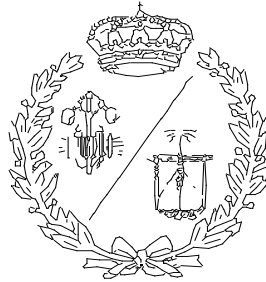


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto / Trabajo Fin de Carrera

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA NUEVA
PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJES
OCULTOS**

**(Design and development of a new fire proof
door including concealed hardware)**

Para acceder al Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor: Isidro Rugama Acebo

Mayo - 2017

Índice general

Índice general.....	i
Índice de tablas	iv
Índice de figuras	v
1 OBJETO Y ALCANCE	2
1.1 Objetivos técnicos	3
1.2 Objetivos estratégicos	4
1.3 Alcance	5
2 NORMATIVA APLICABLE	8
2.1 Protección contra incendios.....	8
2.1.1 Protección pasiva	8
2.1.2 Reacción al fuego.....	9
2.1.3 Resistencia al fuego	10
2.1.4 Sistemas de protección pasiva	11
2.2 Normativa reglamentaria general.....	12
2.2.1 Código Técnico de la Edificación (CTE)	12
2.2.2 Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI)	14
2.2.3 Ensayos de resistencia al fuego	15
2.3 Normativa específica de la puerta cortafuego.....	18
3 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	25
3.1 Líneas de producción existentes	25
3.2 Elementos y herrajes convencionales.....	29
3.2.1 Perfilería del marco	30
3.2.2 Configuración de la hoja	32
3.2.3 Bisagras	34
3.2.4 Cierrapuertas.....	36
3.2.5 Selector coordinador del cierre de las hojas	38

4	MODELADO DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO.....	40
4.1	Ensayos de caracterización térmica (TGA).....	40
4.1.1	Adhesivo	40
4.1.2	Lana de roca	41
4.2	Ensayos de secciones de puerta cortafuego	42
4.2.1	Diseño del método de ensayo	42
4.2.2	Muestras ensayadas	43
4.2.3	Monitorización de los ensayos.....	45
5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES	50
5.1	Ensayos de caracterización (TGA)	50
5.1.1	Adhesivo	50
5.1.2	Lana de roca	51
5.2	Ensayos de secciones de puerta cortafuego	53
5.2.1	Ensayos sobre secciones centrales.....	54
5.2.2	Ensayos sobre secciones laterales. Bisagras	65
5.2.3	Ensayos sobre secciones laterales. Manillas.....	76
6	CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS.....	88
6.1	Primeros prototipos. Avance de la producción	88
6.2	Prototipos definitivos. Muestras para exposición	95
7	PLANOS DE TALLER	101
7.1	Planos de la puerta de una hoja	101
7.2	Planos de la puerta de dos hojas.....	101
8	ENSAYOS A ESCALA REAL	117
8.1	Ensayos de resistencia al fuego	117
8.1.1	Ensayo sobre una muestra de una hoja	118
8.1.2	Ensayo sobre una muestra de dos hojas.....	144
8.2	Ensayo de durabilidad del autocierre.....	175
8.2.1	Ensayo sobre una muestra de dos hojas.....	176

9	VALORACIÓN DE RESULTADOS. CONCLUSIONES	190
9.1	Resultados y valoración de las muestras de una hoja sometidas a ensayo de fuego.....	190
9.2	Resultados y valoración de las muestras de dos hojas sometidas a ensayo de fuego.....	191
9.3	Resultados y valoración de la muestra de dos hojas sometidas a ensayo de durabilidad del autocierre	192
9.4	Conclusiones	193
10	COMERCIALIZACIÓN. FUTURAS ACTUACIONES.	196
	Referencias Bibliográficas	199

Índice de tablas

<i>Tabla 4-1. Propiedades de las lanas de roca analizadas</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4-2. Propuesta de muestras a ensayar</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8-1. Ensayo de fuego 1 hoja. Holguras medidas sobre la muestra.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 8-2. Ensayo de fuego 1 hoja. Deformaciones medidas durante el ensayo de la muestra.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 8-3. Ensayo de fuego 2 hojas. Holguras medidas sobre la muestra.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 8-4. Ensayo de fuego 2 hojas. Deformaciones medidas en la hoja activa durante el ensayo de la muestra.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 8-5. Ensayo de fuego 2 hojas. Deformaciones medidas en la hoja pasiva durante el ensayo de la muestra.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 8-6. Ensayo de durabilidad. Velocidades de referencia según norma UNE-EN 1191:2013.....</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 8-7. Ensayo de durabilidad. Mediciones previas al ensayo</i>	<i>182</i>
<i>Tabla 8-8. Ensayo de durabilidad. Mediciones a la finalización del ensayo.....</i>	<i>183</i>

Índice de figuras

<i>Figura 2-1. Curva de temperaturas ISO 834</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2-2. Límites para el porcentaje de desviación entre áreas de las curvas de temperatura</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2-3. Ejemplo de límites de presión para una presión nominal de ensayo de 14.5 Pa</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2-4. Interrelación de la norma EN 16034 con el resto de normas.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3-1. Centro de punzonado para la fabricación de las hojas.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3-2. Centro de plegado/panelado de las hojas</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3-3. Estación de perfilado de las hojas</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3-4. Ejemplo de un lote de fabricación de hojas cortafuego terminadas.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3-5. Bobina de chapa con el desarrollo adecuado para la obtención del marco por perfilado.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3-6. Devanadora instalada para alimentar la línea perfiladora de marcos... </i>	<i>28</i>
<i>Figura 3-7. Sección del perfil de marco después de las fases de perfilado y troquelado.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3-8. Ejemplo de un lote de marcos terminado</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3-9. Detalle del marco tubular, a base de perfiles tubulares comerciales....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3-10. Detalle del marco STD, conformado por troquelado y perfilado</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3-11. Detalle del marco PL60, conformado por punzonado y plegado</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3-12. Detalle de los paneles que componen una puerta o portón industrial</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3-13. Aspecto de una hoja compuesta por paneles, una vez terminada</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3-14. Sección transversal de la hoja estándar</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3-15. Representación de la bisagra aérea empleada en puertas industriales</i>	<i>35</i>
<i>Figura 3-16. Representación de la bisagra aérea empleada en puertas estándar..</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3-17. Representación de un cierrapuertas aéreo de brazo</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-18. Representación de un cierrapuertas aéreo de guía</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3-19. Representación de un selector de cierre aéreo estándar.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4-1. Muestra de la cola de silicato ensayada</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4-2. Muestras de lana de roca analizadas.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4-3. Modelo CFD construido con FDS</i>	<i>43</i>
<i>Figura 4-4. Ubicación de las secciones de la puerta a ensayar.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4-5. Configuración de las distintas secciones centrales a ensayar.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 4-6. Sección central test nº1: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	<i>45</i>

<i>Figura 4-7. Sección central test nº2: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	45
<i>Figura 4-8. Sección central test nº3: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	46
<i>Figura 4-9. Sección central test nº4: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	46
<i>Figura 4-10. Sección central test nº5: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	46
<i>Figura 4-11 Sección central test nº6: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	47
<i>Figura 4-12. Sección central test nº7: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)</i>	47
<i>Figura 4-13. Ejemplo de ubicación de los termopares sobre la cara no expuesta de la muestra en el test nº4</i>	48
<i>Figura 5-1. Resultados de los ensayos TGA del adhesivo: TGA (izda) y DTGA (dcha)</i>	50
<i>Figura 5-2. Muestras de adhesivo ensayadas en el test nº1: antes (izda) y después (dcha)</i>	51
<i>Figura 5-3. Muestras de adhesivo ensayadas en el test nº2: antes (izda) y después (dcha)</i>	51
<i>Figura 5-4. Resultados de los ensayos TGA de las lanas de roca: Knauf (izda) y Rockwool (dcha)</i>	52
<i>Figura 5-5. Muestra de lana de roca ensayada con referencia Knauf: antes (izda) y después (dcha)</i>	52
<i>Figura 5-6. Muestra de lana de roca ensayada con referencia Rockwool: antes (izda) y después (dcha)</i>	52
<i>Figura 5-7. Curvas TGA de las muestras de lana de roca ensayadas</i>	53
<i>Figura 5-8. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)</i>	54
<i>Figura 5-9. Temperaturas de los termopares colocados sobre la muestra</i>	54
<i>Figura 5-10. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)</i>	55
<i>Figura 5-11. Test nº1: muestra durante el ensayo</i>	55
<i>Figura 5-12. Test nº1: detalle de la bandeja de combustible durante el ensayo</i>	55
<i>Figura 5-13. Test nº1: estado final de la muestra tras el ensayo</i>	56
<i>Figura 5-14. Test nº1: estado de la lana de roca tras el ensayo</i>	56

<i>Figura 5-15. Test nº1: estado de la plancha metálica de la cara expuesta una vez finalizado el ensayo</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5-16. Temperaturas del aire: temperatura de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-17. Temperaturas de los termopares instalados sobre la muestra.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5-18. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-19. Test nº2: cara no expuesta de la muestra durante el ensayo, donde se aprecian los termopares individuales.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-20. Test nº2: detalle de la bandeja de combustible durante el ensayo.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5-21. Test nº2: estado final de la muestra tras el ensayo.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-22. Test nº2: estado de la lana de roca una vez finalizado el ensayo</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-23. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 5-24. Temperaturas de los termopares instalados en la muestra.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-25. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5-26. Test nº3: cara no expuesta de la muestra durante el ensayo, donde se aprecian los termopares individuales.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-27. Test nº3: vista inferior de la muestra durante el ensayo, donde aparecen la bandeja de combustible y la cara expuesta de la muestra.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-28. Test nº3: estado final de la muestra tras en ensayo.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5-29. Temperaturas del aire en la parte inferior de la muestra: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperaturas promedio para cada ensayo (dcha)</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-30. Temperaturas de la cara expuesta de las muestras: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)</i>	<i>62</i>
<i>Figura 5-31. Sección ensayada en FDS: material aislante a base de lana de roca</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-32. Sección ensayada en FDS: material aislante a base de lana de roca y placa de silicato Promatect-H</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-33. Resultados de la simulación CFD de las secciones correspondientes a los test nº2 y nº3.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5-34. Temperaturas de la cara no expuesta para los tres ensayos.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5-35. Temperaturas de la cara no expuesta de cada una de las muestras: temperatura promedio (izda) y temperatura máxima (dcha).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 5-36. Sección preparada para el test nº4. Bisagra oculta en el interior de la muestra</i>	<i>65</i>

<i>Figura 5-37. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)</i>	65
<i>Figura 5-38. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra</i>	66
<i>Figura 5-39. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra.....</i>	66
<i>Figura 5-40. Temperaturas en cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)</i>	67
<i>Figura 5-41. Test nº4: muestra preparada en la estructura de ensayo, con los termopares situados en la cara no expuesta.....</i>	67
<i>Figura 5-42. Test nº4: vista de la cara expuesta de la muestra durante el ensayo.</i>	67
<i>Figura 5-43. Test nº4: estado de la muestra tras el ensayo</i>	68
<i>Figura 5-44. Test nº4: estado del material aislante tras el ensayo</i>	68
<i>Figura 5-45. Test nº4: estado de la muestra (hoja y marco) una vez concluido el ensayo.....</i>	68
<i>Figura 5-46. Sección preparada para el test nº6. Bisagra vista exterior a la muestra</i>	69
<i>Figura 5-47. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)</i>	69
<i>Figura 5-48. Temperaturas de todos los termopares instalados sobre la muestra .</i>	70
<i>Figura 5-49. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra.....</i>	70
<i>Figura 5-50. Temperaturas en la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)</i>	71
<i>Figura 5-51. Test nº6: muestra preparada para el ensayo con los termopares preparados sobre su cara no expuesta.....</i>	71
<i>Figura 5-52. Test nº6: muestra durante el ensayo</i>	71
<i>Figura 5-53. Test nº6: estado de la cara no expuesta de la muestra tras el ensayo</i>	72
<i>Figura 5-54. Test nº6: estado del material aislante tras el ensayo</i>	72
<i>Figura 5-55. Test nº6: estado de la muestra (hoja y marco) una vez finalizado en ensayo.....</i>	72
<i>Figura 5-56. Temperaturas del aire en la parte inferior de la estructura: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)</i>	73
<i>Figura 5-57. Temperaturas en la cara expuesta de la muestra: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha).....</i>	73
<i>Figura 5-58. Temperaturas de los termopares individuales utilizados en los ensayos nº4 y nº6.....</i>	74

<i>Figura 5-59. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre las hojas de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5-60. Gráfica detalle de los termopares con mayores temperaturas en ambos ensayos</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5-61. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre los marcos de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5-62. Sección preparada para el test nº5. Manilla vista desde el exterior....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5-63. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5-64. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5-65. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5-66. Temperaturas de la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5-67. Test nº5: muestra durante el ensayo</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5-68. Test nº5: detalle de la cara expuesta de la muestra durante el ensayo</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5-69. Test nº5: detalle de la cara expuesta de la muestra tras el ensayo....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5-70. Test nº5: detalle de la cara no expuesta de la muestra una vez concluido el ensayo</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5-71. Sección preparada para el test nº7. Manilla vista en el exterior de la muestra</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5-72. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5-73. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5-74. Temperaturas de los termopares instalados sobre la cara no expuesta de la muestra.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5-75. Temperaturas de la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5-76. Test nº7: muestra durante el ensayo</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5-77. Test nº7: detalle de la cara no expuesta tras el ensayo</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5-78. Test nº7: detalle de ambas caras tras el ensayo.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5-79. Test nº7: Detalle de la junta intumescente una vez finalizado el ensayo</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5-80. Temperaturas del aire en la parte inferior de la estructura: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)</i>	<i>83</i>

<i>Figura 5-81. Temperaturas de la cara expuesta de la muestra: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha).....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5-82. Temperaturas de los termopares individuales utilizados en los ensayos nº4 y nº6.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5-83. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre las hojas de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5-84. Gráfica detalle de los termopares con mayores temperaturas en ambos ensayos</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5-85. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre los marcos de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)</i>	<i>86</i>
<i>Figura 6-1. Diferentes pruebas sobre el perfil del marco.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 6-2. Geometría definitiva del marco. Marco C70</i>	<i>89</i>
<i>Figura 6-3. Prueba de un marco a pequeña escala</i>	<i>89</i>
<i>Figura 6-4. Prueba de distintas bandejas metálicas a pequeña escala</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6-5. Primer prototipo hoja-marco a pequeña escala.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 6-6. Bandejas metálicas en el prototipo a escala real</i>	<i>91</i>
<i>Figura 6-7. Bandeja y aislamiento en el prototipo a escala real</i>	<i>92</i>
<i>Figura 6-8. Replanteo de algunos materiales en el prototipo a escala real</i>	<i>92</i>
<i>Figura 6-9. Preparación de las bisagras en el prototipo a escala real</i>	<i>92</i>
<i>Figura 6-10. Preparación del cierrapuertas en el prototipo a escala real.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 6-11. Apariencia del cierrapuertas oculto en el prototipo a escala real.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 6-12. Apariencia de la superficie enrasada en el prototipo a escala real</i>	<i>93</i>
<i>Figura 6-13. Apariencia de un prototipo terminado a escala real</i>	<i>94</i>
<i>Figura 6-14. Apariencia de un prototipo a escala real lacado en el horno</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6-15. Apariencia definitiva de un prototipo a escala real</i>	<i>95</i>
<i>Figura 6-16. Apariencia definitiva de las superficies enrasadas</i>	<i>96</i>
<i>Figura 6-17. Apariencia definitiva de las bisagras</i>	<i>96</i>
<i>Figura 6-18. Apariencia definitiva de las fijaciones a obra.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 6-19. Muestra de 1 hoja. Exposición.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 6-20. Detalle de la bisagra oculta. Exposición.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 6-21. Detalle del cierrapuertas oculto. Exposición.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 6-22. Muestra de 2 hojas. Exposición</i>	<i>99</i>
<i>Figura 6-23. Detalle de la coordinación de hojas. Exposición</i>	<i>99</i>
<i>Figura 8-1. Ensayo de fuego 1 hoja. Sección vertical superior de la muestra</i>	<i>119</i>
<i>Figura 8-2. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de vidrio cortafuego y cerco.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 8-3. Ensayo de fuego 1 hoja. Distribución de las fijaciones sobre el cerco del vidrio.....</i>	<i>121</i>

<i>Figura 8-4. Ensayo de fuego 1 hoja. Solución de instalación sobre tabiquería flexible de PYL.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 8-5. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de marco, premarco y perfil abrazamuro</i>	<i>122</i>
<i>Figura 8-6. Ensayo de fuego 1 hoja. Distribución de la tornillería de fijación en el marco lateral de la muestra</i>	<i>123</i>
<i>Figura 8-7. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de la unión del premarco a la perfilería de acero de la obra.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 8-8. Ensayo de fuego 1 hoja. Esquema de situación de termopares, puntos de medida de deformación y separación máxima entre hoja y marco</i>	<i>127</i>
<i>Figura 8-9. Ensayo de fuego 1 hoja. Localización de las holguras medidas sobre la muestra</i>	<i>128</i>
<i>Figura 8-10. Ensayo de fuego 1 hoja. Curva temperatura/tiempo del horno y curva según norma UNE-EN 1363-1:2015</i>	<i>129</i>
<i>Figura 8-11. Ensayo de fuego 1 hoja. Desviación porcentual entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva del ensayo</i>	<i>130</i>
<i>Figura 8-12. Ensayo de fuego 1 hoja. Presión interna durante el ensayo. Límites según norma UNE-EN 1363-1:2015</i>	<i>130</i>
<i>Figura 8-13. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperatura media de los termopares individuales instalados sobre la cara no expuesta de la muestra</i>	<i>131</i>
<i>Figura 8-14. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra</i>	<i>132</i>
<i>Figura 8-15. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la muestra</i>	<i>133</i>
<i>Figura 8-16. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta del vidrio.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 8-17. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta del vidrio</i>	<i>135</i>
<i>Figura 8-18. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio</i>	<i>136</i>
<i>Figura 8-19. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco</i>	<i>137</i>
<i>Figura 8-20. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra en los instantes previos al ensayo</i>	<i>139</i>
<i>Figura 8-21. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 30 minutos de ensayo.....</i>	<i>140</i>

<i>Figura 8-22. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 50 minutos de ensayo.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 8-23. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 60 minutos de ensayo.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 8-24. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra una vez finalizado el ensayo.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 8-25. Ensayo de fuego 2 hojas. Sección vertical superior de la muestra...</i>	<i>146</i>
<i>Figura 8-26. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de vidrio cortafuego y cerco</i>	<i>147</i>
<i>Figura 8-27. Ensayo de fuego 2 hojas. Distribución de las fijaciones sobre el cerco del vidrio</i>	<i>148</i>
<i>Figura 8-28. Ensayo de fuego 2 hojas. Solución de instalación sobre tabiquería flexible de PYL.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 8-29. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de marco, premarco y perfil abrazamuro</i>	<i>149</i>
<i>Figura 8-30. Ensayo de fuego 2 hojas. Distribución de la tornillería de fijación en el marco lateral de la muestra</i>	<i>150</i>
<i>Figura 8-31. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de la unión del premarco a la perfilería de acero de la obra</i>	<i>152</i>
<i>Figura 8-32. Ensayo de fuego 2 hojas. Esquema de situación de termopares, puntos de medida de deformación y separación máxima entre hoja y marco</i>	<i>154</i>
<i>Figura 8-33. Ensayo de fuego 2 hojas. Localización de las holguras medidas sobre la muestra.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 8-34. Ensayo de fuego 2 hojas. Curva temperatura/tiempo del horno y curva según norma UNE-EN 1363-1:2015</i>	<i>156</i>
<i>Figura 8-35. Ensayo de fuego 2 hojas. Desviación porcentual entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva del ensayo</i>	<i>157</i>
<i>Figura 8-36. Ensayo de fuego 2 hojas. Presión interna durante el ensayo. Límites según norma UNE-EN 1363-1:2015</i>	<i>157</i>
<i>Figura 8-37. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperatura media de los termopares individuales instalados sobre la cara no expuesta de la muestra</i>	<i>158</i>
<i>Figura 8-38. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra</i>	<i>159</i>
<i>Figura 8-39. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja activa</i>	<i>160</i>
<i>Figura 8-40. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja pasiva</i>	<i>161</i>

<i>Figura 8-41. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta de los vidrios</i>	<i>162</i>
<i>Figura 8-42. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de los vidrios.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 8-43. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio de la hoja activa.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 8-44. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio de la hoja pasiva.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 8-45. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco</i>	<i>166</i>
<i>Figura 8-46. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra en los instantes previos al ensayo.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 8-47. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 30 minutos de ensayo.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 8-48. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 44 minutos de ensayo.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 8-49. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra en el minuto 60 de ensayo.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 8-50. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 70 minutos de ensayo.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 8-51. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra superados los 81 minutos de ensayo.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 8-52. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra una vez finalizado el ensayo.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 8-53. Detalle de la sección transversal del marco C70.....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 8-54. Ensayo de durabilidad. Estado de la muestra en el instante previo al ensayo.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 8-55. Ensayo de durabilidad. Detalle del sistema cierrapuertas oculto.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 8-56. Ensayo de durabilidad. Detalle de la bisagra oculta.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 8-57. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de la manilla (hoja activa)</i>	<i>186</i>
<i>Figura 8-58. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de la cerradura (hoja activa)</i>	<i>186</i>
<i>Figura 8-59. Ensayo de durabilidad. Detalle del dispositivo antipánico (hoja activa)</i>	<i>187</i>
<i>Figura 8-60. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de contracerradura (hoja pasiva).....</i>	<i>187</i>

<i>Figura 8-61. Ensayo de durabilidad. Detalle del dispositivo antipánico (hoja pasiva)</i>	
.....	188
<i>Figura 8-62. Ensayo de durabilidad. Detalle del mecanismo disparador de la falleba (hoja pasiva)</i>	
.....	188

CAPÍTULO 1

OBJETO Y ALCANCE



1 OBJETO Y ALCANCE

El presente documento nace de la necesidad de elaborar y exponer un trabajo de fin de carrera, un trabajo que me permita poner de manifiesto conocimientos y cualidades adquiridos durante mi formación académica en la Universidad. El título al que pretendo acceder es el de Ingeniero Industrial, correspondiente al plan de estudios de 1994.

En mi caso particular, la oportunidad de presentar este trabajo aparece tras varios años de experiencia en la empresa privada, un lugar donde comencé realizando una beca promovida por el COIE y Banco Santander, para después ser contratado por la propia empresa como técnico en régimen de prácticas. Durante este período de tiempo, además de completar algunas asignaturas pendientes, he tenido la ocasión de crecer como profesional y adquirir experiencia dentro de la rama del diseño industrial.

Actualmente, y gracias al apoyo y la confianza recibidos, mi ocupación se sitúa dentro de la Oficina Técnica, desde donde coordino el diseño y desarrollo de nuevos productos, desde los primeros esbozos e ideas hasta la obtención del producto final.

Por esta razón he decidido que mi trabajo de fin de carrera verse sobre la actividad profesional que desarrollo a día de hoy, una actividad que se enmarca dentro del área del diseño y la innovación.

A lo largo del contenido de este trabajo trataré de exponer los principales puntos considerados durante el desarrollo de un tipo de producto concreto: una puerta metálica cortafuego con herraje oculto. Es decir, mi trabajo se centrará en un desarrollo real de producto, entre otros tantos que pasan por mis manos, con todas sus particularidades. Además, este modelo de producto destaca por su carácter innovador dentro del segmento de las puertas batientes cortafuego.

Como recién comentaba, el proyecto que se presenta en este trabajo está enfocado al diseño y desarrollo de una nueva puerta cortafuego, capaz de responder a las exigencias de las nuevas construcciones, donde arquitectos y prescriptores apuestan por nuevos productos con un alto valor añadido.

Durante los últimos tiempos se ha registrado una demanda creciente de este tipo de producto, motivo por el cual sugiero la posibilidad de cubrir este nicho de mercado, hasta ahora inexplorado.

Tras las primeras valoraciones me inclino por concebir un producto totalmente nuevo, enmarcado dentro de la fabricación "a medida" y "bajo demanda", que nada tiene que ver con la producción estándar existente. De lo anterior cabe inferir que estamos ante el surgimiento de una nueva gama de producto, con todas las implicaciones que esto conlleva.

Si bien es cierto que existe una dilatada experiencia en la fabricación de puertas y sistemas cortafuego, no sólo habré de centrarme en el diseño de los detalles estéticos y funcionales, propios del producto en sí mismo, sino que revisaré con atención los distintos procesos y recursos de que dispongo en el momento actual, de modo que sea factible alcanzar un alto grado de compatibilidad y productividad.

Durante el tiempo estipulado para este proyecto, estableceré diferentes colaboraciones con empresas externas, a modo de subcontrata, así como con los laboratorios y organismos de certificación correspondientes. De igual modo y durante todo el transcurso del proyecto, contaré con el apoyo del grupo GIDAI, perteneciente al Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos de la Universidad de Cantabria.

Es importante destacar que todo el desarrollo expuesto en estas líneas conduce inexorablemente a la comercialización y puesta en servicio de las nuevas puertas como parte de un sistema de sectorización cortafuego, por lo que los diseños finales deberán ser sometidos a exigentes pruebas de resistencia a fuego y durabilidad, que demuestren su idoneidad para el uso previsto. En este sentido, el conocimiento y cumplimiento de la normativa vigente es esencial y totalmente obligatorio.

1.1 Objetivos técnicos

Dentro de los objetivos técnicos, y como apuntaba anteriormente, se pueden distinguir algunas prioridades:

1. Introducir un nuevo elemento (una nueva gama) en el sistema de fabricación actual, permitiendo su implantación sin perjuicio de los procesos ya existentes. Este problema se aborda examinando los procesos y procedimientos bien conocidos, los recursos disponibles y las demandas estimadas del nuevo proceso. Todo se reduce a estudiar la compatibilidad con el nuevo diseño, logrando una productividad adecuada.

2. Estudiar, diseñar y desarrollar un nuevo producto, desde las primeras fases de selección de los materiales hasta los prototipos más avanzados. En este apartado también se incluyen los componentes que integrarán la puerta:
 - Perfil de marco único, con una geometría que permita la instalación de herrajes ocultos o embebidos, además de cumplir con determinados criterios estéticos que se verán más adelante.
 - Bandeja de la hoja, con la preparación necesaria para alojar herrajes ocultos, acristalamientos y cualquier accesorio de uso extendido en puertas de carpintería metálica. Así mismo, el diseño de la hoja tendrá fuertes connotaciones estéticas.
 - Accesorios técnicos, herrajes y componentes de nueva generación que bien por sus prestaciones, bien por su identidad dentro de su segmento, sean de especial interés para este desarrollo.
3. Conseguir prototipos a pequeña-media escala y a escala real. Llegados a este punto, evaluaré y someteré a prueba los diseños más avanzados, con el propósito de validar sus prestaciones y/o tomar las acciones correctoras que estime oportunas.

1.2 Objetivos estratégicos

La empresa que promueve el presente proyecto fue fundada en el año 1955 y viene desarrollando su actividad económica desde entonces, inmersa en un proceso continuo de crecimiento y mejora. Como consecuencia de sucesivas ampliaciones e integraciones, pertenecemos a un grupo de empresas especializadas en el sector, lo que nos permite interactuar con distintos mercados, en un dominio internacional.

El anterior grupo de empresas fabrica actualmente en toda Europa occidental y distribuye sus productos en los principales países del mundo.

Esta situación me coloca en una posición privilegiada a la hora de analizar nuevas tendencias y adoptar soluciones particularmente innovadoras.

Consecuentemente, uno de los retos estratégicos que se me presentan es fomentar la internacionalización de los productos, donde uno de los factores claves para su logro es la apuesta por el diseño, la calidad y la I+D+i. Gracias a la labor que yo y mi grupo de trabajo realizamos, la empresa está en constante contacto

con las nuevas tecnologías, aportando soluciones creativas e innovadoras que aporten satisfacción y fiabilidad al cliente.

El objetivo último, y que podría suponer una síntesis del programa estratégico que me transmite la empresa, no es otro que el de afianzar la internacionalización, buscando la distinción a través del diseño, la calidad y el grado de innovación.

Por lo tanto, el proyecto que aquí presento persigue ese mismo ideal, ofrecer un producto innovador, con características diferenciales respecto al producto existente en el mercado, capaz de integrarse en nuevos mercados y responder a las especificaciones más especiales.

1.3 Alcance

Con el propósito de lograr los objetivos señalados en los puntos anteriores, a la hora de valorar los requisitos finales, establezco las siguientes metas:

- Diseñar y sacar al mercado un modelo de puerta cortafuego de una hoja, con bisagra y cierrapuertas totalmente ocultos y unas dimensiones nominales de 1050 (ancho) x 2100 (alto) mm.
- Diseñar y sacar al mercado un modelo de puerta cortafuego de dos hojas, con bisagra, cierrapuertas y sistema coordinador de cierre, totalmente ocultos, y unas dimensiones nominales de 2100 (ancho) x 2100 (alto) mm.

Valorando el estado actual de la normativa cortafuego y tomando como referencia el Código Técnico de la Edificación (CTE) que es de aplicación en nuestro país (España), mi decisión es diseñar un producto capaz de alcanzar características de resistencia a fuego, así como características de durabilidad del autocierre. El uso previsto será interior, exclusivamente.

Con el planteamiento anterior, y una vez superadas las diferentes pruebas y ensayos, las puertas obtendrán un resultado Elxx Cx, de acuerdo con el comportamiento mostrado, tal y como se recoge en la normativa europea en general y como ordena la reglamentación nacional, en particular. Esto supone obtener una clasificación donde se muestran las características de resistencia al fuego (integridad E) y aislamiento térmico (I) junto con la característica de durabilidad al autocierre (C) que apunta al número de ciclos de cierre automático que la puerta puede cubrir sin alteraciones en su funcionamiento normal.

Es importante señalar que los resultados de los ensayos - más concretamente las clasificaciones obtenidas y sus campos de aplicación - quedarán presentados en los correspondientes informes de clasificación, que en ningún momento suponen una aprobación de tipo ni una certificación de producto. Esto será suficiente y una opción válida, ya que la norma de producto para puertas peatonales de uso interior aún se encuentra en fase de borrador (*draft version*), con lo que no es de aplicación la certificación CE de este tipo de producto y su declaración de prestaciones, en caso de emitirse, es totalmente voluntaria. Se discutirá este tema ampliamente en el siguiente capítulo, que trata sobre la Normativa Aplicable.

Otros parámetros de comportamiento como son el control de humos (S_a, S_{200}) y el control de la radiación (W) caen fuera del alcance de este proyecto, aunque siendo conocedor de su creciente importancia no descarto una futura ampliación de las clasificaciones obtenidas hasta el momento, siempre que los objetivos de la empresa y/o la reglamentación nacional así lo motiven.

CAPÍTULO 2
NORMATIVA APLICABLE



2 NORMATIVA APLICABLE

2.1 Protección contra incendios

Para dar una buena aproximación de lo que verdaderamente representa el concepto de protección contra incendios, me basaré en la terminología que emplea la NFPA y que dice así: la protección contra incendios es el conjunto de métodos destinados a prevenir, detectar, controlar y extinguir el fuego.

En lo relativo a la extinción del fuego, los medios con que se puede contar son:

- Medios humanos, son aquellos que se encuentran sujetos a la actuación del personal que lucha en la extinción del incendio: formación, organización, respuesta operativa,...
- Medios materiales, son las soluciones constructivas y materiales que toman parte durante el desarrollo de un incendio y que dependen fuertemente del estudio de las instalaciones y del plan de sectorización trazado.

Estableciendo una subdivisión adicional, los medios materiales pueden definirse de una de las siguientes formas:

- Medios de protección activa, que tienen como función específica la extinción del incendio.
- Medios de protección pasiva, cuya función específica no es la lucha contra el incendio de forma activa y directa.

La casuística que se desarrolla en este trabajo es la de las puertas metálicas cortafuego, entendidas como un sistema de protección pasiva frente al fuego.

2.1.1 Protección pasiva

Comúnmente se entiende por protección pasiva aquellos materiales, sistemas y técnicas diseñados para prevenir la aparición de un incendio, así como para impedir o retrasar su propagación.

Hoy en día los esfuerzos de los diseñadores, y de la ingeniería en general, se centran en ofrecer sistemas que mejoren e incrementen la protección pasiva, no sólo impulsados por la normativa o legislación actual, sino por las consecuencias que puedan derivarse de una situación de incendio:

- Pérdidas materiales.
- Pérdidas de vidas humanas.

Así mismo, las construcciones modernas conllevan, de manera inherente, un riesgo de incendio cada vez mayor; esta explicación podríamos buscarla en hechos como los siguientes:

- La búsqueda de materiales más ligeros en ocasiones resulta en materiales más combustibles o combinaciones de ellos más imprevisibles desde el punto de vista de su comportamiento.
- El mayor número de conducciones e instalaciones auxiliares aumenta la probabilidad de que aparezca un foco de incendio o de que la propagación del mismo alcance unas dimensiones mayores.

2.1.2 Reacción al fuego

Los materiales empleados en el acabado de las obras deben ser cuidadosamente analizados, ya que de una acertada elección dependerá en gran medida la iniciación del incendio y su propagación inmediata a partir de este momento.

Por tal motivo, tienen una especial importancia las características de los materiales empleados en aislamientos, revestimientos, acabados y elementos decorativos.

El comportamiento de un material frente al fuego viene determinado por las características y cualidades del mismo, y es lo que se conoce como reacción al fuego.

La reacción al fuego es, por tanto, la respuesta del material frente a un fuego al que se encuentra expuesto y que, potencialmente, alimenta al mismo tiempo. La reacción al fuego no constituye una magnitud medible, sino que comporta un criterio de clasificación de los materiales.

El conjunto de cualidades o factores que determinan el comportamiento de un material frente al fuego son muchos, pudiendo llegar a ser variables con el tiempo de exposición. Esto explica que no haya un criterio en la consideración de la reacción al fuego de los materiales. Sin embargo, algunos de los factores que, por su influencia en la fase de iniciación y desarrollo del fuego, se han venido considerando son:

- El poder calorífico.

- La inflamabilidad.
- La combustibilidad.
- La propagación de llama.
- La inflamación instantánea.
- La generación y opacidad de los humos.
- La generación de gases tóxicos o nocivos.
- El desprendimiento de gotas inflamadas.

Las siguientes normas sientan las bases para la determinación de la reacción al fuego de los materiales:

- UNE-EN 13823:2012+A1:2016. Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción (Single Burning Item - SBI).
- UNE-EN ISO 1716:2011. Ensayos de reacción al fuego de productos. Determinación del calor bruto de combustión.

Por otro lado, los materiales de la construcción son clasificados según su reacción al fuego, de acuerdo a la norma UNE-EN 13501-1:2009+A1:2010.

2.1.3 Resistencia al fuego

Entre los condicionantes arquitectónicos susceptibles de afectar a la seguridad contra incendio de una obra debemos destacar los derivados de sus elementos constructivos, de los que dependen la estabilidad de la obra y la sectorización de los diferentes espacios.

Estos elementos constructivos pueden pertenecer a distintos grupos:

- Estructurales, con función portante exclusivamente. Ejemplos de estos elementos son vigas, viguetas, jácenas, pilares,...
- Cerramientos, con una función delimitadora o separadora de volúmenes. Dentro de este grupo podemos encontrar tabiques, puertas, compuertas y pasamuros.
- Elementos mixtos, con función portante y delimitadora simultáneamente. Elementos como forjados y muros de carga se engloban en este apartado.

Para todos los grupos anteriores, el análisis de su comportamiento en caso de incendio se fundamenta en su resistencia al fuego.

El concepto de resistencia al fuego permite expresar una serie de prestaciones de los elementos constructivos a través de una magnitud "tiempo" expresada, generalmente, en minutos.

Un elemento de construcción es resistente al fuego durante un tiempo "t" siempre que dicho elemento, sometido a un programa térmico normalizado que trata de reproducir las condiciones de un incendio real, es capaz de conservar alguna de las siguientes prestaciones:

- Resistencia mecánica.
- Integridad.
- Aislamiento térmico.

Por tanto, el tiempo transcurrido desde que se inicia la aplicación del programa térmico al elemento constructivo hasta que éste pierde alguna de sus prestaciones evaluadas, mide la resistencia al fuego del elemento ensayado.

Los resultados obtenidos son puestos de manifiesto a través de la norma UNE-EN 13501-2:2009+A1:2010.

2.1.4 Sistemas de protección pasiva

Los planes, sistemas e instalaciones de protección contra incendios constituyen un elemento primordial para garantizar la seguridad de las personas, ante todo, y de los bienes e instalaciones protegidos. Mientras que la seguridad activa trata de luchar contra el incendio mediante la detección y extinción del fuego, la protección pasiva lo que pretende es evitar el inicio de éste y su posterior propagación, limitando así sus consecuencias y favoreciendo su extinción.

Estos dos conceptos de protección contra el fuego no sólo no son excluyentes, sino que se complementan hasta el punto de no entenderse una industria o edificación moderna que no adopte las medidas adecuadas en los dos campos.

Entre los condicionantes edificatorios o arquitectónicos de la seguridad contra incendios de una obra debemos destacar, junto a los propios de sus sistemas de evacuación y eliminación de humos y gases de la combustión, los asociados a las características de sus elementos constructivos, de los que dependerán la estabilidad de la obra y la correcta sectorización de los diferentes espacios.

Dependiendo de la finalidad buscada, existen distintas vías de actuación en lo que a sistemas de protección pasiva se refiere:

- Protección de estructuras.
- Sellado de penetraciones.
- Compartimentación.

Resulta evidente que es en éste último aparatado donde intervienen los elementos que consideraré en este trabajo: las puertas cortafuego.

2.2 Normativa reglamentaria general

Los reglamentos establecen las condiciones que deben reunir los edificios e instalaciones industriales para proteger sus componentes frente a los riesgos originados por un incendio, para prevenir daños en los edificios o establecimientos próximos a aquél en que se declare un incendio. Dentro esta categoría de reglamentos, y a nivel nacional, distinguiré dos referencias importantes, que son:

- Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI).

El Código Técnico de la Edificación, dentro del ámbito nacional, da cumplimiento a los requerimientos del Reglamento Europeo 305/2011, que como se veía con anterioridad, establece los requisitos y condiciones que han de cumplir los productos de la construcción.

2.2.1 Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Código Técnico de la Edificación, en adelante CTE, es el marco normativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones y cerramientos, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

El CTE será de aplicación a las edificaciones públicas y privadas cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia o autorización legalmente exigible.

Así mismo, el CTE se aplicará, como norma general y salvo algunas excepciones donde no se vea afectada la seguridad de las personas, a las obras de edificación de nueva construcción. No se debe olvidar que las nuevas intervenciones en los edificios existentes también estarán sujetas al CTE.

Con el fin de facilitar su comprensión, desarrollo, utilización y actualización, el CTE se ordena en dos partes:

- Primera parte, que contiene las disposiciones y condiciones generales de aplicación del CTE y las exigencias básicas que deben cumplir los edificios.
- Segunda parte, formada por los denominados Documentos Básicos, en adelante DB, para el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE. Estos Documentos, basados en el conocimiento consolidado de las distintas técnicas constructivas, se actualizan en función de los avances técnicos, las demandas sociales y otras normativas convergentes.

Los DB contienen:

- La caracterización de las exigencias básicas y su cuantificación, en la medida en que el desarrollo científico y técnico de la edificación lo permite, mediante el establecimiento de los niveles o valores límite de las prestaciones de los edificios o sus partes, entendidas dichas prestaciones como el conjunto de características cualitativas o cuantitativas del edificio, identificables objetivamente, que determinan su aptitud para cumplir las exigencias básicas correspondientes.
- Procedimientos cuya utilización acredita el cumplimiento de aquellas exigencias básicas, concretados en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica. También podrán contener remisión o referencia a instrucciones, reglamentos u otras normas técnicas a los efectos de especificación y control de los materiales, métodos de ensayo y datos o procedimientos de cálculo, que deberán ser tenidos en cuenta en la redacción del proyecto del edificio y su construcción.

Los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad se desarrollan en el CTE mediante las exigencias básicas pertinentes

Concretamente, el requisito básico DB SI *"Seguridad en caso de incendio"* será el que más relación guarde con el producto que presento en este trabajo. Este requisito consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Para satisfacer este objetivo, los edificios han de proyectarse, construirse, mantenerse y usarse de forma que, en el eventual caso de un incendio, se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes:

- Exigencia básica SI 1 - Propagación interior. Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio, tanto al mismo edificio como a otros edificios colindantes.
- Exigencia básica SI 2 - Propagación exterior. Se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.
- Exigencia básica SI 3 - Evacuación de ocupantes. El edificio dispondrá de los medios de evacuación adecuados para facilitar que los ocupantes puedan abandonarlo o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo en condiciones de seguridad.
- Exigencia básica SI 4 - Instalaciones de protección contra incendios. El edificio dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y la extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.
- Exigencia básica SI 5 - Intervención de bomberos. Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.
- Exigencia básica SI 6 - Resistencia estructural al incendio. La estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las anteriores exigencias básicas.

Este DB establece las condiciones de reacción al fuego y de resistencia al fuego de los elementos constructivos, en línea con lo comentado en el apartado 2.1 de este capítulo.

El conjunto de normas de clasificación, de ensayo y de producto relacionadas con la aplicación de este DB quedan expuestas en su Anejo SI G. Este anejo constituye una referencia normativa indispensable para mí y para toda aquella persona cuya labor esté relacionada con la seguridad contra incendios.

2.2.2 Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI)

El Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI) tiene por objeto establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, para prevenir su aparición y dar la respuesta adecuada, en caso de producirse, limitar su propagación y posibilitar su extinción, con el fin de anular o reducir los daños o pérdidas que el incendio pueda producir a personas o bienes.

Este reglamento se aplica, con carácter complementario, a las medidas de protección contra incendios establecidas en las disposiciones vigentes que regulan las actividades industriales, sectoriales o específicas, en los aspectos no previstos en ellas, las cuales serán de completa aplicación en su campo.

Una disyuntiva que puede aparecer con frecuencia es la de aplicar el DB SI que propone el CTE o el RSCIEI. En este punto, y según las versiones comentadas del CTE que he podido consultar, se puede afirmar que es la actividad principal del establecimiento la que define el tipo de reglamento a aplicar. Cuando en un establecimiento industrial, o en uno de sus sectores, la actividad principal desarrollada sea "no industrial", será de aplicación el DB SI. Por el contrario, siempre que la actividad de un establecimiento, o uno de sus sectores, sea "industrial", será de obligado cumplimiento el RSCIEI.

2.2.3 Ensayos de resistencia al fuego

En este apartado presento, de manera simplificada, el procedimiento para la determinación de la resistencia al fuego de los elementos de constructivos. Este procedimiento consiste en un ensayo donde la muestra es sometida a unas condiciones de calentamiento y presión determinadas.

Los principios generales que rigen el procedimiento presentado en el párrafo precedente quedan normalizados y recogidos en la norma europea EN 1363-1, que a su vez, encuentra una adecuada trasposición en la norma española UNE-EN 1363-1. Es importante apuntar que esta norma abarca los procedimientos y métodos de ensayo comunes a todas las normas específicas de ensayo de resistencia al fuego; por el contrario, aquellos métodos específicos de ensayo que puedan variar de acuerdo con los elementos sometidos a ensayo quedarán adscritos a una norma específica de ensayo.

Según esta distinción, la norma UNE-EN 1363-1 puede considerarse una importante fuente de información, tanto para el personal de laboratorio como para el propio diseñador, relativa a aspectos tales como:

- Diseño e instrumentación de los equipos para ensayo
- Condiciones de ensayo
- Diseño y construcción de las muestras de ensayo
- Correcta instalación y acondicionamiento de las muestras de ensayo
- Procedimientos generales de ensayo
- Informes de ensayo

Dado el interés que tendrá durante el desarrollo de mi trabajo, las siguientes líneas se centrarán en la descripción de las condiciones de ensayo normalizadas, características de los ensayos sobre puertas cortafuego, invitando al lector a consultar el contenido de la norma para alcanzar una mayor instrucción sobre su amplio contenido.

Las condiciones de ensayo más determinantes a la hora de estimar el comportamiento de las muestras son dos:

2.2.3.1 Temperatura del horno

La temperatura media del horno deberá regularse y vigilarse, de forma que la curva temperatura-tiempo responda a la ecuación:

$$T = 345 \log (8t + 1) + 20$$

Donde,

- T es la temperatura media del horno, expresada en °C
- t es el tiempo de ensayo, expresado en minutos

Esta relación constituye la curva de temperaturas ISO 834 y puede observarse en la Figura 2-1.

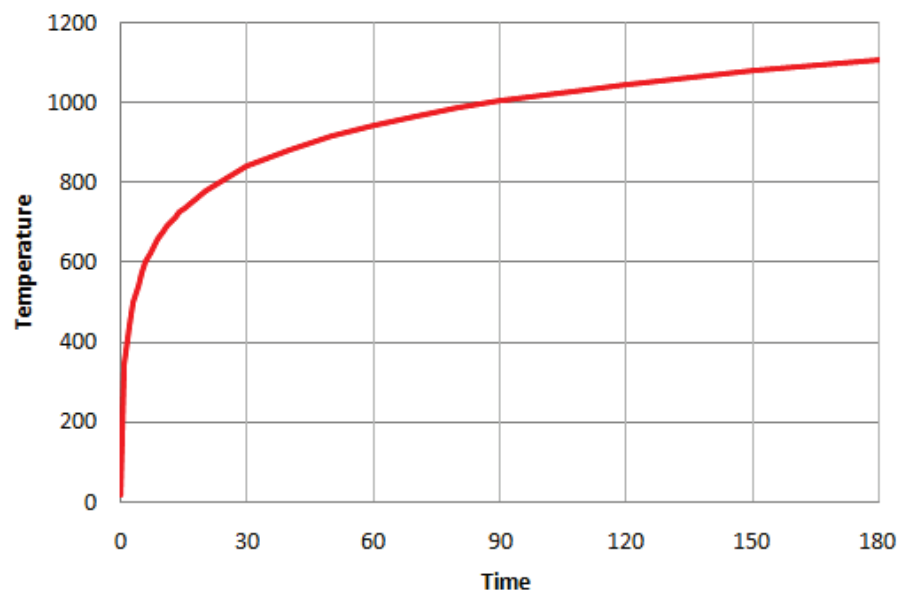


Figura 2-1. Curva de temperaturas ISO 834

El proceso de regulación de la temperatura nunca será perfecto, motivo por el cual la norma establece unas tolerancias permitidas durante el ensayo. La forma de valorar estas tolerancias es mediante el porcentaje de desviación detectado entre el área de la curva real obtenida de la temperatura media y el área de la curva

normalizada. Este porcentaje deberá siempre estar comprendido entre los siguientes márgenes:

- 15%, para $5 < t \leq 10$
- $[15 - 0.5 (t - 10)]\%$, para $10 < t \leq 30$
- $[5 - 0.083 (t - 30)]\%$, para $30 < t \leq 60$
- 2.5%, para $t > 60$

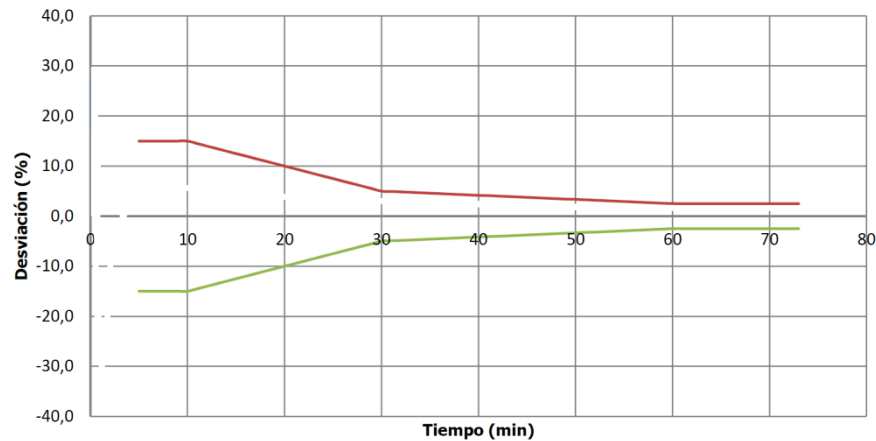


Figura 2-2. Límites para el porcentaje de desviación entre áreas de las curvas de temperatura

La expresión matemática de dicho porcentaje de desviación es:

$$d_e = \frac{A - A_s}{A_s} \times 100$$

Donde,

- d_e es el porcentaje de desviación
- A es el área bajo la curva real del horno de temperatura media
- A_s es el área bajo la curva normalizada de temperatura
- t es el tiempo, expresado en minutos

2.2.3.2 Presión del horno

La distribución de la presión en el plano vertical del horno vendrá determinada por las leyes de los gases y cabe decir que, con el propósito de controlar la presión del horno, se asume una gradiente de presión de 8.5 Pa por metro de altura.

Pues bien, la norma nos dice que la presión debe ser controlada y vigilada, de forma que una vez superado un período transitorio de 5 minutos, la presión debe estar en el rango de ± 5 Pa del valor de presión nominal aplicable durante los 5 minutos siguientes, delimitándose a un rango de ± 3 Pa del valor de presión nominal durante el resto del ensayo.

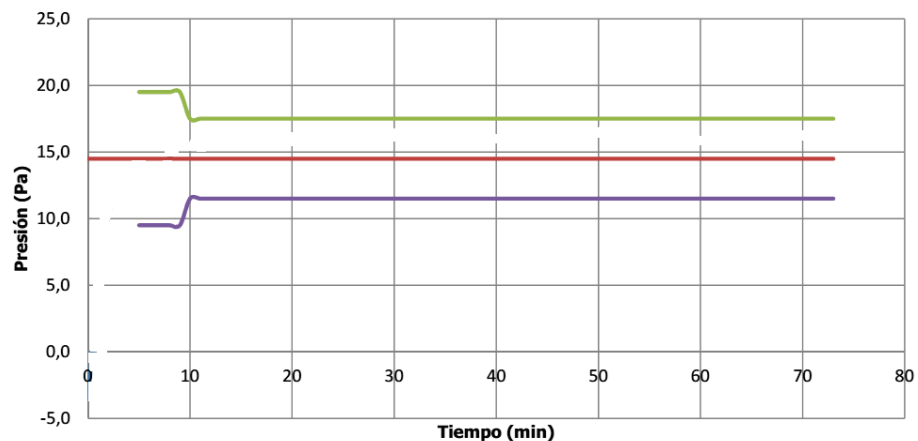


Figura 2-3. Ejemplo de límites de presión para una presión nominal de ensayo de 14.5 Pa

Otra condición a tener en cuenta es la situación del plano de presión neutra, con un valor de presión igual a 0 Pa, que habrá de establecerse a una cota de 500 mm por encima del nivel de suelo teórico del elemento ensayado. Es inmediato concluir que la muestra estará sometida a sobrepresión por encima de esta cota, mientras que en su parte inferior únicamente se tendrá una situación de depresión. También es preciso añadir que la altura del plano de presión neutra puede verse alterada por la necesidad de cumplir otros requisitos, como puede ser la limitación de la presión a 20 Pa, impuesta para aquellos elementos donde se esperaría una presión superior a ésta.

La información aportada hasta el momento, relativa a los ensayos de resistencia al fuego, ha de considerarse de carácter general. En el próximo apartado abordaré las normas específicas que afectan a las puertas cortafuego, como colofón al cauce “regulador” realizado hasta el momento.

