra 1 RTP-01

ANEXO G: ACTAS DE ENSAYO

Acta 1. ACTA ENSAYO EN 13374:2013



ENSAYO DE CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS DE CARGA ESTÁTICA (clases A y B) (s/ NORMA UNE-EN 13374/2004 apdo.7.4)

Nº ALBARÁN:	74849
FECHA INICIO DE ENSAYO:	08/04/2014
FECHA FINAL DE ENSAYO:	11/04/2014

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA SEGUN PETICIONARIO
Sistema provisional de protección de borde clase A para encofrado

CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO			
HUMEDAD RELATIVA (%)		TEMPERATURA (°C)	
Máxima:	71	Máxima:	23,1
Mínima:	47	Mínima:	17

EQUIPOS DE ENSAYO	
EQUIPO	NÚMERO DE EQUIPO
Sistema multiaxial de ensayos	1121
Termohigrómetro digital	1077
Transductor de desplazamiento	1121.02
Calibre digital	883
Flexómetro	1431
Medidor de ángulos (goniómetro digital)	928

DESCRIPCIÓN DE LOS ANCLAJES Y UNIONES
Barandilla superior intermedia: tubo tubular de acero 40x1,5x2420 mm
Postes: perfil tubular de acero 40x1,5x1116 mm
Sistema de fijación: anclaje por apriete mediante barra dwidag.
Rodapié: chapa metálica de 15,5x1,3x2500 mm.

CROQUIS:

Coefficientes parcial de seguridad según el material	
Acero	1,1
Aluminio	1,25
Madera	1,3
Otros	valorar



**ENSAYO DE CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS DE CARGA ESTÁTICA (CLASES A Y B).
ENSAYO DE FLECHA (s/ NORMA UNE-EN 13374/2004 apdo.7.4.2)**

Nº ALBARAN: 74849

Requisitos geométricos y de los materiales	
Distancia entre la parte alta y la superficie de trabajo:	1116
Distancia del borde superior del plinto a la superficie de trabajo:	200
Distancia del borde inferior del plinto a la superficie de trabajo:	60
Inclinación del sistema:	0
Materiales:	
Barandillas y postes de acero galvanizado de diámetro 40mm y espesor 1,5mm.	
Rodapié de chapa metálica de espesor 1,3mm.	

RESULTADOS DE ENSAYO-ENSAYO DE FLECHA			
		Q _k (kN)	δ _k (mm)
-F1	Punto 1 (F _{T1})	0,30 kN	33,86
	Punto 2 (F _{T1})	0,30 kN	
	Punto 3 (F _{T2})	0,20 kN	
	Punto 4 (F _{T1})	0,30 kN	71,17
-F2	Punto 1 (F _{T1})	0,30 kN	33,32
	Punto 2 (F _{T1})	0,30 kN	
	Punto 3 (F _{T2})	0,20 kN	
	Punto 4 (F _{T1})	0,30 kN	40,56
-F3	Punto 1 (F _{T1})	0,30 kN	
	Punto 2 (F _{T1})	0,30 kN	
	Punto 3 (F _{T2})	0,20 kN	
	Punto 4 (F _{T1})	0,30 kN	59,31
-F4	Punto 1 (F _{T1})	0,30 kN	32,36
	Punto 2 (F _{T1})	0,30 kN	
	Punto 3 (F _{T2})	0,20 kN	
	Punto 4 (F _{T1})	0,30 kN	34,48

Δδ(mm) DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA

OBSERVACIONES:



**ENSAYO DE CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS DE CARGA ESTÁTICA (CLASES A Y B)
ENSAYO DE RESISTENCIA (s/ NORMA UNE-EN 13374/2004 apdo.7.4.3)**

Nº ALBARÁN: 74849

CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO

Material de los componentes: coeficiente parcial de seguridad				
		γ_m		
Material de la barandilla	acero	1,1	F_{max} (barandilla) =	0,3 kN
Material del plinto	acero	1,1	F_{max} (plinto) =	0,2 kN
Material del poste	acero	1,1	F_{max} (poste) =	0,3 kN
Carga accidental			Carga accidental =	1,25 kN
Carga paralela			Carga paralela =	0,2 kN