2.3 Normativa específica de la puerta cortafuego

Dentro de los marcos reguladores anteriores, se hace evidente que las puertas cortafuego son un elemento importante cuando se valoran los diferentes productos de la construcción, ya no sólo por su funcionalidad dentro de la edificación, sino por su capacidad de sectorización en caso de incendio.

Por este motivo el CTE, en su DB SI, establece una resistencia al fuego mínima para estos elementos constructivos, apoyándose en una serie de normas europeas que rigen los procedimientos de ensayo y clasificación correspondientes.

Pero esto no es todo, porque a nivel europeo ya se ha concebido la norma de producto EN 16034: *“Puertas peatonales, industriales, comerciales, de garaje y ventanas practicables. Norma de producto. Características de resistencia al fuego*

y/o control de humo”, una norma horizontal que cubre las características de resistencia al fuego y control de humos en yuxtaposición con las diferentes normas europeas armonizadas de producto, a saber:

- Norma EN 14351-1: “Ventanas y puertas peatonales exteriores. Norma de producto”.
- Proyecto de norma prEN 14351-2: “Ventanas y puertas peatonales interiores. Norma de producto”.
- Norma EN 13241-1: “Puertas industriales, comerciales, de garaje y portones. Norma de producto”.
- Norma EN 16361: “Puertas peatonales automáticas. Norma de producto”.

El potencial de esta norma reside en su cualidad para especificar aquellas prestaciones que han de determinarse para una puerta o ventana cortafuego, es decir, aquellas prestaciones susceptibles de ser declaradas por el fabricante, conduciendo a un sistema de certificación y marcado CE de producto. La consecuencia inmediata de todo lo anterior es la emisión de una declaración de prestaciones por parte de fabricante, declaración que permitirá unificar criterios y acceder a múltiples mercados dentro de la Comunidad Económica Europea, sin lugar a falsas interpretaciones, convalidaciones o adaptaciones de normas técnicamente divergentes.

La interrelación de esta norma con otras normas de producto, de ensayo y de clasificación queda expuesta dentro del propio texto de AENOR, mediante el esquema que sigue a continuación.

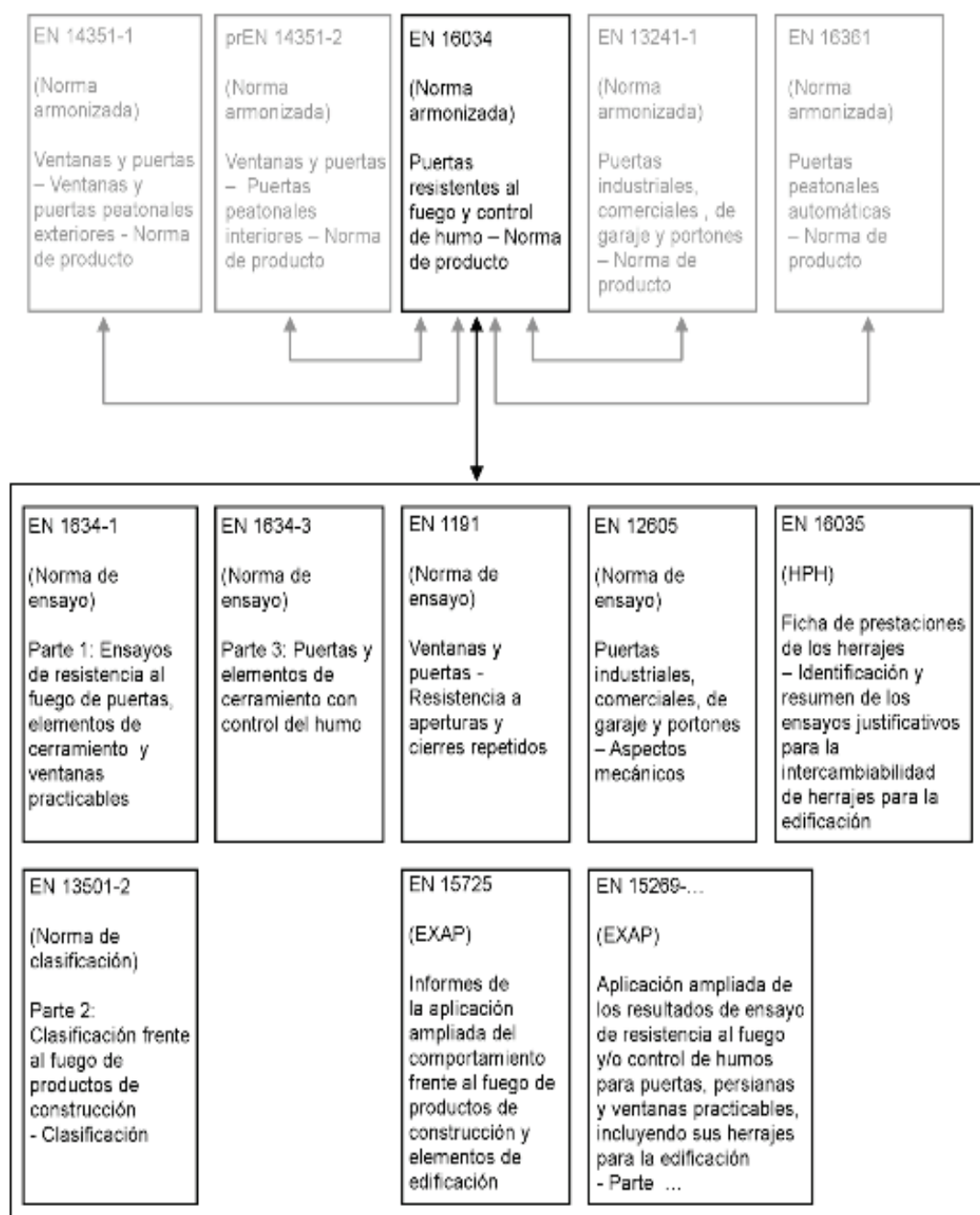


Figura 2-4. Interrelación de la norma EN 16034 con el resto de normas

Como he comentado previamente, el objeto de esta norma es identificar los requisitos de seguridad y de prestaciones aplicables a todos los productos resistentes al fuego y/o control de humo, previstos para usarse en la compartimentación de sectores de incendio y/o humo, además de recorridos de evacuación.

Las características o prestaciones de los productos que contempla esta norma, así como sus normas de ensayo relacionadas, son las siguientes:

- Resistencia al fuego, definida como la capacidad de ofrecer integridad (E), integridad y aislamiento (EI_1 , EI_2) o integridad y control de radiación (EW) durante un cierto período de tiempo en caso de incendio. Esta característica debe determinarse mediante ensayo según la norma EN 1634-1.
- Control de humos, entendida como la capacidad de evitar fugas de humo a temperatura media (S_{200}) o a temperatura ambiente (S_a) en caso de incendio. Su determinación se consigue a través de la norma EN 1634-3.
- Capacidad de desenganche, es decir, la verificación de que el sistema retenedor electromagnético libera la puerta/ventana permitiendo un cierre fiable de la misma. Esta prestación se determinará sobre una muestra que se someta a ensayo según EN 1634-1 o EN 1634-3, simulando una señal de incendio tres veces consecutivas.
- Durabilidad de la capacidad de desenganche, característica que se cumple si el dispositivo retenedor accionado eléctricamente cumple las normas EN 1155 o EN 14637.
- Durabilidad del cierre automático, que es la capacidad de una puerta/ventana abierta para cerrarse completamente en el marco, asegurando el cierre, sin intervención humana alguna, mediante energía almacenada, no dependiente de la red eléctrica. Los métodos de ensayo de ciclos, los cuales conducen a la determinación de esta prestación, se indican en la norma EN 1191 (puertas peatonales y/o ventanas practicables) y en la norma EN 12605 (puertas industriales, comerciales y/o de garaje).

Otras normas vinculadas a la norma de producto EN 16034 son:

- Norma EN 13501-2: “Clasificación frente al fuego de productos de construcción. Norma de clasificación”.

Normas EN 15269-....: “Aplicación ampliada de los resultados de ensayo de resistencia al fuego y/o control de humos para puertas, persianas y ventanas practicables, incluyendo sus herrajes para la edificación. Normas de extensión”

Norma EN 15725: “Informes de la aplicación ampliada del comportamiento frente al fuego de productos de construcción y elementos de edificación. Norma de extensión”.

Proyecto de norma prEN 17020-...: “Aplicación ampliada de los resultados de ensayo de durabilidad del autocierre. Norma de extensión”.

Otro de los cometidos de esta norma consiste en la evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones del producto (EVCP). Para el caso de puertas resistentes al fuego, la Decisión de la Comisión Europea indica un sistema 1 de evaluación, basado en los siguientes procedimientos:

Ensayo inicial de tipo (EIT)

Control de producción en fábrica (CPF)

Como norma de producto que es, la norma EN 16034 culmina su contenido con un apartado dedicado al marcado CE y etiquetado del producto.

Un contenido a comentar en último lugar, y no por ello menos importante, es el Anexo A de la norma EN 16034, dedicado por completo al acondicionamiento de las muestras, previo al ensayo. En este punto se señalan algunos aspectos a tener en cuenta durante los instantes previos a la realización de los ensayos de resistencia al fuego, control de humo y cierre automático, llenando algunas de las lagunas aparecidas tras la derogación de la norma de apoyo EN 14600.

Por último, y para concluir esta breve exposición sobre el estado de la normativa actual, es preciso identificar una nueva norma española, cuya finalidad es ampliar y concretar determinados criterios relativos a la seguridad en caso de incendio, complementando de esta forma la información contenida en el CTE, DB SI. Esta norma tiene por título UNE 23740-1: “Seguridad contra incendios. Requisitos específicos de instalación, uso y mantenimiento. Parte 1: Puertas cortafuego” y tiene por objeto establecer los requisitos específicos que deben tenerse en cuenta para la instalación, uso y mantenimiento de las puertas cortafuego, asegurando no sólo el correcto diseño de las mismas, sino su funcionalidad durante toda su vida útil.

Además de una serie de indicaciones relativas a la instalación y el correcto mantenimiento de la puerta cortafuego, esta norma aporta información interesante acerca de la documentación que ha de acompañar a la puerta cortafuego:

- Documentación justificativa del marcado CE de la puerta, una vez sea obligatorio.
- Hasta que el marcado CE sea exigible de forma obligatoria, se requerirá un informe de clasificación único ($EI_{tt} C_x$), donde aparecerá la

información detallada del producto. De no ser así, se habrán de adjuntar los informes de ensayo completos.

- Documentación justificativa del marcado CE de los herrajes y accesorios, según la tabla adjunta.
- Instrucciones de instalación del producto.
- Instrucciones de uso del producto.
- Manual de mantenimiento del producto.

CAPÍTULO 3
ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE



3 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

En el capítulo que presento a continuación resumo los principales medios y líneas de producto de que dispongo actualmente en el centro de fabricación.

En un primer apartado 3.1 expondré algunos procesos de producción vinculados con la fabricación de la puerta cortafuego, mientras que el apartado 3.2 me centraré en la descripción de los elementos y herrajes que tienen una influencia destacable en la nueva intención de diseño.

3.1 Líneas de producción existentes

Como parte esencial en la comprensión del proceso de fabricación de la puerta, aquí pretendo dar una visión general de las etapas que recorre el material hasta que se consolida como un producto terminado. Por simplicidad y por el interés que representa, la explicación se centrará en el modelo estándar de puerta cortafuego, dejando otras configuraciones menos relevantes al margen.

La puerta batiente cortafuego consta de dos elementos fundamentales: hoja y marco. Estos componentes se obtienen por líneas de producción paralelas y están destinados a ensamblarse en un proceso posterior.

Las hojas de las puertas están compuestas por dos chapas conformadas, dentro de las cuales se coloca un material aislante de relleno. Por lo tanto, el primer trabajo para su producción es el corte a medida mediante cizalla y el punzonado de ambas chapas, que reciben el nombre de caja y tapa.

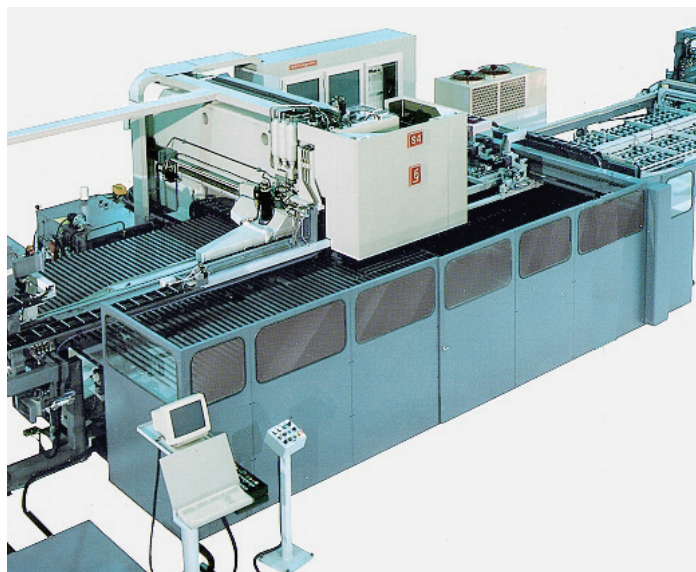


Figura 3-1. Centro de punzonado para la fabricación de las hojas

Una vez punzonadas la caja y la tapa, las chapas avanzan por la misma línea de producción hasta alcanzar el centro de plegado, comúnmente conocido con el nombre de paneladora.



Figura 3-2. Centro de plegado/panelado de las hojas

Tras este paso, se impregnan las bandejas recién conformadas con adhesivo a base de silicato para, seguidamente, introducir el relleno en la caja, colocar la tapa sobre la caja y perfilar la hoja a través de una estación de rodillos. Este último proceso de perfilado consigue que ambas bandejas queden fuertemente unidas, sin necesidad de emplear soldadura alguna. La Figura 3-3 da una idea del proceso de perfilado mencionado.



Figura 3-3. Estación de perfilado de las hojas

El resultado final es una hoja semiterminada, lista para recibir otros componentes, como pueden ser las bisagras, la cerradura y otros herrajes con que se desee equipar la puerta.

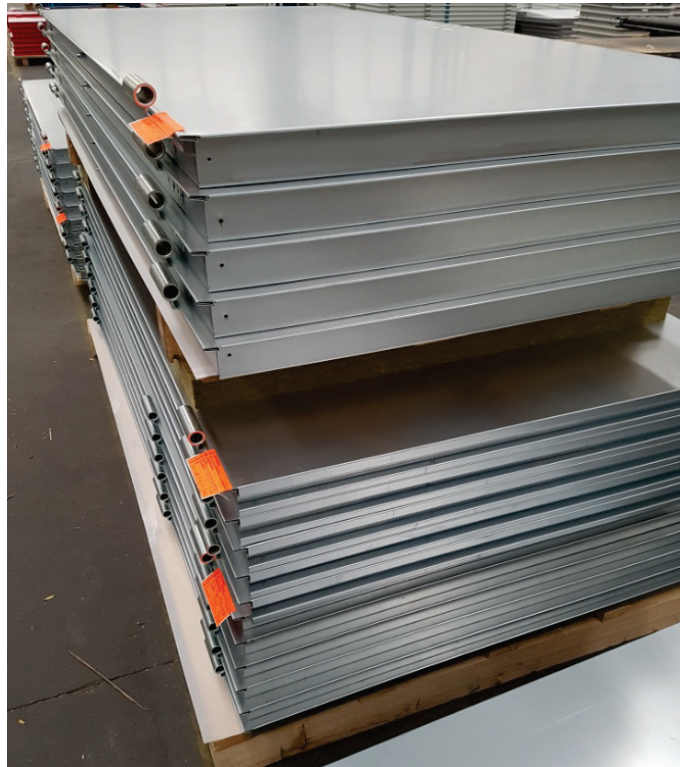


Figura 3-4. Ejemplo de un lote de fabricación de hojas cortafuego terminadas

El marco de la puerta sigue una fabricación independiente, partiendo de una bobina de chapa, bobina que atravesará una estación perfiladora, equipada con los troqueles requeridos para conseguir todos los vaciados y geometrías buscadas.



Figura 3-5. Bobina de chapa con el desarrollo adecuado para la obtención del marco por perfilado



Figura 3-6. Devanadora instalada para alimentar la línea perfiladora de marcos

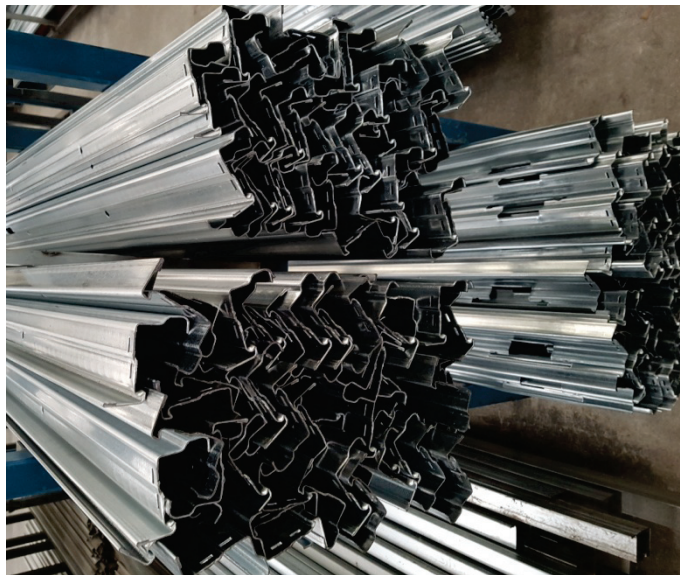


Figura 3-7. Sección del perfil de marco después de las fases de perfilado y troquelado

Como finalización del proceso de conformado del marco, las bisagras y las garras de fijación son añadidas al perfil en los puestos de soldadura automática.



Figura 3-8. Ejemplo de un lote de marcos terminado

El nuevo reto que me planteo consistirá en diseñar una nueva solución cortafuego olvidando estos modelos de hoja y marco estándar, que nada tienen que ver con las nuevas especificaciones, pero valorando en todo momento las posibilidades y los medios disponibles dentro del sistema productivo actual.

3.2 Elementos y herrajes convencionales

En esta sección analizo las distintas configuraciones de puertas cortafuego de que dispongo actualmente, diseñadas y fabricadas en base a la experiencia adquirida durante años.

Como punto de partida y para conocer el estado actual de las cosas, mi primera actuación es realizar una recopilación y un análisis de la documentación existente.

El anterior análisis sentará las bases para la determinación de los experimentos y las pruebas físicas a escala, definiendo las características energéticas y geométricas de los ensayos, potencias generadas, flujos de calor incidentes y posibilidades de control de las curvas temperatura-tiempo, todo ello con el propósito de conseguir la adecuación al cumplimiento de la normativa en vigor.

El resultado de los trabajos anteriores será la configuración definitiva de los ensayos a escala, así como la elaboración de un portamuestras específico para la ejecución de los mismos.

A continuación expongo aquellos elementos que, ya sea por su especial importancia en el comportamiento de la puerta o por los cambios que pretenden llevarse a cabo sobre ellos, deberé someter a consideración y estudio durante la fase de diseño y ensayos a escala.

3.2.1 Perfilería del marco

Actualmente se conocen tres tipos de marco, dependiendo de las dimensiones de puerta que se estén considerando:

- Un marco tubular para aquellas puertas que alcanzan unas dimensiones de 3000 x 3000 mm, ejecutado con un perfil de acero de sección rectangular 80 x 40 x 3 mm sobre el que se superpone un tubo 80 x 20 x 1.5 mm a modo de tapajuntas.

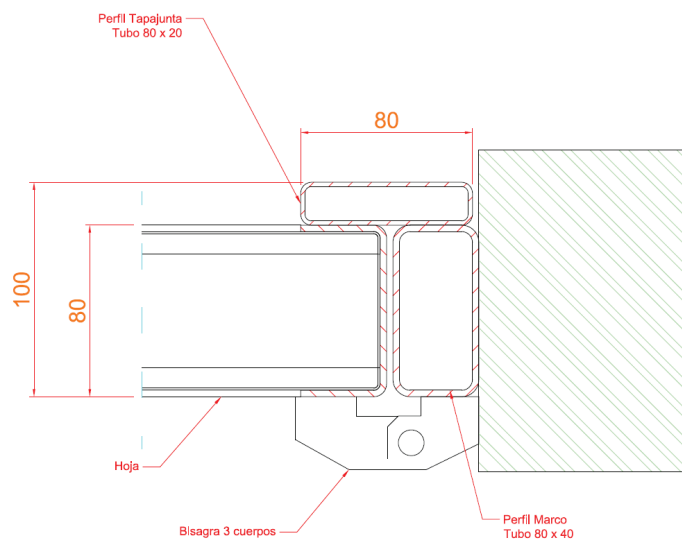


Figura 3-9. Detalle del marco tubular, a base de perfiles tubulares comerciales

- Un marco esquinero estándar para aquellas puertas que se mantienen en unas dimensiones convencionales, inferiores a las señaladas en el punto anterior. Este perfil se obtiene por conformado en frío, gracias al perfilado de una lámina de acero de espesor 1.5 mm.

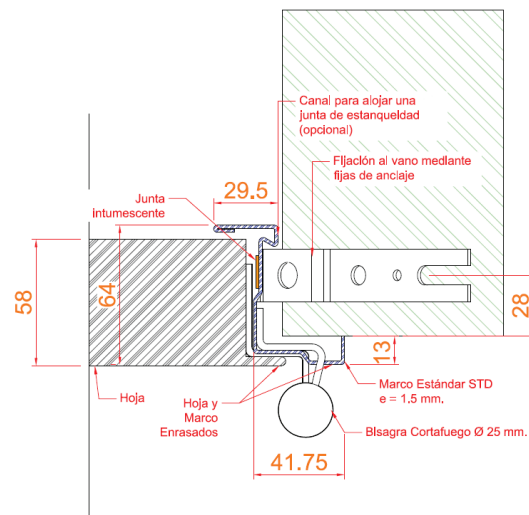


Figura 3-10. Detalle del marco STD, conformado por troquelado y perfilado

- Un marco esquinero para aquellas puertas que tienen unas dimensiones especiales y/o un peso específico mayor al habitual. Este perfil se obtiene por conformado en frío, gracias al plegado de una lámina de acero de espesor 1.8 mm.

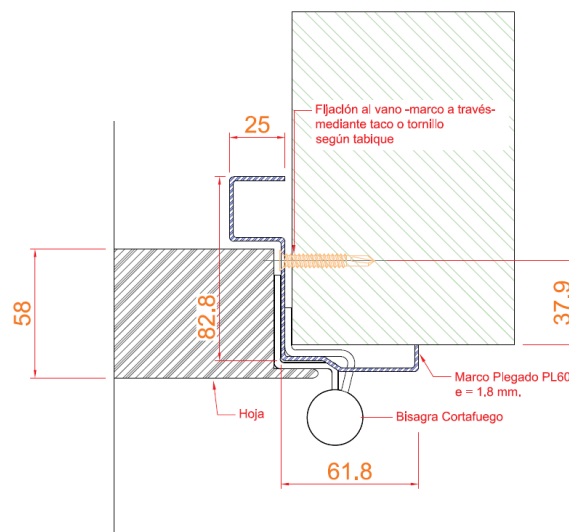


Figura 3-11. Detalle del marco PL60, conformado por punzonado y plegado

En el primer caso, el empleo de perfiles comerciales con diferentes secciones exige el acopio de gran cantidad de material, además de una reserva de espacio de almacenaje considerable. Esta configuración se puede visualizar en la Figura 3-1.

En el segundo caso, representado en la Figura 3-10, el perfil se obtiene en un proceso de troquelado y perfilado, con un rendimiento aceptable, aunque su

geometría y sus propiedades mecánicas sólo hacen aconsejable su empleo puertas de dimensiones estándar y peso moderado.

En el último caso, el detallado en la Figura 3-11, el perfil se consigue en una fase semiautomática de plegado, después de un punzonado previo; el rendimiento alcanzado es bajo en comparación con un proceso de troquelado-perfilado automático.

Los hechos anteriores motivan el diseño de un nuevo marco que cumpla con las nuevas exigencias estéticas y funcionales planteadas, al mismo tiempo que se espera mejorar notablemente el proceso de fabricación asociado.

La mejora de la calidad será una consecuencia inmediata de todo lo anterior.

3.2.2 Configuración de la hoja

Dentro de la gama de puertas batientes cortafuego, y al igual que sucedía con los marcos, se distinguen dos tipologías de hojas:

- Hojas compuestas por paneles, destinadas a conformar hojas de grandes dimensiones, muy útiles a la hora de configurar puertas y portones industriales. Estas hojas se ensamblan a partir de un número determinado de paneles, machihembrados los unos con los otros hasta conseguir el tamaño de hoja requerido. De esta forma, el formato de chapa deja de ser un límite cuando se desean alcanzar grandes tamaños. En la Figura 3-12 puede verse un ejemplo para una hoja constituida con dos paneles, además del resultado final de la Figura 3-13, una vez que los paneles han sido recercados y cosidos mediante tornillos autotaladrantes.

El aspecto industrial de estas hojas, donde tornillos y juntas quedan expuestos a la vista, poco tiene que ver con las nuevas necesidades planteadas. Por razón de sus dimensiones y su ensamble, la configuración de estas hojas tampoco aporta ningún punto de comparación para el nuevo diseño; simplemente se expone brevemente como ejemplo de solución para otros requerimientos o aplicaciones.



Figura 3-12. Detalle de los paneles que componen una puerta o portón industrial

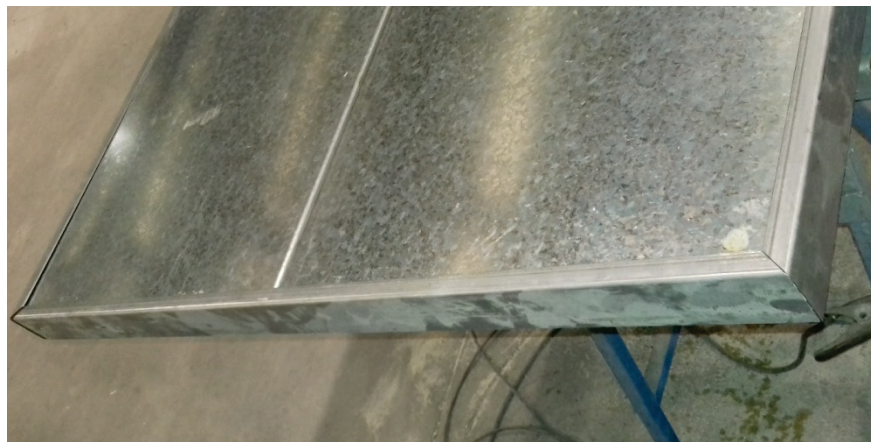


Figura 3-13. Aspecto de una hoja compuesta por paneles, una vez terminada

- Hojas compuestas por una única bandeja de chapa, consistente en dos bandejas de acero electrocincado de 0.7 mm de espesor. Cada una de estas bandejas avanza por la línea de producción, recibiendo los troquelados y plegados necesarios para su ensamble ulterior. Una vez introducido el núcleo aislante y dispensado el adhesivo, ambas bandejas se unen formando un solo cuerpo, para finalmente cerrarse mediante una perfiladora de rodillos. Es importante señalar, y esto supondrá una diferencia importante con el nuevo diseño propuesto, que el proceso de ensamble se realiza sin soldadura.

El resultado del proceso anterior es una hoja de 58 mm de espesor, compuesta de dos chapas de acero que albergan en su interior un núcleo aislante, que a su vez estará en función de la prestación de resistencia que ofrezca cada modelo (EI 60, EI 90, EI 120,...).

Esta tipología de hoja, aunque con algunas salvedades, sí podrá considerarse como un elemento de análisis y comparación para el

nuevo diseño, ya que compartirá con él gran parte de sus materiales y un mismo rango dimensional.

Una característica importante de estas hojas es la pestaña que recorre tres de sus cuatro lados (con excepción del lado inferior) y que proporciona un área de solape hoja-marco, muy útil a la hora de garantizar el sellado de las juntas, actuando simultáneamente con una junta intumescente. Estas pestañas ofrecen a la puerta una garantía extra en lo que a comportamiento se refiere, sin embargo suponen un perjuicio estético y, debido a su facilidad de deformación, dificultan muchas veces el ajuste de la hoja o se convierten en puntos de enganche.

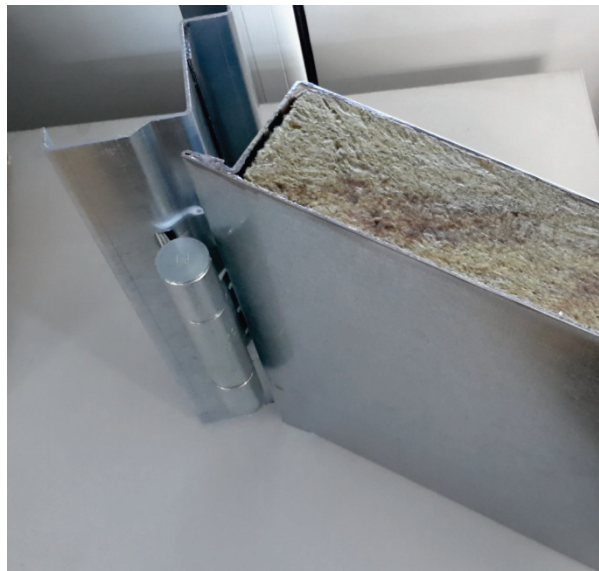


Figura 3-14. Sección transversal de la hoja estándar

El nuevo diseño de puerta no sólo incorporará herrajes ocultos, sino que prescindirá del solape tradicional entre hoja y marco, un hándicap más a tener en cuenta, especialmente en el momento de dimensionar las holguras y las juntas intumescentes requeridas en esta zona.

Como contrapartida, en el diseño final sólo se apreciarán líneas rectas y una única superficie frontal, donde marco y hoja quedarán situados en un mismo plano.

3.2.3 Bisagras

Dentro de los modelos de puerta batiente cortafuego comercializados hasta el momento, la solución con que se resuelve el giro es un juego de bisagras aéreas, que pueden ser de dos tipos:

- Atornilladas al marco y a la hoja. Este tipo de bisagras se utilizan en las puertas y portones industriales que se vieron anteriormente. En definitiva, son bisagras vistas con un tamaño considerable destinadas a aplicaciones muy determinadas y/o hojas de grandes dimensiones.



Figura 3-15. Representación de la bisagra aérea empleada en puertas industriales

- Soldadas al marco y atornilladas a la hoja. Estas bisagras son de uso común entre la mayoría de fabricantes y constituyen una buena solución para la mayoría de las exigencias.

Es bien conocido que toda bisagra aérea sufre un mayor deterioro o desgaste, sin obviar que podría llegar a ser manipulada o desarmada con relativa facilidad por una persona no autorizada. El comentario precedente se refiere exclusivamente a algunos aspectos funcionales; en la faceta estética cabe mencionar que además de ser un elemento visto, puede suponer un obstáculo o impedimento en aquellos casos donde los marcos queden enrasados con el paramento o se pretenda panelar las superficies adyacentes.

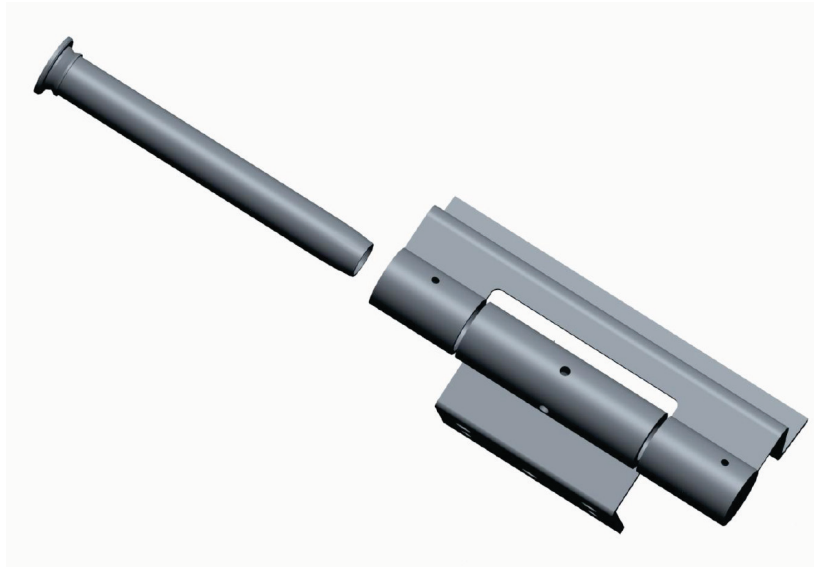


Figura 3-16. Representación de la bisagra aérea empleada en puertas estándar

Sí es cierto que el concepto de bisagra oculta ya se aplica para pequeños cerramientos de armarios o registros técnicos cortafuego, que no presentan exigencias en cuanto a evacuación, durabilidad del autocierre, etc...En los cerramientos anteriores resulta relativamente sencillo incorporar bisaras ocultas simples y de pequeño tamaño, mientras que las puertas cortafuego deberán estar previstas para un uso intensivo y una durabilidad determinada, además de soportar unas cargas superiores.

El nuevo reto supondrá la incorporación de una nueva bisagra, capaz de cumplir con los requisitos estéticos y funcionales mencionados más arriba. Éste será un punto clave dentro del diseño de la nueva puerta, pues resolver la elección de la nueva bisagra no será suficiente, también habrá que trabajar sobre su integración con el nuevo marco y la nueva hoja.

3.2.4 Cierrapuertas

Hasta el inicio del presente proyecto, nunca se había contemplado un cierrapuertas oculto dentro de la oferta general; sólo puntualmente se habían producido prototipos y unidades especiales bajo encargo. Es ahora cuando surge la necesidad de realizar un nuevo diseño, junto con una bisagra oculta, con el fin último de someter a ensayo e incorporar al catálogo de productos.

De sobra son conocidos los sistemas cierrapuertas convencionales de brazo que, además de ser totalmente aéreos, requieren de un cierto volumen para hacer su maniobra.



Figura 3-17. Representación de un cierrapuertas aéreo de brazo

Así mismo, existen soluciones más sofisticadas, las cuales ya han sido introducidas en diseños anteriores, consistentes en un cierrapuertas de leva con guía en superficie. Un ejemplo puede apreciarse en la Figura 3-18.



Figura 3-18. Representación de un cierrapuertas aéreo de guía

El cierrapuertas que pretendo implantar será de tipo oculto, cuya dificultad reside en que el cuerpo del cierrapuertas debe quedar alojado en la hoja y la guía en el marco superior de la puerta, sin que se produzcan transmisiones de calor y evitando que puedan producirse fugas de aceite del cuerpo que puedan originar llamas o combustiones no deseadas.

Es decir, una vez más será imprescindible contemplar la integración de este elemento con los nuevos diseños de marco y hoja.

3.2.5 Selector coordinador del cierre de las hojas

En el caso de las puertas de dos hojas con solape, se hace necesario garantizar el correcto cierre de las mismas, favoreciendo el cierre de la hoja pasiva en primer lugar, para después finalizar la secuencia de cierre con el asiento de la hoja activa sobre la hoja pasiva. El herraje que permite lograr esta función se conoce con el nombre de selector de cierre y puede encontrarse con distintos diseños.

Hasta el momento, todos los diseños han empleado un modelo como el de la Figura 3-19, una decisión impulsada por la sencillez del mecanismo, así como la facilidad de montaje y ajuste. Si bien se trata de una solución eficaz y ampliamente extendida, el aspecto estético vuelve a suponer un inconveniente a la hora de presentar soluciones vanguardistas y bien integradas en el conjunto de la puerta.

Todo lo anterior me conduce a la búsqueda de un nuevo herraje que pueda acogerse en el nuevo diseño, al igual que se planteaba con otros elementos como bisagras y cierrapuertas. Afortunadamente, existen soluciones en el mercado que integran la función de autocierre con la función de coordinación de cierre, gracias a una guía común alojada en el interior del marco.

Por consiguiente, las implementaciones de un cierrapuertas oculto y de un selector de cierre integrado pueden reducirse a un único problema, ya que una vez resuelta la adaptación de la guía común el conjunto dispondrá de las dos funcionalidades pretendidas.



Figura 3-19. Representación de un selector de cierre aéreo estándar

CAPÍTULO 4

MODELADO DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO



4 MODELADO DEL COMPORTAMIENTO AL FUEGO

El presente capítulo se centra en los ensayos de comportamiento al fuego, presentando dos tipologías de ensayo realizadas en los laboratorios de GIDAI y cuyos resultados servirán de apoyo a la hora de culminar el proceso de diseño de las puertas. Los ensayos aquí descritos son ensayos a pequeña escala: ensayos de caracterización térmica (TGA) y ensayos de diferentes secciones de la puerta siguiendo una metodología de ensayo creada por el propio equipo de la Universidad de Cantabria.

4.1 Ensayos de caracterización térmica (TGA)

Aquí se trata de conocer el comportamiento térmico de dos de los materiales más comunes en el interior de una puerta cortafuego y que tienen un papel relevante en las prestaciones de la misma, como son la lana de roca y el adhesivo que fija los diferentes estratos y la parte metálica. En este apartado, se aportaron una serie de muestras empleadas usualmente en la fabricación de este tipo de puertas.

Un ensayo de caracterización térmica consiste en el análisis de la variación de masa de una muestra en función de la temperatura. De esta forma se identifican los procesos térmicos que sufre el material cuando éste incrementa su temperatura.

El tamaño de las muestras a ensayar en este tipo de ensayos es del orden de milímetros, con una masa asociada de miligramos. Los ensayos realizados se llevaron a cabo usando un portamuestras de Al_2O_3 con unas dimensiones de 6 mm de diámetro.

Para la realización de estos ensayos se empleó un equipo Netzsch STA 449 F3 Jupiter, siguiendo en todo momento las directrices de la norma ISO 11358.

4.1.1 Adhesivo

Como práctica habitual se recurre un adhesivo líquido para fijar los diferentes rellenos entre sí, además de unir el relleno a la lámina metálica. Este adhesivo consiste en una cola de silicato referenciada como BAKAR SI-010.

Tanto yo como el equipo de GIDAI consideramos que el adhesivo es un material definitorio en el comportamiento de las puertas cortafuego en un caso de incendio, motivo por el cual se estimó oportuno analizar su comportamiento en función de la temperatura.



Figura 4-1. Muestra de la cola de silicato ensayada

En este caso, se realizaron dos ensayos termogravimétricos (TGA) con un programa térmico de rampa constante, con temperaturas comprendidas desde los 30 °C hasta los 800 °C y un ritmo de calentamiento de 10 K/min.

4.1.2 Lana de roca

Para el caso de la lana de roca, se analizaron muestras provenientes de dos proveedores habituales y diferentes: Rockwool y Knauf.



Figura 4-2. Muestras de lana de roca analizadas

La Tabla 4-1 muestra las propiedades declaradas en las fichas técnicas de ambos materiales.

Marca	Densidad (kg/m ³)	Capacidad térmica (kJ/kgK)	Conductividad térmica (W/mK)	Máxima temperatura de servicio (°C)
Knauf insulation DRS fireboard D15	150	0.84	0.035	≤ 750
Rockwool 755	145	0.84	0.039 a 0.087	≤ 750

Tabla 4-1. Propiedades de las lanas de roca analizadas

En este caso, cada referencia de lana de roca fue sometida a dos ensayos TGA, con un programa de temperaturas idéntico al mencionado con anterioridad, que fue desde los 30 ° C hasta los 800 ° C y un ritmo de calentamiento de 10 K/min.

4.2 Ensayos de secciones de puerta cortafuego

A la hora de encarar un ensayo de fuego normalizado en horno son muchos los factores que introducen incertidumbre sobre el comportamiento que mostrará la muestra. Como he expuesto en repetidas ocasiones, el diseño que se pretende sacar adelante conlleva profundos cambios de geometría y de componentes, con lo que, en este caso, no contaba con una experiencia previa que me permitiera asumir dichos cambios como convencionales o menores.

Con el objetivo de disponer de información relevante con anterioridad a la ejecución de los ensayos normalizados a escala real, ensayos que se desarrollan en condiciones de exigencia equivalentes a las de un incendio real, se planteó la posibilidad de crear un método que permitiera realizar un análisis comparativo de las prestaciones de diferentes diseños de puertas cortafuego, mediante un nuevo método de ensayo a escala, a aplicar sobre las secciones más críticas de la puerta.

4.2.1 Diseño del método de ensayo

La correcta realización de la idea anterior entraña un alto grado de complejidad, siendo necesario un trabajo previo para la selección de dimensiones, características y metodología del ensayo. En los siguientes párrafos explicaré el proceso que se siguió y que finalizó con la construcción de una estructura capaz de recibir distintas secciones de tamaño 300 x 300 mm.

A la hora de definir el procedimiento de ensayo se hace necesario tener en cuenta que:

- Los ensayos a escala real que se propone realizar el fabricante tendrán una duración mínima de 68 minutos.

- Las muestras a ensayar deben ser calentadas a unas temperaturas que sean representativas de las de un ensayo normalizado, entre 800 °C y 1000 °C, que es la temperatura que alcanza la curva ISO en el entorno de los 60 minutos de ensayo.

A fin de verificar que el portamuestras prototipo alcanzaba los requerimientos anteriores, el equipo de GIDAI realizó un modelo CFD, empleando el software Fire Dynamics Simulator, para así realizar una estimación de las temperaturas posibles, tanto en fase gas como sólida, colocando la muestra sobre una fuente de ignición, en este caso, una bandeja de combustible.

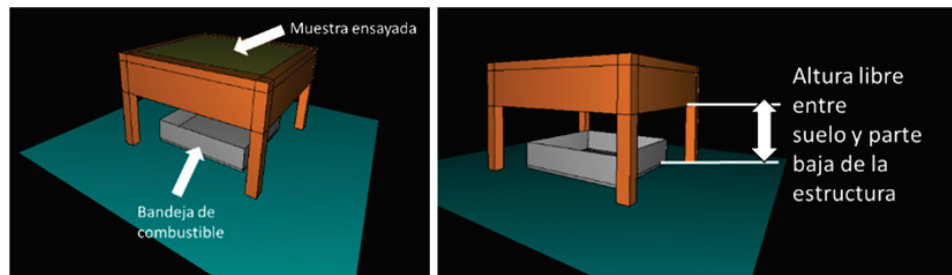


Figura 4-3. Modelo CFD construido con FDS

Se prepararon varias simulaciones, en función de la altura libre entre la bandeja y la parte baja de la estructura portamuestras, buscando un punto de separación óptimo, con buena oxigenación y poca pérdida de calor, que permitiera obtener temperaturas estables y en el rango del ensayo normalizado.

Con estos datos se construyó el prototipo definitivo para la ejecución de los ensayos, con una distancia entre el piso y la parte inferior de la muestra de 27.5 cm.

4.2.2 Muestras ensayadas

Una vez definida y construida la estructura de ensayos, se procedió al ensayo de las distintas muestras. La Tabla 4-2 resume las muestras ensayadas y sus composiciones, debiéndose tener en cuenta que todas las probetas tienen unas dimensiones de 300 x 300 mm, pudiendo variar el espesor.

Número de test	Configuración	Tipo	Ubicación
1	Relleno de lana de roca (1,2mm+56mm+1,2mm)	Certificada	Sección central
2	Relleno de lana de roca (1mm+68mm+1mm)	Experimental	Sección central
3	Relleno de lana de roca + Promatec (1mm+6mm+56mm+6mm+1mm)	Experimental	Sección central
4	Bisagra en el interior de la puerta	Experimental	Próximo al marco
5	Manilla	Experimental	Próximo al marco
6	Bisagra en el exterior de la puerta	Certificada	Próximo al marco
7	Manilla	Certificada	Próximo al marco

Tabla 4-2. Propuesta de muestras a ensayar

La ubicación de las secciones anteriores en el conjunto de la puerta queda de manifiesto en la Figura 4-4.



Figura 4-4. Ubicación de las secciones de la puerta a ensayar

Adicionalmente, la configuración de las secciones ensayadas se resume en la Figura 4-5.

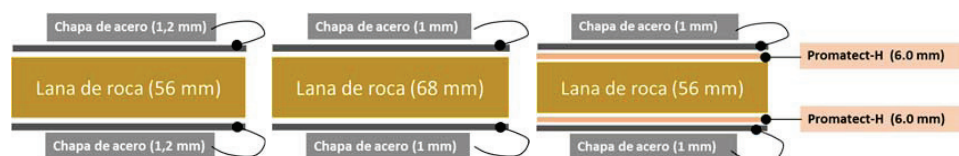


Figura 4-5. Configuración de las distintas secciones centrales a ensayar

4.2.3 Monitorización de los ensayos

Los ensayos se monitorizaron midiendo las temperaturas del aire en el interior del recinto, además de las temperaturas en ambas caras de cada muestra, expuesta y no expuesta, mediante termopares soldados a la superficie.

Las siguientes figuras sirven de compendio de la situación de los termopares en los diferentes ensayos para cada muestra:

Test 1 – Sección central. Lana de roca (1.2mm+56 mm+1.2mm)

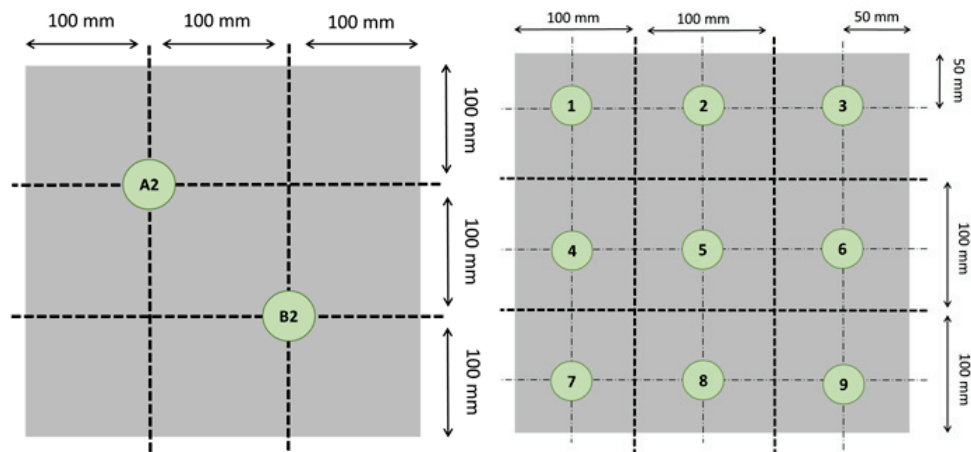


Figura 4-6. Sección central test nº1: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 2 – Sección central. Lana de roca (1.0mm+68 mm+1.0mm)

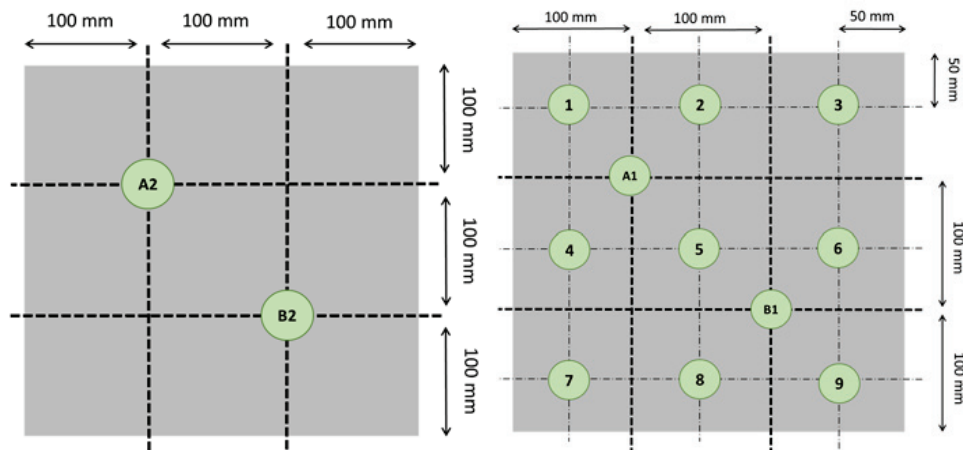


Figura 4-7. Sección central test nº2: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 3 – Sección central. Lana + silicato (1.0mm+6 mm+56mm+6mm+1.2mm)

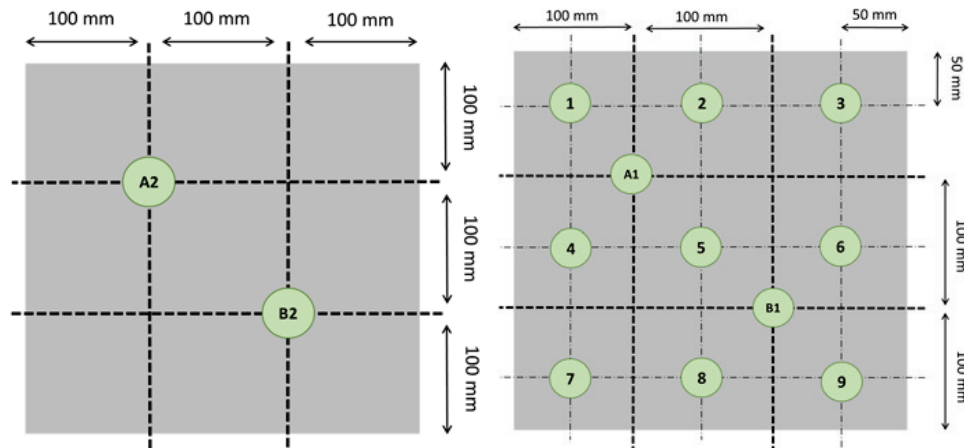


Figura 4-8. Sección central test n°3: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 4 – Sección lateral en nuevo diseño. Bisagra oculta + marco.

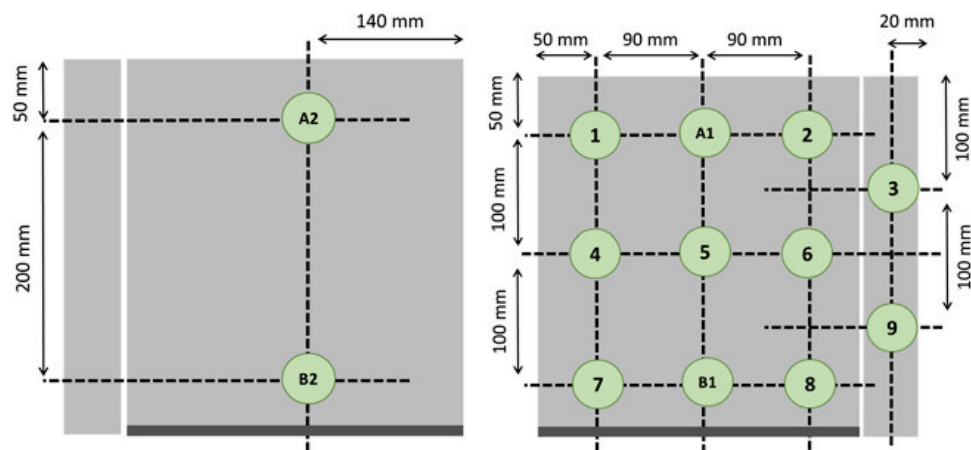


Figura 4-9. Sección central test n°4: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 5 – Sección lateral en nuevo diseño. Manilla + marco.

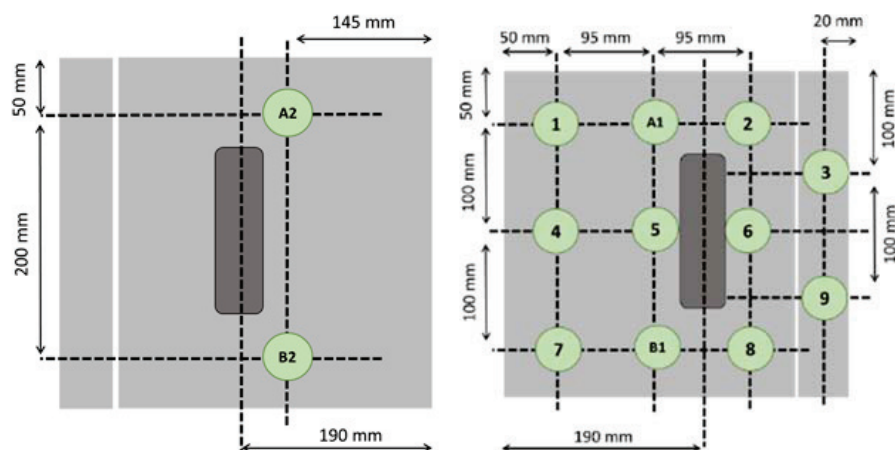


Figura 4-10. Sección central test n°5: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 6 – Sección lateral en diseño conocido. Bisagra aérea + marco.

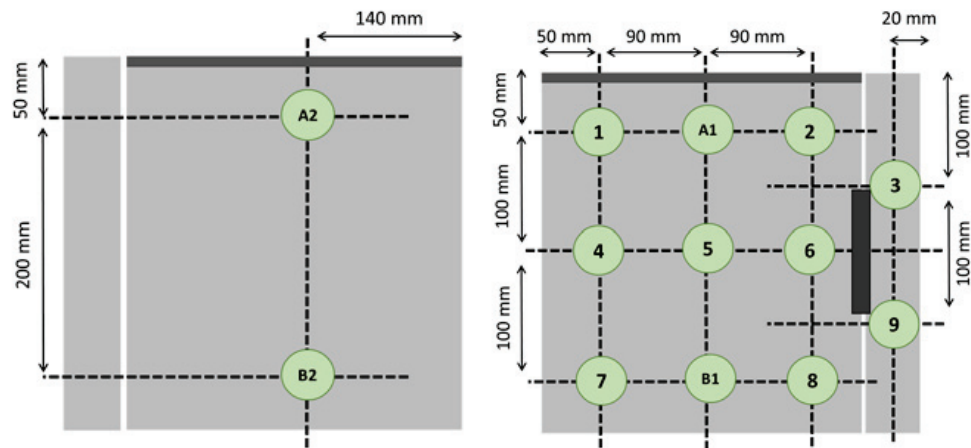


Figura 4-11 Sección central test n°6: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Test 7 – Sección lateral en diseño conocido. Manilla + marco.

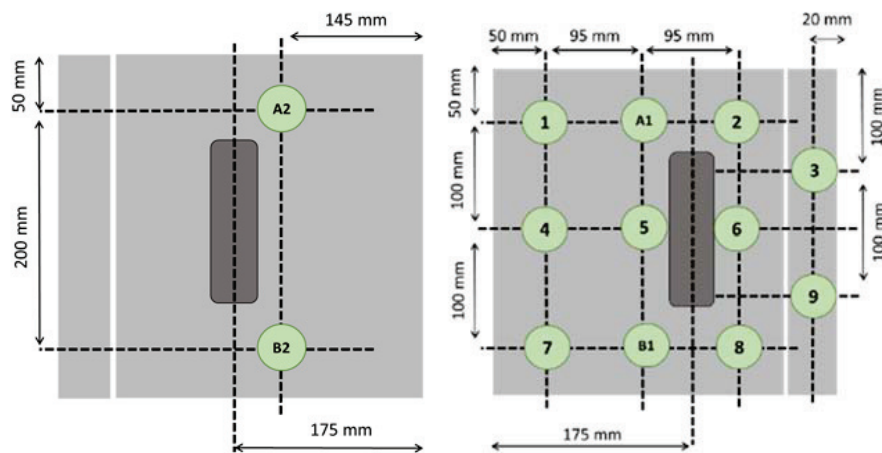


Figura 4-12. Sección central test n°7: cara expuesta (izda) + cara no expuesta (dcha)

Finalmente, la Figura 4-12 muestra, a modo de ejemplo, la ubicación de los termopares en el test n°4, donde la bisagra del nuevo diseño se encuentra oculta en el interior de la hoja de la puerta.

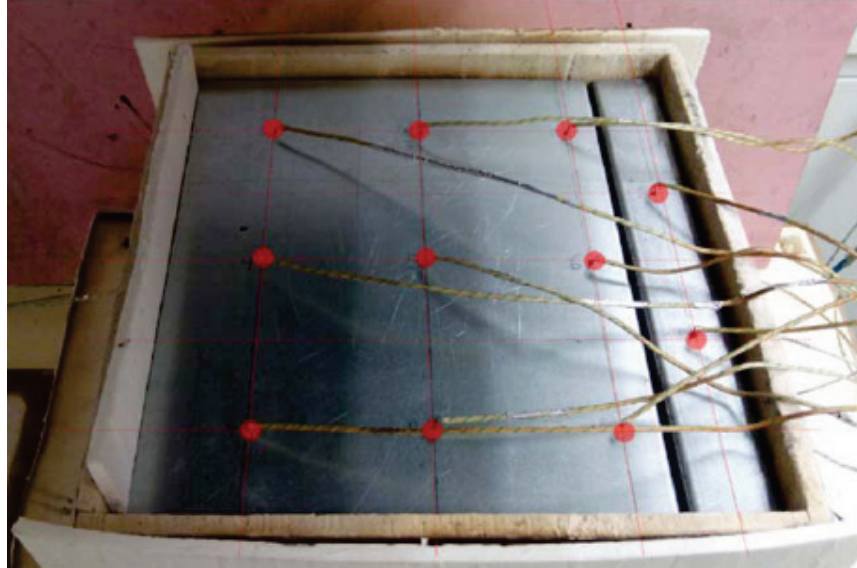


Figura 4-13. Ejemplo de ubicación de los termopares sobre la cara no expuesta de la muestra en el test nº4

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capítulo comentaré los resultados de los diferentes ensayos realizados en los laboratorios y cuya metodología fue mostrada en el capítulo anterior. Al mismo tiempo, se discutirá su idoneidad para el análisis frente a los datos disponibles en los informes de ensayo de los diseños conocidos.

5.1 Ensayos de caracterización (TGA)

Tal y como quedó de manifiesto anteriormente, los ensayos de caracterización o TGA se llevaron a cabo sobre dos de los componentes más decisivos a la hora de valorar el comportamiento de la puerta cortafuego: el adhesivo y el aislamiento de lana de roca.

5.1.1 Adhesivo

Primeramente, en la Figura 5-1 que se presenta a continuación, se recogen los resultados de los dos ensayos termogravimétricos realizados para el adhesivo.

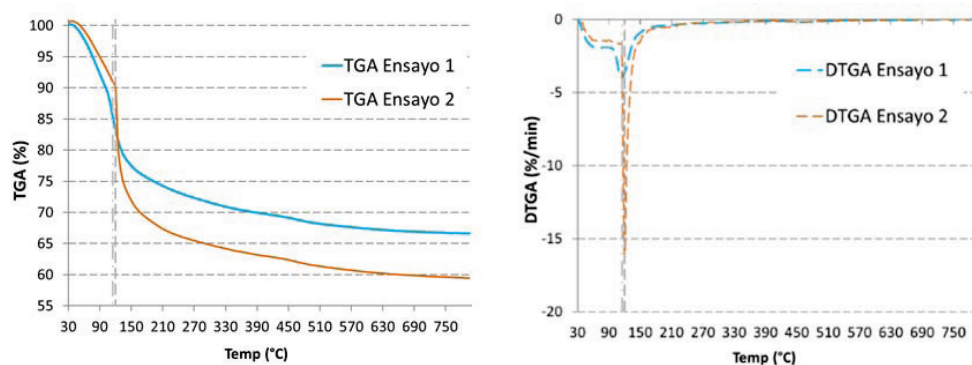


Figura 5-1. Resultados de los ensayos TGA del adhesivo: TGA (izda) y DTGA (dcha)

Por otra parte, las figuras que aparecen más abajo muestran el estado de las muestras ensayadas antes y después de ser sometidas a ensayo.

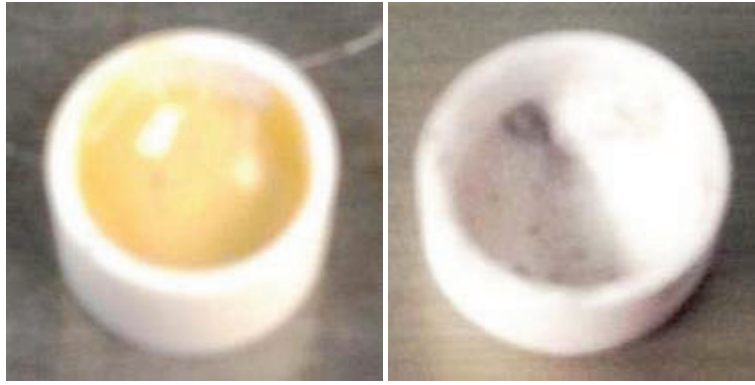


Figura 5-2. Muestras de adhesivo ensayadas en el test nº1: antes (izda) y después (dcha)

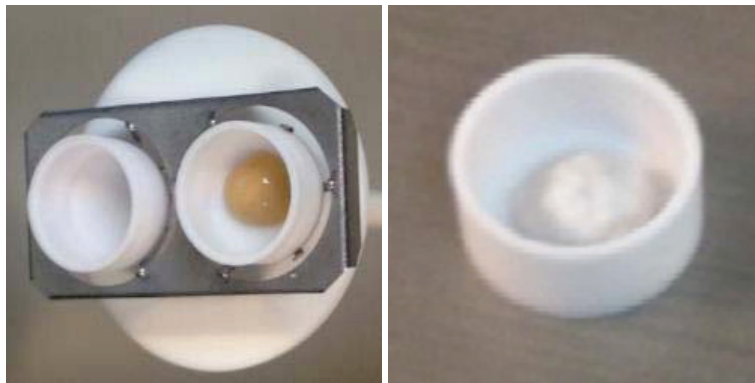


Figura 5-3. Muestras de adhesivo ensayadas en el test nº2: antes (izda) y después (dcha)

El resultado que puede deducirse de las gráficas anteriores es que produce un descenso de masa acusado para una temperatura de 115 °C en el test nº1 y de 120°C en el test nº2. Esto indica que el adhesivo comienza a degradarse entorno a estas temperaturas, hecho que provocará que la lana de roca comience a separarse de la parte metálica de la puerta.

Es necesario advertir que los resultados aquí obtenidos están en concordancia con otros ensayos similares realizados sobre adhesivos cuya base es el silicato. Esta conclusión, junto con las evidencias registradas en ensayos y lotes anteriores, hace pensar que este material es el adecuado para construir las muestras que se presentarán al laboratorio.

5.1.2 Lana de roca

Siguiendo el mismo procedimiento que en el caso anterior, en primer lugar se presentan las gráficas que recogen los dos ensayos TGA, llevados a cabo sobre dos muestras diferentes de lana de roca, a saber:

- Lana de roca de fabricante Knauf.
- Lana de roca del fabricante Rockwool.

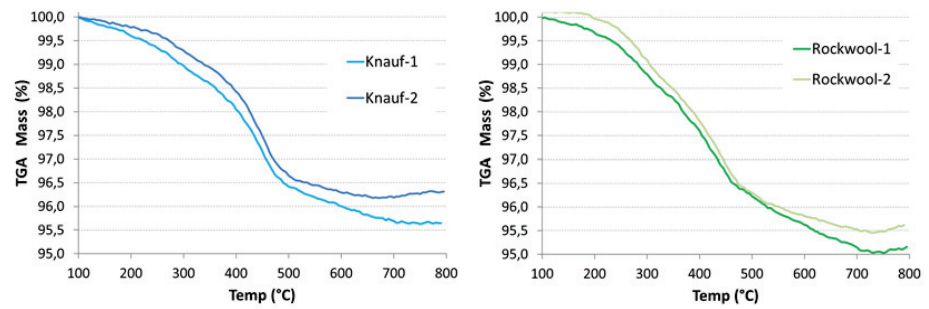


Figura 5-4. Resultados de los ensayos TGA de las lanas de roca: Knauf (izda) y Rockwool (dcha)

En ambos casos se decide realizar un ensayo de contraste, que permita encontrar unos valores más precisos. El estado de las muestras de lana de roca extraídas, antes y después del ensayo, puede apreciarse en las siguientes imágenes.



Figura 5-5. Muestra de lana de roca ensayada con referencia Knauf: antes (izda) y después (dcha)

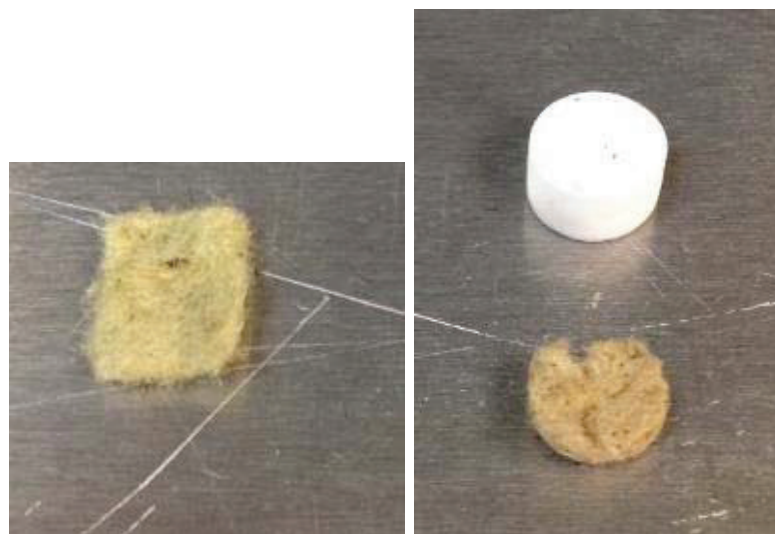


Figura 5-6. Muestra de lana de roca ensayada con referencia Rockwool: antes (izda) y después (dcha)

Los análisis muestran un comportamiento muy similar en el material de ambos fabricantes, degradándose de igual forma y perdiendo aproximadamente un 5% de su masa hasta alcanzar los 800 °C. Siendo así las cosas, la decisión en cuanto a la lana de roca estará motivada por otros aspectos, más bien comerciales, antes que por motivos técnicos.

En la Figura 5-7 aparecen las curvas TGA de todas las muestras de lana de roca probadas.

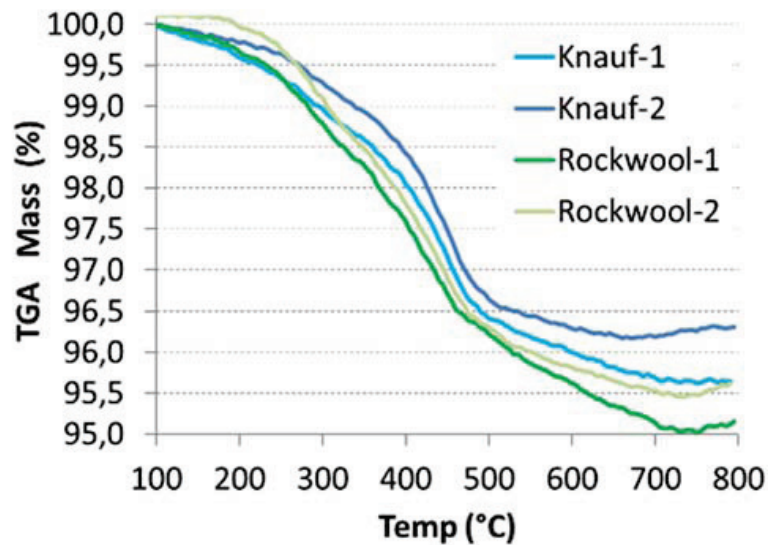


Figura 5-7. Curvas TGA de las muestras de lana de roca ensayadas

5.2 Ensayos de secciones de puerta cortafuego

Una vez superado el hito de los ensayos por termogravimetría, el siguiente paso, dentro del convenio de colaboración con el grupo GIDAI, será la preparación de los ensayos a escala sobre las secciones elegidas.

En cada uno de los apartados subsiguientes describiré los ensayos a escala realizados, así como las correlaciones halladas por simple comparación de resultados. Éste será un punto importante a la hora de completar los nuevos diseños, ya que supone una información adicional sobre el comportamiento de algunas secciones críticas de la puerta. El estudio a nivel local de estas secciones permitirá afrontar con mayores garantías el ensayo a escala real, donde todas y cada una de las modificaciones intervienen conjuntamente en el comportamiento del conjunto.

5.2.1 Ensayos sobre secciones centrales

5.2.1.1 Ensayo nº1

Esta sección central de la puerta está compuesta por relleno de lana de roca con un espesor de 56 mm y dos chapas de acero de 1.2 mm. El ensayo tuvo una duración de 1417 s, momento en el cual se consumió el todo combustible disponible.

Las temperaturas obtenidas en el aire del interior, próximas a la cara expuesta de la muestra, fueron las que se muestran en la Figura 5-8.

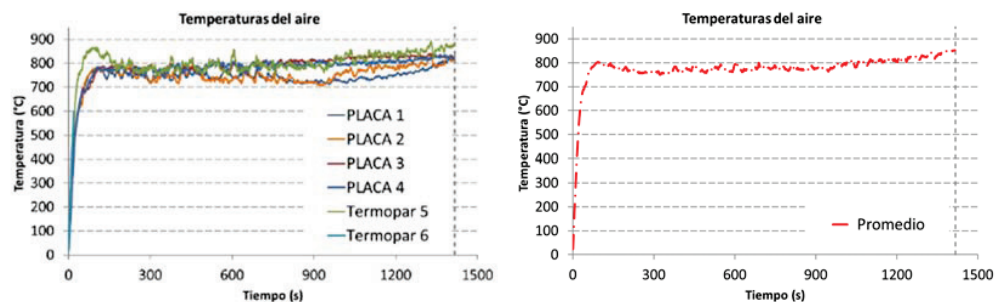


Figura 5-8. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

Así mismo, la Figura 5-9 muestra las temperaturas medidas en los termopares colocados en ambas caras de la muestra.

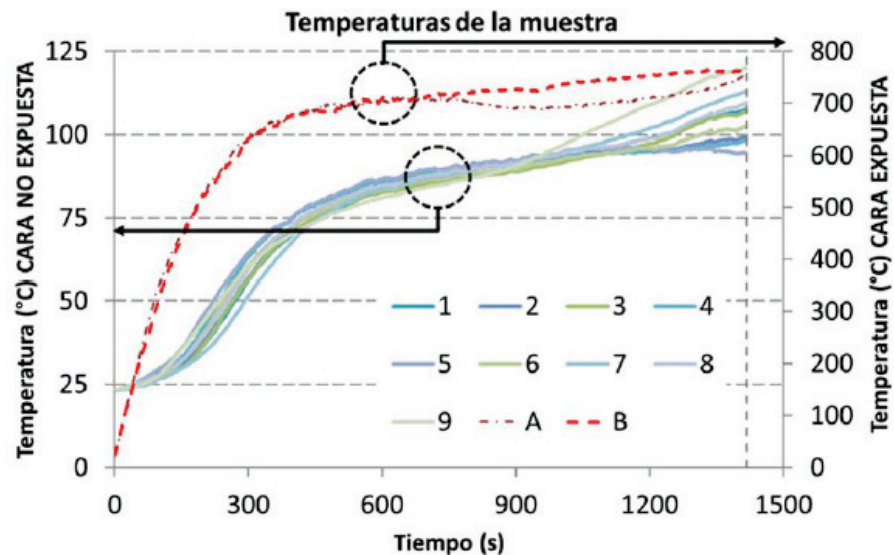


Figura 5-9. Temperaturas de los termopares colocados sobre la muestra

Centrando la atención en la cara no expuesta, las siguientes gráficas recogen los valores de los termopares en cada momento, así como los valores máximo y promedio.

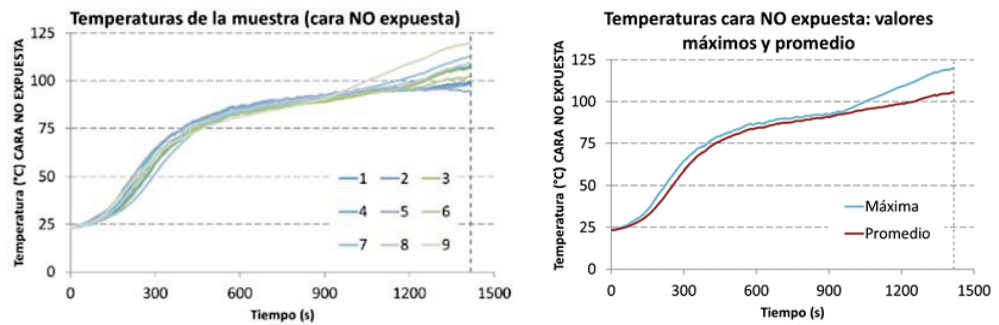


Figura 5-10. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)

Algunos momentos del ensayo quedan registrados en esta serie de imágenes:



Figura 5-11. Test nº1: muestra durante el ensayo

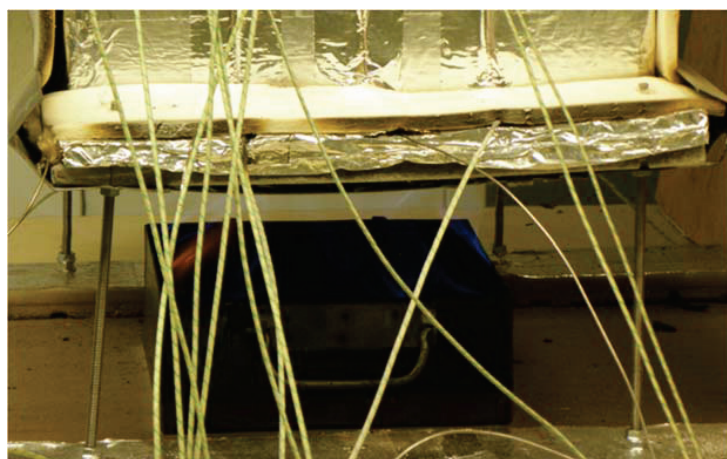


Figura 5-12. Test nº1: detalle de la bandeja de combustible durante el ensayo

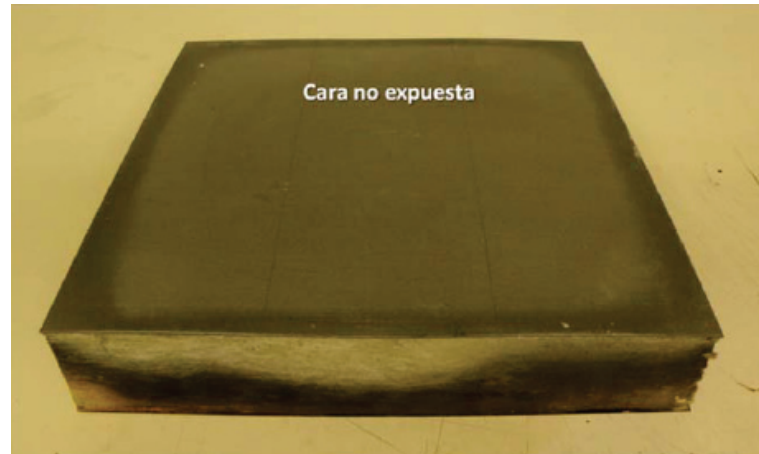


Figura 5-13. Test nº1: estado final de la muestra tras el ensayo

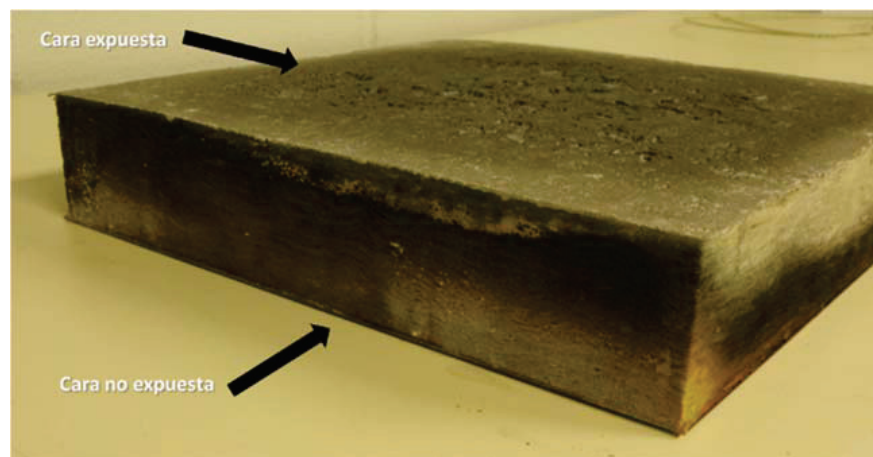


Figura 5-14. Test nº1: estado de la lana de roca tras el ensayo

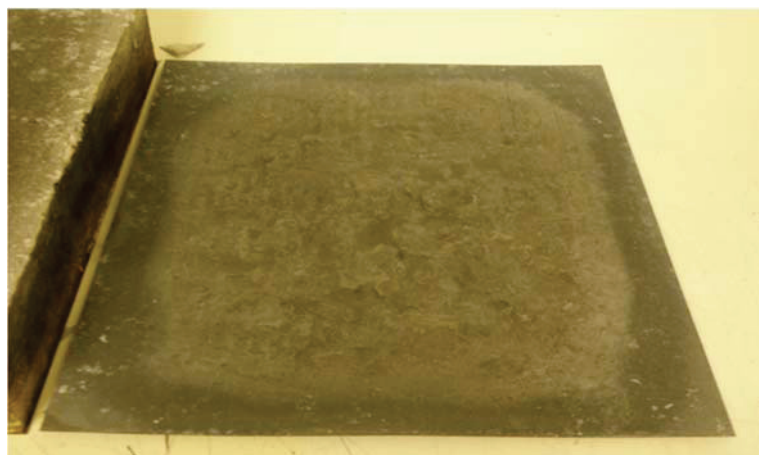


Figura 5-15. Test nº1: estado de la plancha metálica de la cara expuesta una vez finalizado el ensayo

5.2.1.2 Ensayo nº2

Esta sección central de la puerta está compuesta por relleno de lana de roca con un espesor de 68 mm y dos chapas de acero de 1.0 mm. El ensayo tuvo una

duración de 1637 s, momento en el cual se consumió el todo combustible disponible.

Las temperaturas obtenidas en el aire del interior, próximas a la cara expuesta de la muestra, fueron las que se muestran en la Figura 5-16.

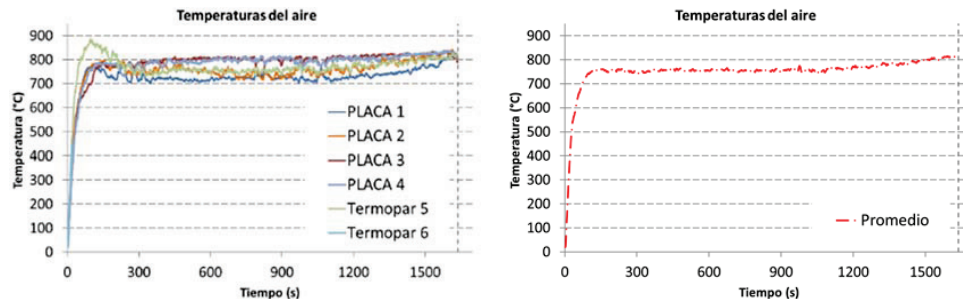


Figura 5-16. Temperaturas del aire: temperatura de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

Al igual que en el caso anterior, la Figura 5-17 muestra las temperaturas medidas en los termopares colocados en ambas caras de la muestra.

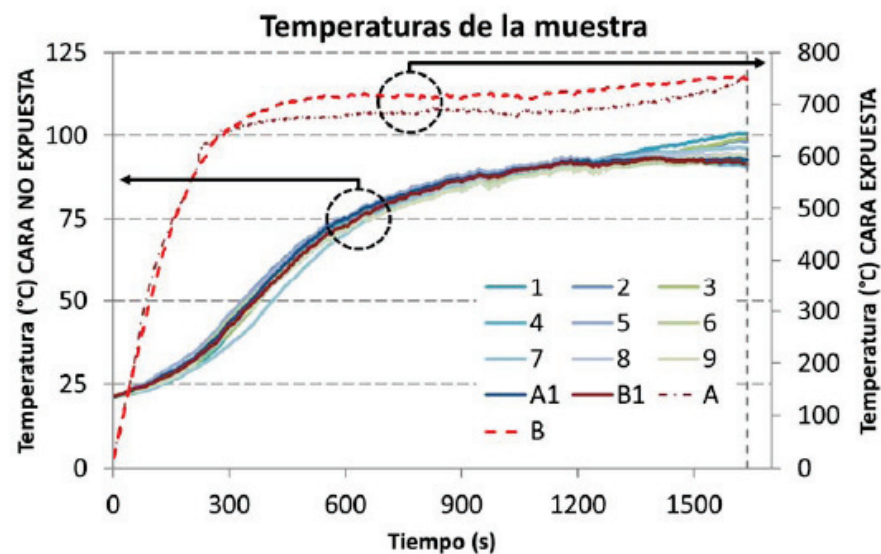


Figura 5-17. Temperaturas de los termopares instalados sobre la muestra

Con el fin de analizar la situación en la cara no expuesta, las siguientes gráficas recogen los valores de los termopares en cada momento, así como los valores máximo y promedio.

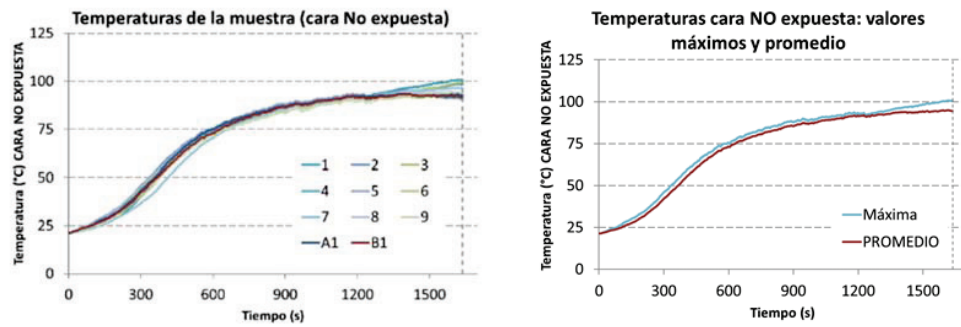


Figura 5-18. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)

Distintos instantes del ensayo quedan registrados en esta serie de imágenes:

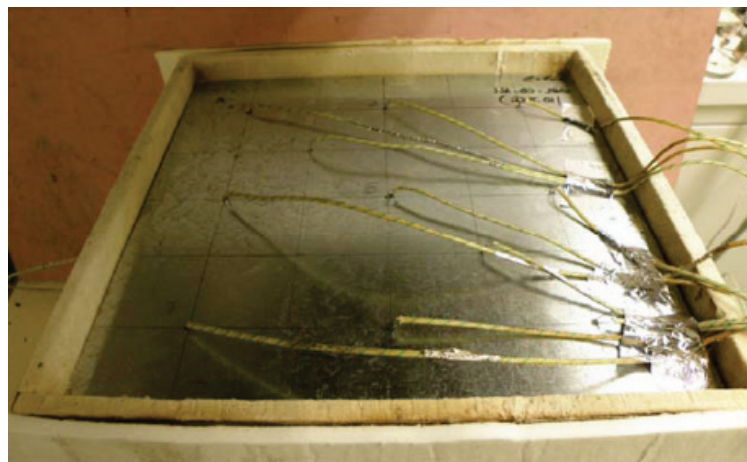


Figura 5-19. Test n°2: cara no expuesta de la muestra durante el ensayo, donde se aprecian los termopares individuales



Figura 5-20. Test n°2: detalle de la bandeja de combustible durante el ensayo

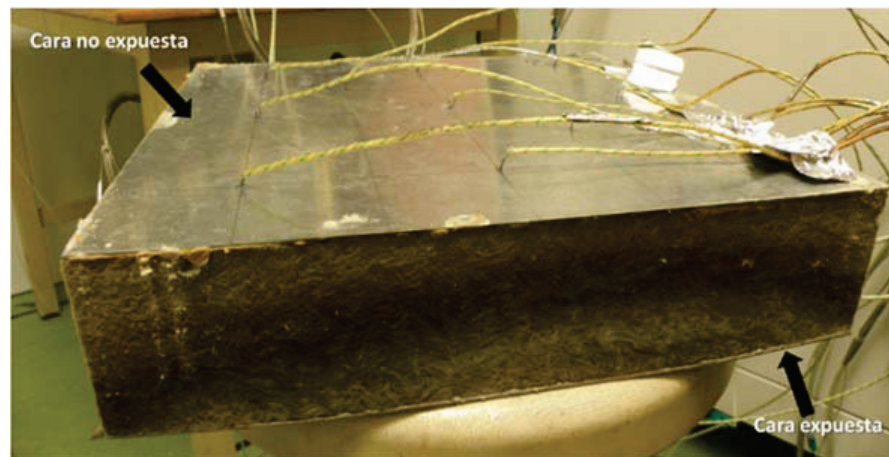


Figura 5-21. Test nº2: estado final de la muestra tras el ensayo



Figura 5-22. Test nº2: estado de la lana de roca una vez finalizado el ensayo

5.2.1.3 Ensayo nº3

Esta sección central de la puerta está compuesta por relleno de lana de roca con un espesor de 56 mm, dos placas de silicato exteriores de 6 mm y dos chapas de acero de 1.0 mm. El ensayo tuvo una duración de 1541 s.

Las temperaturas obtenidas en el aire del interior, próximas a la cara expuesta de la muestra, fueron las que se muestran en la Figura 5-23.

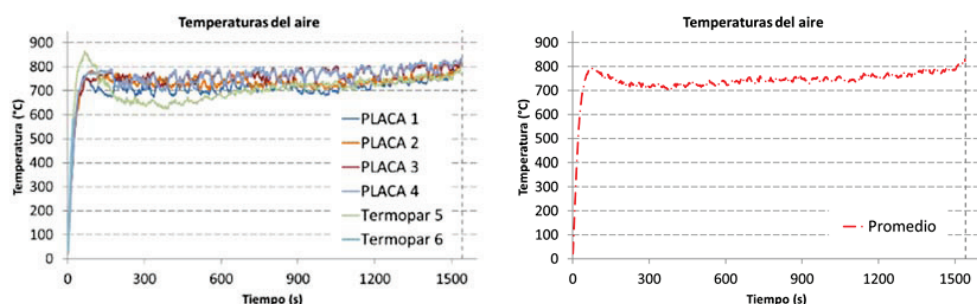


Figura 5-23. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

Así mismo, la Figura 5-24 muestra las temperaturas medidas en los termopares colocados en ambas caras de la muestra.

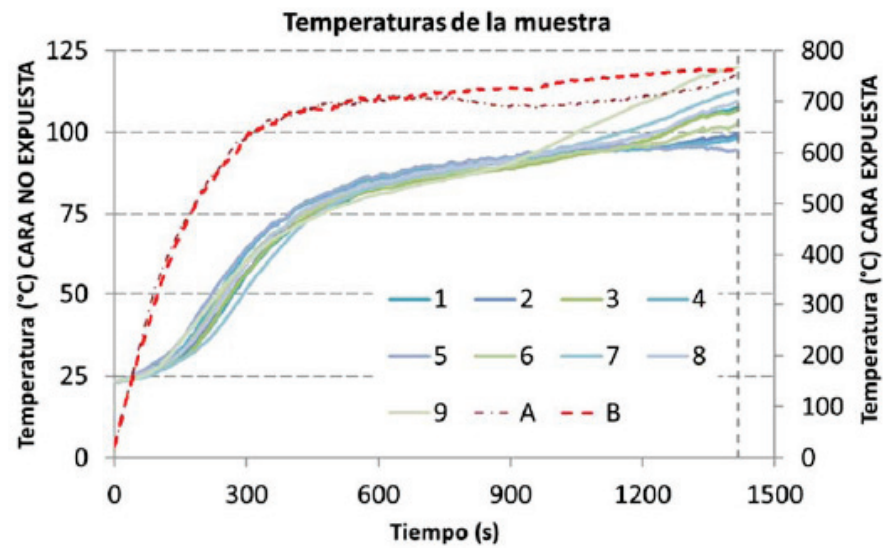


Figura 5-24. Temperaturas de los termopares instalados en la muestra

Seguidamente, se toman los valores de los termopares en la cara no expuesta; la Figura 5-25 recoge dichos valores en cada momento, así como el valor máximo y promedio.

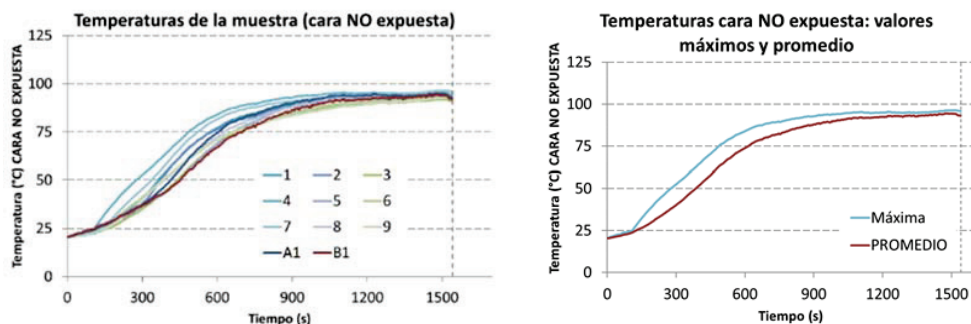


Figura 5-25. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta: valores individuales (izda); valor máximo y promedio (dcha)

Algunos momentos del ensayo quedan registrados en esta serie de imágenes:

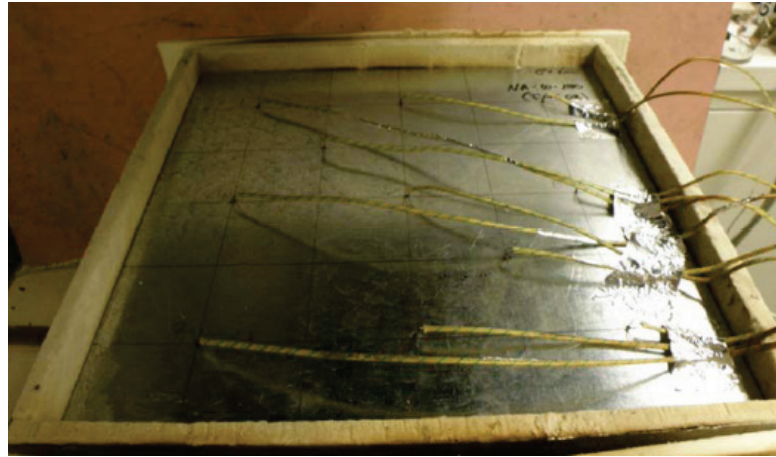


Figura 5-26. Test nº3: cara no expuesta de la muestra durante el ensayo, donde se aprecian los termopares individuales

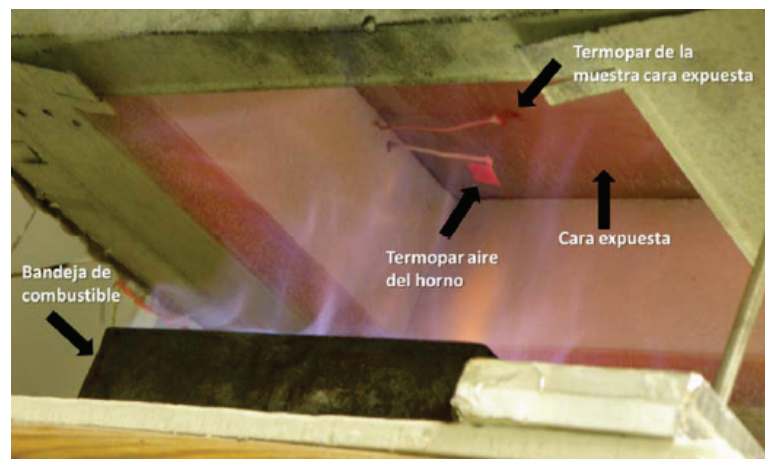


Figura 5-27. Test nº3: vista inferior de la muestra durante el ensayo, donde aparecen la bandeja de combustible y la cara expuesta de la muestra



Figura 5-28. Test nº3: estado final de la muestra tras en ensayo

5.2.1.4 Comparativa de resultados

En este apartado se muestran en conjunto las gráficas anteriormente expuestas para establecer una mejor comparación entre los ensayos de las distintas secciones centrales. Entonces, la Figura 5-29 es una agrupación de las temperaturas promedio del aire en la parte inferior de la muestra.

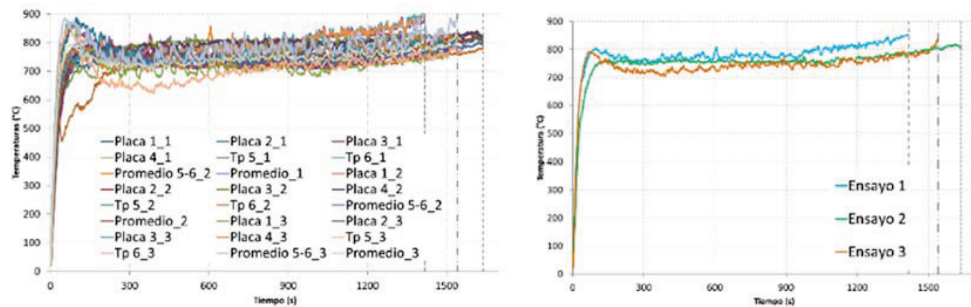


Figura 5-29. Temperaturas del aire en la parte inferior de la muestra: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperaturas promedio para cada ensayo (dcha)

Una de las primeras conclusiones que pueden extraerse es que la temperatura promedio de los tres ensayos es similar y queda comprendida entre los 700 °C y los 850 °C.

Con las temperaturas de las caras sometidas a ensayo se seguirá un proceso similar.

Comenzando por las temperaturas de la cara expuesta, la Figura 5-30 resume las diferentes situaciones que han tenido lugar en cada test.

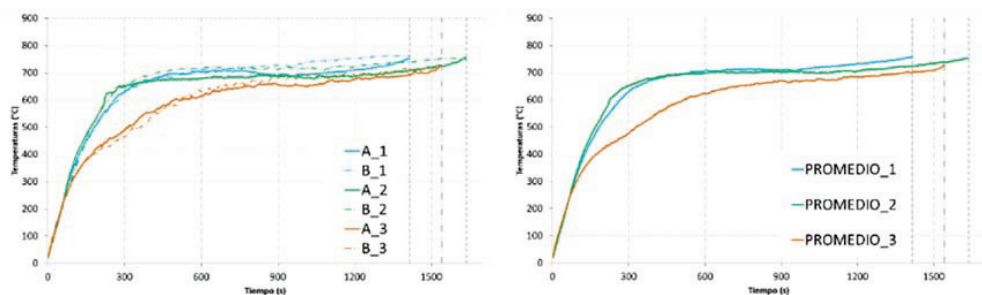


Figura 5-30. Temperaturas de la cara expuesta de las muestras: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)

Se puede apreciar que las muestras nº1 y nº2 tienen un comportamiento similar durante la fase de calentamiento, mientras que la muestra nº3 tiene un crecimiento de temperatura más lento. Este resultado entra dentro de lo previsto, ya que la muestra nº3 se encontraba sobredimensionada con dos placas de placa de silicato, a fin de cuantificar la posible mejora en el comportamiento de la sección.

Para confirmar este comportamiento frente al calentamiento, se realizaron dos simulaciones CFD reproduciendo los experimentos de laboratorio y con la estructura que se indica más abajo. Los resultados confirmaron el comportamiento visto en los ensayos de laboratorio.



Figura 5-31. Sección ensayada en FDS: material aislante a base de lana de roca



Figura 5-32. Sección ensayada en FDS: material aislante a base de lana de roca y placa de silicato Promatect-H

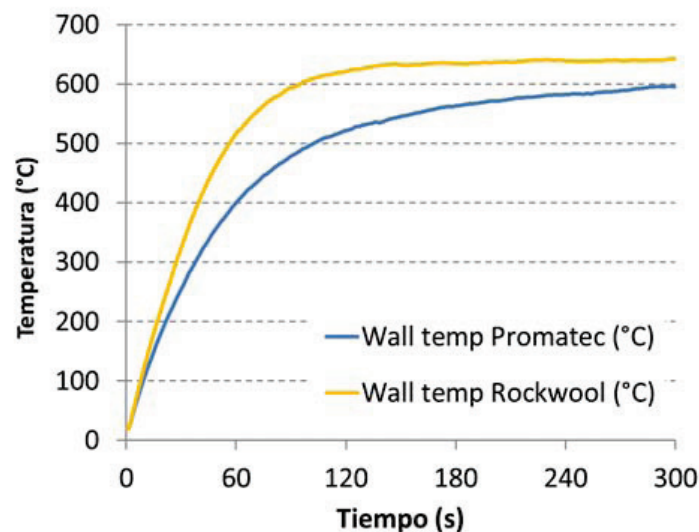


Figura 5-33. Resultados de la simulación CFD de las secciones correspondientes a los test n°2 y n°3

Continuando con los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio, la Figura 5-34 refleja las temperaturas alcanzadas en la cara no expuesta en los diferentes ensayos.

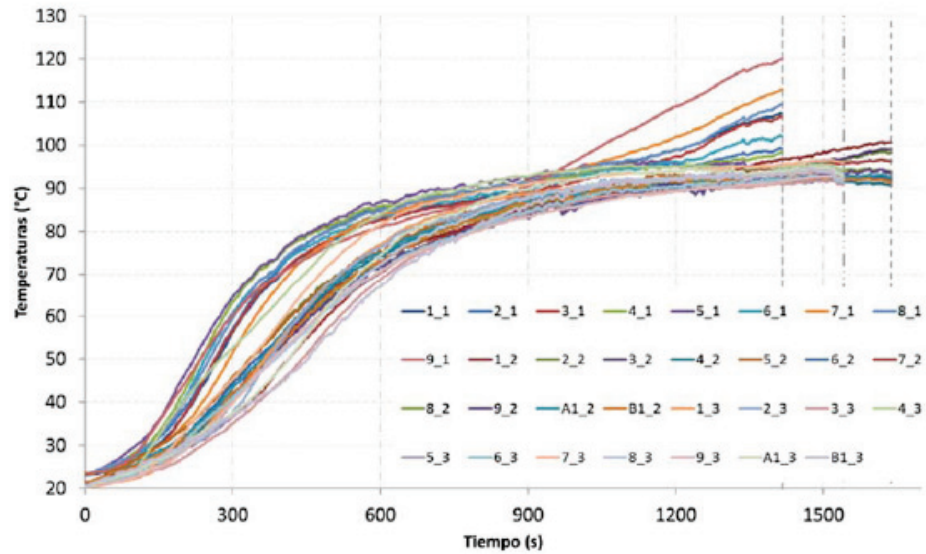


Figura 5-34. Temperaturas de la cara no expuesta para los tres ensayos

Abstrayéndonos de los valores puntuales de cada termopar, estas nuevas gráficas exponen la temperatura media y la temperatura máxima en cada momento de los tres ensayos

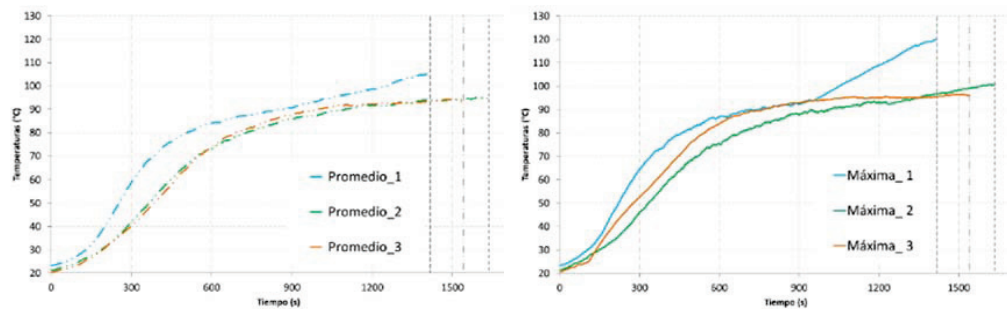


Figura 5-35. Temperaturas de la cara no expuesta de cada una de las muestras: temperatura promedio (izda) y temperatura máxima (dcha)

Se observa cómo el ensayo nº1, cuya muestra tiene un espesor total menor, la cara no expuesta sufre un calentamiento más rápido en comparación con las otras dos muestras ensayadas. Las muestras de los ensayos nº2 y nº3 tienen el mismo espesor, aunque la muestra nº3 se encuentra sobredimensionada con dos láminas de silicato y esto supone una notable mejora de las propiedades aislantes del conjunto. Los resultados de los ensayos muestran como esta característica no tiene excesiva influencia, puesto que las temperaturas de la cara no expuesta de ambas muestras son similares. No obstante, para situaciones donde se prolongue el tiempo de exposición, puede ser interesante y estaría del lado de la seguridad el introducir una placa de material silicato, muy estable en el tiempo a las altas temperaturas.

5.2.2 Ensayos sobre secciones laterales. Bisagras

5.2.2.1 Ensayo nº4

Este ensayo es el correspondiente a la zona de la bisagra del nuevo diseño, en la esquina inferior de la hoja y junto al marco, de forma totalmente oculta. El ensayo tuvo una duración de 1640 s, instante en el que se agotó el combustible.

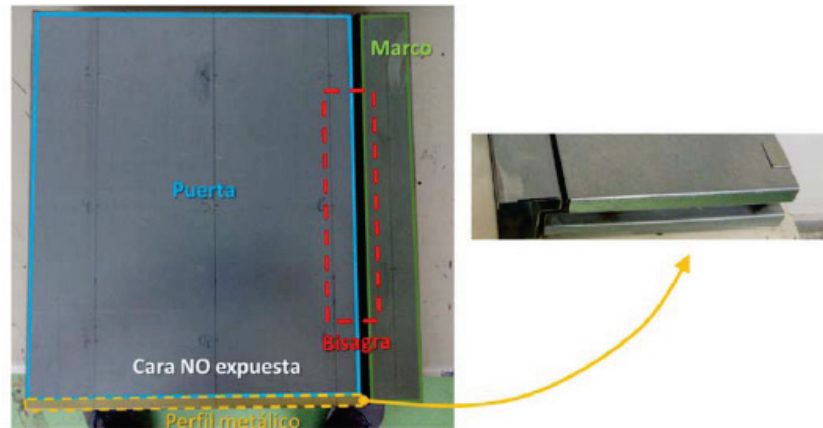


Figura 5-36. Sección preparada para el test nº4. Bisagra oculta en el interior de la muestra

Las temperaturas obtenidas en la fase gas en el interior del recinto de ensayo, próximas a la cara expuesta de la muestra, fueron las que se muestran en la Figura 5-37.

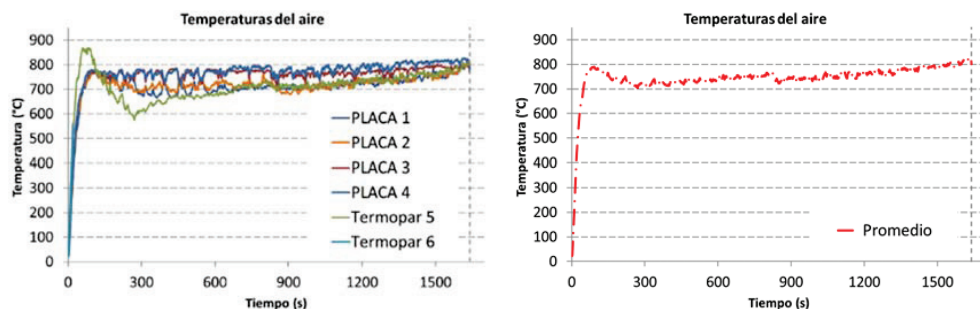


Figura 5-37. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

El calentamiento del aire, tanto en ritmo como en valores, es muy cercano al de los ensayos anteriores. La Figura 5-38 muestra las temperaturas medidas por los termopares situados en las caras de la muestra.