RESULTADOS DE ENSAYO: ENSAYO DE RESISTENCIA

			CICLO	RESISTENCIA ULTIMA
		PUNTO APLICACIÓN	δ_2 (mm)	R_u (kN)
-R1	Disposición 1	Centro barandilla sup.	50,88	0,7373
	Disposición 2			
	Disposición 3			
	Disposición 4	Parte alta poste	61,13	0,7319
-R2	Disposición 1	Centro barandilla sup.	52,27	0,7324
	Disposición 2			
	Disposición 3			
	Disposición 4	Parte alta poste	79,90	0,7223
-R3	Disposición 1	Centro barandilla sup.	52,24	0,7515
	Disposición 2			
	Disposición 3			
	Disposición 4	Parte alta poste	89,98	0,6996
-R4	Disposición 1	Centro barandilla sup.	52,10	0,7443
	Disposición 2			
	Disposición 3			
	Disposición 4	Parte alta poste	62,31	0,7239
El sistema es capaz de resistir la carga paralela a la barandilla			Si	(1)
Las barandillas/plinto/protección intermedia resisten la carga accidental			Si	(2)

OBSERVACIONES EN EL PERIODO DE APLICACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA

--

DATOS COMPLEMENTARIOS DE ENSAYO

--

OBSERVACIONES

(1) $\delta_2 = 111,23$ mm
(2) $\delta_2 = 64,83$ mm

OPERADOR:		REVISADO:	
-----------	--	-----------	--

ACTA 1. ACTA DE ENSAYO OSHA 1926.502



**ENSAYO DE CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS DE CARGA ESTÁTICA
(clases A) (s/ NORMA OSHA 1926,502)**

Nº ALBARÁN:	74849
FECHA INICIO DE ENSAYO:	08/04/2014
FECHA FINAL DE ENSAYO:	11/04/2014

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA SEGUN PETICIONARIO
Sistema provisional de protección de borde clase A para encofrado

CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO			
HUMEDAD RELATIVA (%)		TEMPERATURA (°C)	
Máxima:	71	Máxima:	23,1
Mínima:	47	Mínima:	17

EQUIPOS DE ENSAYO	
EQUIPO	NÚMERO DE EQUIPO
Sistema multiaxial de ensayos	1121
Termohigrómetro digital	1077
Transductor de desplazamiento	1121.02
Calibre digital	883
Flexómetro	1431
Medidor de ángulos (goniómetro digital)	928

DESCRIPCIÓN DE LOS ANCLAJES Y UNIONES
Barandilla superior e intermedia: tubo tubular de acero de 40x1,5x2420 mm. Postes: perfil tubular de acero 40x1,5x1116 mm. Sistema de fijación: anclaje por apriete mediante barra dwidag. Rodapié: chapa metálica de 15,5x1,3x2500 mm.

CROQUIS:

Coefficientes parcial de seguridad según el material	
Acero	1,1
Aluminio	1,25
Madera	1,3
Otros	valorar



**ENSAYO DE CONFORMIDAD CON LOS REQUISITOS DE CARGA ESTÁTICA (CLASES A)
ENSAYO DE RESISTENCIA (s/ NORMA OSHA 1926,502)**

Nº ALBARÁN: 74849

CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO

Material de los componentes: coeficiente parcial de seguridad			
		γ_m	
Material de la barandilla	acero	1,0	F_{max} (barandilla) = 0,89 kN
Material del plinto	acero	1,0	F_{max} (plinto) = 0,22 kN
Material del poste	acero	1,0	F_{max} (poste) = 0,67 kN
Carga accidental		1,0	Carga accidental = 0,89 kN
Carga paralela			Carga paralela =

RESULTADOS DE ENSAYO: ENSAYO DE RESISTENCIA

			CICLO	RESISTENCIA ULTIMA
		PUNTO APLICACIÓN	δ_2 (mm)	R_u (kN)
-R1	Disposición 1	Centro barandilla sup.	116,47	
	Disposición 2			
	Disposición 3	Centro rodapié	33,46	
	Disposición 4	Parte alta poste	108,65	
-R2	Disposición 1	Centro barandilla sup.	117,07	
	Disposición 2			
	Disposición 3	Centro rodapié	33,48	
	Disposición 4	Parte alta poste	120,31	
-R3	Disposición 1	Centro barandilla sup.	115,21	
	Disposición 2			
	Disposición 3	Centro rodapié	33,27	
	Disposición 4	Parte alta poste	118,66	
-R4	Disposición 1			
	Disposición 2			
	Disposición 3			
	Disposición 4			
El sistema es capaz de resistir la carga paralela a la barandilla				
Las barandillas/plinto/protección intermedia resisten la carga accidental			Si	(1)

OBSERVACIONES EN EL PERIODO DE APLICACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA

--

DATOS COMPLEMENTARIOS DE ENSAYO

--

OBSERVACIONES

Carga accidental: R1-1=61,87 mm, R1-2=44,69 mm

OPERADOR:		REVISADO:	
-----------	--	-----------	--