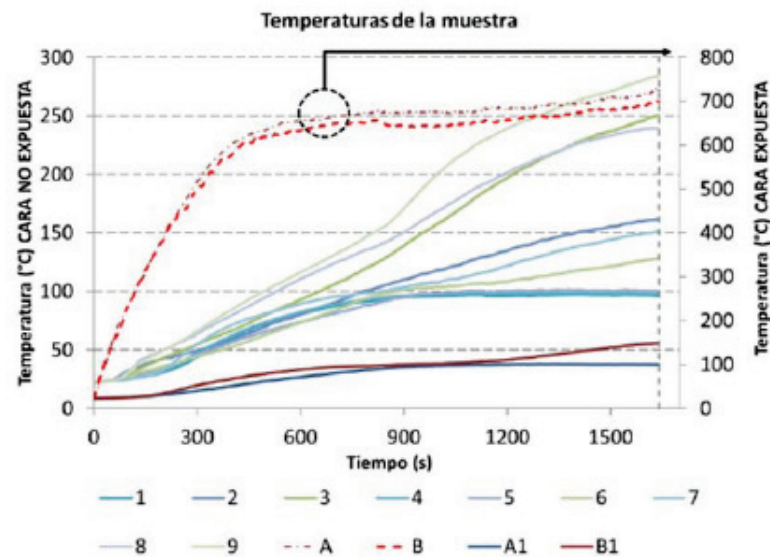


Figura 5-38. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra

Se observa, como no puede ser de otra forma, que las temperaturas en la cara expuesta son superiores a las de la cara no expuesta. En la siguiente figura se muestran únicamente las temperaturas de la cara no expuesta (las líneas discontinuas se identifican con los termopares ubicados en la parte que corresponde al marco de la puerta).

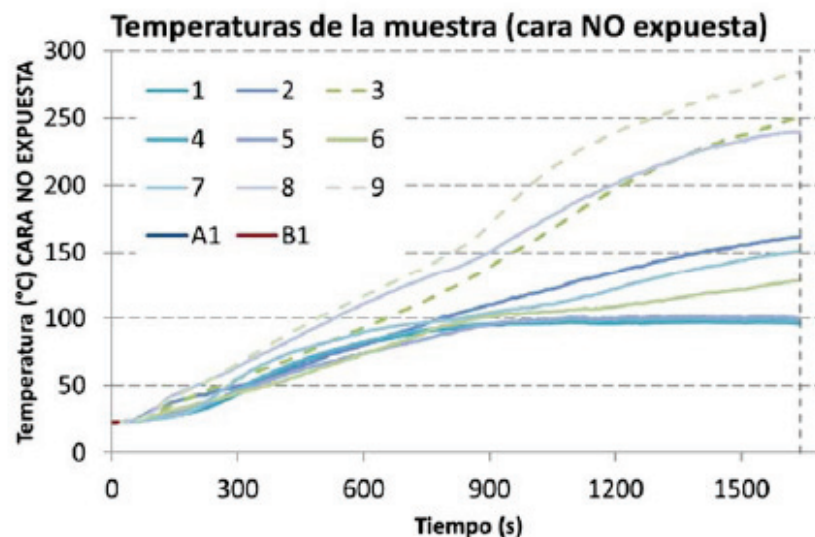


Figura 5-39. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra

Se puede observar que las temperaturas del marco son sensiblemente más elevadas que las de la hoja de la puerta. En la zona inferior derecha también se aprecia un aumento de la temperatura, en la zona que alberga el mecanismo de la bisagra.

Las temperaturas de ambas partes de la muestra pueden verse en las siguientes gráficas, además de los valores promedio.

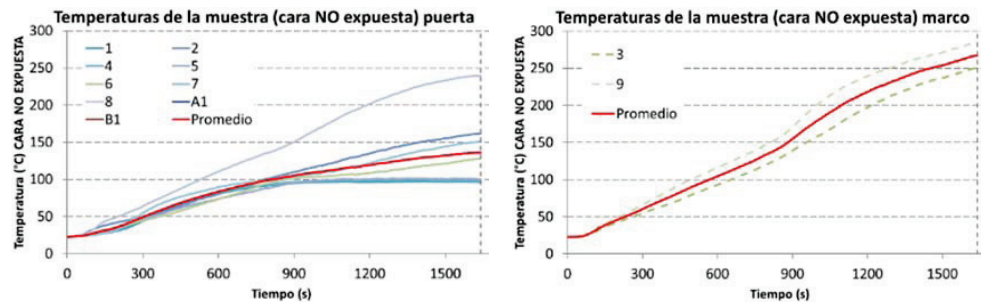


Figura 5-40. Temperaturas en cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)

Finalmente, las fotografías que aparecen a continuación recogen varios instantes del ensayo.



Figura 5-41. Test nº4: muestra preparada en la estructura de ensayo, con los termopares situados en la cara no expuesta



Figura 5-42. Test nº4: vista de la cara expuesta de la muestra durante el ensayo

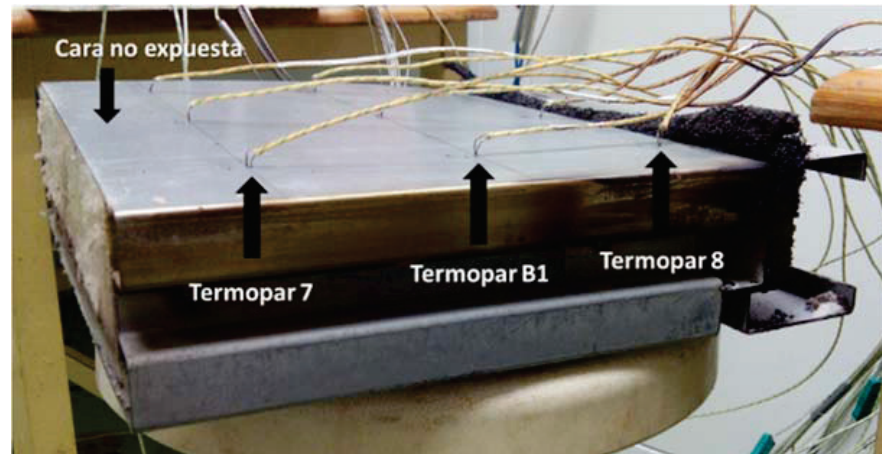


Figura 5-43. Test nº4: estado de la muestra tras el ensayo



Figura 5-44. Test nº4: estado del material aislante tras el ensayo



Figura 5-45. Test nº4: estado de la muestra (hoja y marco) una vez concluido el ensayo

5.2.2.2 Ensayo nº6

El ensayo nº6 es el correspondiente a la zona de la bisagra en un diseño ya contrastado, donde la bisagra queda ubicada en la esquina inferior de la hoja,

totalmente visible en la unión marco-hoja. El ensayo tuvo una duración de 1599 s, hasta el momento en que se consumió todo el combustible.

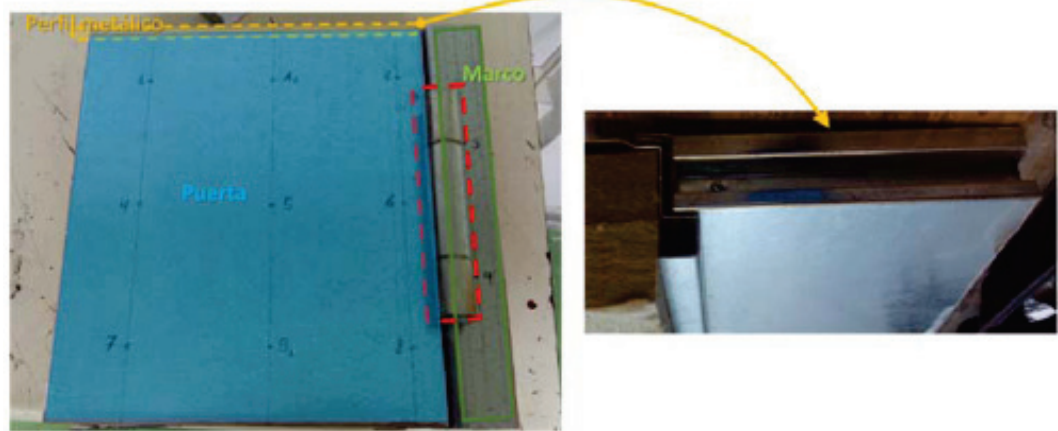


Figura 5-46. Sección preparada para el test nº6. Bisagra vista exterior a la muestra

Las temperaturas obtenidas en el aire del interior del recinto, próximas a la cara expuesta de la muestra, fueron las que aparecen en la Figura 5-47.

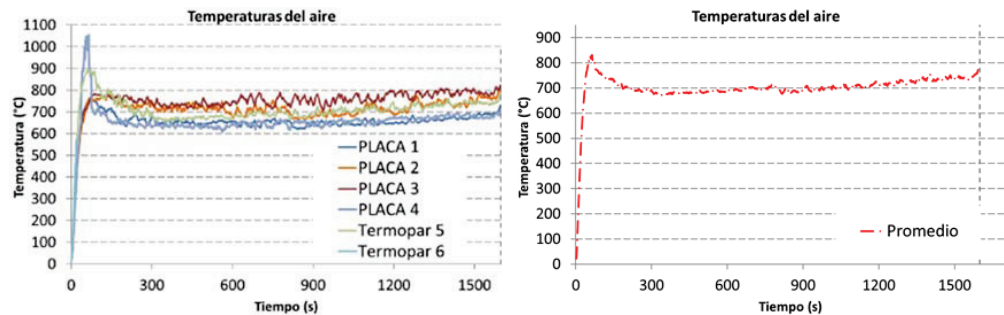


Figura 5-47. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

Las temperaturas del aire no se desvían de las registradas en los ensayos anteriores; lo mismo sucede con el ritmo de calentamiento.

A continuación, la Figura 5-48 contiene las temperaturas medidas por los termopares colocados en ambas caras de la muestra.

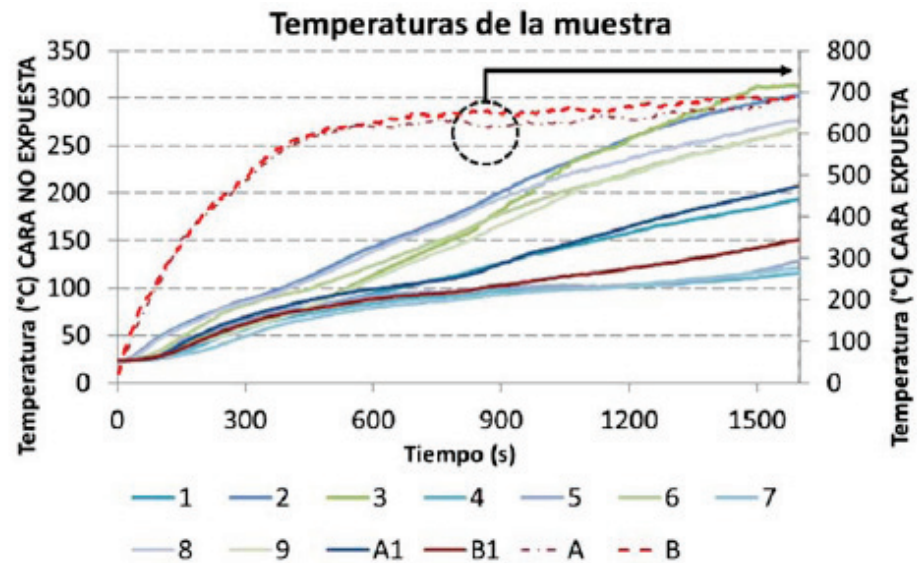


Figura 5-48. Temperaturas de todos los termopares instalados sobre la muestra

Se vuelve a observar que las temperaturas en la cara expuesta son superiores a las de la cara no expuesta. En la Figura 5-49 se muestran únicamente las temperaturas de la cara no expuesta (las líneas discontinuas se identifican con los termopares ubicados en la parte que corresponde al marco de la puerta).

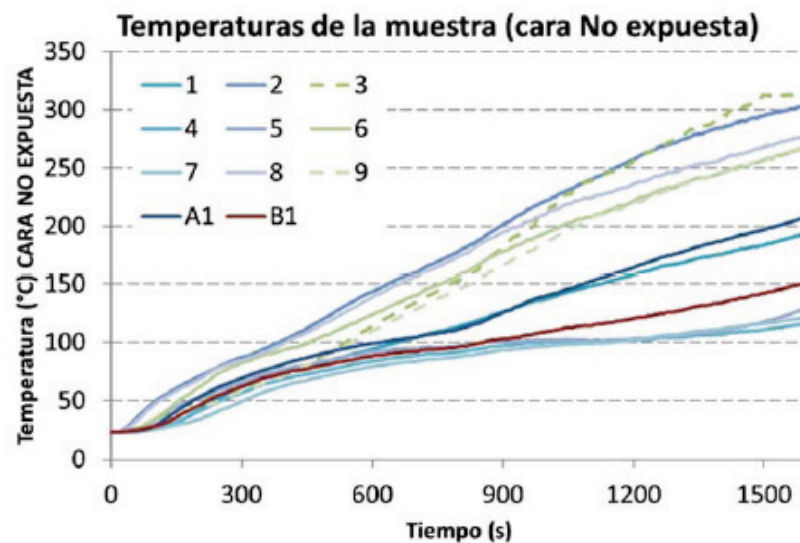


Figura 5-49. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra

Se puede observar que las temperaturas del marco son sensiblemente más elevadas que las de la hoja de la puerta. En la zona superior derecha también se aprecia un aumento de la temperatura, en la zona que alberga el mecanismo de la bisagra. Es el caso análogo al del ensayo nº4, donde en ese caso la bisagra se situaba en la parte inferior.

La Figura 5-50 muestra por separado las temperaturas de ambas piezas de la muestra.

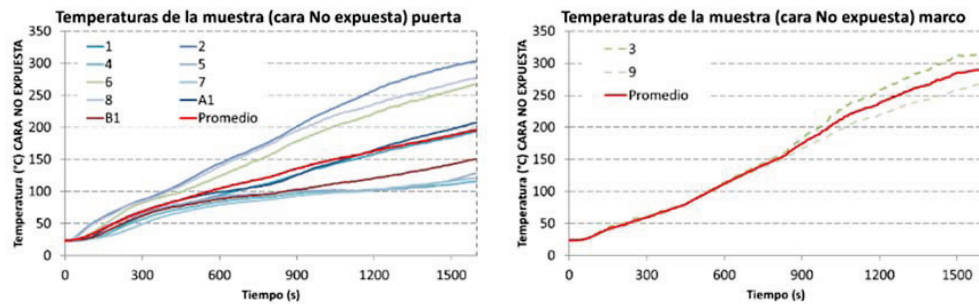


Figura 5-50. Temperaturas en la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)

Volvemos a observar que la temperatura promedio del marco es más elevada que la de la sección de la hoja de la puerta.

En este momento, se recogen algunas fotografías tomadas durante el transcurso del ensayo.



Figura 5-51. Test n°6: muestra preparada para el ensayo con los termopares preparados sobre su cara no expuesta



Figura 5-52. Test n°6: muestra durante el ensayo



Figura 5-53. Test nº6: estado de la cara no expuesta de la muestra tras el ensayo



Figura 5-54. Test nº6: estado del material aislante tras el ensayo



Figura 5-55. Test nº6: estado de la muestra (hoja y marco) una vez finalizado en ensayo

5.2.2.3 Comparativa de resultados

En este apartado se muestran, en conjunto, las gráficas anteriormente expuestas para mejorar la comparación entre las secciones ensayadas correspondientes a las bisagras con sus respectivos marcos. La Figura 5-56

muestra la comparación de las temperaturas promedio del aire en la parte inferior de la muestra, al igual que se hizo en otras comparativas.

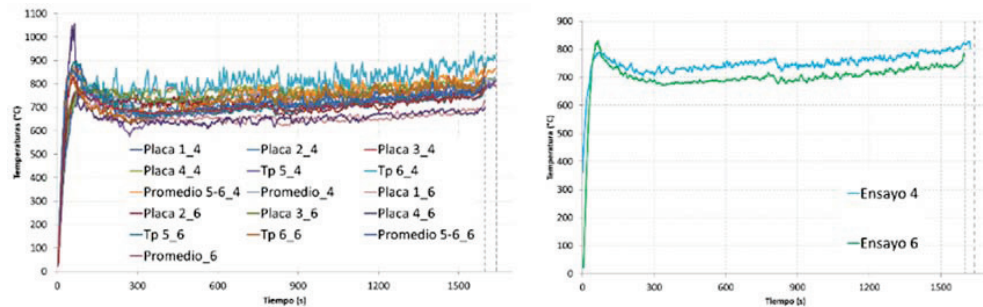


Figura 5-56. Temperaturas del aire en la parte inferior de la estructura: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)

La gráfica denota cómo las temperaturas del ensayo nº4 son algo superiores a las del ensayo nº6, aproximadamente unos 50 °C, y están comprendidas entre los 700 °C y los 800 °C principalmente.

A continuación se incluyen las temperaturas de las caras de las muestras ensayadas.

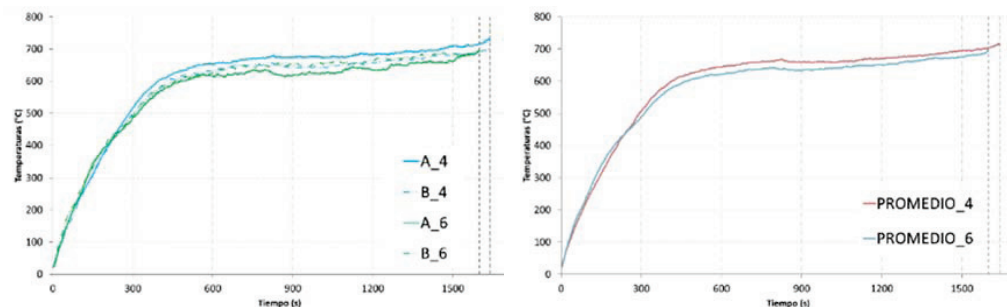


Figura 5-57. Temperaturas en la cara expuesta de la muestra: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)

La Figura 5-57 muestra las temperaturas de la cara expuesta. Se puede corroborar que las muestras tienen en su cara expuesta un comportamiento similar, siendo las temperaturas más altas en el ensayo nº4, donde por otro lado también se dio una temperatura mayor.

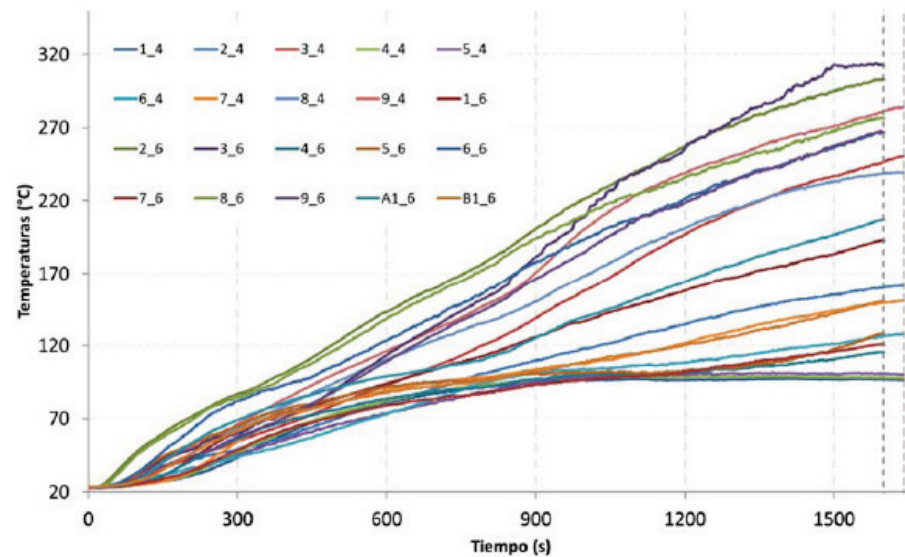


Figura 5-58. Temperaturas de los termopares individuales utilizados en los ensayos n°4 y n°6

Para facilitar el análisis de los datos, se compararán en las siguientes gráficas cada hoja de puerta y cada marco de puerta por separado.

La Figura 5-59 refleja las temperaturas alcanzadas en las hojas de las puertas en estos ensayos, en su cara no expuesta.

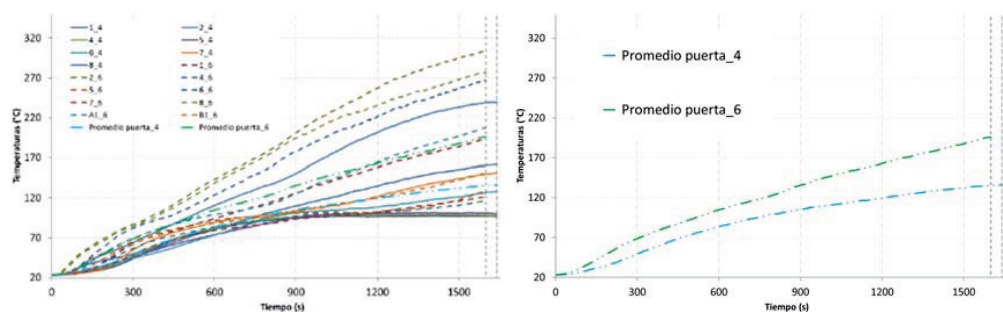


Figura 5-59. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre las hojas de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)

Se puede concluir que, pese a que la muestra del ensayo n°4 se vio sometida a mayor temperatura en su cara expuesta, en su cara no expuesta sufre un menor calentamiento. Son los termopares de ambas muestras, situados en las zonas donde se junta el perfil metálico de la puerta con el marco, los que mayores temperaturas registran.

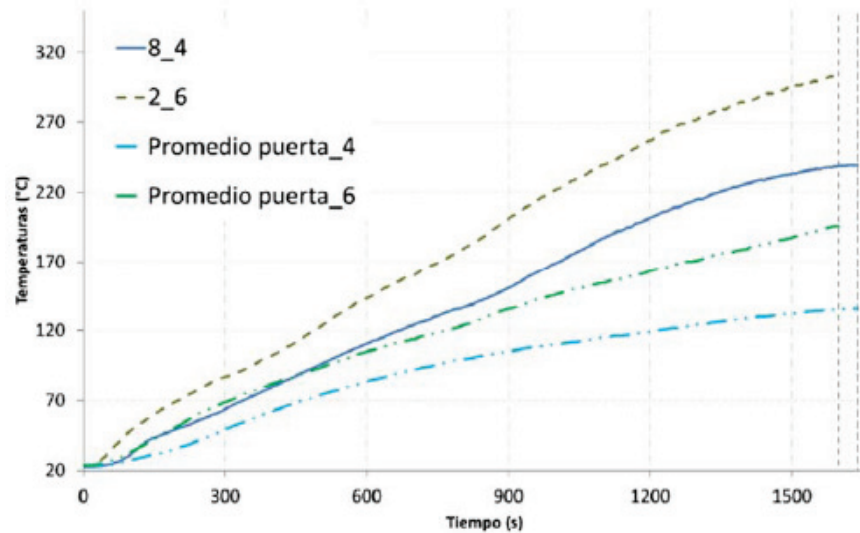


Figura 5-60. Gráfica detalle de los termopares con mayores temperaturas en ambos ensayos

La Figura 5-61 refleja las temperaturas alcanzadas en los marcos de las puertas en estos ensayos, en su cara no expuesta.

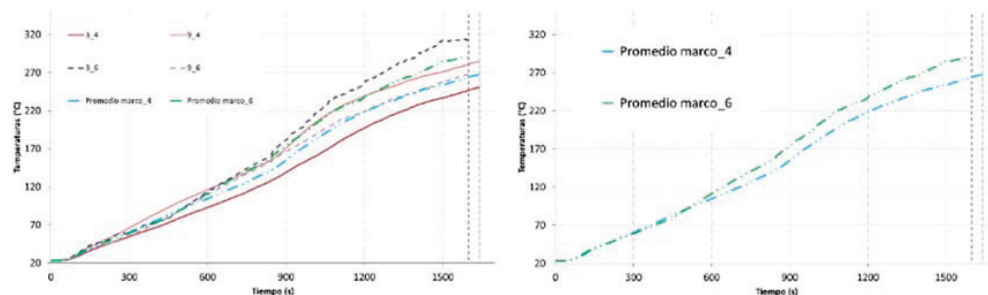


Figura 5-61. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre los marcos de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)

Nuevamente es en el ensayo nº6 donde aparecen mayores temperaturas. Este comportamiento evidencia que el nuevo diseño mejora el aislamiento del diseño ya existente, gracias en gran medida al aumento de espesor de la sección. Basándonos en los resultados favorables de los diseños existentes y en los datos recién extraídos de los ensayos nº4 y nº6, podemos asumir que la nueva bisagra exhibirá un buen comportamiento con la nueva sección propuesta.

5.2.3 Ensayos sobre secciones laterales. Manillas

5.2.3.1 Ensayo nº5

El ensayo que se describe a continuación corresponde al nuevo diseño, analizando la zona de la manilla de la puerta, junto con el marco. Este ensayo tuvo una duración de 1625 s.



Figura 5-62. Sección preparada para el test nº5. Manilla vista desde el exterior

En la Figura 5-63 aparecen representadas las temperaturas obtenidas en el aire del interior, muy próximas a la temperatura en la cara expuesta de la muestra.

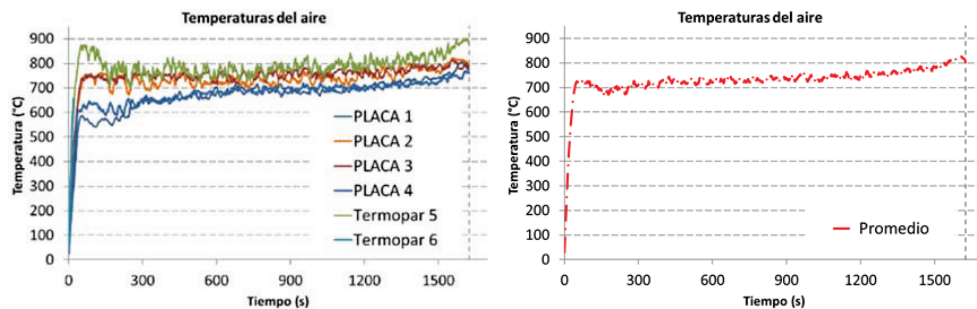


Figura 5-63. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

El calentamiento del aire, tanto en ritmo como en valores, es muy similar al de los ensayos anteriores.

La Figura 5-64 muestra las temperaturas medidas por los termopares colocados en ambas caras de la muestra.

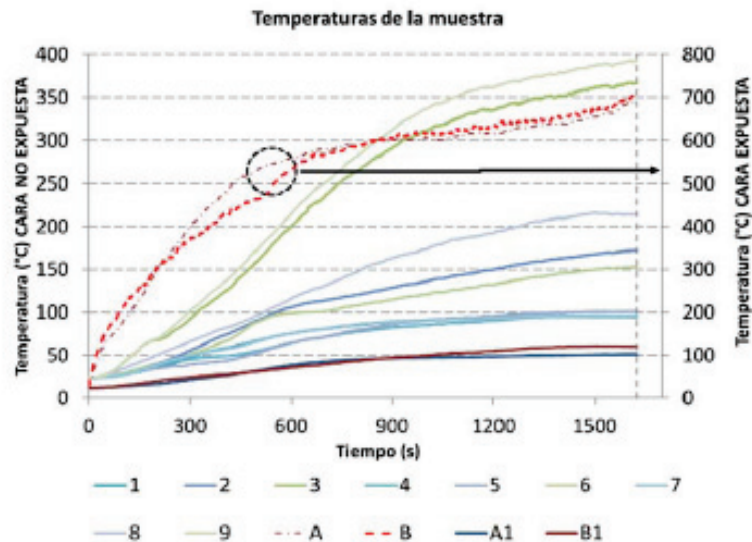


Figura 5-64. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra

Las temperaturas de la cara expuesta son superiores a las de la cara no expuesta. En la siguiente figura se reflejan únicamente las temperaturas de la cara no expuesta. Las líneas discontinuas se identifican con los termopares ubicados en la parte que se corresponde con el marco de la puerta.

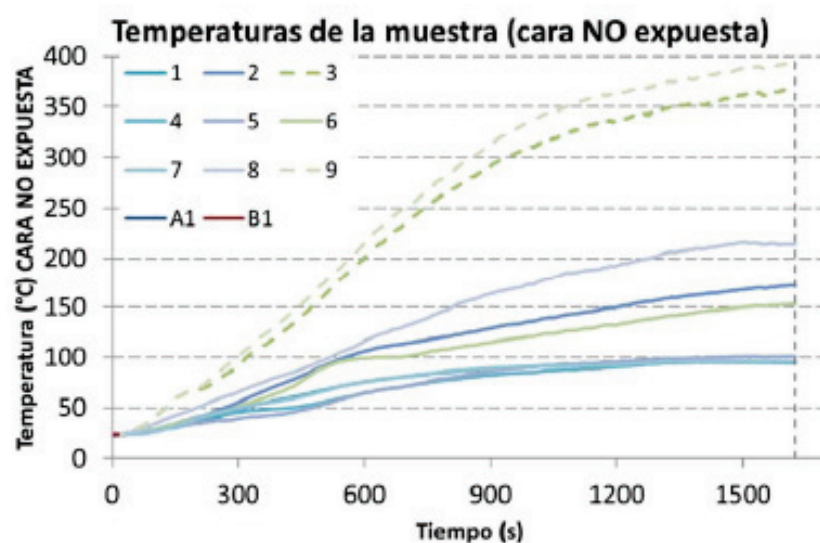


Figura 5-65. Temperaturas de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra

Se puede observar como las temperaturas del marco (termopares nº3 y nº9) son sensiblemente más elevadas que las de la hoja de la puerta. En una nueva representación se muestran por separado las temperaturas de ambas piezas de la muestra.

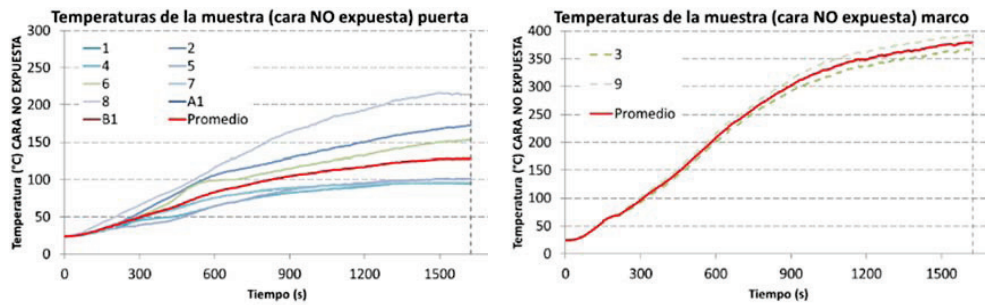


Figura 5-66. Temperaturas de la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)

En la pieza correspondiente a la hoja de la puerta, son los termopares más próximos al marco (termopares nº2 y nº8) los que registran temperaturas más altas. Se distingue como la temperatura promedio del marco es más elevada que la de la sección de la hoja. En el marco los termopares nº3 y nº9 registran temperaturas similares.

Las siguientes fotografías recogen diferentes instantes del ensayo en cuestión.



Figura 5-67. Test nº5: muestra durante el ensayo



Figura 5-68. Test nº5: detalle de la cara expuesta de la muestra durante el ensayo



Figura 5-69. Test nº5: detalle de la cara expuesta de la muestra tras el ensayo



Figura 5-70. Test nº5: detalle de la cara no expuesta de la muestra una vez concluido el ensayo

5.2.3.2 Ensayo nº7

Este último ensayo corresponde al diseño conocido, en la zona de la manilla de la puerta, junto con el marco. En este caso la duración del ensayo fue de 1520 s.



Figura 5-71. Sección preparada para el test nº7. Manilla vista en el exterior de la muestra

Las temperaturas obtenidas en el aire del interior, significativas de las temperaturas en la cara expuesta de la muestra, son las mostradas en la Figura 5-72.

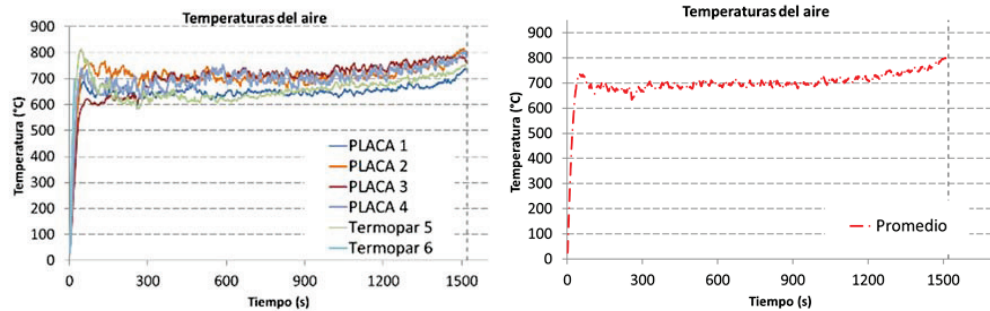


Figura 5-72. Temperaturas del aire: temperaturas de los termopares individuales (izda) y temperatura promedio (dcha)

Se comprueba que el calentamiento del aire sigue una evolución análoga a la de los ensayos anteriores.

La Figura 5-73 contiene las temperaturas medidas por los termopares instalados en ambas caras de la muestra.

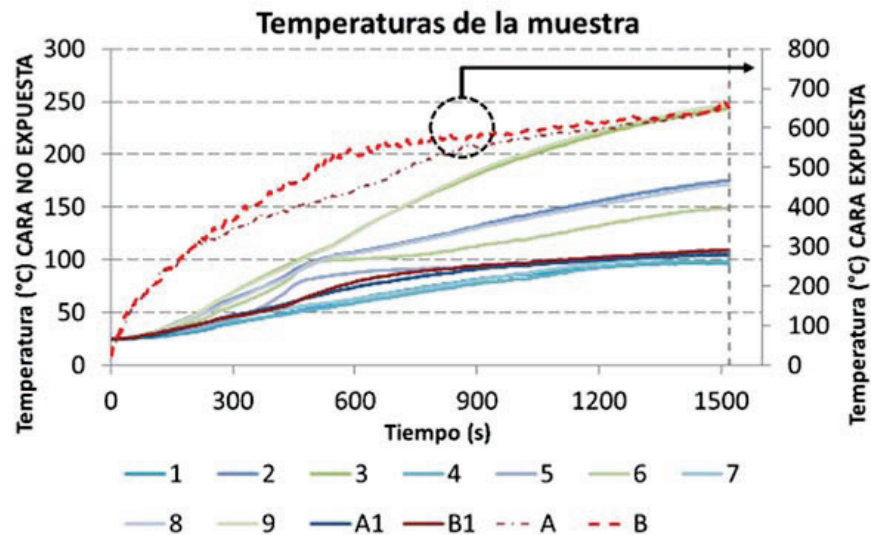


Figura 5-73. Temperaturas de todos los termopares instalados en la muestra

Una vez más, las temperaturas de la cara expuesta son superiores a las de la cara no expuesta. En la Figura 5-74 se anotan las temperaturas de la cara no expuesta, exclusivamente. Los trazos discontinuos se relacionan con los termopares ubicados en la parte del marco de la puerta.

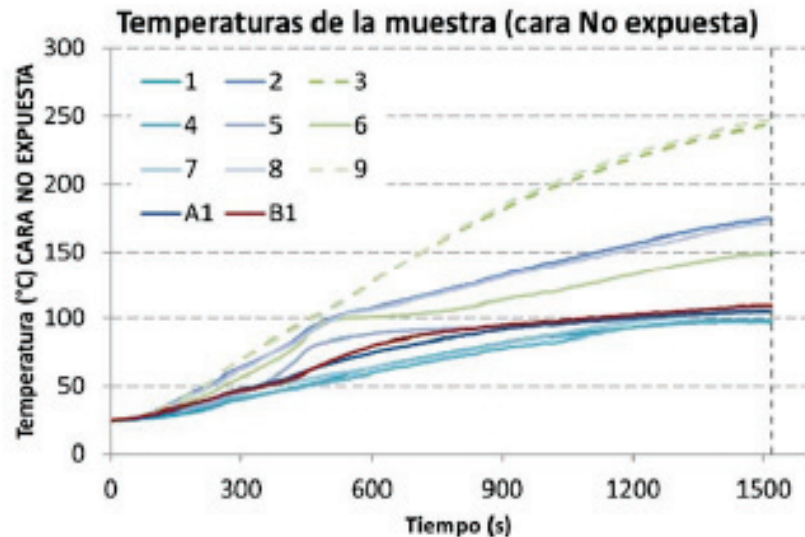


Figura 5-74. Temperaturas de los termopares instalados sobre la cara no expuesta de la muestra

Se puede observar como las temperaturas del marco (termopares nº3 y nº9) son sensiblemente más elevadas que las de la hoja de la puerta, al igual que ocurría en el ensayo anterior. En la Figura 5-75 se muestran por separado las temperaturas de ambas piezas de la muestra.

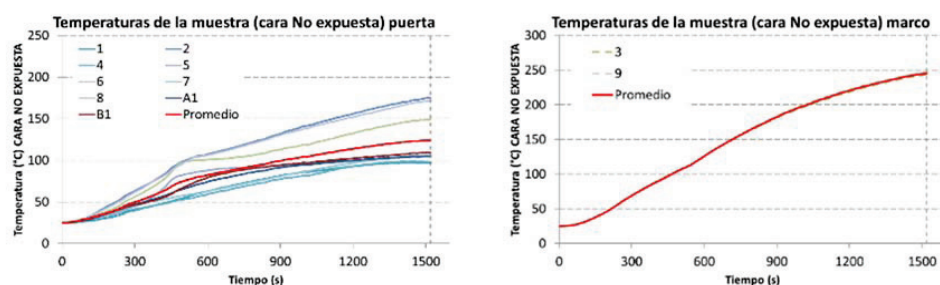


Figura 5-75. Temperaturas de la cara no expuesta de la muestra: hoja (izda) y marco (dcha)

En la pieza correspondiente a la hoja de la puerta, son los termopares más próximos al marco (termopares nº2 y nº8) los que registran temperaturas más altas; otra similitud con el ensayo anterior. Se distingue asimismo como la temperatura promedio del marco es más elevada que la de la sección de la hoja. En el marco los termopares nº3 y nº9 registran temperaturas similares.

Las siguientes fotografías constituyen un breve reportaje del ensayo a escala llevado a cabo en este caso.



Figura 5-76. Test nº7: muestra durante el ensayo



Figura 5-77. Test nº7: detalle de la cara no expuesta tras el ensayo



Figura 5-78. Test nº7: detalle de ambas caras tras el ensayo



Figura 5-79. Test nº7: Detalle de la junta intumescente una vez finalizado el ensayo

5.2.3.3 Comparativa de resultados

En este apartado se muestran en conjunto las gráficas expuestas en los ensayos nº5 y nº7. De esta forma se podrá establecer una mejor comparación entre las dos secciones sometidas a estudio: sección del nuevo diseño y sección del diseño conocido.

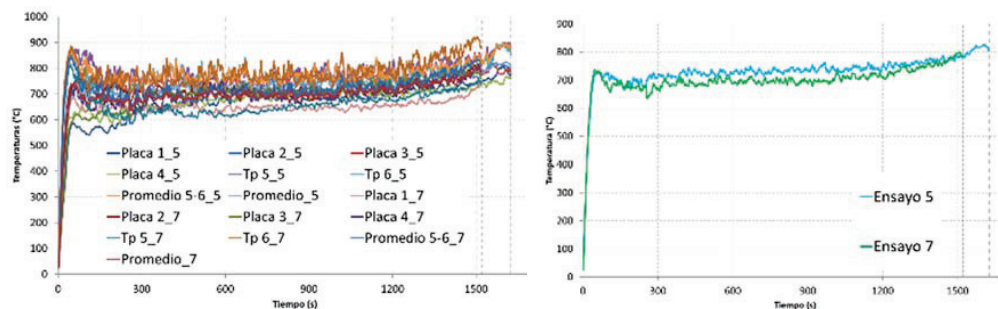


Figura 5-80. Temperaturas del aire en la parte inferior de la estructura: valores individuales (izda) y valores promedio para cada ensayo (dcha)

La Figura 5-80 muestra la comparación de las temperaturas promedio del aire en la parte inferior de la muestra, al igual que se hacía de forma individual en los apartados anteriores.

La gráfica permite asumir que las temperaturas evolucionan de forma similar, para registrar unos valores muy próximos durante ambos ensayos.

Se muestran a continuación las temperaturas de las caras de las muestras ensayadas. La figura contiene las temperaturas de la cara expuesta.

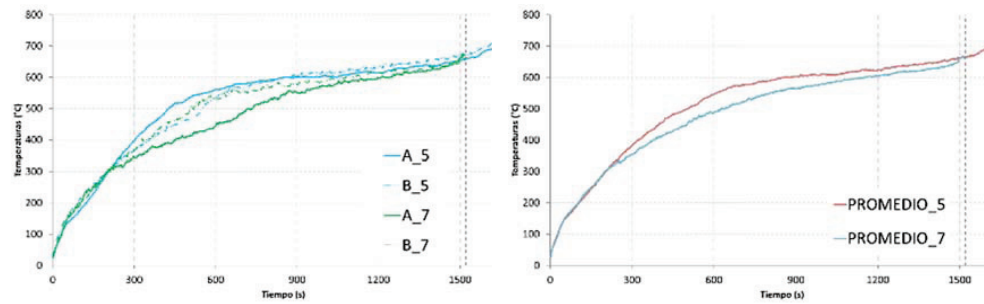


Figura 5-81. Temperaturas de la cara expuesta de la muestra: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)

A la vista de la Figura 5-81 se puede concluir que las muestras tienen, en su cara expuesta, un comportamiento similar, siendo las temperaturas más altas en el ensayo nº5, sobre todo a mitad de transcurso del ensayo, mostrándose cercanas en los últimos 300 s. También se debe apuntar que la muestra del ensayo nº5 se vio sometida a una temperatura mayor.

La siguiente figura contiene la relación temperatura-tiempo para la cara no expuesta en los diferentes ensayos (en este caso, los termopares pertenecientes al ensayo del nuevo diseño –ensayo nº5- aparecen en línea discontinua).

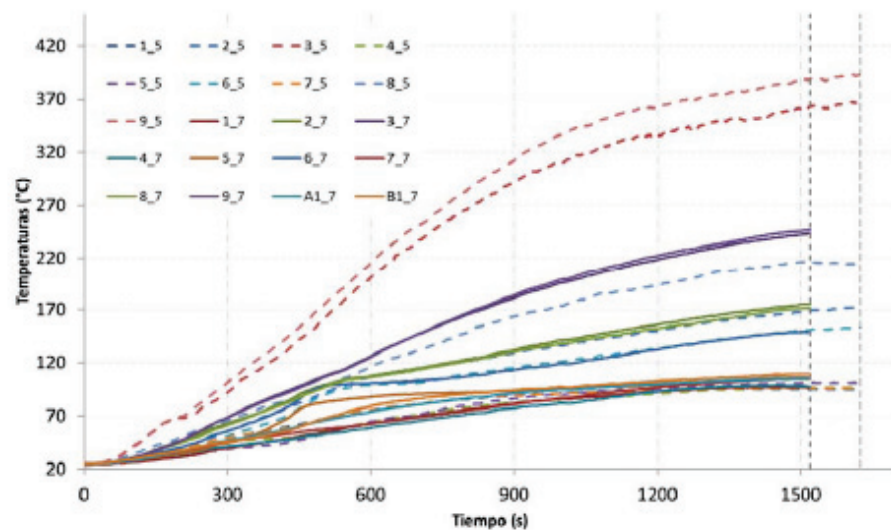


Figura 5-82. Temperaturas de los termopares individuales utilizados en los ensayos nº4 y nº6

Se observa que, para ambas secciones, son las temperaturas de los termopares ubicados en el marco de la puerta (termopares nº3 y nº9) los que señalan una mayor temperatura, siendo aún mayores en la muestra del nuevo diseño.

Para analizar mejor los datos disponibles, se compararán en las siguientes gráfica cada hoja y cada marco, de forma separada.

La Figura 5-83 recoge las temperaturas alcanzadas en las hojas de ambas muestras, siendo el trazo continuo el correspondiente al ensayo nº7, mientras que el trazo discontinuo denota los valores de los termopares del ensayo nº5.

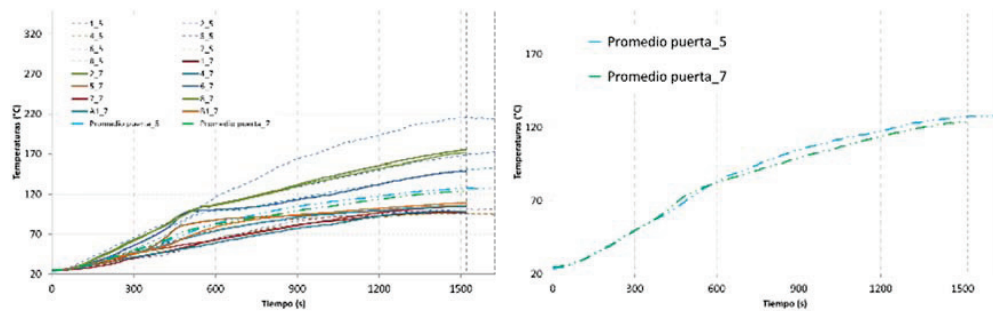


Figura 5-83. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre las hojas de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)

La temperatura del termopar nº8 para el ensayo nº5 y la de los termopares nº7 y nº8 para en ensayo nº7, son los que mayores temperaturas registran. El termopar nº8 se situaría en una esquina de la hoja de la puerta próxima al marco de la misma. La temperatura del termopar recogida en el ensayo nº5 es muy superior a la de este mismo termopar en el ensayo nº7. La temperatura media de la cara no expuesta es muy próxima para ambos ensayos, siendo ligeramente más elevada para el ensayo nº5.

La Figura 5-84 detalla la evolución de las temperaturas del termopar nº8 para las dos muestras analizadas.

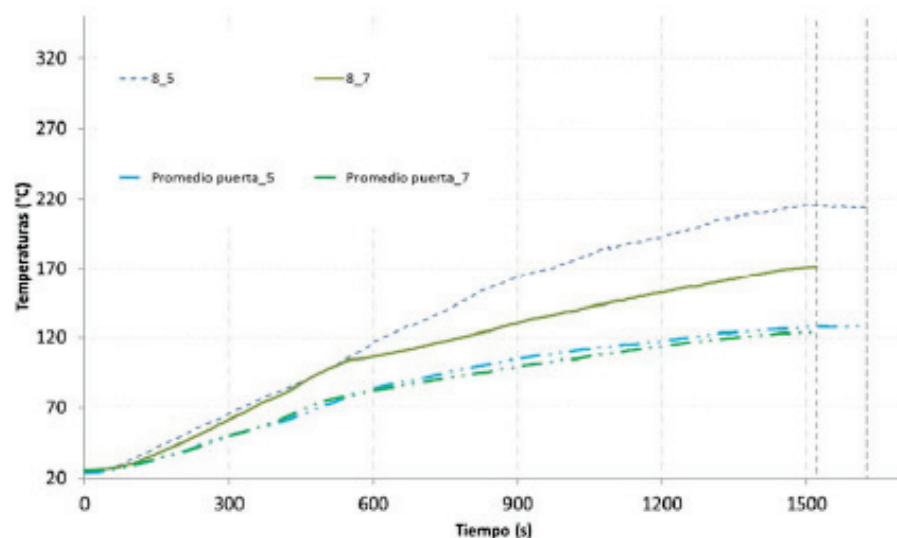


Figura 5-84. Gráfica detalle de los termopares con mayores temperaturas en ambos ensayos

La Figura 5-85 muestra las temperaturas alcanzadas en los marcos de ambos ensayos.

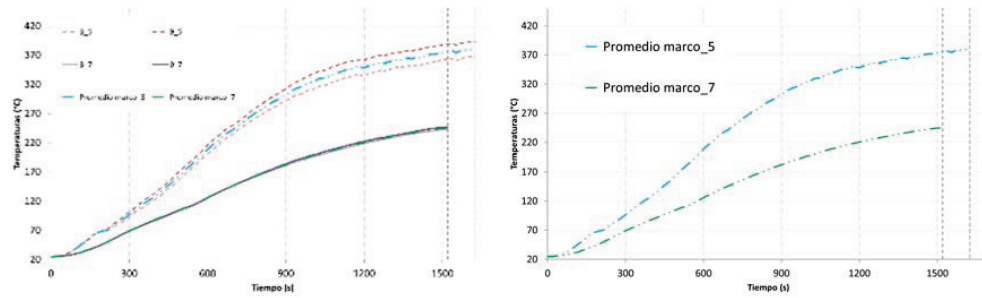


Figura 5-85. Temperaturas de la cara no expuesta medidas sobre los marcos de los diferentes ensayos: valores individuales (izda) y valores promedio (dcha)

Nuevamente es en el ensayo nº5, representativo del nuevo diseño, donde mayores temperaturas se registran. Para ambos ensayos las temperaturas de los termopares nº3 y nº9 son cercanas, mostrando un calentamiento prácticamente homogéneo de la sección del marco.

CAPÍTULO 6

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS



6 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPOS

6.1 Primeros prototipos. Avance de la producción

Una vez decidido el nuevo diseño, y efectuada la selección de los distintos materiales y componentes, se da paso a la fabricación de los primeros prototipos.

Las primeras pruebas se realizan sobre el perfil del marco, buscando una geometría y unas dimensiones que permitan acomodar tanto la hoja como los accesorios previstos. En las siguientes imágenes pueden apreciarse algunas intenciones de diseño que se barajaron.

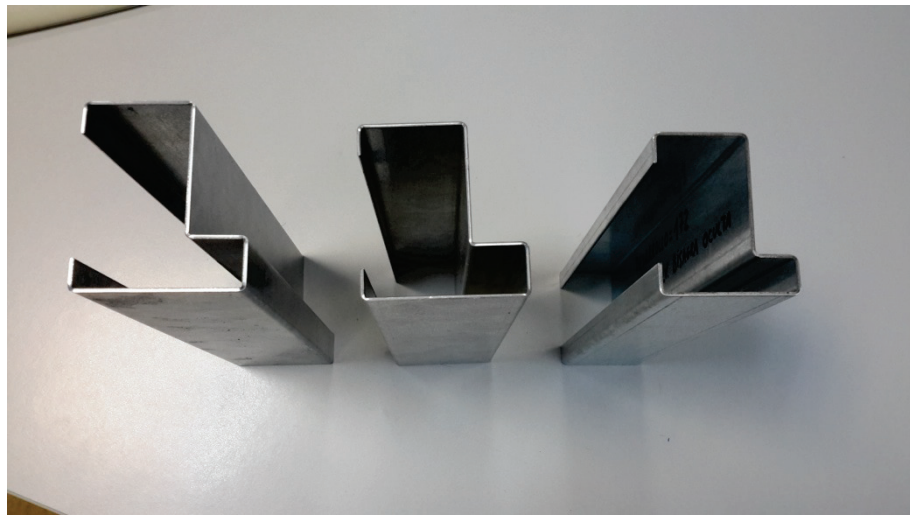


Figura 6-1. Diferentes pruebas sobre el perfil del marco

Finalmente, las variables que condicionaron la geometría definitiva del marco fueron:

- Dimensiones de la bisagra oculta KRONA KOBLENZ KUBI 7200
- Dimensiones del mecanismo cierrapuertas oculto DORMA ITS96
- Área de asiento de la hoja sobre el marco
- Área de solape del marco sobre la hoja
- Superficie disponible para las juntas intumescentes
- Grosor resultante de la hoja: material aislante + espesores de chapa
- Alineación de la hoja y el marco: puerta doblemente enrasada
- Pérdida de paso libre asumible
- Superficie disponible para la adaptación de otros herrajes superpuestos

Considerando todo lo anterior, el diseño definitivo del marco quedó como sigue:

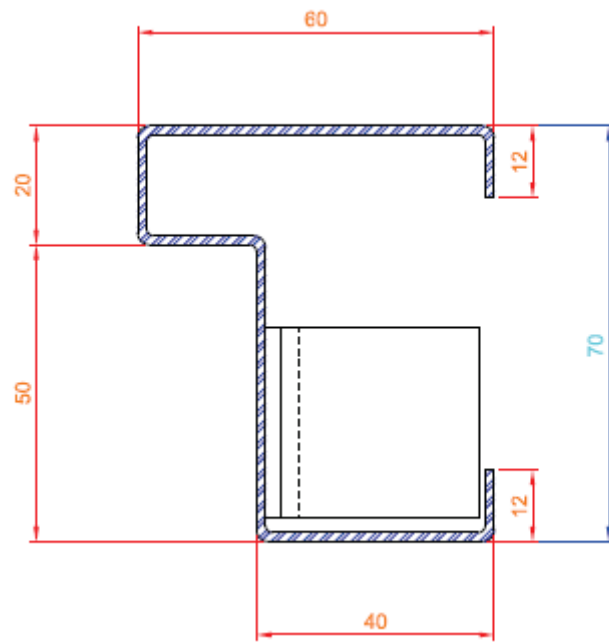


Figura 6-2. Geometría definitiva del marco. Marco C70

Adicionalmente se realizaron pruebas a pequeña escala que ayudaron a ajustar la programación de los punzones, el corte a inglete y el proceso de soldadura de las barras que forman el marco completo.



Figura 6-3. Prueba de un marco a pequeña escala

El siguiente paso que comprendió la fabricación de los primeros prototipos fue la consecución de las bandejas metálicas que conforman la hoja. En este punto se compilaron varios programas de punzonado y plegado, hasta lograr pulir los defectos observados inicialmente y dar por buena la configuración resultante.



Figura 6-4. Prueba de distintas bandejas metálicas a pequeña escala

Posteriormente, con las programaciones de marco y hoja resueltas, se planteó un ensamble de hoja y marco a pequeña escala, como paso previo a un prototipo real. Aquí se pudieron introducir los herrajes y accesorios que se vieron en el capítulo anterior, apreciando los primeros resultados y evidencias de su funcionamiento.



Figura 6-5. Primer prototipo hoja-marco a pequeña escala

Dado que el ajuste fue correcto y se registró una funcionalidad completa, libre de interferencias y limitaciones, decidí lanzar la fabricación de un prototipo a escala real. La única corrección efectuada estuvo relacionada con la holgura medida entre el marco y la hoja.

Para la puesta en marcha del prototipo a escala real propuse unas dimensiones de muestra de 1000 x 2035 mm (ancho x alto) de forma que pudieran someterse todos los herrajes a una prueba de servicio, con unas dimensiones y un

peso representativos de la realidad. En las siguientes figuras se puede observar el proceso de fabricación seguido.



Figura 6-6. Bandejas metálicas en el prototipo a escala real



Figura 6-7. Bandeja y aislamiento en el prototipo a escala real



Figura 6-8. Replanteo de algunos materiales en el prototipo a escala real



Figura 6-9. Preparación de las bisagras en el prototipo a escala real



Figura 6-10. Preparación del cierrapuertas en el prototipo a escala real



Figura 6-11. Apariencia del cierrapuertas oculto en el prototipo a escala real



Figura 6-12. Apariencia de la superficie enrasada en el prototipo a escala real



Figura 6-13. Apariencia de un prototipo terminado a escala real

Una vez completados los primeros prototipos a escala real se redactaron los correspondientes procedimientos y órdenes de trabajo, sentando así las bases para la fabricación de las próximas unidades.

6.2 Prototipos definitivos. Muestras para exposición

En una segunda etapa, dentro de la construcción del nuevo modelo de puerta, se comenzaron a preparar unos prototipos más cuidados, prestando especial atención al aspecto estético. Ya no sólo es relevante el aspecto funcional, sino también el acabado de las nuevas unidades, incluyendo el lacado de todo el conjunto.



Figura 6-14. Apariencia de un prototipo a escala real lacado en el horno



Figura 6-15. Apariencia definitiva de un prototipo a escala real



Figura 6-16. Apariencia definitiva de las superficies enrasadas



Figura 6-17. Apariencia definitiva de las bisagras

A la hora de fabricar estos prototipos se aprovechó la ocasión para concretar el número de fijaciones a obra necesarias, así como su reparto en el perímetro del marco.



Figura 6-18. Apariencia definitiva de las fijaciones a obra

La culminación de este apartado llega con la construcción de unas muestras destinadas a la exposición.

En este caso propuse las siguientes unidades:

- Puerta de 1 hoja totalmente equipada, dimensiones totales 1000 x 2035



Figura 6-19. Muestra de 1 hoja. Exposición



Figura 6-20. Detalle de la bisagra oculta. Exposición



Figura 6-21. Detalle del cierrapuertas oculto. Exposición

- Puerta 2 hojas totalmente equipada, dimensiones totales 2000 x 2035



Figura 6-22. Muestra de 2 hojas. Exposición



Figura 6-23. Detalle de la coordinación de hojas. Exposición

CAPÍTULO 7

PLANOS DE TALLER



7 PLANOS DE TALLER

En este capítulo paso a agrupar los planos que preparé en la Oficina Técnica. Estos planos de taller serán aportados al laboratorio de ensayo como parte fundamental de las memorias técnicas solicitadas. Además, todos los planos adjuntos serán de gran utilidad si se quieren complementar las órdenes de trabajo aportadas al Departamento de Fabricación.

Se proporcionan planos tanto para la versión de una hoja como para la versión de dos hojas, a saber:

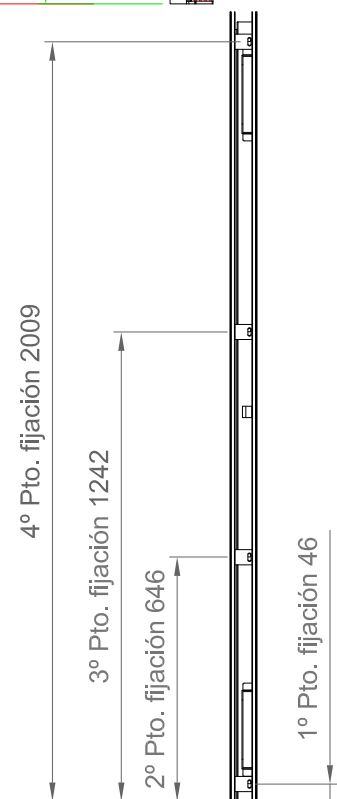
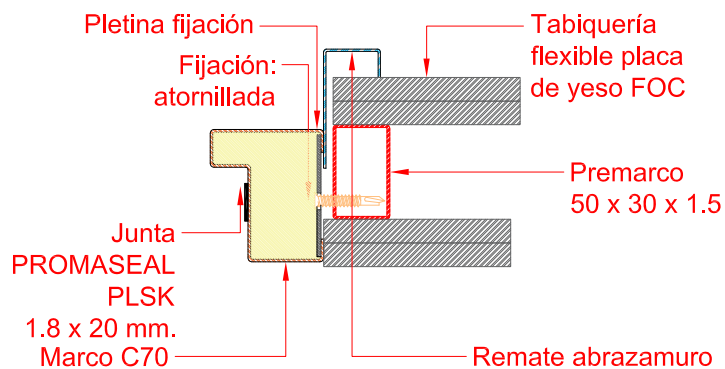
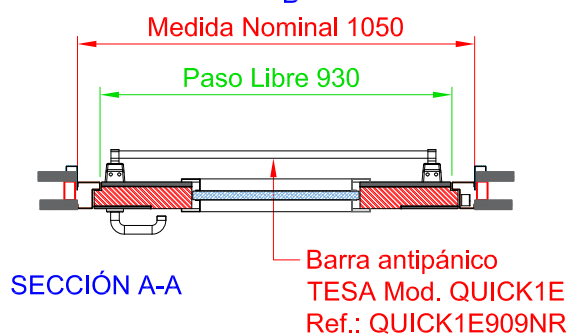
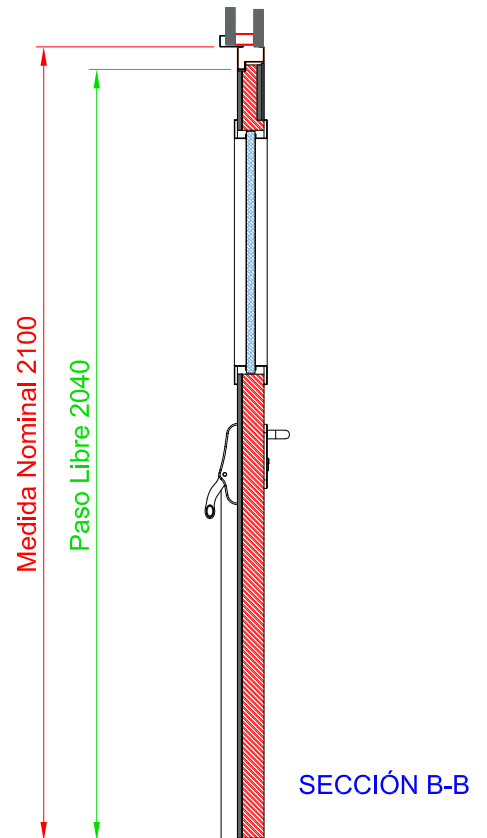
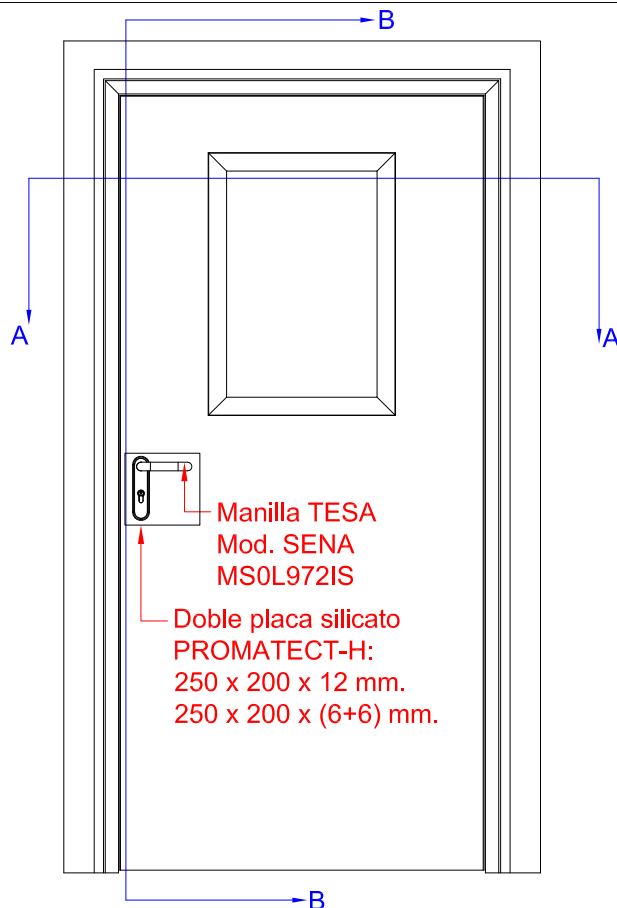
7.1 Planos de la puerta de una hoja

- Plano NA-60-1BO-1_0001-00
- Plano NA-60-1BO-1_0002-00
- Plano NA-60-1BO-1_0003-00
- Plano NA-60-1BO-1_0004-00
- Plano NA-60-1BO-1_0005-00
- Plano NA-60-1BO-1_0006-00
- Plano NA-60-1BO-1_0007-00

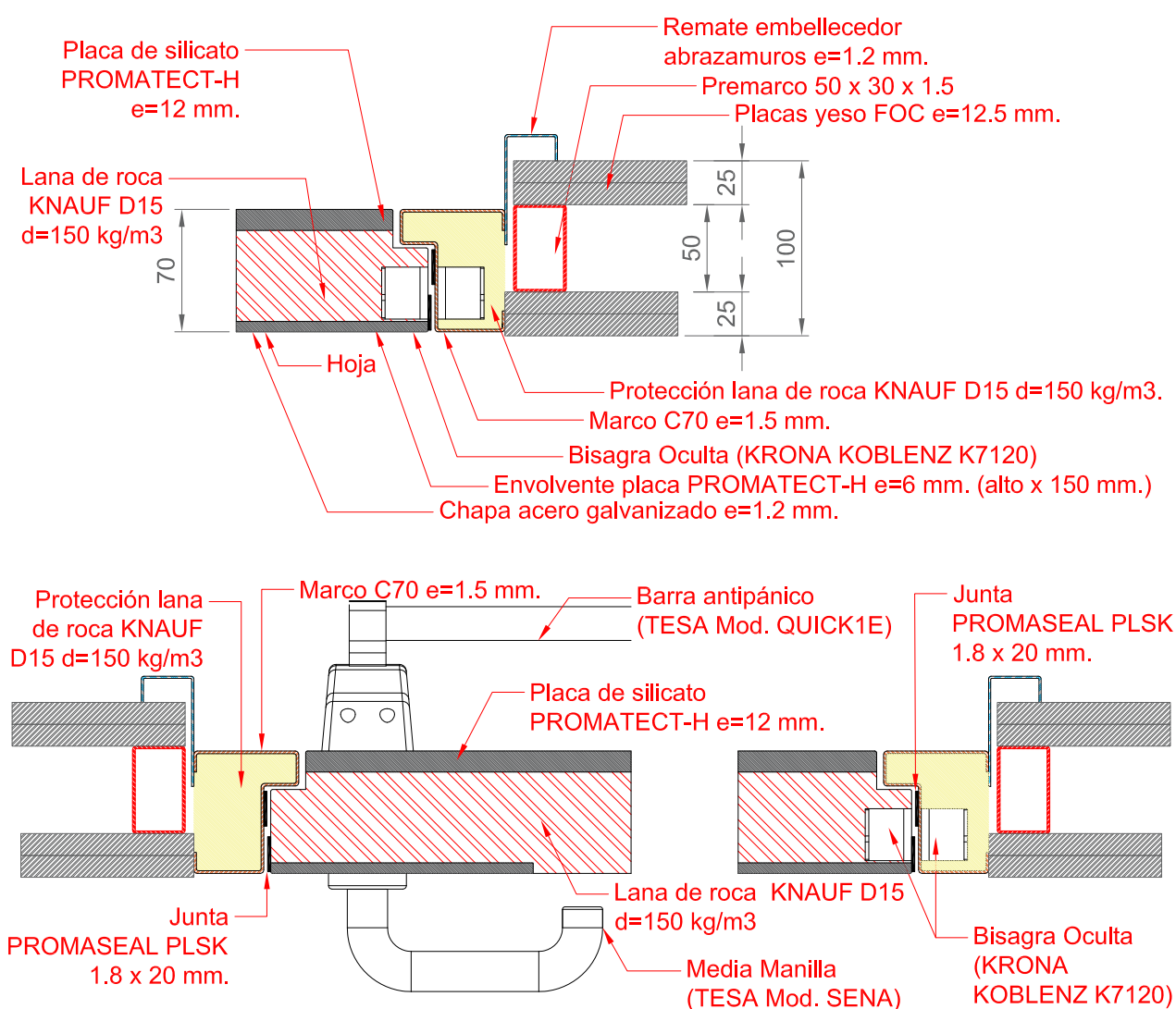
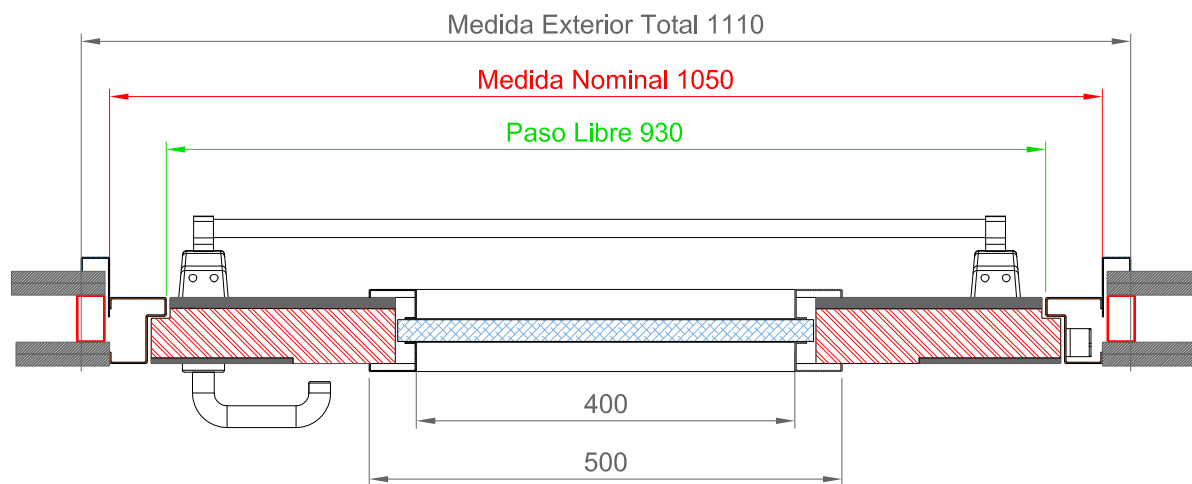
7.2 Planos de la puerta de dos hojas

- Plano NA-60-2BO-1_0001-00
- Plano NA-60-2BO-1_0002-00
- Plano NA-60-2BO-1_0003-00
- Plano NA-60-2BO-1_0004-00
- Plano NA-60-2BO-1_0005-00
- Plano NA-60-2BO-1_0006-00
- Plano NA-60-2BO-1_0007-00

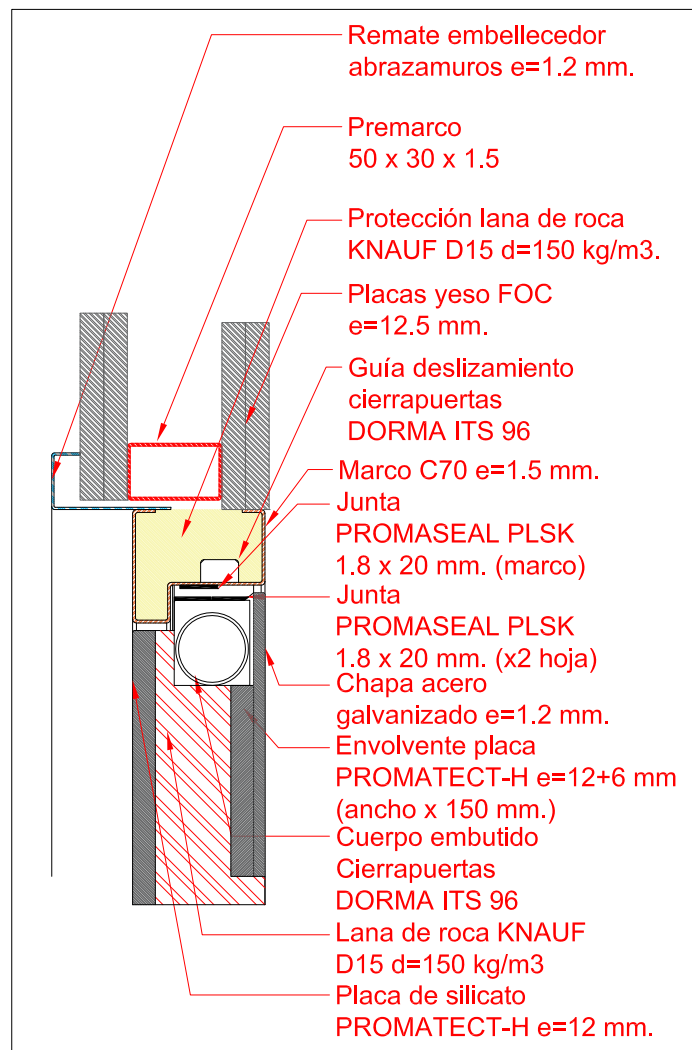
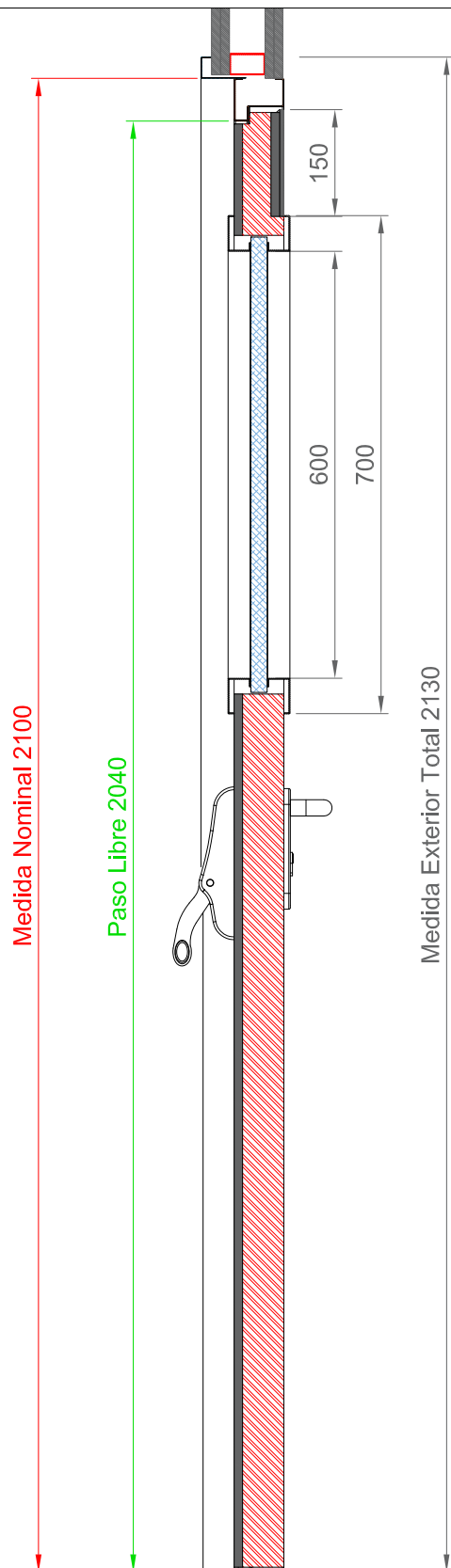
Aunque caiga fuera del alcance de este trabajo, téngase en cuenta que las memorias técnicas no serán la única documentación gráfica a preparar; seguidamente se trabajará en la redacción de las instrucciones de instalación, uso y mantenimiento de las puertas, así como cualquier instrucción adicional o ilustración que pueda requerirse en el futuro.



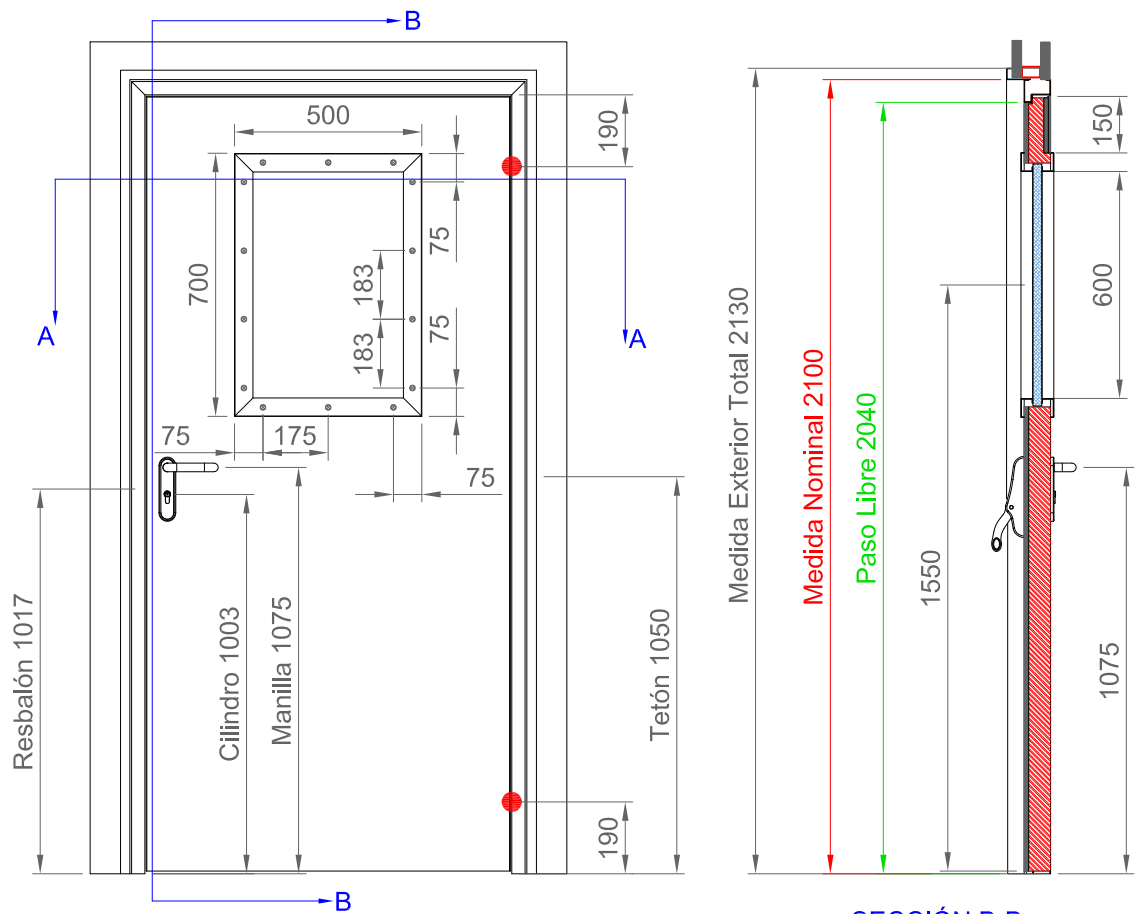
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO Descripción del plano: VISTAS GENERALES			Código plano: NA-60-1B0-1_0001-00
				Alumno: Isidro Rugama Acebo Titulación: Ingeniería Industrial



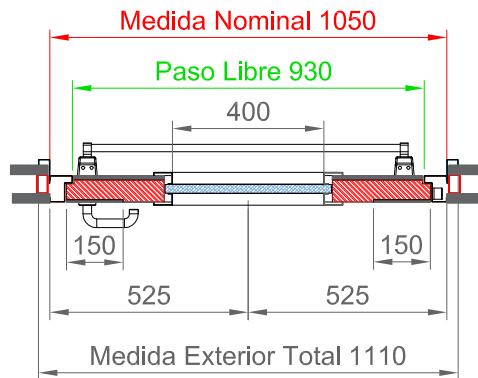
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id.s.normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO Descripción del plano: SECCIÓN HORIZONTAL			Código plano: NA-60-1B0-1_0002-00
				Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



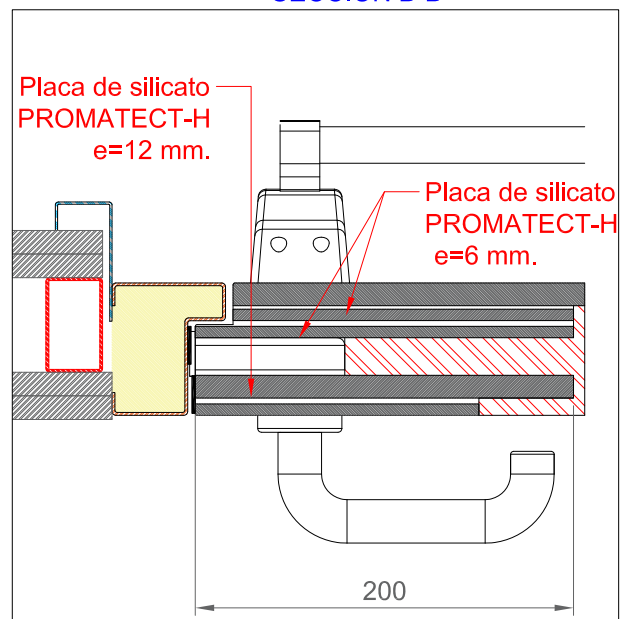
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id.s.normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-1B0-1_0003-00
	Descripción del plano: SECCIÓN VERTICAL			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



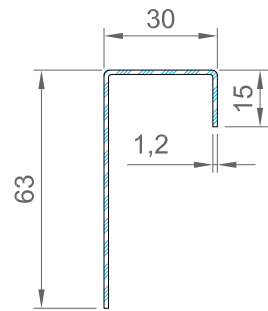
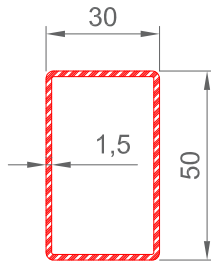
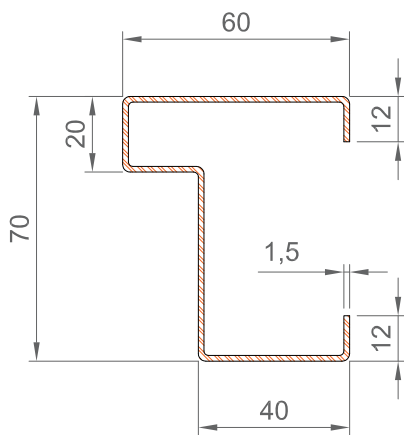
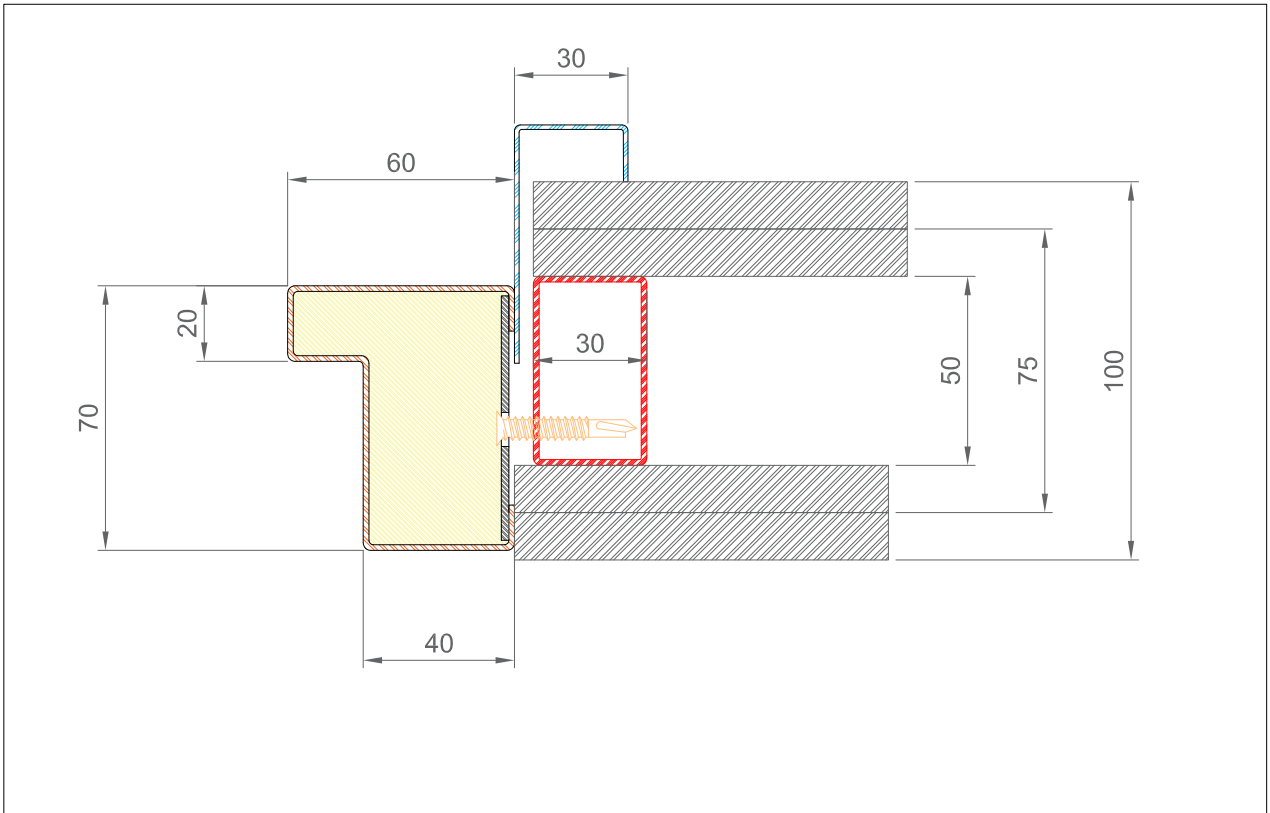
SECCIÓN B-B



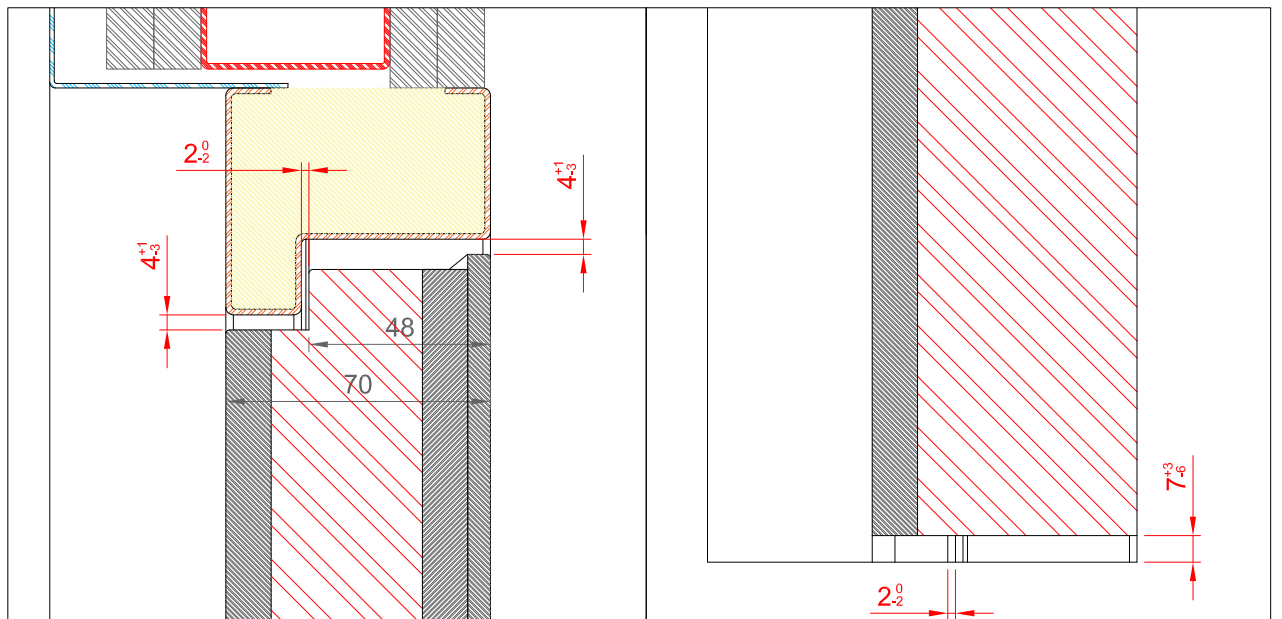
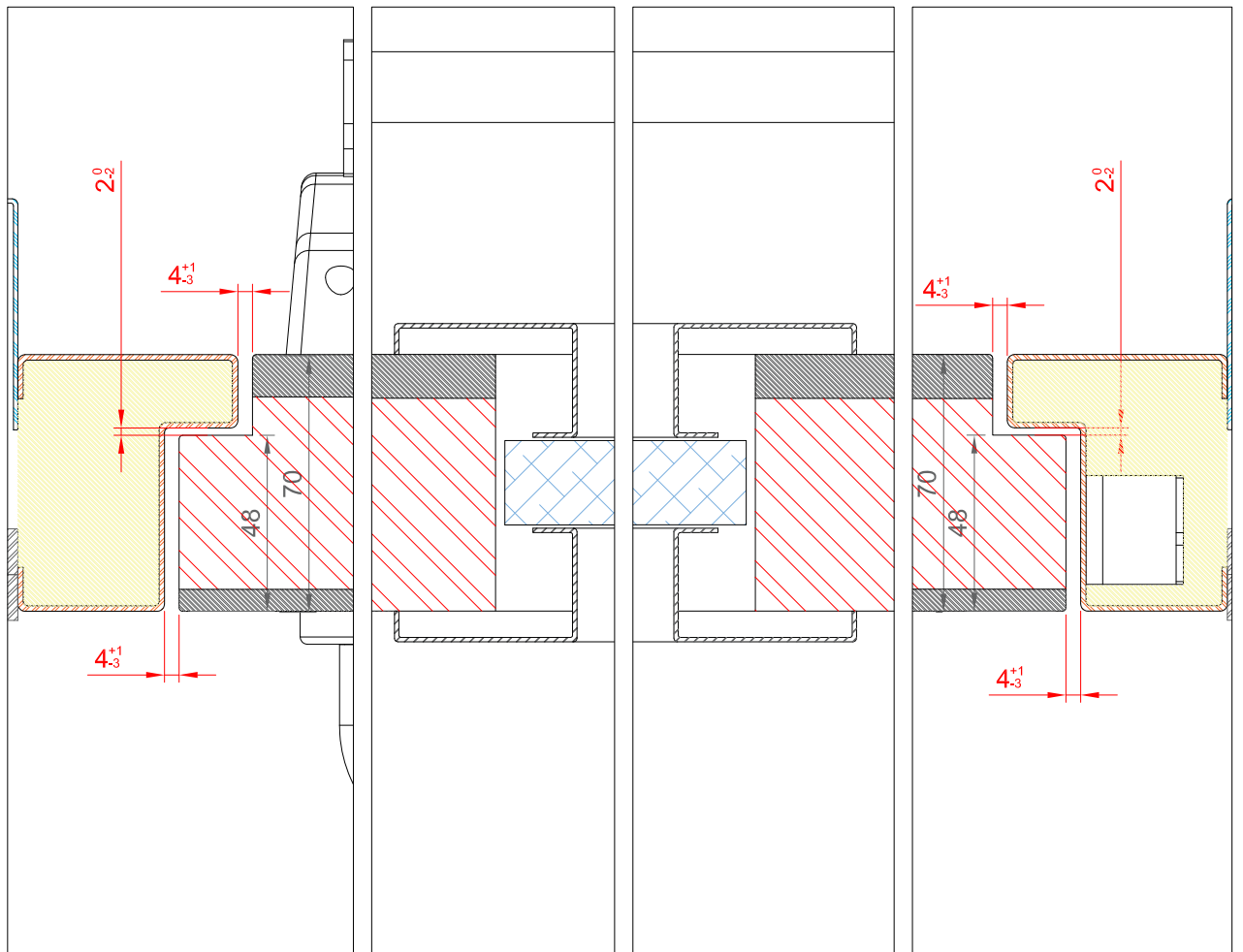
SECCIÓN A-A



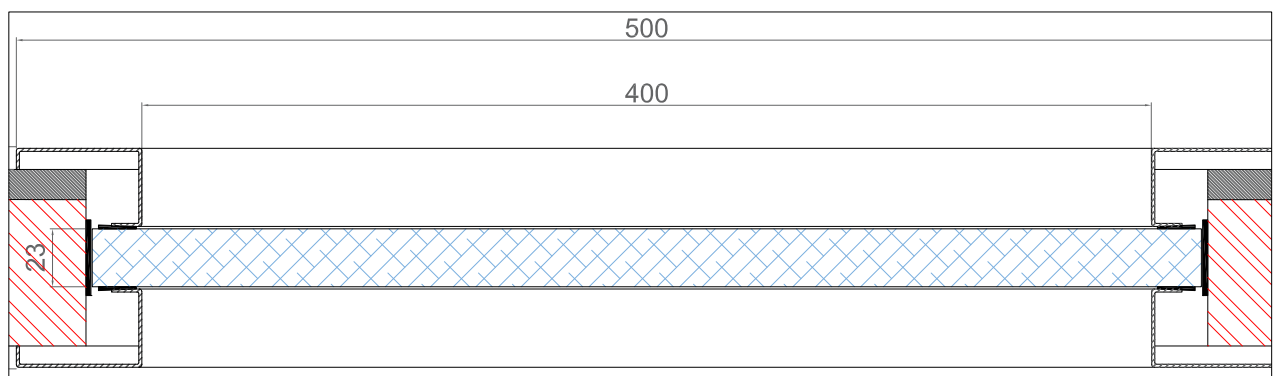
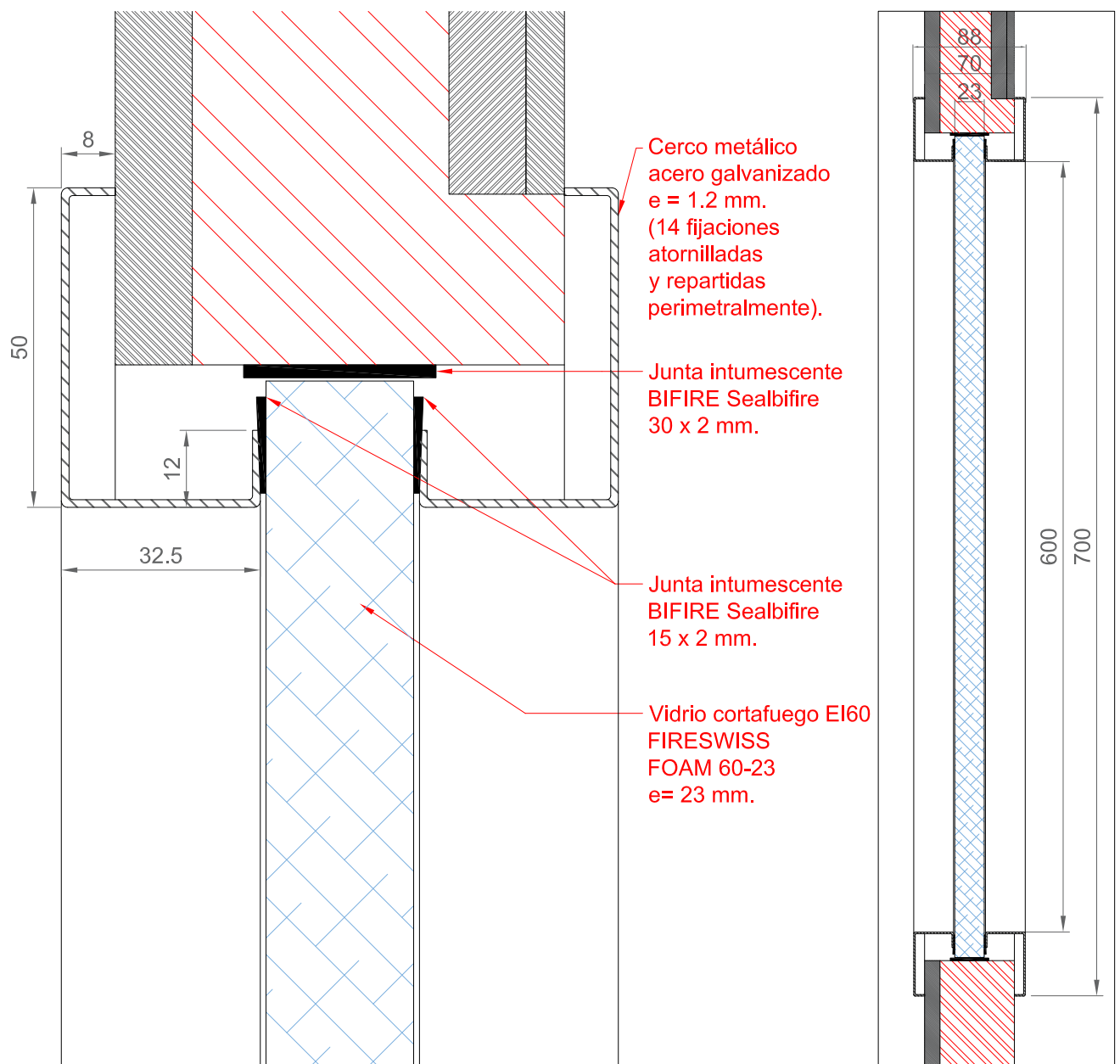
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-1B0-1_0004-00
	Descripción del plano: ACOTACIONES PRINCIPALES			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



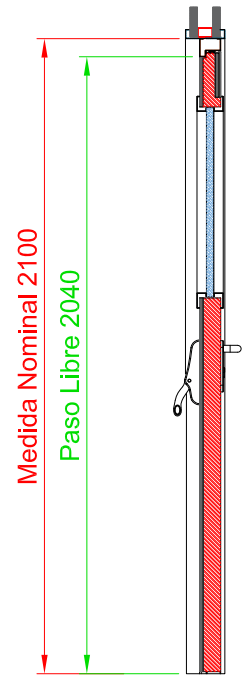
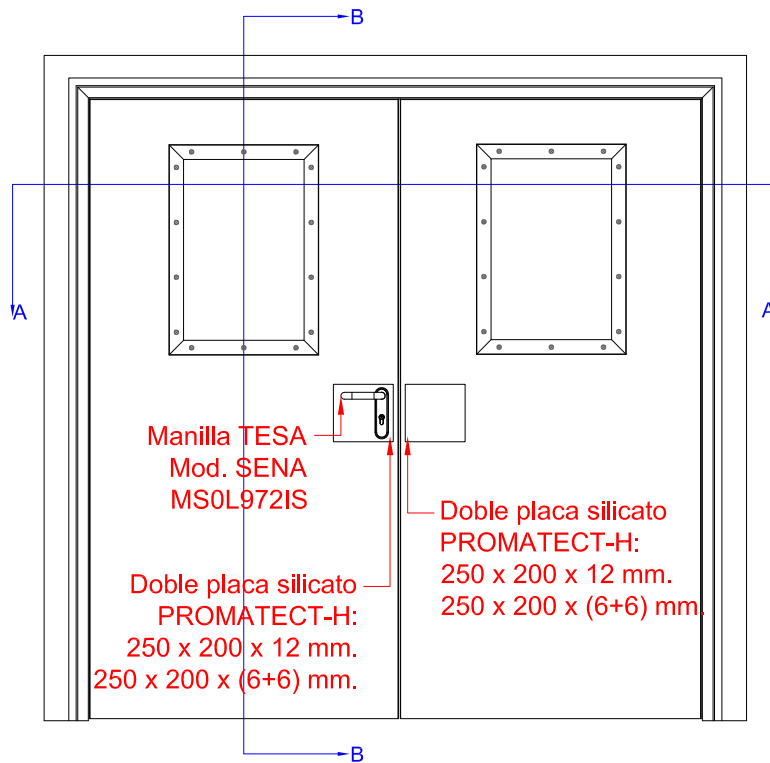
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-1B0-1_0005-00
	Descripción del plano: DETALLE PERFILERÍA DE MARCO			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



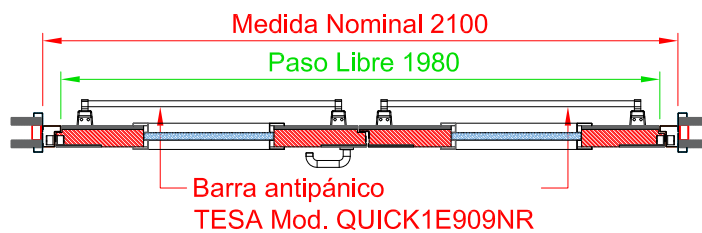
	Fecha	Nombre	Firma/s:	
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id.s.normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO Descripción del plano: HOLGURAS DE DISEÑO			Código plano: NA-60-1B0-1_0006-00 Alumno: Isidro Rugama Acebo Titulación: Ingeniería Industrial



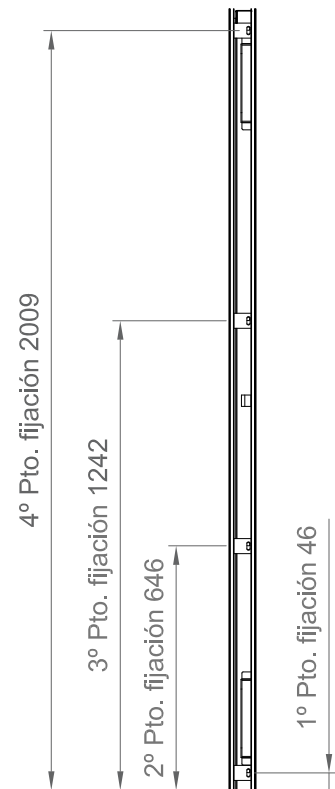
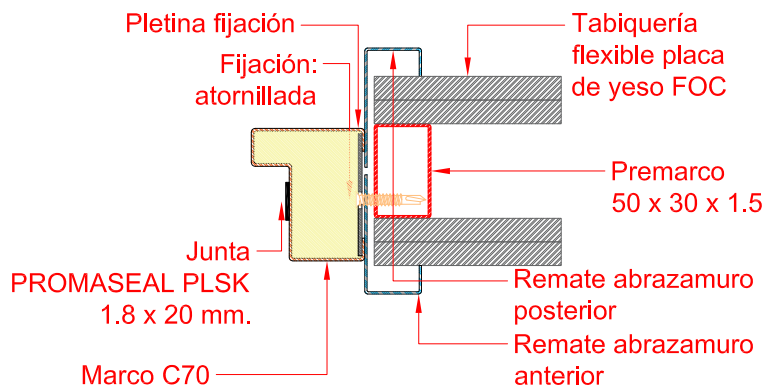
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala: Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO Descripción del plano: DETALLE VIDRIO Y CERCO				Código plano: NA-60-1B0-1_0007-00 Alumno: Isidro Rugama Acebo Titulación: Ingeniería Industrial



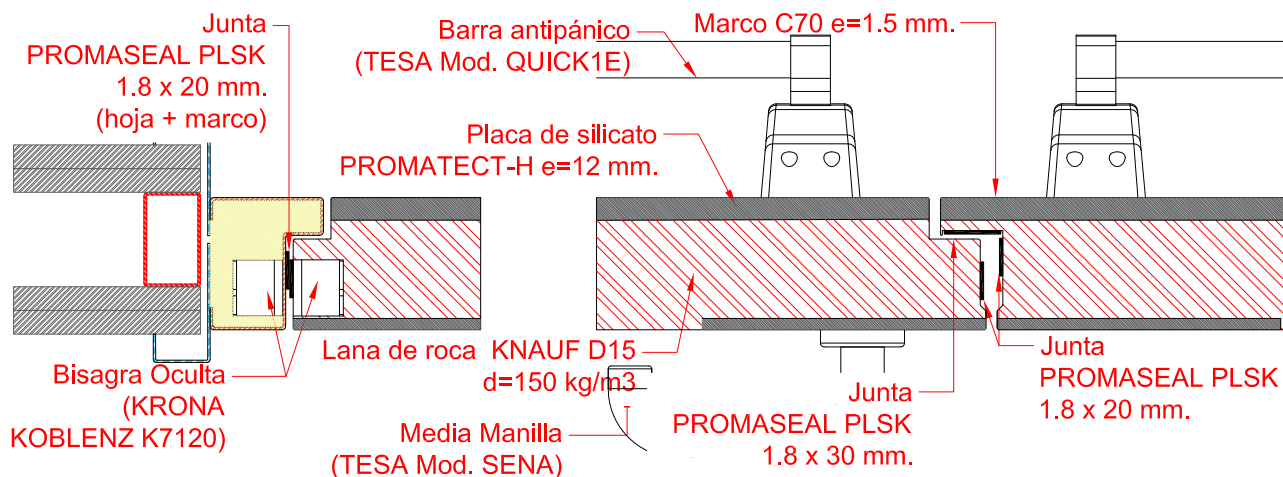
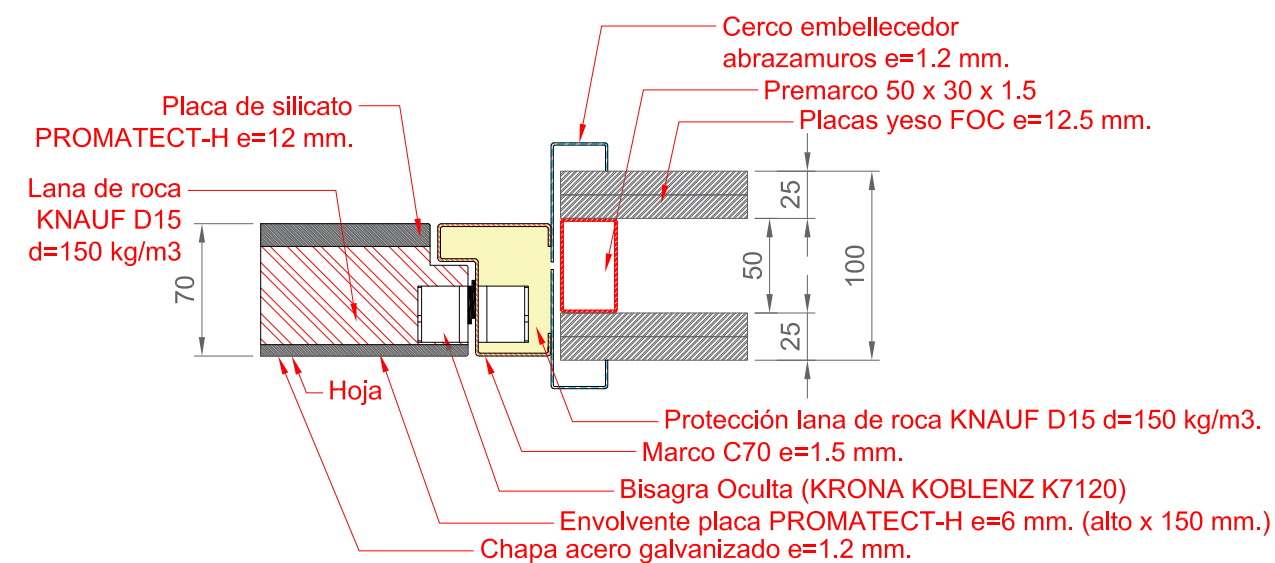
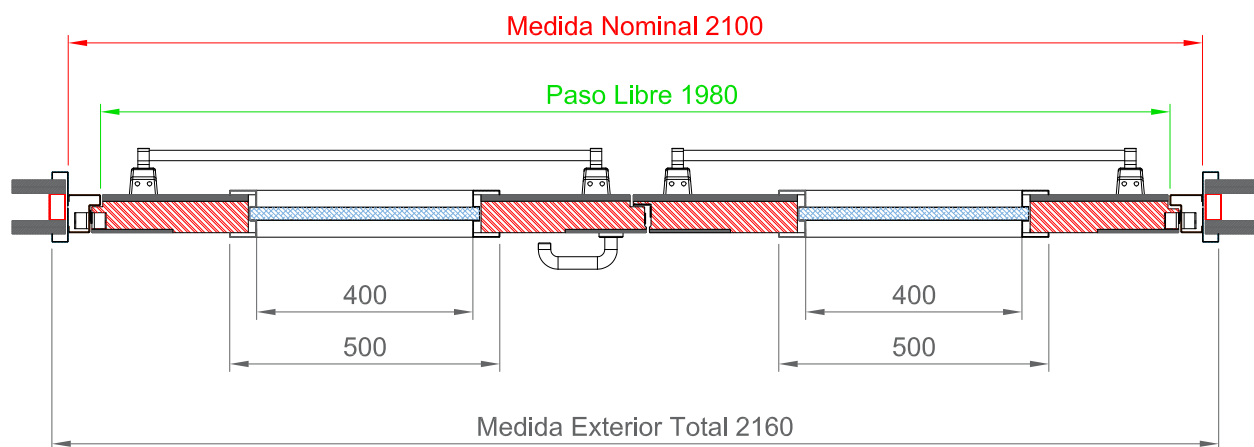
SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-2B0-1_0001-00
	Descripción del plano: VISTAS GENERALES			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO Descripción del plano: SECCIÓN HORIZONTAL			Código plano: NA-60-2B0-1_0002-00
				Alumno: Isidro Rugama Acebo Titulación: Ingeniería Industrial

Medida Nominal 2100

Paso Libre 2040

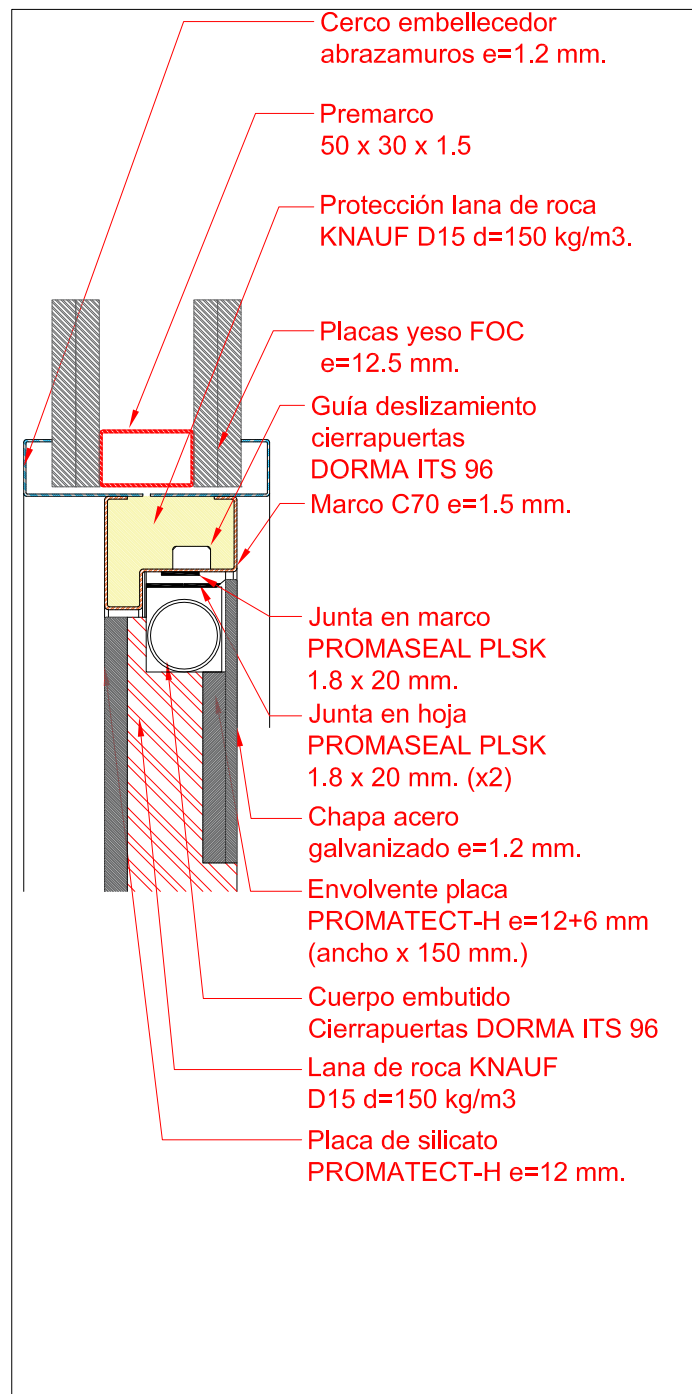
1550

1075

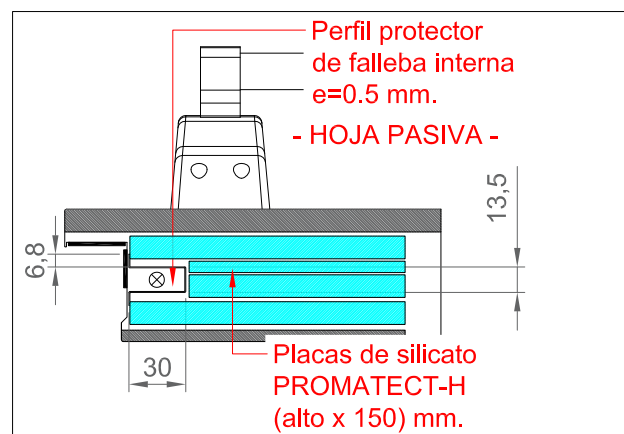
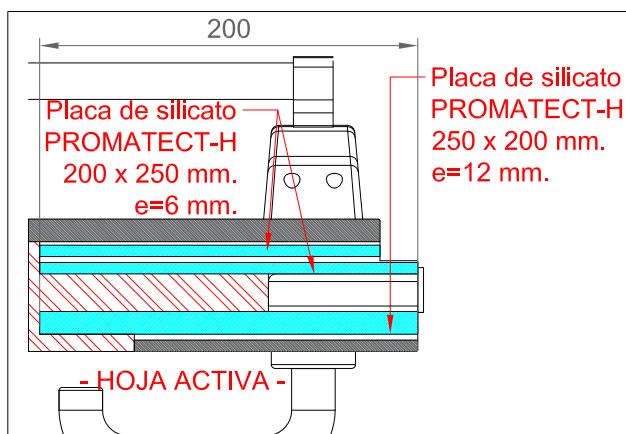
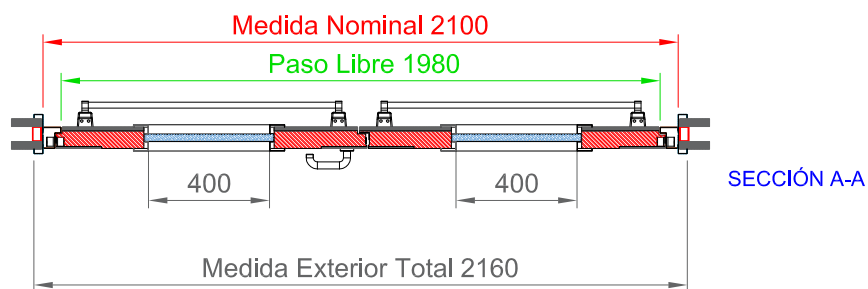
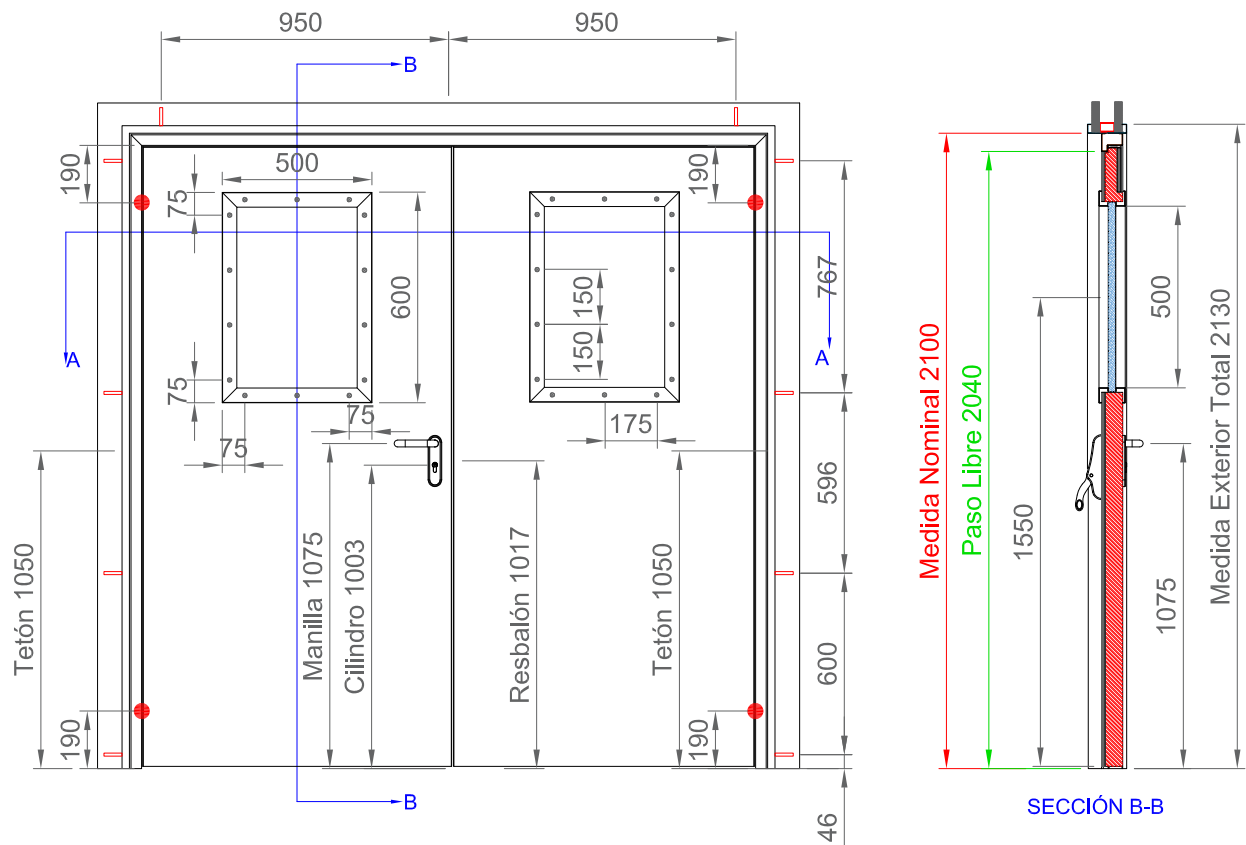
500

150

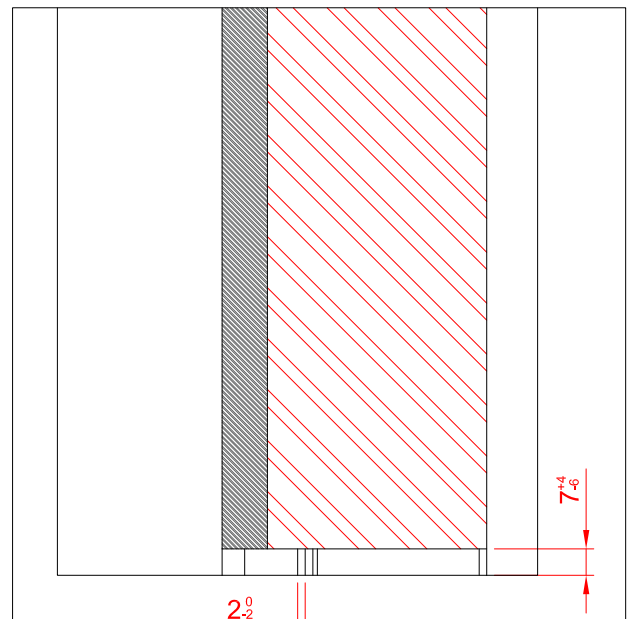
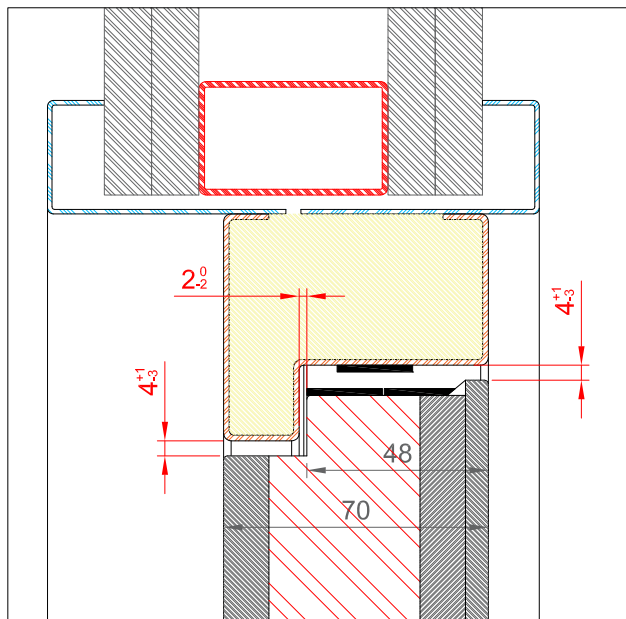
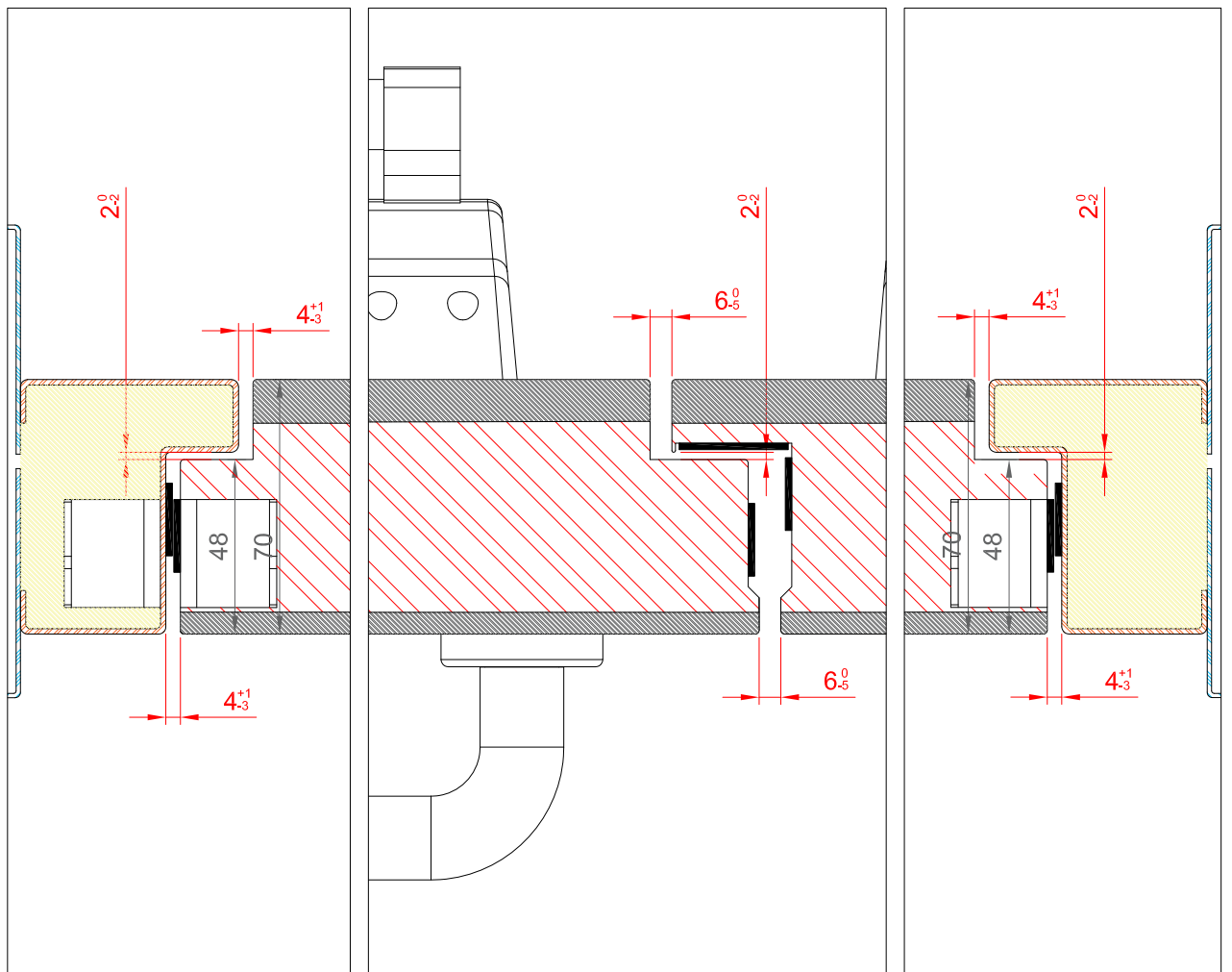
Medida Exterior Total 2130



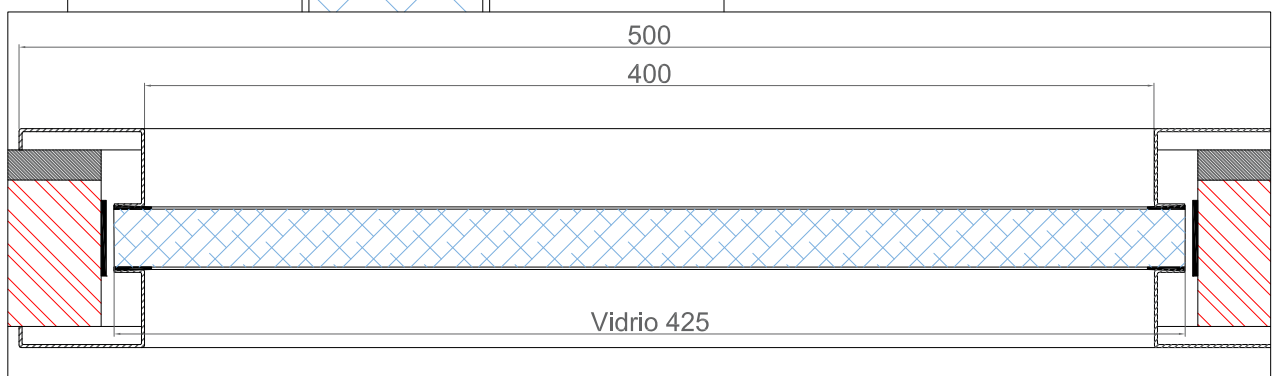
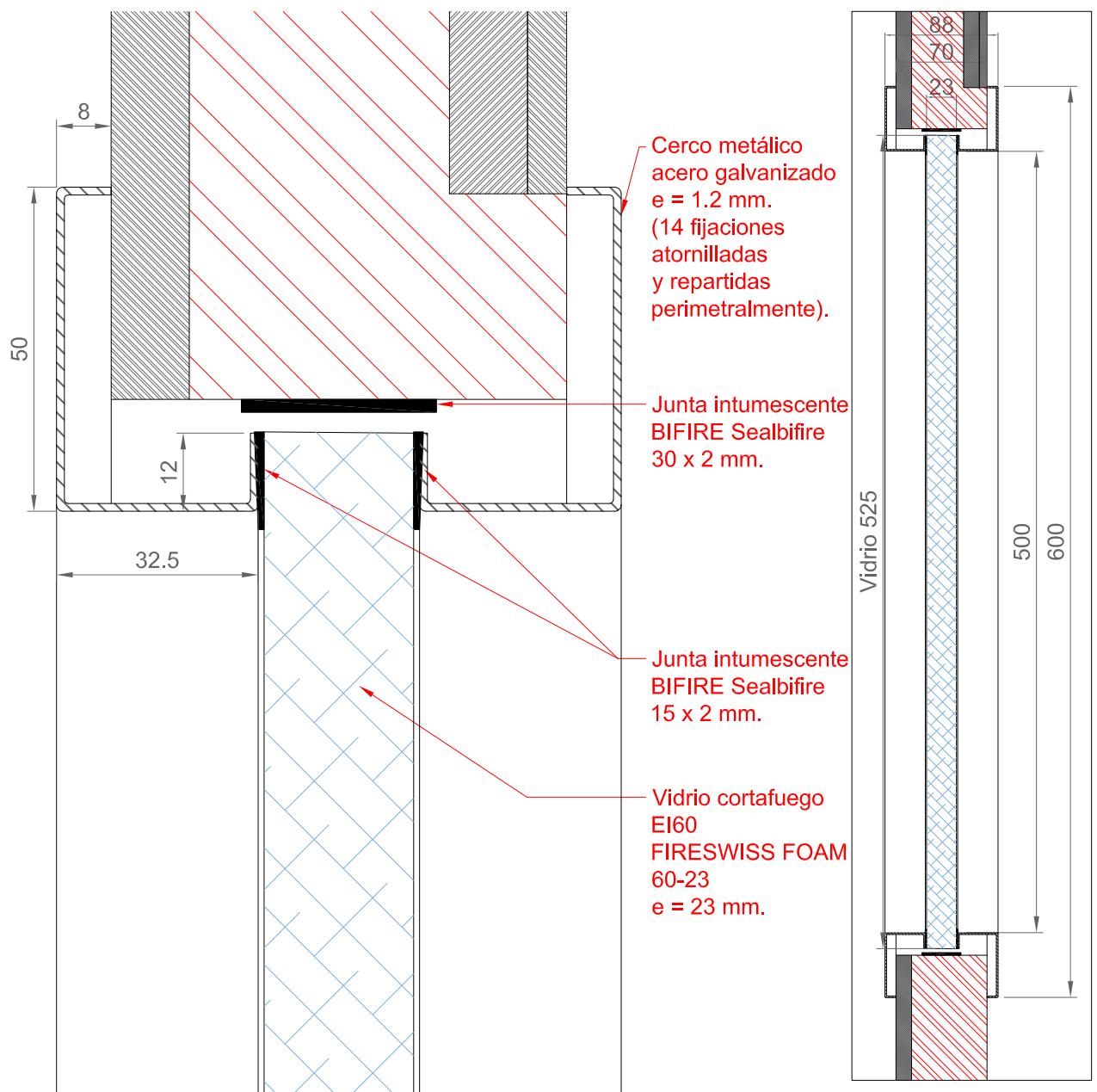
	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id.s.normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-2B0-1_0003-00
	Descripción del plano: SECCIÓN VERTICAL			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-2B0-1_0004-00
	Descripción del plano: ACOTACIONES PRINCIPALES			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id. s. normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-2B0-1_0006-00
	Descripción del plano: HOLGURAS DE DISEÑO			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial



	Fecha	Nombre	Firma/s:	 
Dibujado	29/05/2017	Isidro Rugama		
Comprobado	29/05/2017	Isidro Rugama		
id.s.normas				
Escala:	Trabajo de Fin de Carrera DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PUERTA CORTAFUEGO CON HERRAJE OCULTO			Código plano: NA-60-2B0-1_0007-00
	Descripción del plano: DETALLE VIDRIO Y CERCO			Alumno: Isidro Rugama Acebo
				Titulación: Ingeniería Industrial

CAPÍTULO 8

ENSAYOS A ESCALA REAL



8 ENSAYOS A ESCALA REAL

8.1 Ensayos de resistencia al fuego

Los ensayos que se plantean para evaluar la resistencia al fuego de las muestras se realizan en base a la norma europea EN 1634-1:2014: “Fire resistance and smoke control test for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware – Part-1: Fire resistance test for door and shutter assemblies and openable windows” y la UNE-EN 1363-1:2015: “Ensayos de resistencia al fuego – Parte 1: Requisitos generales”.

Como se ha comentado anteriormente, el objeto de estos ensayos es comprobar el cumplimiento de los criterios de integridad y aislamiento térmico.

Según los puntos 11.2.2, 11.2.3, 11.2.4 y 11.2.5 de la norma EN 1634-1:2014, un fallo de aislamiento térmico se produce para las puertas cortafuego cuando:

- La temperatura media de la cara no expuesta se incrementa en más de 140 °C por encima de la inicial.
- La temperatura de cualquiera de los puntos de la cara no expuesta se incrementa en más de 180 °C por encima de su temperatura inicial, con excepción para el límite de la temperatura máxima del marco de la puerta, que será de 360 °C.

Atendiendo a los puntos 10.2.2 y 11.1 de la norma EN 1634-1:2014, un fallo en el criterio de integridad se evalúa mediante tampón de algodón, galgas y realizando observaciones para registrar la presencia de llamas sostenidas en la zona afectada.

También ha de comentarse que no es objetivo de este trabajo la evaluación del criterio de radiación.

En cuanto a las características generales del horno cabe decir que se ajustan a lo indicado en la norma UNE-EN 1363-1:2015.

Las dimensiones del horno son 3.00 x 3.00 m. y se encuentra dispuesto en un plano vertical. Su temperatura media, dada por nueve termopares, se controla automáticamente para conseguir la curva temperatura/tiempo que dicta la norma y que se representa por la ecuación:

$$T = 345 \log (8t + 1) + 20$$

La presión se controla automáticamente, de manera que a una posición de 2.5 m. de la base del horno existe una sobrepresión de 14.5 ± 3 Pa, proporcional a 0 Pa a una cota de 500 mm. sobre la base de la pared, siguiendo la progresión indicada en la norma UNE-EN 1363-1:2015 que supone 8.5 Pa por metro de altura del horno.

Con la idea de desarrollar una gama de producto completa, someteré a tal ensayo las siguientes muestras:

- Muestras de una hoja, con unas dimensiones totales de 1050 x 2100 mm.
- Muestras de dos hojas, con unas dimensiones totales de 2100 x 2100 mm.

8.1.1 Ensayo sobre una muestra de una hoja

El proceso de evaluación de la resistencia al fuego en puertas metálicas consta siempre de dos ensayos, donde se evalúan ambas caras de exposición al fuego. Con la intención de simplificar la exposición y suprimir información redundante, aquí sólo presentaré la información relativa a uno de dichos ensayos.

Para la realización de este hito entrego al laboratorio una muestra de puerta abisagrada metálica de una hoja, con referencia “NA-60-1BO-1”.

El montaje se realiza, por petición expresa mía, en las instalaciones del LGAI Technological Center S.A.

Así mismo, el laboratorio verifica mediante inspección la muestra recibida para ensayo, que ha sido fabricada como prototipo según las instrucciones de proceso de la línea de producción. El organismo de certificación notificado LGAI Technological Center S.A. se encuentra presente en la fase de fabricación de la muestra.

Los datos de recepción para este caso son:

- Fecha de entrega a laboratorio: 21 de junio de 2016.
- Fecha de ensayo: 27 de junio de 2016.
- Número de registro: 16/12154-1306 T.
- Peso total de la muestra: 130 kg.

8.1.1.1 Características de la muestra

Dimensiones de la muestra:

- Dimensiones totales (abrazamuro incluido): 1110 x 2130 mm.
- Dimensiones totales (marco incluido): 1050 x 2100 mm.
- Dimensiones de paso libre: 930 x 2040 m.
- Dimensiones de hoja: 962 x 2040 mm.

Composición de la hoja:

- Chapa de acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.
- Panel de lana de roca referencia “KNAUF INSULATION DRS FIRE BOARD D15” de 56 mm. de espesor y densidad 150 kg/m³.
- Placa de silicato cálcico con referencia “PROMATECT-H” DE 12 mm. de espesor y densidad 870 kg/m³.
- Chapa de acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.

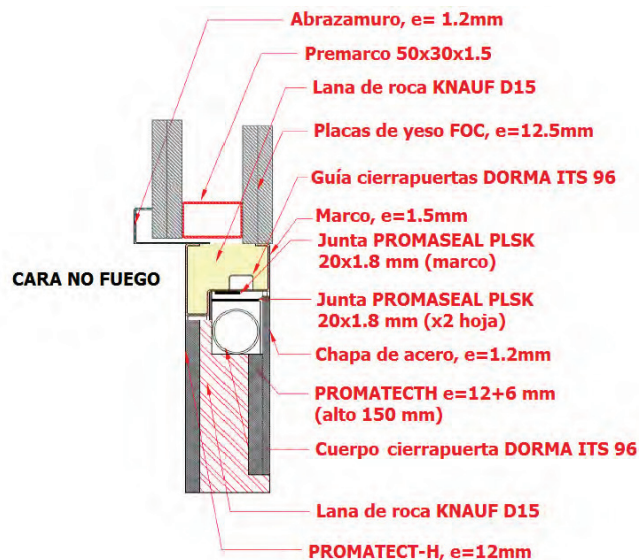


Figura 8-1. Ensayo de fuego 1 hoja. Sección vertical superior de la muestra

- La parte superior de la hoja incorpora dos placas de silicato cálcico con referencia “PROMATECT-H”, una de 6 mm. de espesor y otra de 12 mm. de espesor, con 150 mm. de altura y una densidad de 870 kg/m³; estos refuerzos aparecen dispuestos a lo largo de toda la anchura de la hoja.

- Los laterales verticales de la hoja se refuerzan con una placa de de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H" de 6 mm. de espesor, con 150 mm. de anchura y una densidad de 870 kg/m^3 .
- La unión entre las bandejas de acero que conforman la hoja se realiza mediante puntos de soldadura en los laterales verticales de la hoja y la horizontal superior cada 450 mm. La hoja queda rematada en su parte inferior gracias a tornillos autotaladrantes de dimensiones $\varnothing 4.2 \times 16 \text{ mm}$.

Superficie vidriada:

- Dimensiones totales (cerco incluido): 500 x 700 mm.
- Dimensiones de paso de luz: 400 x 600 mm.
- El vidrio cortafuego empleado es suministrado por el fabricante "GLASTRÖSCH" con la referencia "FIRESWISS FOAM® 60-23". Se trata de un vidrio laminado con un espesor total de 23 y dimensiones totales de 425 x 625 mm.
- El cerco perimetral es de fabricación propia, conformado en frío en un proceso de plegado. El material elegido es un acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.

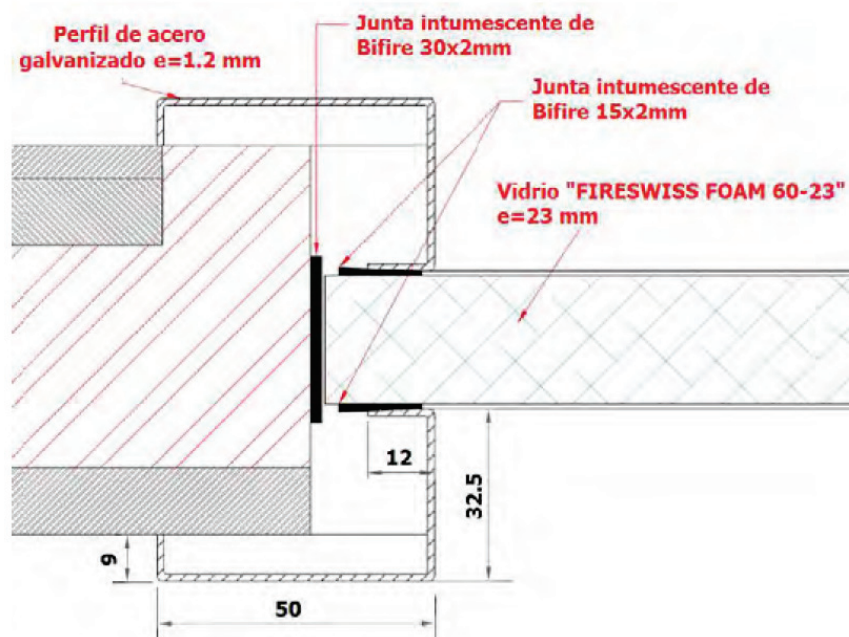


Figura 8-2. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de vidrio cortafuego y cerco

- La unión entre el cerco y la hoja incorpora juntas intumescentes termoexpandibles con referencia "SEALBIFIRE®", de dimensiones 30 x 2 mm.y 15 x 2 mm.
- Este mismo cerco se fija a la hoja mediante un total de 14 tornillos pasantes DIN 965 de dimensiones M5 x 40 mm, dispuestos tal y como se indica en la Figura 8-3.
- La unión entre los perfiles que conforman el marco o cerco se consigue mediante puntos de soldadura por su cara interna.

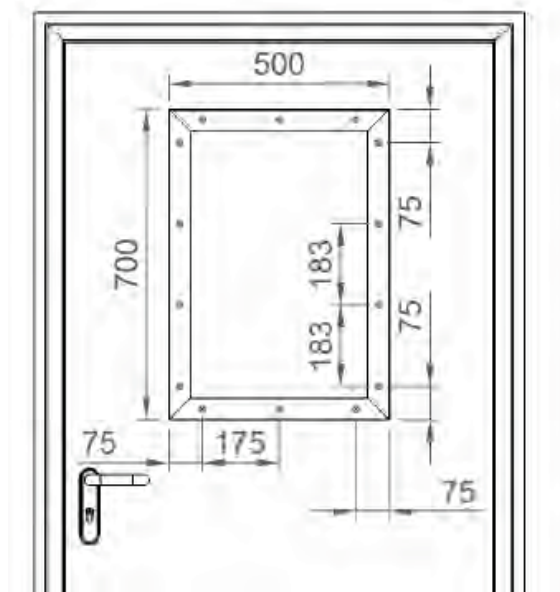


Figura 8-3. Ensayo de fuego 1 hoja. Distribución de las fijaciones sobre el cerco del vidrio

Marco de la puerta:

- Tipo de marco: envolvente, designación: C70.
- Dimensiones totales de la sección: 60 x 70 mm.
- El perfil del marco es de fabricación propia, partiendo de una acero electrocincado de 1.5 mm. de espesor.

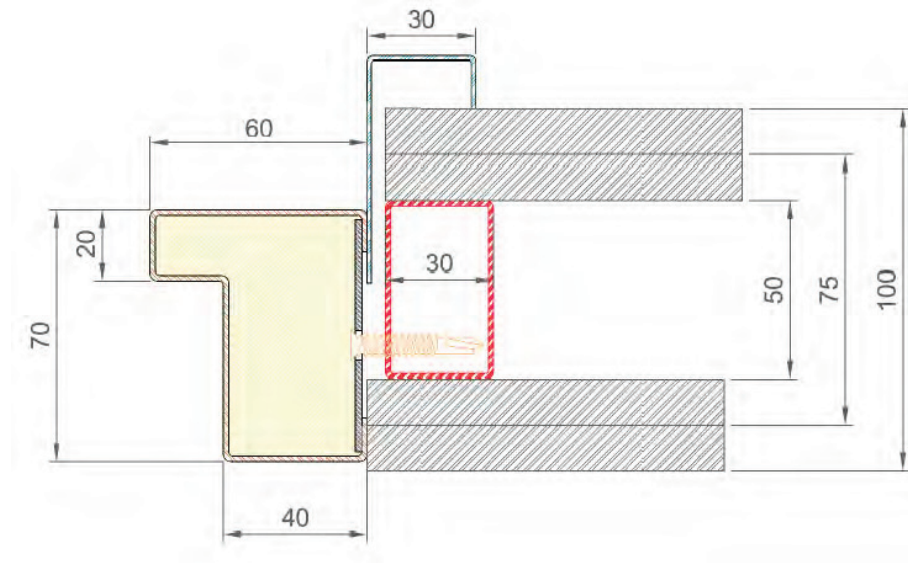


Figura 8-4. Ensayo de fuego 1 hoja. Solución de instalación sobre tabiquería flexible de PYL

- El interior del marco se rellena con lana de roca “KNAUF INSULATION DRS FIRE BOARD D15”, con una densidad de 150 kg/m^3 .
- Los perfiles que componen el marco están unidos entre sí mediante puntos de soldadura.
- Adicionalmente, el marco incorpora perfiles abrazamuro de acero galvanizado; el espesor nominal es de 1.2 mm.

Premarco de la puerta:

- La muestra cuenta con una premarco consistente es un perfil tubular hueco de acero galvanizado, de 1.5 mm. de espesor y sección 30 x 50 mm.

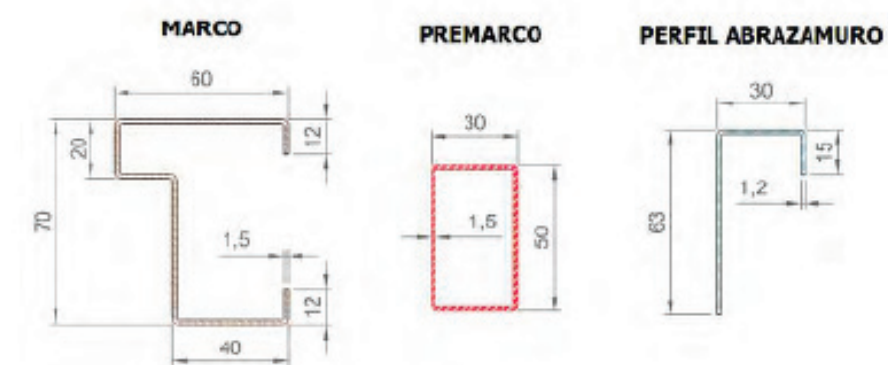


Figura 8-5. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de marco, premarco y perfil abrazamuro

- La técnica de unión entre las barras vuelve a repetirse: soldadura aplicada en puntos.

Método de fijación marco-premarco:

- El marco es fijado al premarco de la puerta haciendo uso de un total de 10 tornillos autotaladrantes de dimensiones $\varnothing 6.3 \times 63$ mm. cuya cabeza queda presionada contra una pletinas 1.5 mm. de grosor.

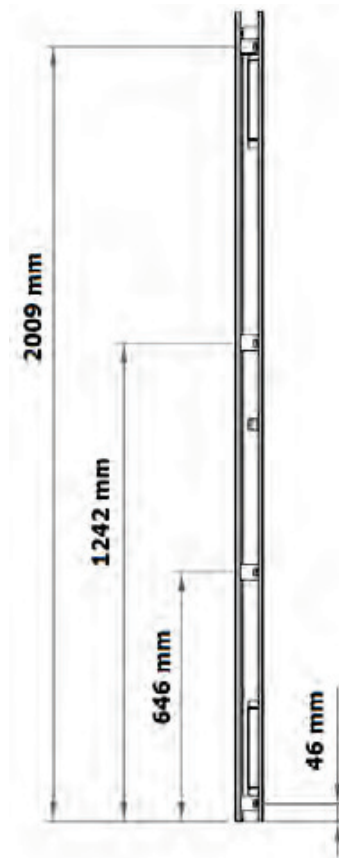


Figura 8-6. Ensayo de fuego 1 hoja. Distribución de la tornillería de fijación en el marco lateral de la muestra

- La distribución de los tornillos consiste en dos unidades en la horizontal superior del marco, a 100 mm. de cada extremo, y cuatro tornillos por lateral vertical del marco, distanciados como refleja la Figura 8-6.

Herrajes:

- Manilla serie “Sena Inox 304 C9” con referencia “MS0L972IS” del fabricante “TESA ASSA ABLOY”, situada en la cara desde la cual se realiza el movimiento de “tirar” si se quiere abrir la puerta.
- Barra antipánico referenciada como “QUICK1E909NR” de fabricante “TESA”, instalada en la cara desde la cual se realiza el movimiento de “empujar” si se quiere abrir la puerta.

- Cerradura serie “CF60” con referencia “CF60RSR9ZCE” del fabricante “TESA”, embutida en el lateral de la hoja. Su posicionamiento queda determinado por la distancia de la parte superior de su resbalón respecto a la parte inferior de la hoja, que resulta ser de 1017 mm.
- Cilindro serie “TE5” con referencia “5200 45 45 N” suministrado por “TESA”.
- Dos bisagras ocultas con referencia “K7120 CS DXSX” del fabricante “KRONA KOBLENZ” de dimensiones totales 200 x 80.5 mm, atornilladas tanto a la hoja como al marco. Su posicionamiento queda definido por la distancia de su centro geométrico con respecto a la parte inferior de la hoja: 190 y 1850 mm. respectivamente.
- Cierrapuertas oculto codificado como “ITS 96 EN3-6” aportado por el fabricante “DORMAKABA” y embebido en la esquina superior del canto de la hoja de la puerta. Este elemento se encuentra desactivado durante todo el transcurso del ensayo.
- Tetón de acero de dimensiones Ø 12 x 15 mm. ubicado en el lateral de bisagras a una distancia de 1050 mm. respecto a la parte inferior de la puerta.

Obra soporte:

- La obra soporte, objeto de ensayo, es una pared flexible estandarizada, construida de acuerdo con el apartado 7.2.2.4 de la norma UNE EN 1363-1:2015, perteneciente al grupo A y con una resistencia al fuego EI 90 (tabla 1 de la citada norma).
- Dos placas de cartón-yeso laminado, dispuestas por cada cara de la obra soporte, con referencia “K711F KNAUF CORTAFUEGO DF”, con un espesor unitario de 12.5 mm. y densidad 800 kg/m³.
- Montantes y canales de acero laminado de 48 mm. de ancho nominal y 0.6 mm. de espesor.
- Lana de roca “ROCKPLUS-E 220” de “ROCKWOOL”, de 40 mm. de espesor y densidad 50 kg/m³.
- Tornillería de “AKIFIX” de dimensiones Ø 3.5 x 25 mm. empleada en la primera capa de placas de yeso, cada 300 mm.

- Tornillería de “AKIFIX” de dimensiones $\varnothing 3.5 \times 35$ mm. empleada en la segunda capa de placas de yeso, cada 300 mm.
- Las juntas verticales, la horizontal superior y la tornillería de las capas más externas se cubren con conglomerante a base de yeso.
- Laterales verticales libres.
- Canales superior e inferior fijados mediante tornillos expansivos con un intervalo de 600 mm.

Método de instalación premarco-obra soporte:

- El premarco de la puerta se une a la perfilaría de acero de la obra soporte a través de tornillos rosca-chapa “AKIFIX”, de dimensiones $\varnothing 3.5 \times 9.5$ mm, centrados y distanciados 300 mm. entre ellos.

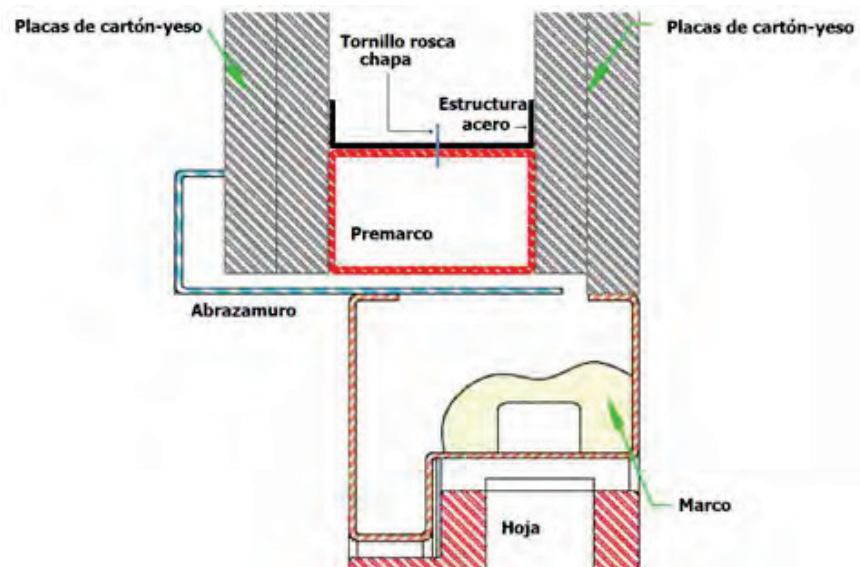


Figura 8-7. Ensayo de fuego 1 hoja. Detalle de la unión del premarco a la perfilaría de acero de la obra

8.1.1.2 Preparación del ensayo

La muestra fue fijada a una pared flexible estandarizada de 100 mm de espesor compuesta por una doble capa de cartón-yeso laminado en cada cara que alberga en su interior un panel de lana de roca embebido en una estructura de acero. Todo el conjunto se construyó dentro de un marco de acero, el cual, una vez situado en el horno, constituyó la cara vertical del mismo.

La temperatura media de la cara no expuesta de la puerta se mide a través de cinco termopares fijados en el centro de la muestra y en el centro de cada uno de los cuatro cuartos (nº 31, 32, 33, 34, 35) tal y como se indica en la Figura 8-8.

Estos termopares se emplean tanto para comprobar los criterios de temperatura máxima como de temperatura media.

Se colocan cuatro termopares auxiliares en la hoja de la puerta. Se colocan dos termopares a 100 mm. de los bordes verticales y a 100 mm. de la barra antipánico (nº 47, 48) y dos termopares a 100 mm. del borde horizontal superior y de los bordes verticales simultáneamente (nº 40, 41).

Se instalan dos termopares en el vidrio que incorpora la puerta (nº 36, 37) con la finalidad de comprobar los criterios de temperatura máxima y temperatura media sobre esta superficie, como se observa en la Figura 8-8.

El vidrio en cuestión queda rematado por un cerco metálico sobre el cual se preparan cuatro termopares (nº 42, 43, 44, 45).

Adicionalmente, se montan cuatro termopares, dos de ellos se sitúan a media altura de cada elemento vertical (nº 46, 49) y los dos restantes se sitúan en la esquina de la horizontal superior del marco (nº 38, 39).

Las deformaciones de la muestra se miden en cuatro puntos de medida distintos (E, F, G, H); así queda expuesto en la Figura 8-8.

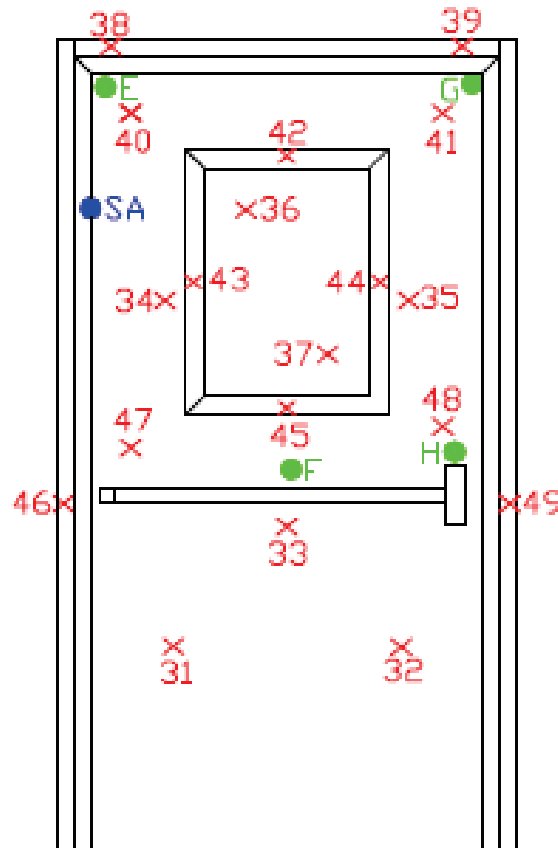


Figura 8-8. Ensayo de fuego 1 hoja. Esquema de situación de termopares, puntos de medida de deformación y separación máxima entre hoja y marco

El personal de laboratorio verifica que el espesor de la muestra corresponde con la información aportada por el peticionario.

La temperatura ambiente se registra al comienzo del ensayo (24 ± 4 °C).

8.1.1.3 Verificaciones previas al ensayo

Se realiza el acondicionamiento mecánico de la probeta según el siguiente procedimiento: la operatividad de la muestra se realiza haciéndola funcionar desde su posición totalmente cerrada a una posición abierta, con un movimiento mínimo de 90°, durante 25 ciclos. El funcionamiento de apertura y cierre se realiza mediante el dispositivo de autocierre (cierrapuertas).

Posteriormente, la hoja se abre (10 ± 2 °), se retiene durante (20 ± 2 s) y se libera sin choques gracias al dispositivo de autocierre. La velocidad de cierre no sobrepasa los 300 mm/s.

Se comprueba la apertura y cierre de la puerta, como dicta el punto 10.1.4 de la norma EN 1634-1:2014).

Se toman medidas de las holguras de la puerta (punto 10.1.2 de la norma EN 1634-1:2014).

Puerta		Holgura mínima medida antes del ensayo (mm)	Holgura máxima medida antes del ensayo (mm)	Holgura media antes del ensayo (mm)
Entre hoja y dintel (ver DETALLE 10)	Holgura A	7.0	10.0	8.5
	Holgura B	4.0	6.0	4.8
Entre hoja y lado bisagras (ver DETALLE 11)	Holgura C ²	4.5	5.0	4.7
	Holgura D	2.5	4.0	3.0
Entre hoja y lado cerradura (ver DETALLE 11)	Holgura C ²	2.5	4.0	3.2
	Holgura D	3.0	4.0	3.3
Entre hoja y parte inferior	-	5.0	7.5	6.2

Tabla 8-1. Ensayo de fuego 1 hoja. Holguras medidas sobre la muestra

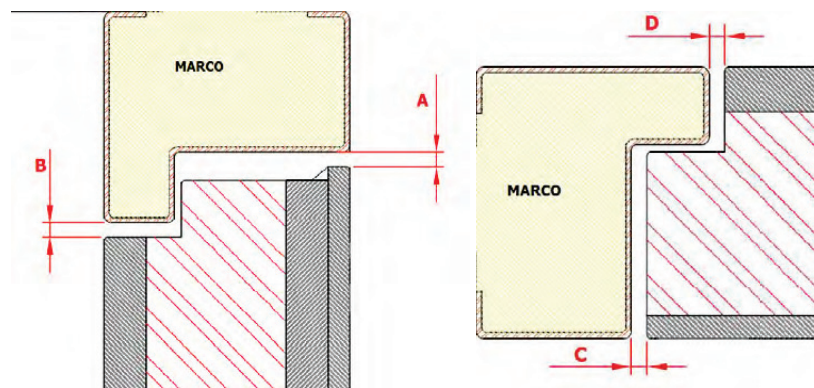


Figura 8-9. Ensayo de fuego 1 hoja. Localización de las holguras medidas sobre la muestra

La medición de la fuerza de retención alcanza un valor de 36.8 N (punto 10.1.3 de la norma EN 1634-1:2014).

8.1.1.4 Resultados obtenidos

La Figura 8-10 muestra la curva temperatura/tiempo del horno para el ensayo en cuestión, además de la curva estándar según la norma UNE EN 1363-1:2015.

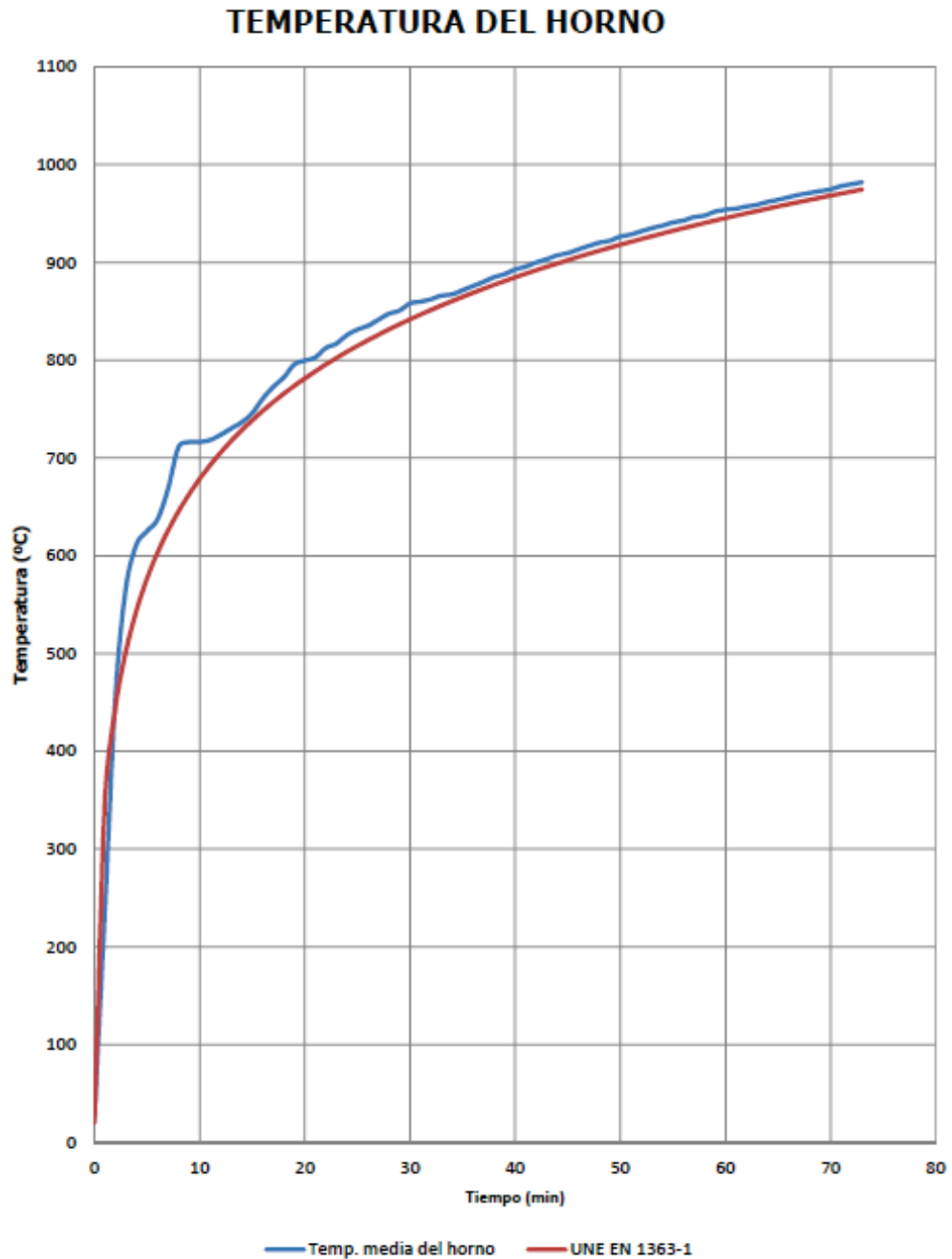


Figura 8-10. Ensayo de fuego 1 hoja. Curva temperatura/tiempo del horno y curva según norma UNE-EN 1363-1:2015

La Figura 8-11 muestra la desviación en porcentaje entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva correspondiente al ensayo, comparando esta diferencia con el porcentaje tolerado por la norma UNE-EN 1363-1:2015.

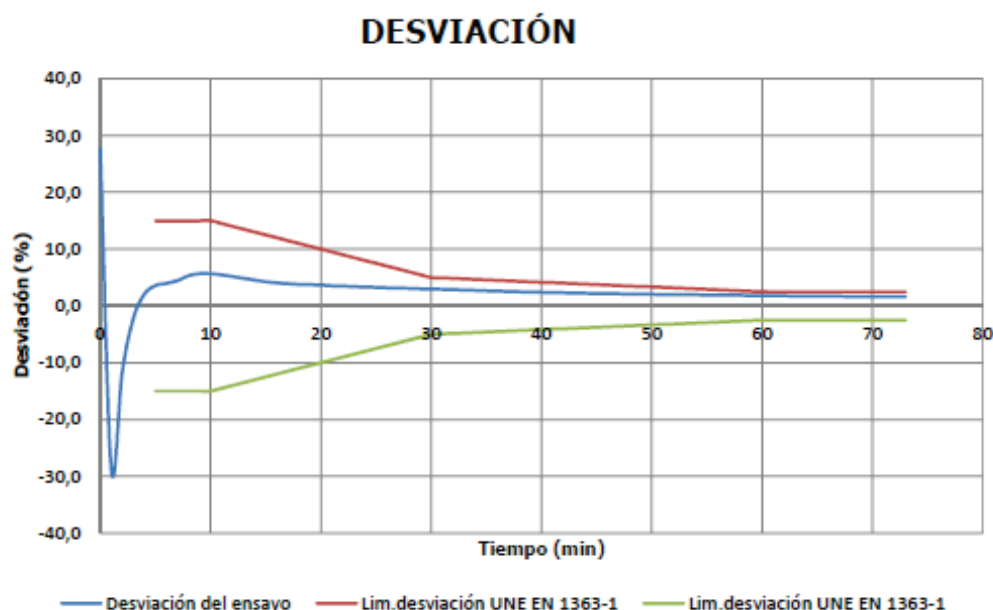


Figura 8-11. Ensayo de fuego 1 hoja. Desviación porcentual entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva del ensayo

La Figura 8-12 muestra la presión interna a lo largo del ensayo y los límites indicados según la norma UNE-EN 1363-1:2015.

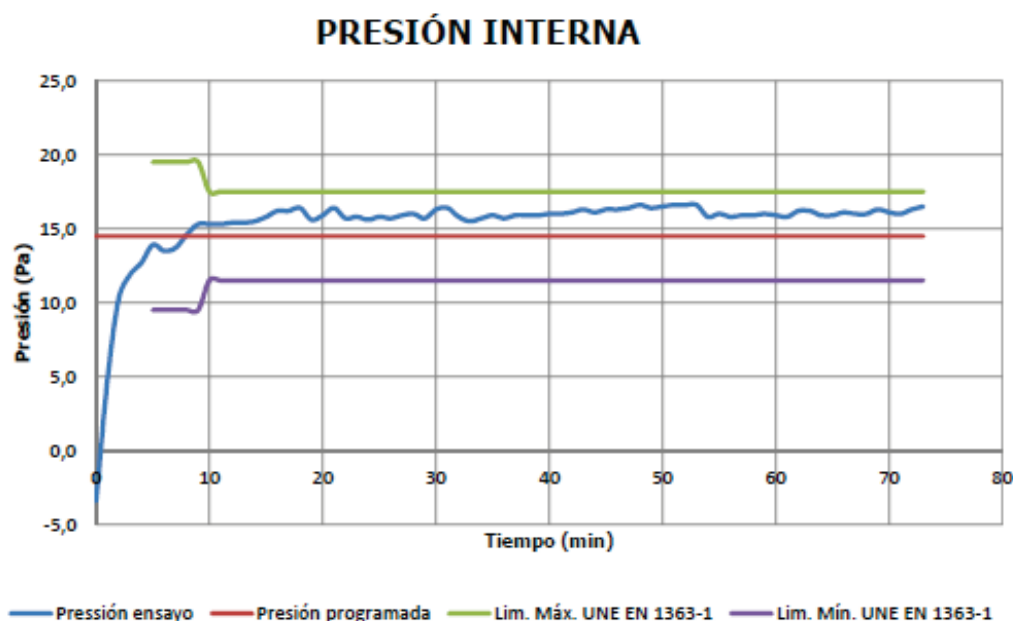


Figura 8-12. Ensayo de fuego 1 hoja. Presión interna durante el ensayo. Límites según norma UNE-EN 1363-1:2015

La Figura 8-13 muestra la temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra.

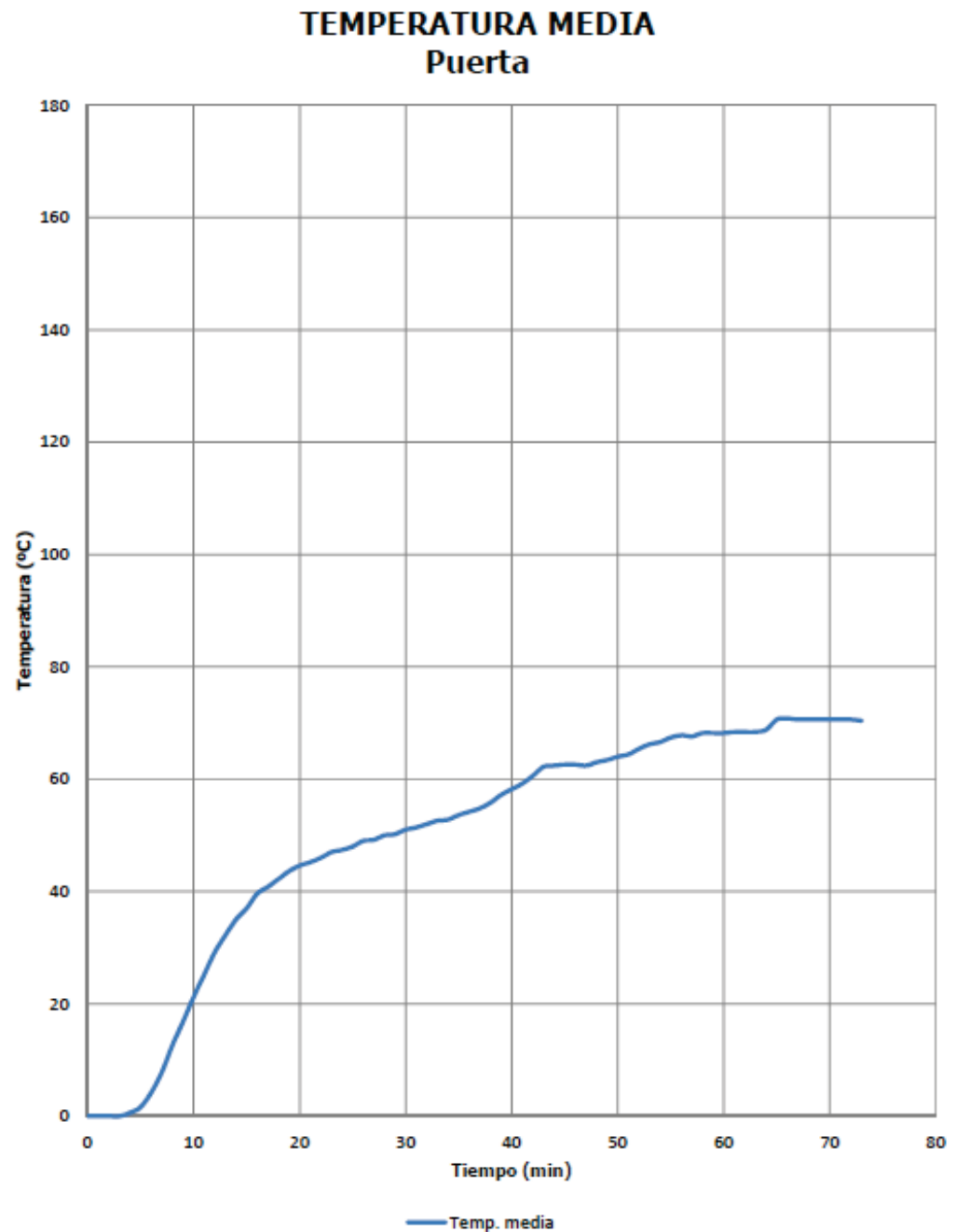


Figura 8-13. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperatura media de los termopares individuales instalados sobre la cara no expuesta de la muestra

La Figura 8-14 refleja las temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra.

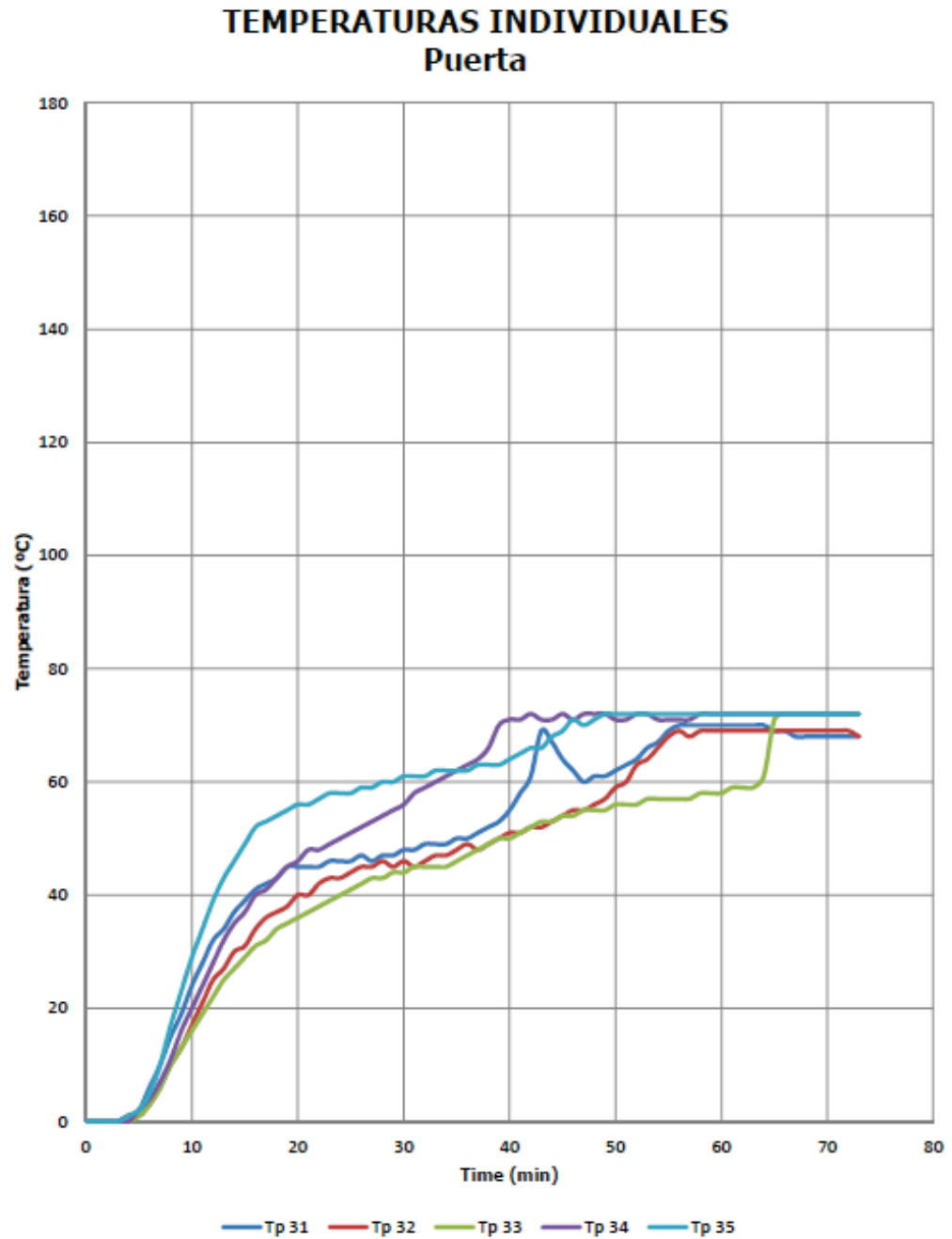


Figura 8-14. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra

La Figura 8-15 refleja las temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la muestra.

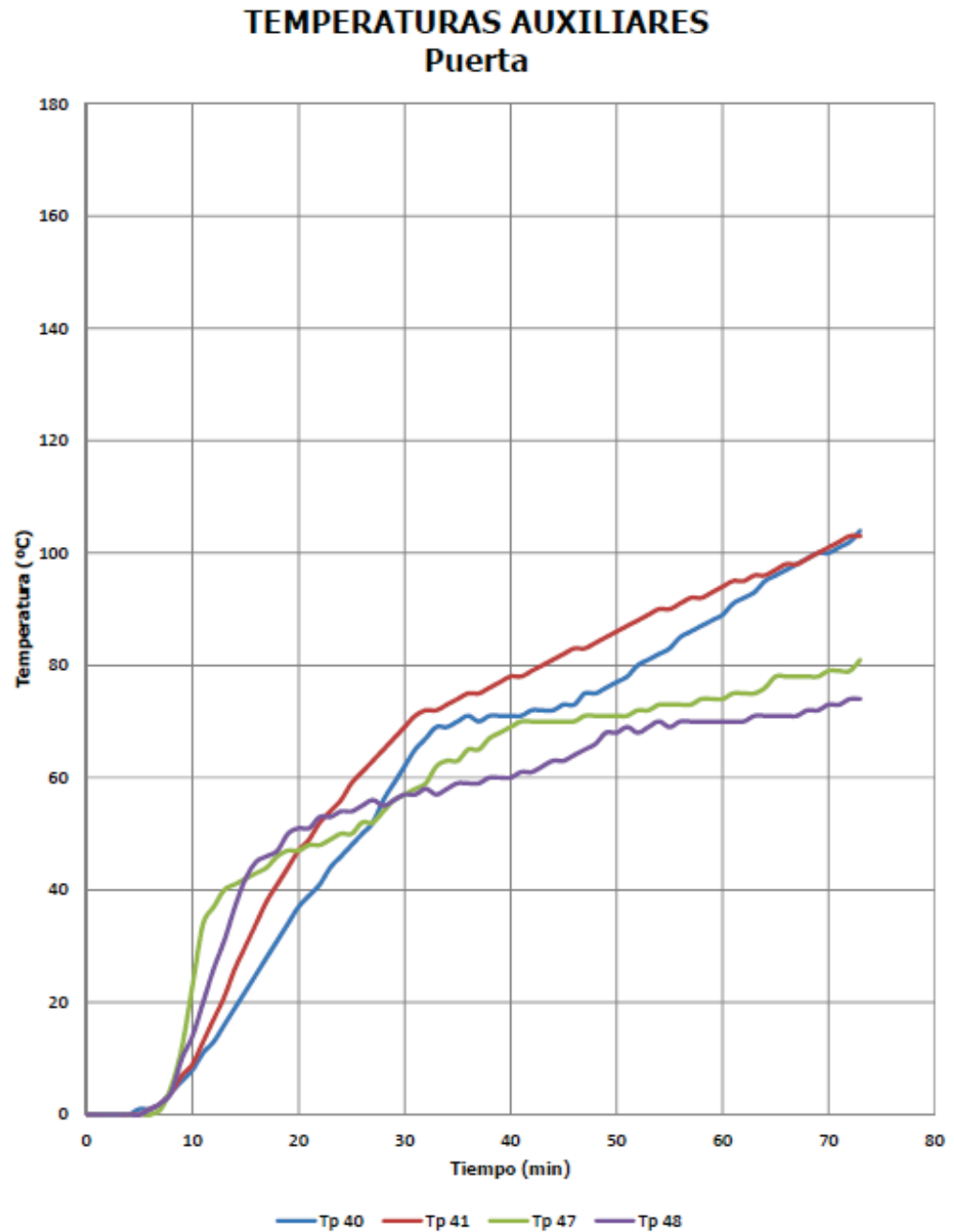


Figura 8-15. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la muestra

La Figura 8-16 refleja la temperatura media de los termopares colocados sobre la cara no expuesta del vidrio de la muestra (mirilla).

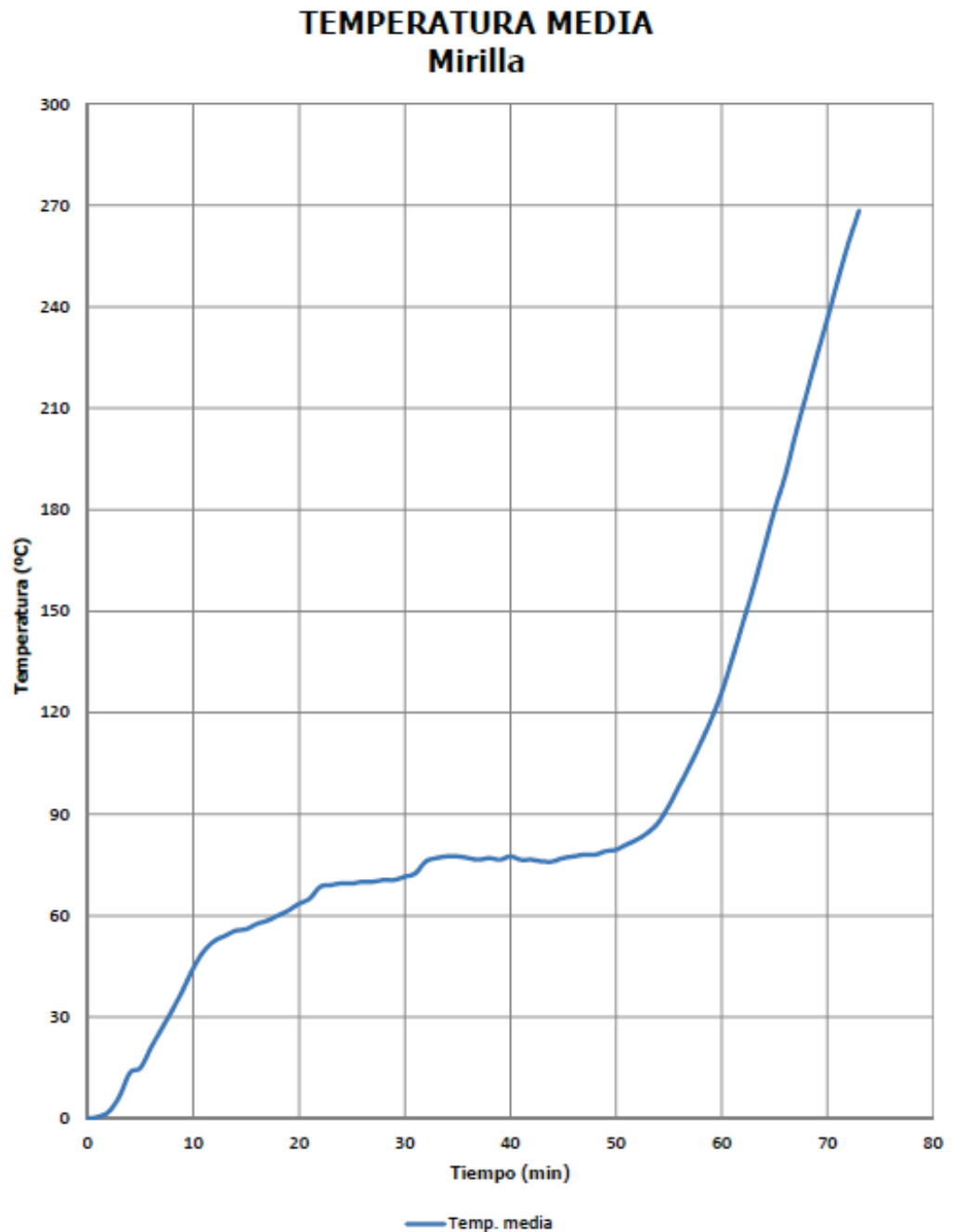


Figura 8-16. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta del vidrio

La Figura 8-17 refleja las temperaturas de los termopares individuales colocados sobre la cara no expuesta del vidrio de la muestra.

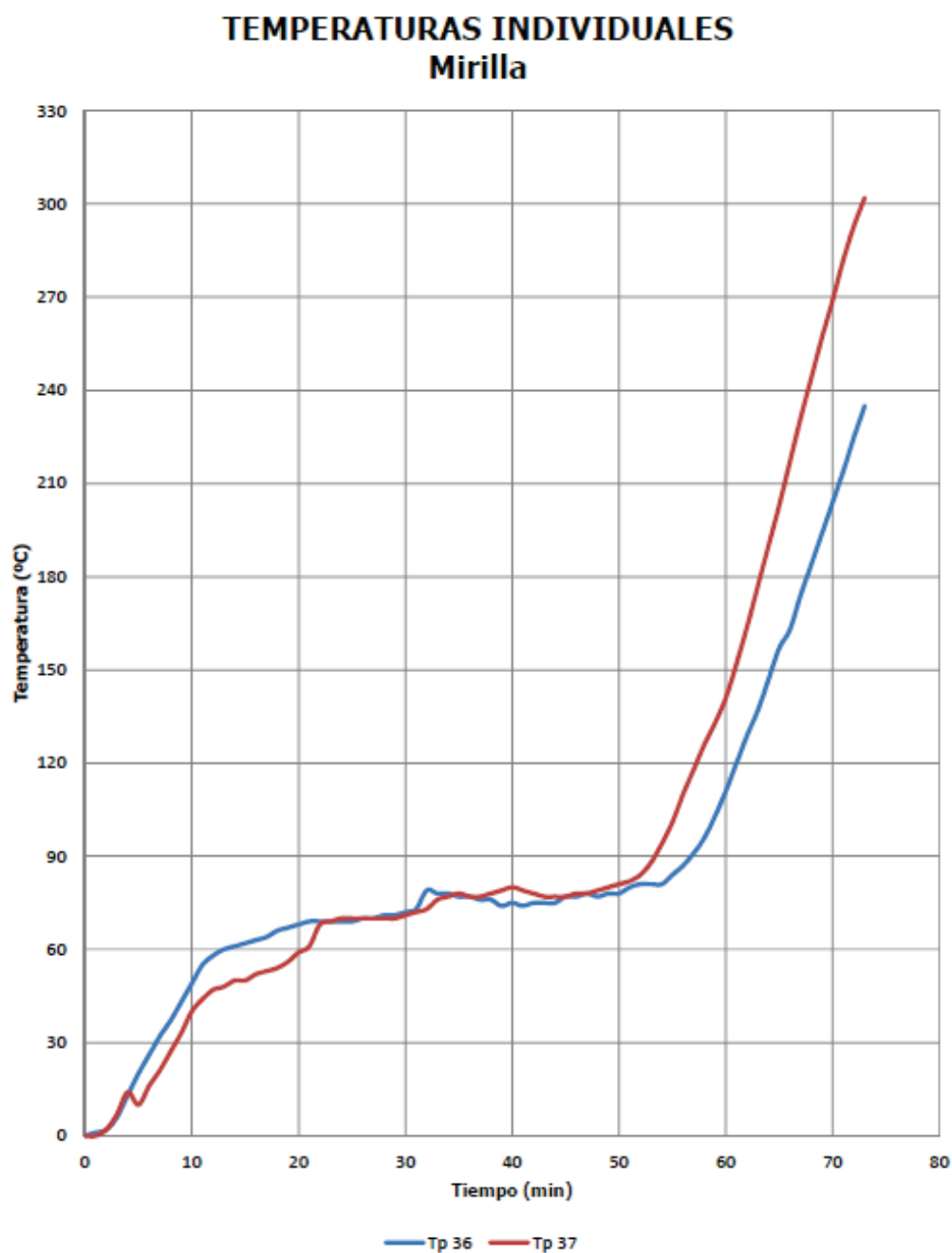


Figura 8-17. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta del vidrio

La Figura 8-18 contiene las temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco metálico que rodea al vidrio de la muestra.

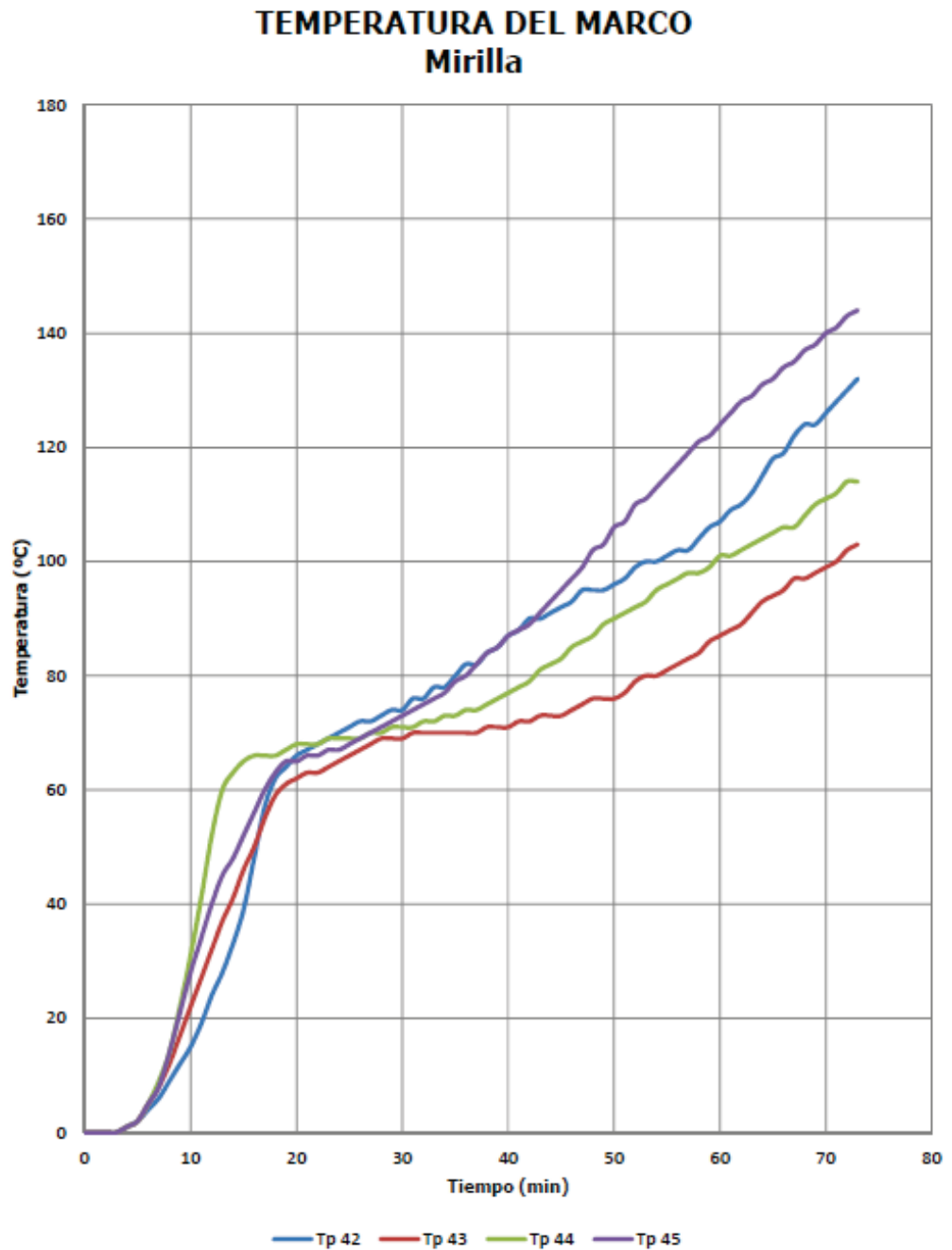


Figura 8-18. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio

La Figura 8-19 muestra las temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco de la puerta.

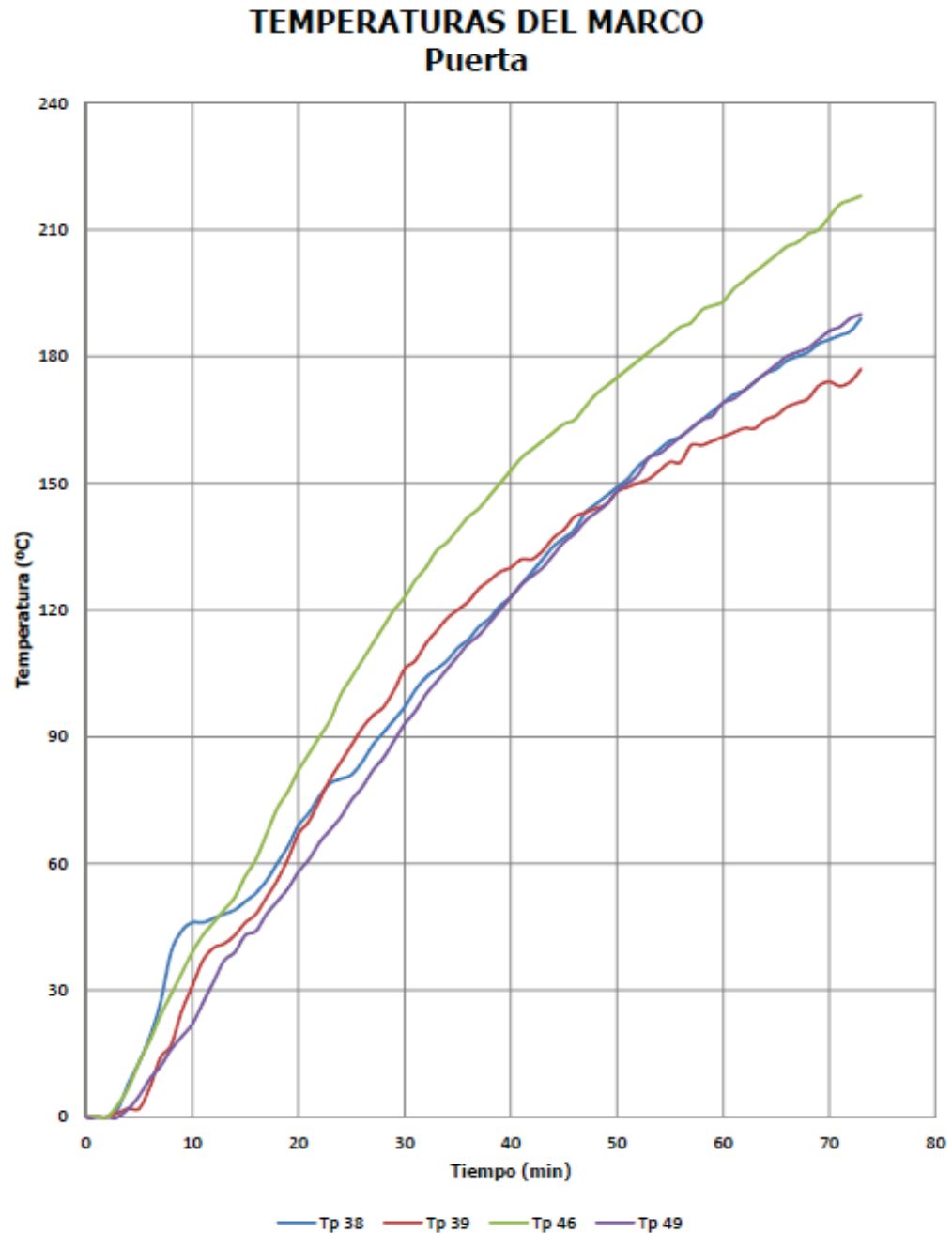


Figura 8-19. Ensayo de fuego 1 hoja. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco

La Tabla 8-2 expone las deformaciones medidas durante el ensayo, donde las deformaciones positivas indican un desplazamiento hacia el interior del horno, mientras que las deformaciones negativas suponen un desplazamiento hacia el exterior del horno.

Tiempo (min)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)
0	0	0	0	0
5	1	13	-4	10
20	14	24	12	27
30	19	28	15	27
45	31	37	23	39
73	36	45	24	46

Tabla 8-2. Ensayo de fuego 1 hoja. Deformaciones medidas durante el ensayo de la muestra

Las incertidumbres de los termopares de control del horno no sobrepasan los $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las incertidumbres de los termopares de temperatura ambiente y de temperatura en la cara no expuesta en ningún caso sobrepasan los $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La incertidumbre de otros termopares no sobrepasa los $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A continuación se exponen una serie de imágenes tomadas durante el transcurso del ensayo.



Figura 8-20. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra en los instantes previos al ensayo



Figura 8-21. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 30 minutos de ensayo



Figura 8-22. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 50 minutos de ensayo



Figura 8-23. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra transcurridos los 60 minutos de ensayo



Figura 8-24. Ensayo de fuego 1 hoja. Estado de la muestra una vez finalizado el ensayo

8.1.1.5 Clasificación y campo de aplicación

Los resultados hallados en el ensayo de fuego dan lugar a un informe de clasificación de resistencia al fuego, donde se define la clasificación asignada al elemento ensayado, de acuerdo con el procedimiento dado en la norma UNE-EN 13501-2:2009 + A1:2010.

En este caso, la finalidad de dicho informe será exponer las características del comportamiento de resistencia al fuego, concretamente las características o prestaciones de integridad y aislamiento térmico dadas en el apartado 5 de la norma en cuestión.

Junto con la clasificación pertinente, este informe hace mención al campo de aplicación directa de los resultados de ensayo, tal y como dicta el apartado 13 de la

norma EN 1634-1:2014. El campo de aplicación directa de los resultados define los cambios que se pueden efectuar en la puerta después de un ensayo de resistencia al fuego con resultado satisfactorio. Estas variaciones se pueden introducir de forma directa o automática, sin necesidad de que el fabricante de la puerta solicite un informe de extensión, cálculo o aprobación adicional.

Cabe señalar que la clasificación obtenida es EI 60, o lo que es lo mismo, se constata que la puerta ensayada ha mantenido con éxito su integridad y su aislamiento térmico durante un tiempo superior a los 60 minutos. Existe una clasificación adicional, más bien ligada al campo de aplicación directa y relativa a las posibles variaciones de tamaño de la puerta; se trata de la categoría. De acuerdo con el punto 13.3.2 de la norma UNE-EN 13501-2:2009 + A1:2010, la categoría alcanzada es la categoría A, por lo que no se permitirán los aumentos dimensionales de forma inmediata o directa.

Dado el número de consultas relacionadas con este asunto, es importante señalar que el informe de clasificación obtenido no representa ninguna aprobación tipo ni certificación de producto, ya que no se asocia con ninguna norma de producto; simplemente se trata de un informe de clasificación que habrá de compendiarse para la elaboración de un informe de clasificación unificado (Eltt Cx), tal y como preconiza el CTE, en general, y la norma sobre seguridad contra incendios UNE 23740-1:2016, en particular.

8.1.2 Ensayo sobre una muestra de dos hojas

El proceso de evaluación de la resistencia al fuego en puertas metálicas consta siempre de dos ensayos, donde se evalúan ambas caras de exposición al fuego. Con la intención de simplificar la exposición y suprimir información redundante, aquí sólo presentaré la información relativa a uno de dichos ensayos.

Para la realización de este hito entregué al laboratorio una muestra de puerta abisagrada metálica de dos hojas, con referencia "NA-60-2BO-1".

El montaje se realizó, por petición expresa mía, en las instalaciones del LGAI Technological Center S.A.

Así mismo, el laboratorio verifica mediante inspección la muestra recibida para ensayo, que ha sido fabricada como prototipo según las instrucciones de proceso de la línea de producción. El organismo de certificación notificado LGAI Technological Center S.A. se encuentra presente en la fase de fabricación de la muestra.

Los datos de recepción para este caso son:

- Fecha de entrega a laboratorio: 03 de octubre de 2016.
- Fecha de ensayo: 05 de octubre de 2016.
- Número de registro: 16/12154-1952 T.
- Peso total de la muestra: 260 kg.

8.1.2.1 Características de la muestra

Dimensiones de la muestra:

- Dimensiones totales (abrazamuro incluido): 2130 x 2130 mm.
- Dimensiones totales (marco incluido): 2100 x 2100 mm.
- Dimensiones de paso libre: 1980 x 2040 mm.
- Dimensiones de la hoja activa: 1000 x 2040 mm.
- Dimensiones de la hoja pasiva: 1035 x 2040 mm.

Composición de la hoja:

- Chapa de acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.
- Panel de lana de roca referencia "KNAUF INSULATION DRS FIRE BOARD D15" de 56 mm. de espesor y densidad 150 kg/m³.
- Placa de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H" DE 12 mm. de espesor y densidad 870 kg/m³.
- Chapa de acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.

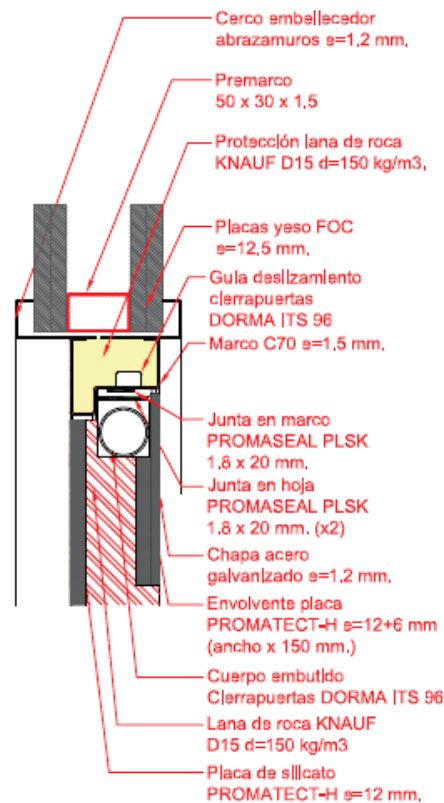


Figura 8-25. Ensayo de fuego 2 hojas. Sección vertical superior de la muestra

- La parte superior de la hoja incorpora dos placas de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H", una de 6 mm. de espesor y otra de 12 mm. de espesor, con 150 mm. de altura y una densidad de 870 kg/m^3 ; estos refuerzos aparecen dispuestos a lo largo de toda la anchura de la hoja.
- Los laterales verticales de la hoja se refuerzan con una placa de de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H" de 6 mm. de espesor, con 150 mm. de anchura y una densidad de 870 kg/m^3 .
- La unión entre las bandejas de acero que conforman la hoja se realiza mediante puntos de soldadura en los laterales verticales de la hoja y la horizontal superior cada 450 mm. La hoja queda rematada en su parte inferior gracias a tornillos autotaladrantes de dimensiones $\varnothing 4.2 \times 16 \text{ mm}$.

Superficie vidriada:

- Dimensiones totales (cerco incluido): $500 \times 600 \text{ mm}$.
- Dimensiones de paso de luz: $400 \times 500 \text{ mm}$.

- El vidrio cortafuego empleado es suministrado por el fabricante "GLASTRÖSCH" con la referencia "FIRESWISS FOAM® 60-23". Se trata de un vidrio laminado con un espesor total de 23 y dimensiones totales de 425 x 525 mm.
- El cerco perimetral es de fabricación propia, conformado en frío en un proceso de plegado. El material elegido es un acero electrocincado de 1.2 mm. de espesor.

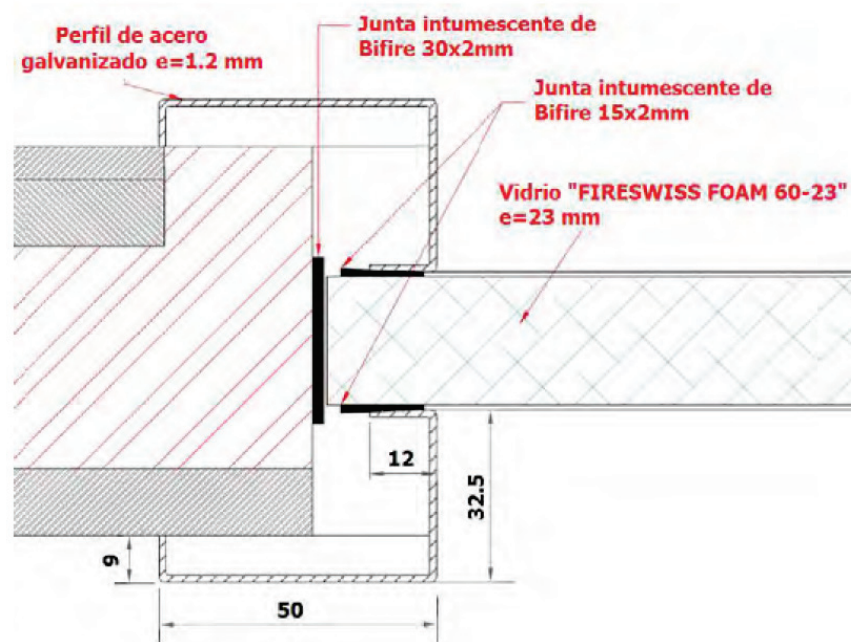


Figura 8-26. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de vidrio cortafuego y cerco

- La unión entre el cerco y la hoja incorpora juntas intumescentes termoexpandibles con referencia "SEALBIFIRE®", de dimensiones 30 x 2 mm. y 15 x 2 mm.
- Este mismo cerco se fija a la hoja mediante un total de 14 tornillos pasantes DIN 965 de dimensiones M5 x 40 mm, dispuestos tal y como se indica en la Figura 8-27.
- La unión entre los perfiles que conforman el marco o cerco se consigue mediante puntos de soldadura por su cara interna.

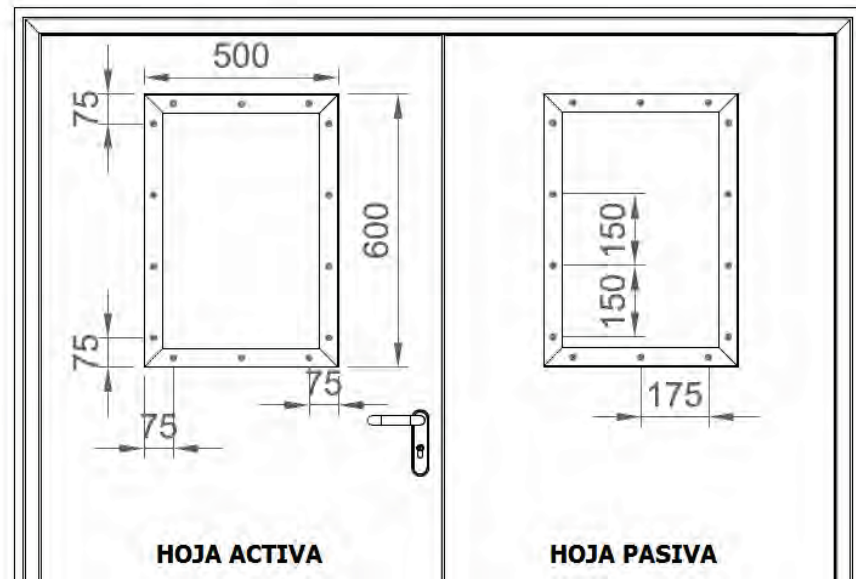


Figura 8-27. Ensayo de fuego 2 hojas. Distribución de las fijaciones sobre el cerco del vidrio

Marco de la puerta:

- Tipo de marco: envolvente, designación: C70.
- Dimensiones totales de la sección: 60 x 70 mm.
- El perfil del marco es de fabricación propia, partiendo de una acero electrocincado de 1.5 mm. de espesor.

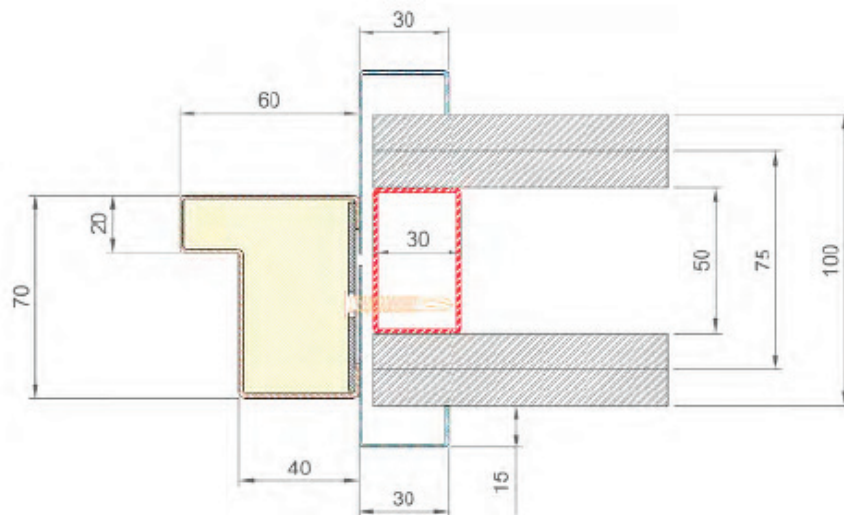


Figura 8-28. Ensayo de fuego 2 hojas. Solución de instalación sobre tabiquería flexible de PYL

- El interior del marco se rellena con lana de roca “KNAUF INSULATION DRS FIRE BOARD D15”, con una densidad de 150 kg/m³.
- Los perfiles que componen el marco están unidos entre sí mediante puntos de soldadura.

- Adicionalmente, el marco incorpora perfiles abrazamuro de acero galvanizado; el espesor nominal es de 1.2 mm.

Premarco de la puerta:

- La muestra cuenta con una premarco consistente es un perfil tubular hueco de acero galvanizado, de 1.5 mm. de espesor y sección 30 x 50 mm.

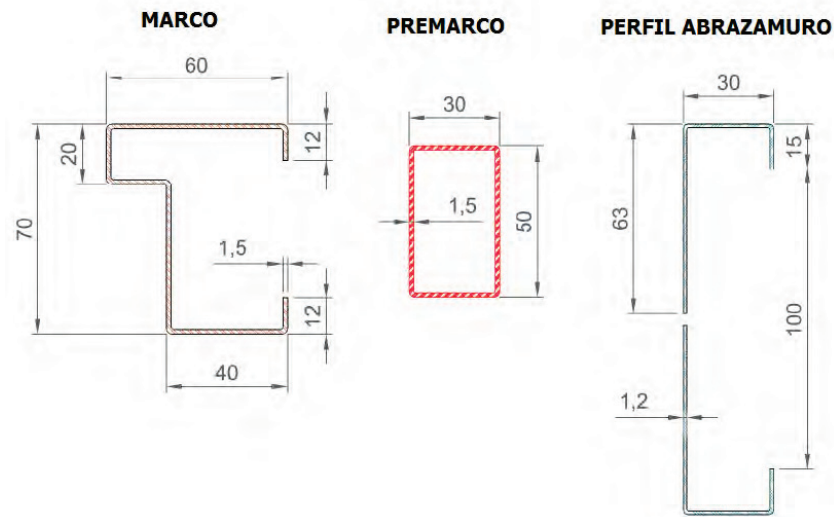


Figura 8-29. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de marco, premarco y perfil abrazamuro

- La técnica de unión entre las distintas barras es de nuevo: soldadura aplicada en puntos.

Método de fijación marco-premarco:

- El marco es fijado al premarco de la puerta haciendo uso de un total de 10 tornillos autotaladrantes de dimensiones $\varnothing 6.3 \times 63$ mm. cuya cabeza queda presionada contra una pletinas 1.5 mm. de grosor.

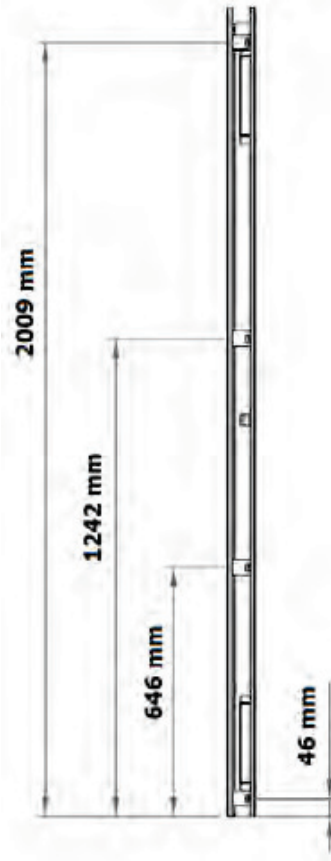


Figura 8-30. Ensayo de fuego 2 hojas. Distribución de la tornillería de fijación en el marco lateral de la muestra

- La distribución de los tornillos consiste en dos unidades en la horizontal superior del marco, a 950 mm. del centro del marco, y cuatro tornillos por lateral vertical del marco, distanciados como refleja la Figura 8-30.

Herrajes:

- Manilla serie “Sena Inox 304 C9” con referencia “MS0L972IS” del fabricante “TESA ASSA ABLOY”, situada en la cara desde la cual se realiza el movimiento de “tirar” si se quiere abrir la puerta (hoja activa).
- Barra antipánico referenciada como “QUICK1E909NR” de fabricante “TESA”, instalada en la cara desde la cual se realiza el movimiento de “empujar” si se quiere abrir la puerta (hoja activa + hoja pasiva).
- Cerradura serie “CF60” con referencia “CF60RSR9ZCE” del fabricante “TESA”, embutida en el lateral de la hoja activa. Su posicionamiento queda determinado por la distancia de la parte superior de su resbalón respecto a la parte inferior de la hoja, que resulta ser de 1017 mm.

- Cilindro serie "TE5" con referencia "5200 45 45 N" suministrado por "TESA".
- Dos bisagras ocultas por hoja, con referencia "K7120 CS DXSX" del fabricante "KRONA KOBLENZ" de dimensiones totales 200 x 80.5 mm, atornilladas tanto a la hoja como al marco. Su posicionamiento queda definido por la distancia de su centro geométrico con respecto a la parte inferior de la hoja: 190 y 1850 mm. respectivamente.
- Dos cierrapuertas ocultos identificados como "ITS 96 EN3-6" aportados por el fabricante "DORMAKABA" y embebidos en la esquina superior del canto de las hojas de la puerta. Estos elementos se encuentran desactivados durante todo el transcurso del ensayo.
- Selector de cierre con referencia "G96 GSR-EMF" de "DORMAKABA".
- Tetón de acero de dimensiones $\varnothing 12 \times 15$ mm. ubicado en cada uno de los laterales a una distancia de 1050 mm. respecto a la parte inferior de la puerta.

Obra soporte:

- La obra soporte, objeto de ensayo, es una pared flexible estandarizada, construida de acuerdo con el apartado 7.2.2.4 de la norma UNE-EN 1363-1:2015, perteneciente al grupo A y con una resistencia al fuego EI 90 (tabla 1 de la citada norma).
- Dos placas de cartón-yeso laminado, dispuestas por cada cara de la obra soporte, con referencia "K711F KNAUF CORTAFUEGO DF", con un espesor unitario de 12.5 mm. y densidad 800 kg/m^3 .
- Montantes y canales de acero laminado de 48 mm. de ancho nominal y 0.6 mm. de espesor.
- Lana de roca "ROCKPLUS-E 220" de "ROCKWOOL", de 40 mm. de espesor y densidad 50 kg/m^3 .
- Tornillería de "AKIFIX" de dimensiones $\varnothing 3.5 \times 25$ mm. empleada en la primera capa de placas de yeso, cada 300 mm.
- Tornillería de "AKIFIX" de dimensiones $\varnothing 3.5 \times 35$ mm. empleada en la segunda capa de placas de yeso, cada 300 mm.
- Las juntas verticales, la horizontal superior y la tornillería de las capas más externas se cubren con conglomerante a base de yeso.

- Laterales verticales libres.
- Canales superior e inferior fijados mediante tornillos expansivos con un intervalo de 600 mm.

Método de instalación premarco-obra soporte:

- El premarco de la puerta se une a la perfilería de acero de la obra soporte a través de tornillos rosca-chapa “AKIFIX”, de dimensiones $\varnothing 3.5 \times 9.5$ mm, centrados y distanciados 300 mm. entre ellos.

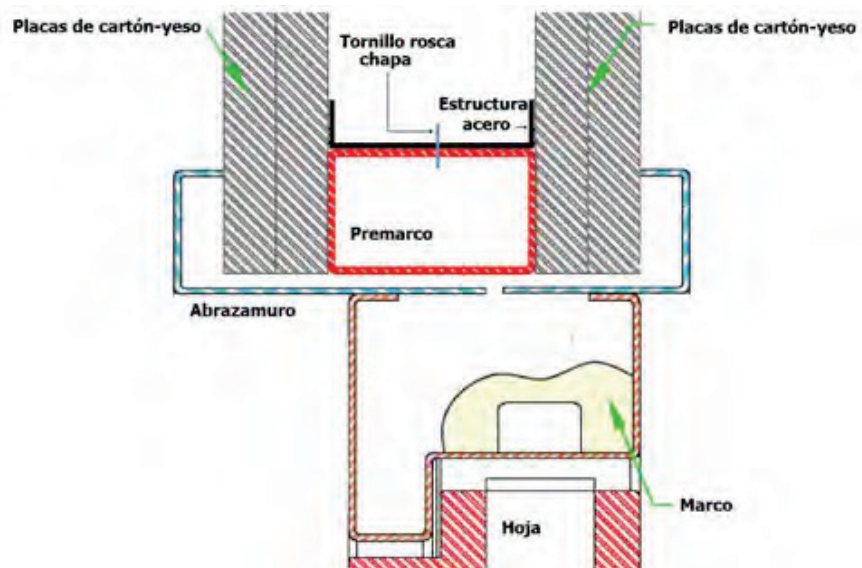


Figura 8-31. Ensayo de fuego 2 hojas. Detalle de la unión del premarco a la perfilería de acero de la obra

8.1.2.2 Preparación del ensayo

La muestra se fijó a una pared flexible estandarizada de 100 mm de espesor compuesta por una doble capa de cartón-yeso laminado en cada cara que alberga en su interior un panel de lana de roca embebido en una estructura de acero. Todo el conjunto se construyó dentro de un marco de acero, el cual, una vez situado en el horno, constituyó la cara vertical del mismo.

La temperatura media de la cara no expuesta de la puerta se mide a través de cinco termopares fijados en el centro de la muestra y en el centro de cada uno de los cuatro cuartos (nº 11, 12, 13, 14, 15) tal y como se indica en la Figura 8-32. Estos termopares se emplean tanto para comprobar los criterios de temperatura máxima como de temperatura media.

Se colocan cuatro termopares auxiliares en la hoja activa de la puerta y tres en la hoja pasiva de la puerta. Se coloca un termopar a media altura de la hoja activa y a 100 mm del borde lateral (nº 38), así como un termopar a media altura de

la hoja pasiva y a 100 mm del borde lateral (nº 27). Un termopar (nº 37) es instalado en el borde central de la hoja activa a 100 mm de la barra antipánico. Dos termopares se ubican simultáneamente a 100 mm del borde horizontal superior y de los bordes verticales de la hoja activa (nº 29, 30) y de la hoja pasiva (nº 18, 19).

Se instalan dos termopares en cada vidrio que incorpora la puerta, (nº 35, 36) en el vidrio de la hoja activa y (nº 24, 25) en el vidrio de la hoja pasiva, con la finalidad de comprobar los criterios de temperatura máxima y temperatura media sobre esta superficie, como se observa en la Figura 8-32.

Los vidrios quedan rematados por sus cercos metálicos, sobre los cuales se preparan cuatro termopares; en la hoja activa los termopares de medida serán (nº 31, 32, 33, 34) mientras en la hoja pasiva serán (nº 20, 21, 22, 23).

Adicionalmente, se montan cinco termopares en el marco de la puerta, dos de ellos se sitúan a media altura de cada elemento vertical (nº 26, 39), dos se sitúan en la esquina del dintel y a 50 mm de cada una de las esquinas de la hoja (nº 16, 28) y uno a 100 mm de la zona de unión entre las hojas (nº 17).

Las deformaciones de la muestra se miden en cuatro puntos de medida distintos en cada hoja de la puerta (E, F, G, H) en la hoja activa y (A, B, C, D) en la hoja pasiva; así queda expuesto en la Figura 8-32.

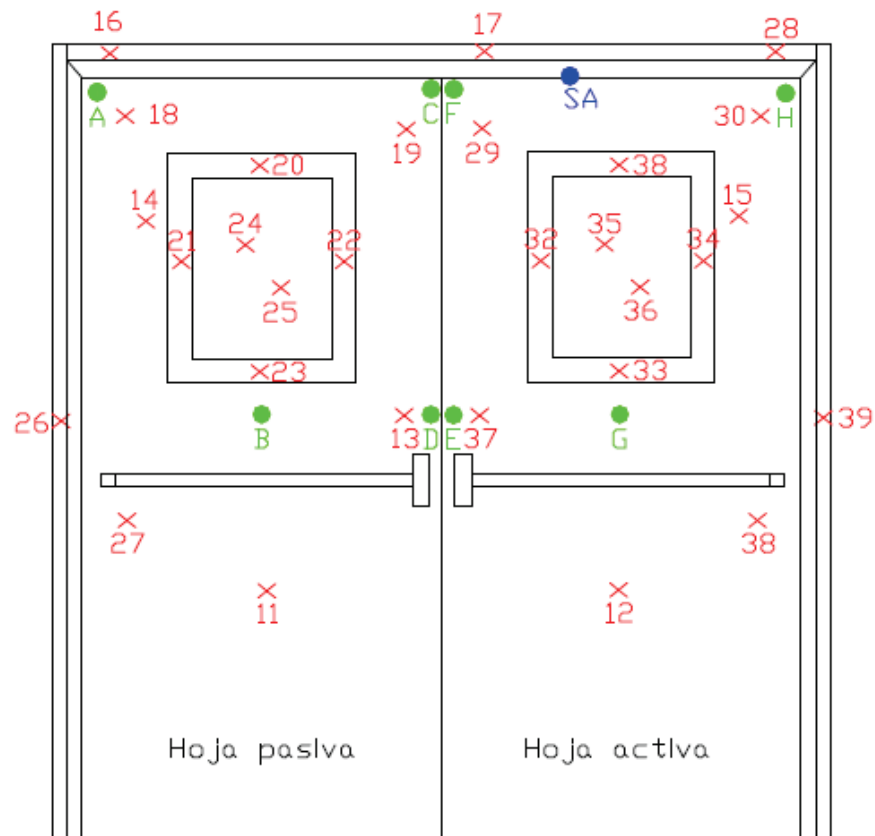


Figura 8-32. Ensayo de fuego 2 hojas. Esquema de situación de termopares, puntos de medida de deformación y separación máxima entre hoja y marco

El personal de laboratorio verifica que el espesor de la muestra corresponde con la información aportada por el peticionario.

La temperatura ambiente se registra al comienzo del ensayo (24 ± 4) °C.

8.1.2.3 Verificaciones previas al ensayo

Se realiza el acondicionamiento mecánico de la probeta según el siguiente procedimiento: la operatividad de la muestra se realiza haciéndola funcionar desde su posición totalmente cerrada a una posición abierta, con un movimiento mínimo de 90°, durante 25 ciclos. El funcionamiento de apertura y cierre se realiza mediante el dispositivo de autocierre (cierrapuertas).

Posteriormente, la hoja activa se abre (10 ± 2) °, se retiene durante (20 ± 2) s y se libera sin choques gracias al dispositivo de autocierre.

A continuación, ambas hojas se abren juntas accionando la hoja pasiva hasta un ángulo no superior a (10 ± 2) ° por encima de la posición mínima de espera del

dispositivo selector de cierre. La hoja pasiva se retiene durante (20 ± 2) s y se suelta sin choque permitiendo su cierre.

La velocidad de cierre de cada hoja no sobrepasa los 300 mm/s.

Se comprueba la apertura y cierre de la puerta, como dicta el punto 10.1.4 de la norma EN 1634-1:2014).

Se toman medidas de las holguras de la puerta (punto 10.1.2 de la norma EN 1634-1:2014).

Puerta		Holgura mínima medida antes del ensayo (mm)	Holgura máxima medida antes del ensayo (mm)	Holgura media antes del ensayo (mm)
Entre hojas y dintel (ver DETALLE 11)	Holgura A ¹	1.0	2.5	2.0
	Holgura B ¹	4.0	6.0	5.2
	Holgura C	2.0	3.5	2.6
Entre hoja activa y lado bisagras (ver DETALLE 12)	Holgura D	2.5	3.0	2.8
	Holgura E ²	4.5	5.5	5.0
	Holgura F	0.5	1.0	0.7
Entre hoja pasiva y lado bisagras (ver DETALLE 12)	Holgura D	3.0	5.5	4.2
	Holgura E ²	4.0	7.0	6.0
	Holgura F	1.0	1.6	1.3
Unión entre hojas (ver DETALLE 13)	Holgura G	3.0	4.0	3.5
	Holgura H	2.5	3.0	2.7
	Holgura I	2.0	2.5	2.2
Entre hojas y parte inferior.		- ¹	6.5	7.0

Tabla 8-3. Ensayo de fuego 2 hojas. Holguras medidas sobre la muestra

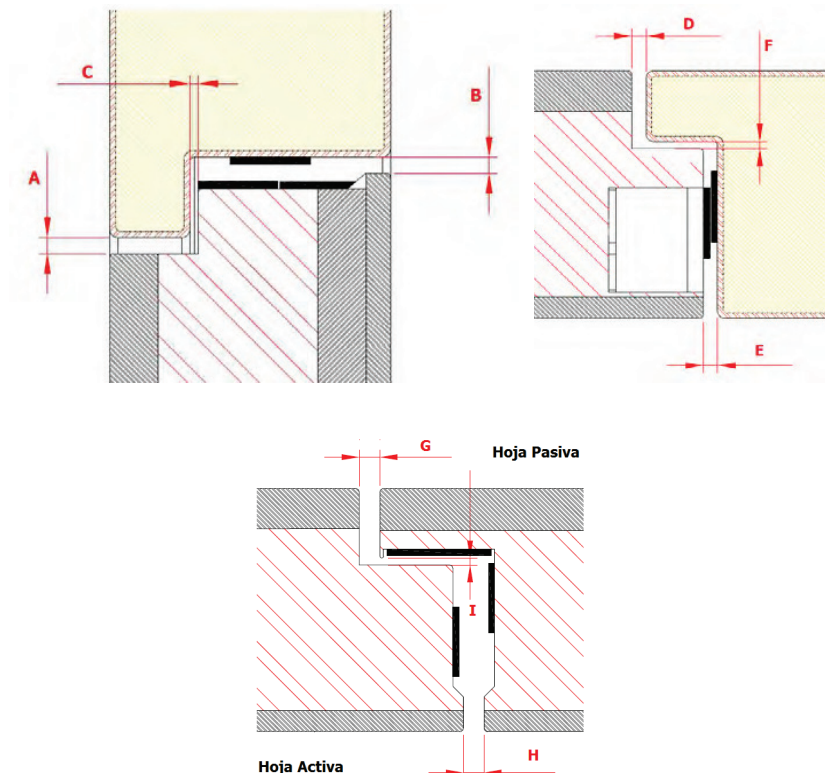


Figura 8-33. Ensayo de fuego 2 hojas. Localización de las holguras medidas sobre la muestra

La medición de la fuerza de retención alcanza un valor de 39.2 N en la hoja activa (punto 10.1.3 de la norma EN 1634-1:2014). La hoja pasiva, debido a la construcción de la puerta, no se mide.

8.1.2.4 Resultados obtenidos

La Figura 8-34 muestra la curva temperatura/tiempo del horno para el ensayo en cuestión, además de la curva estándar según la norma UNE-EN 1363-1:2015.

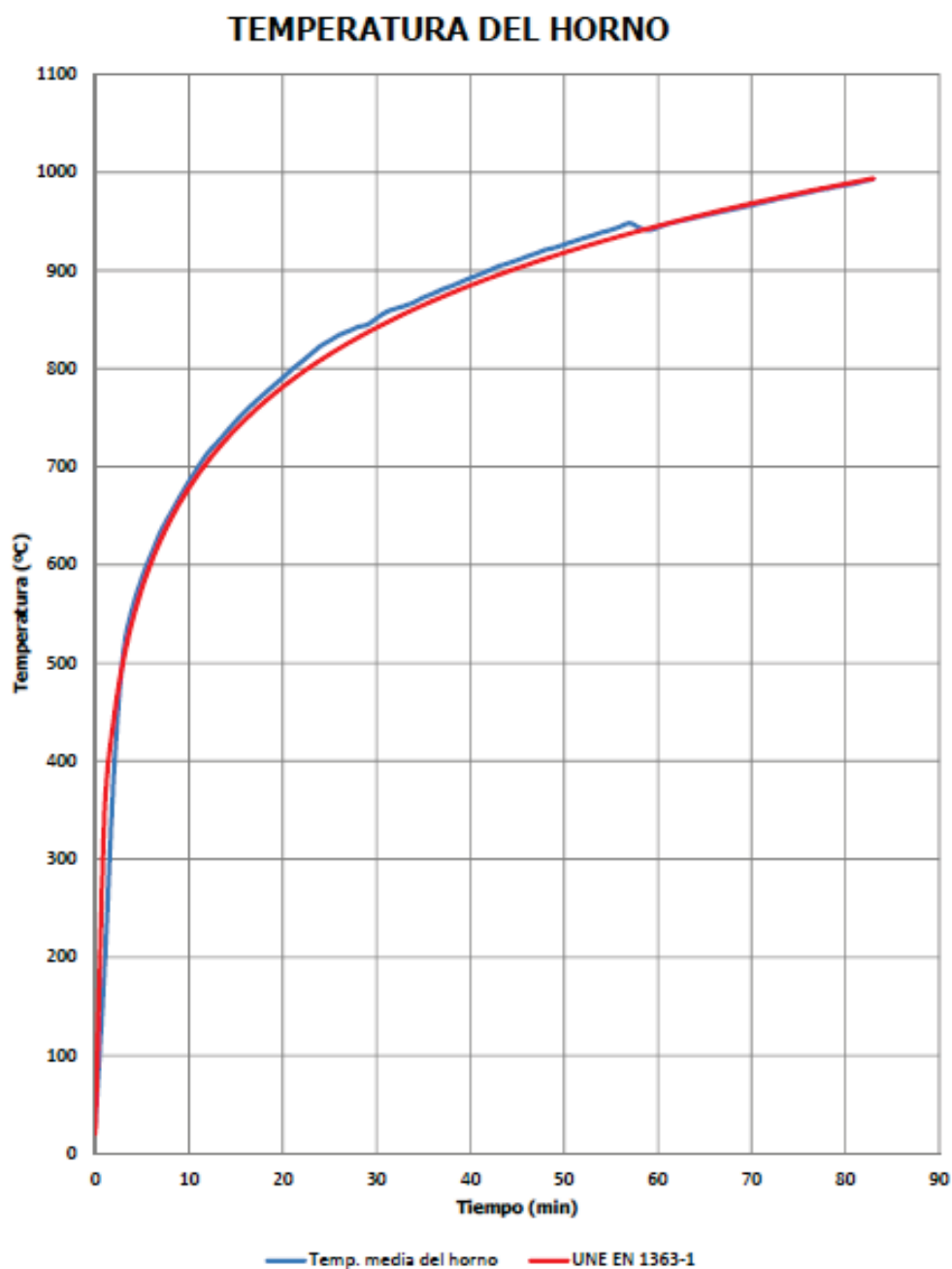


Figura 8-34. Ensayo de fuego 2 hojas. Curva temperatura/tiempo del horno y curva según norma UNE-EN 1363-1:2015

La Figura 8-35 muestra la desviación en porcentaje entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva correspondiente al ensayo, comparando esta diferencia con el porcentaje tolerado por la norma UNE-EN 1363-1:2015.

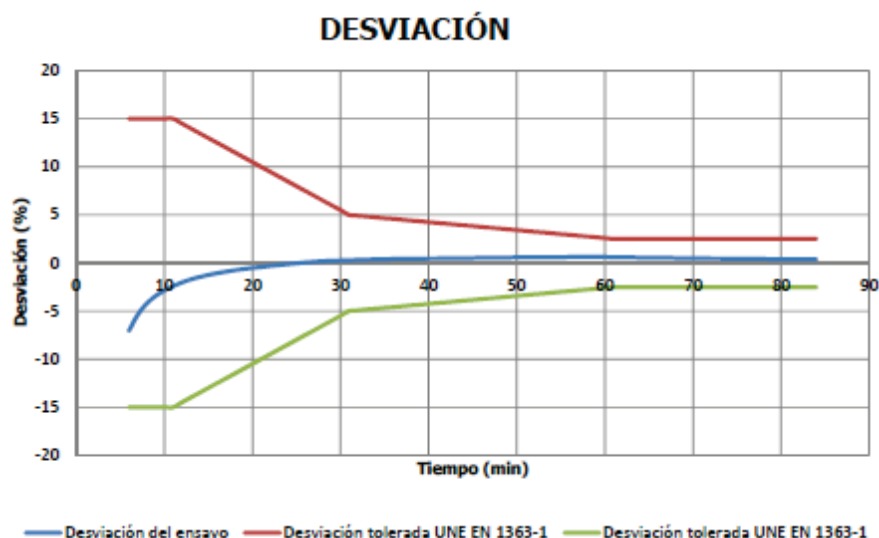


Figura 8-35. Ensayo de fuego 2 hojas. Desviación porcentual entre el área bajo la curva estándar y el área bajo la curva del ensayo

La Figura 8-36 muestra la presión interna a lo largo del ensayo y los límites indicados según la norma UNE-EN 1363-1:2015.

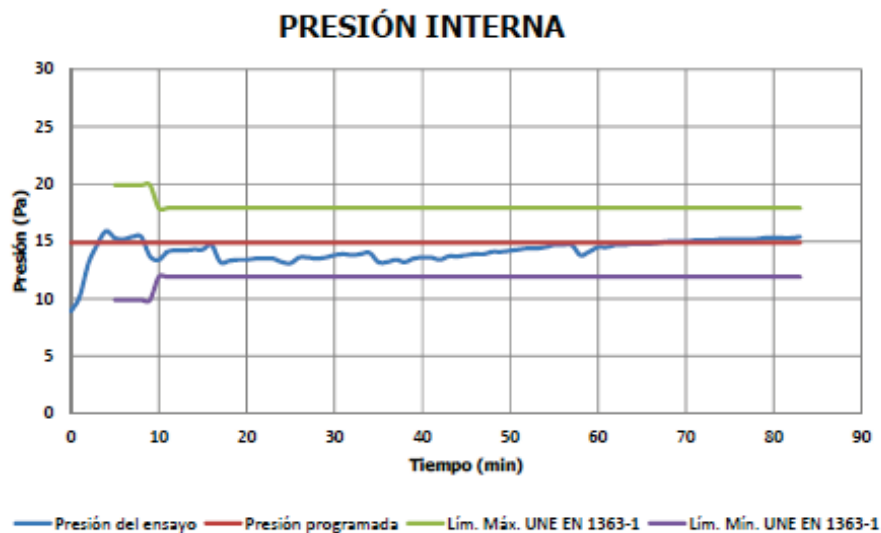


Figura 8-36. Ensayo de fuego 2 hojas. Presión interna durante el ensayo. Límites según norma UNE-EN 1363-1:2015

La Figura 8-37 muestra la temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta de la muestra.

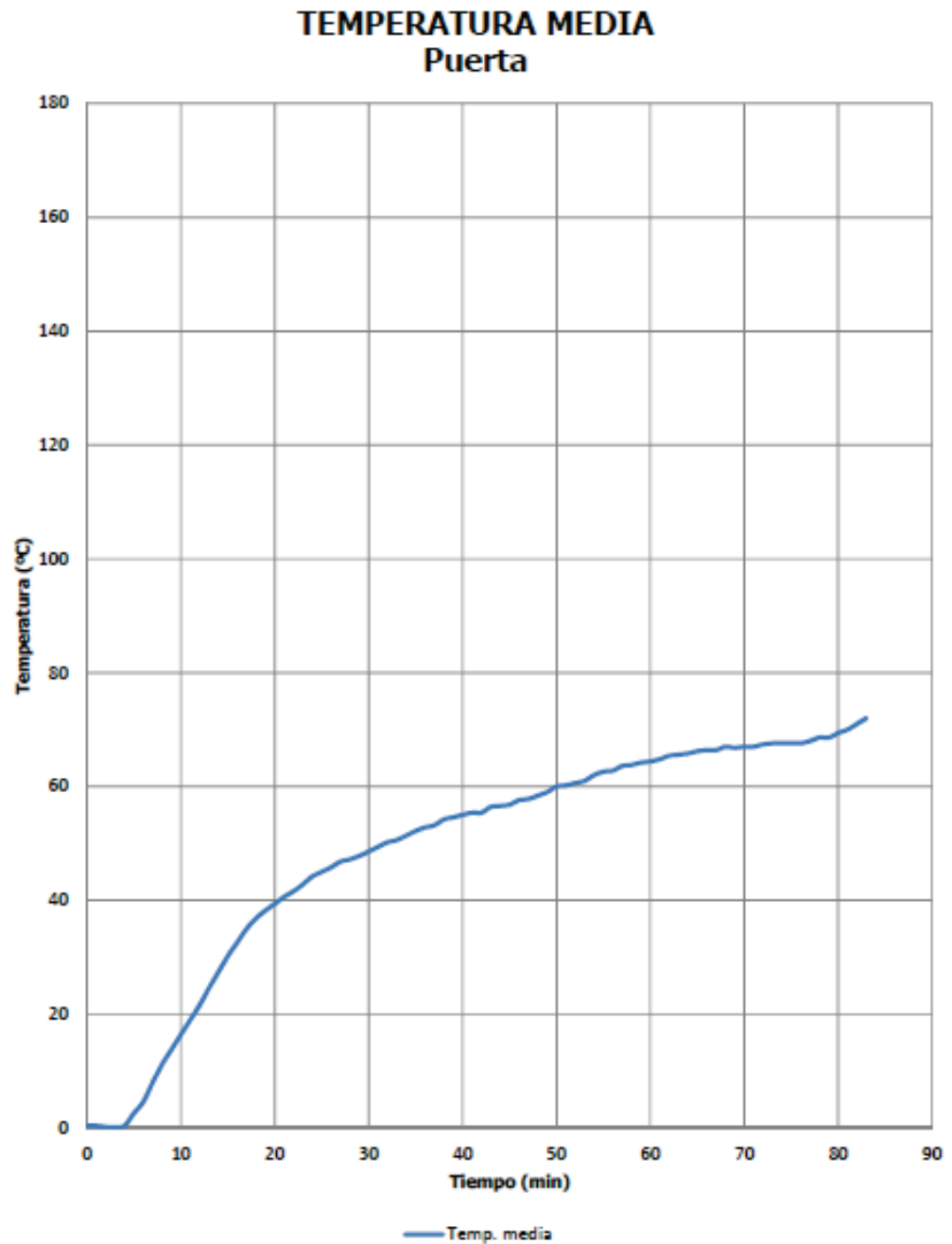


Figura 8-37. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperatura media de los termopares individuales instalados sobre la cara no expuesta de la muestra

La Figura 8-38 refleja las temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra.

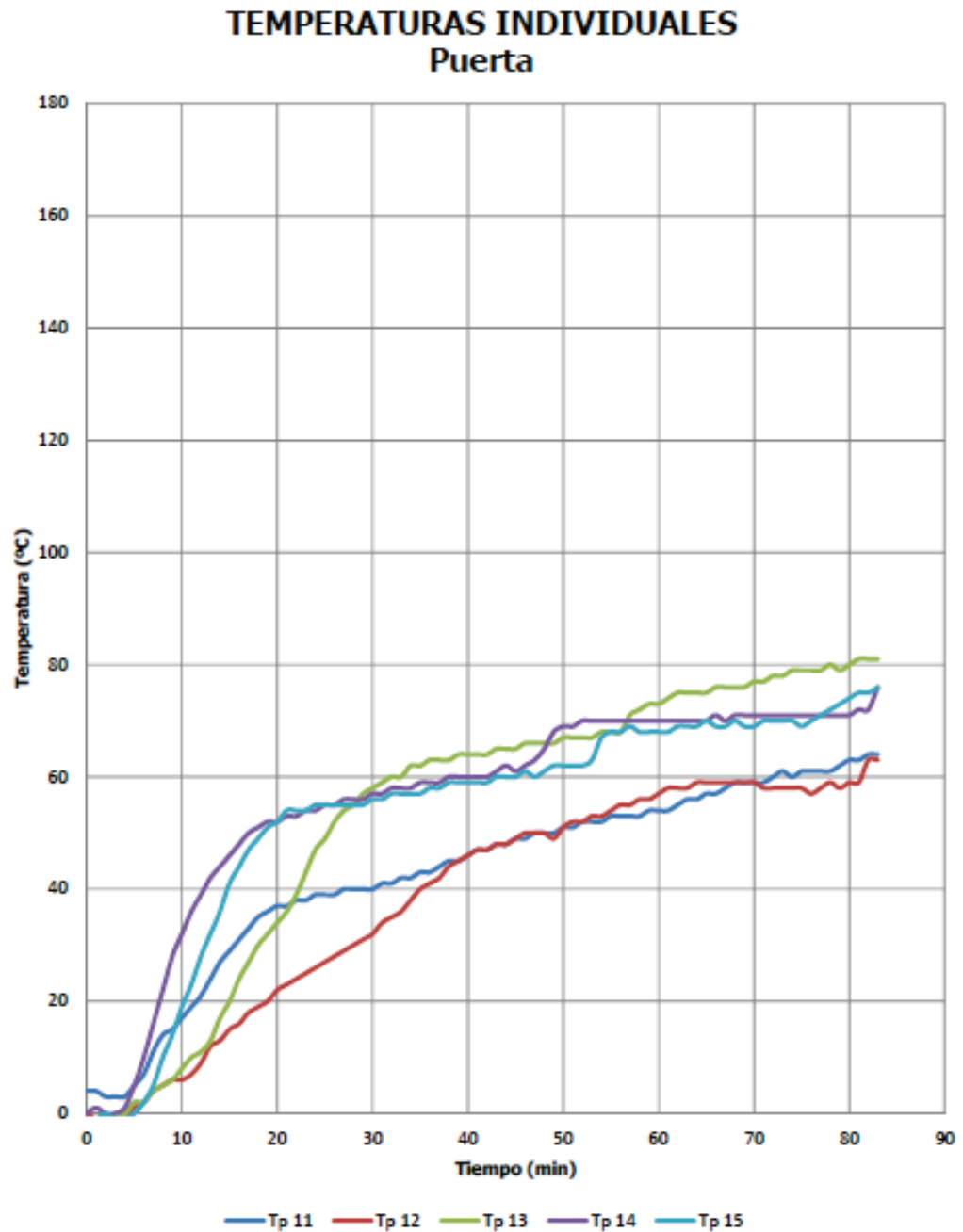


Figura 8-38. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de la muestra

La Figura 8-39 refleja las temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja activa.

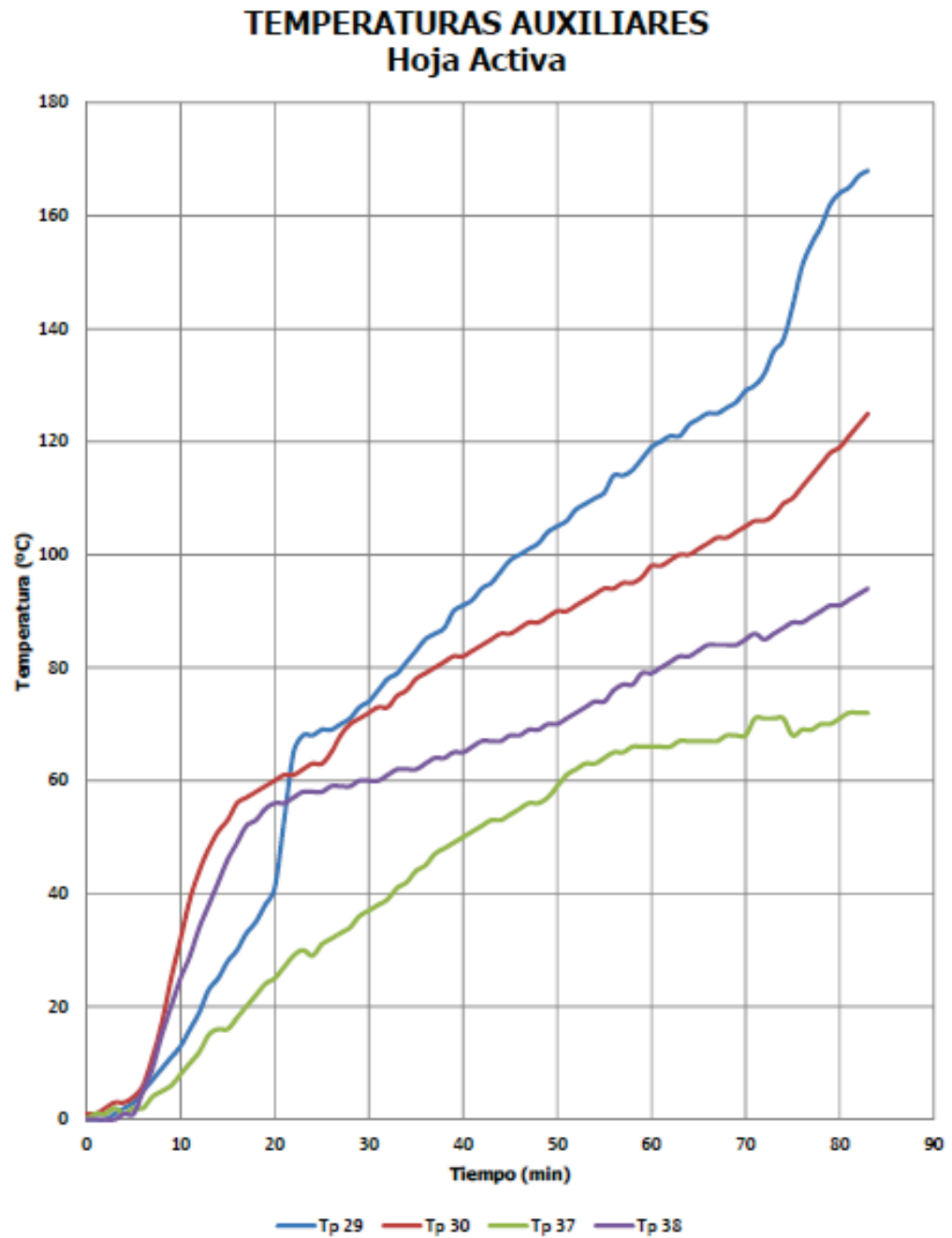


Figura 8-39. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja activa

La Figura 8-40 refleja las temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja pasiva.

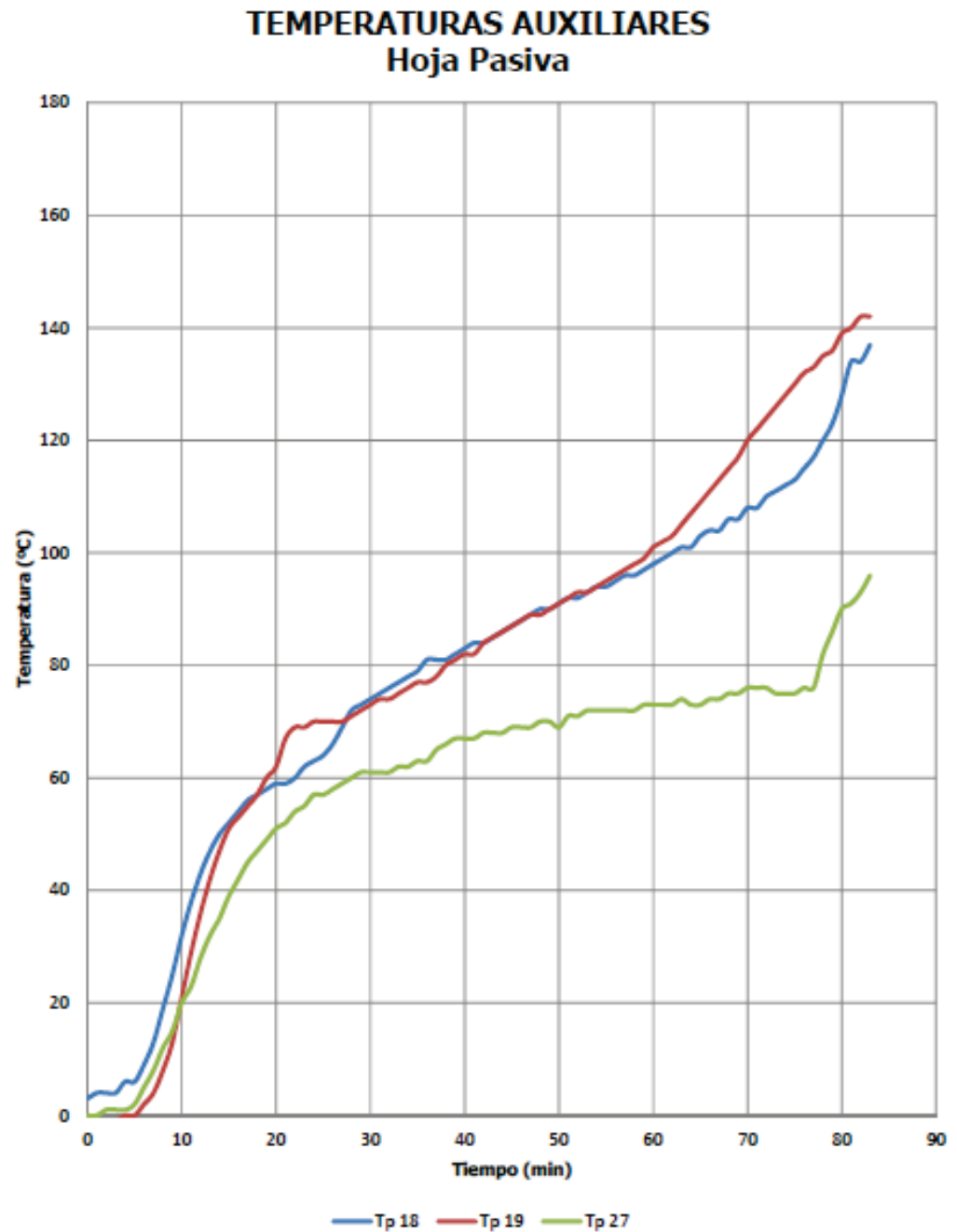


Figura 8-40. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares auxiliares de la cara no expuesta de la hoja pasiva

La Figura 8-41 refleja la temperatura media de los termopares colocados sobre la cara no expuesta de los vidrios de la muestra (mirillas).

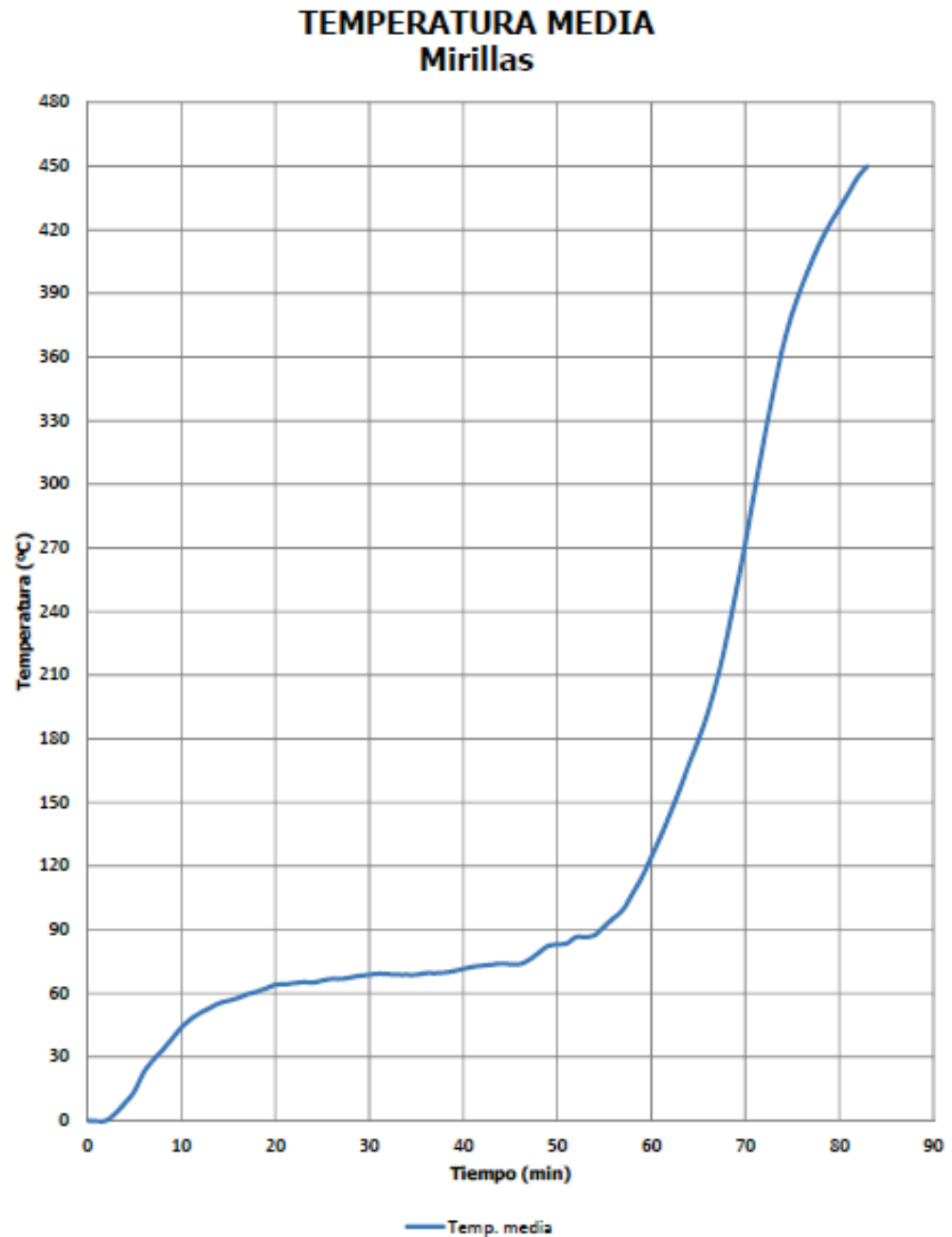


Figura 8-41. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperatura media de los termopares instalados en la cara no expuesta de los vidrios

La Figura 8-42 refleja las temperaturas de los termopares individuales colocados sobre la cara no expuesta de los vidrios de la muestra.

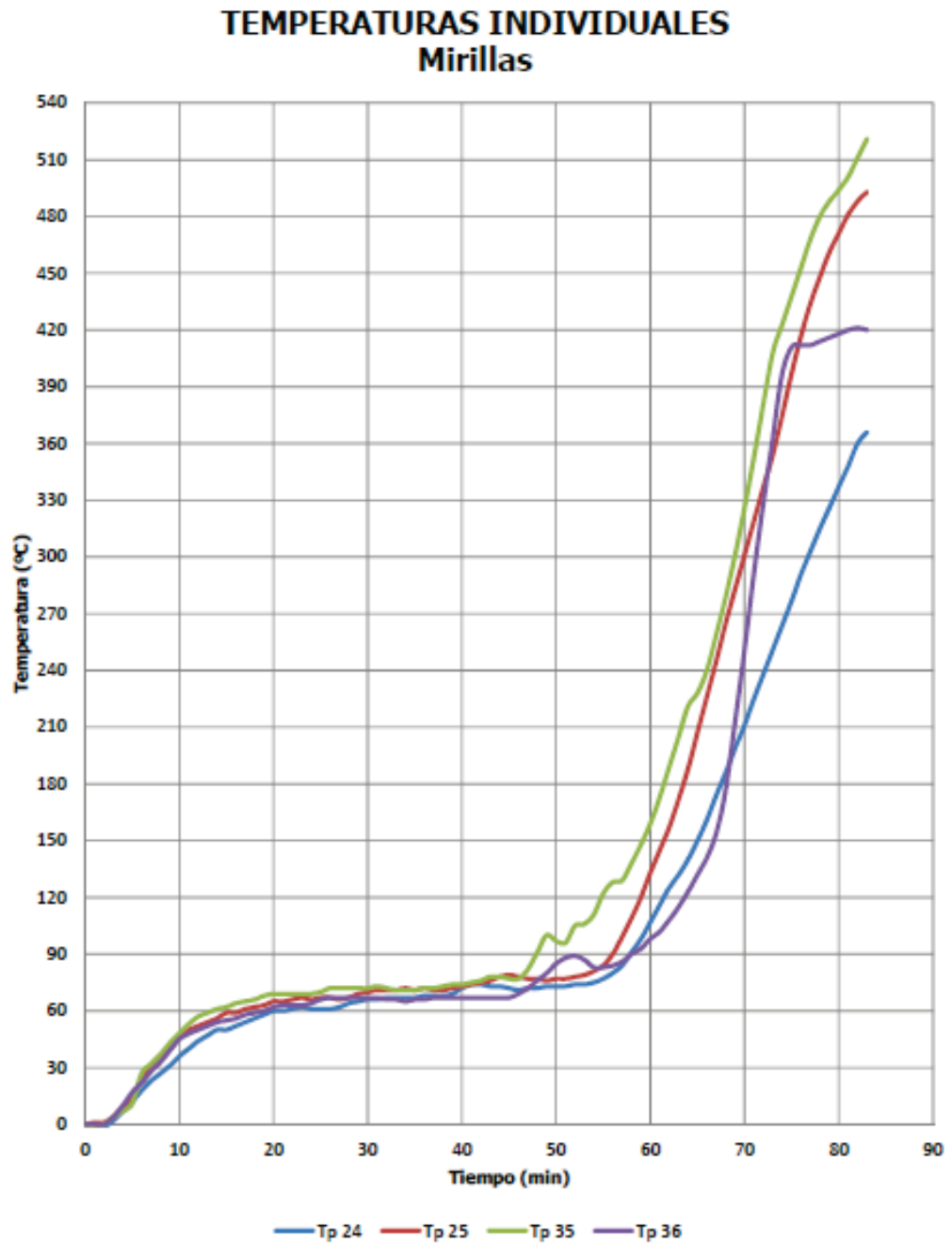


Figura 8-42. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares individuales de la cara no expuesta de los vidrios

La Figura 8-43 contiene las temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco metálico que rodea al vidrio de la hoja activa.

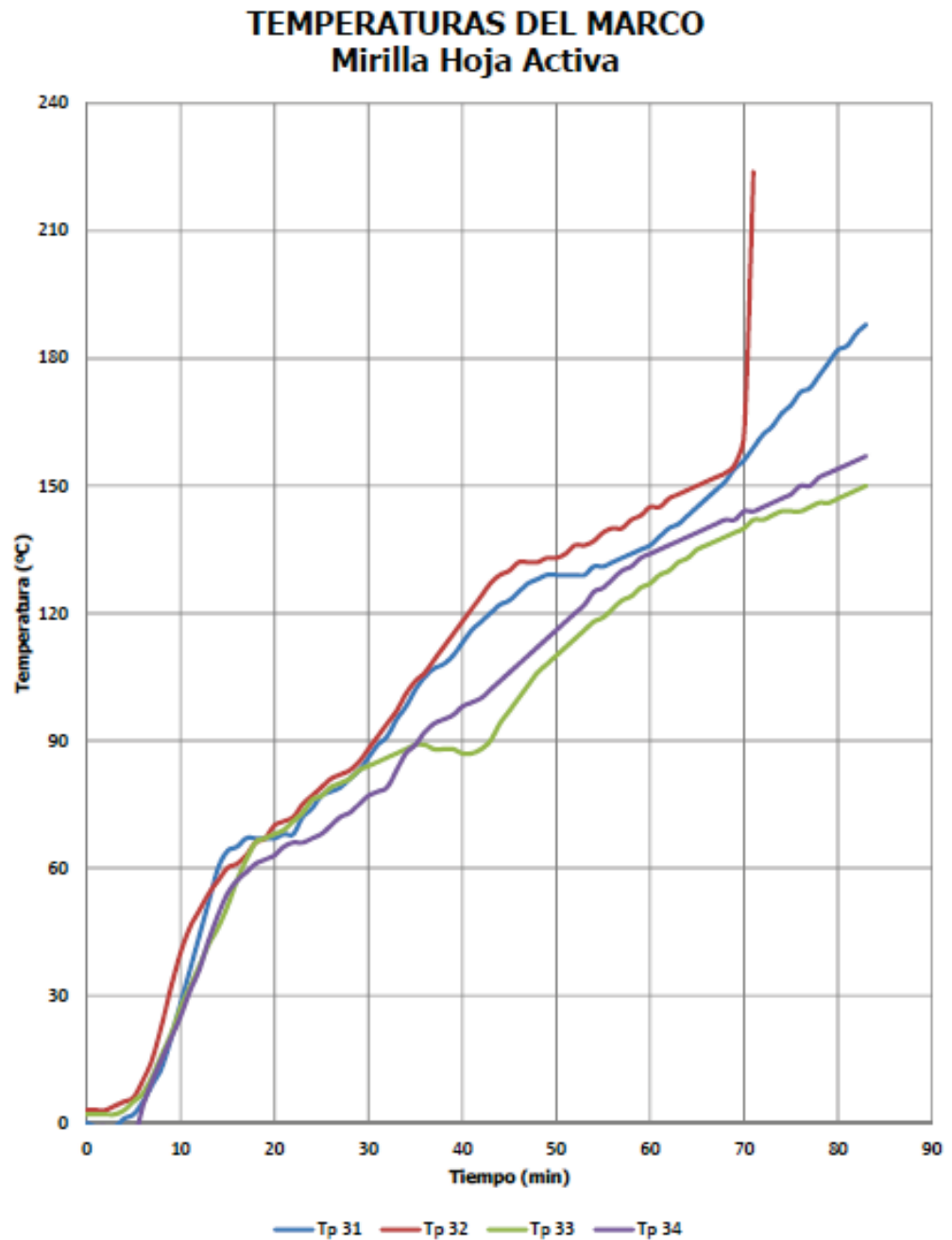


Figura 8-43. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio de la hoja activa

La Figura 8-44 contiene las temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco metálico que rodea al vidrio de la hoja pasiva.

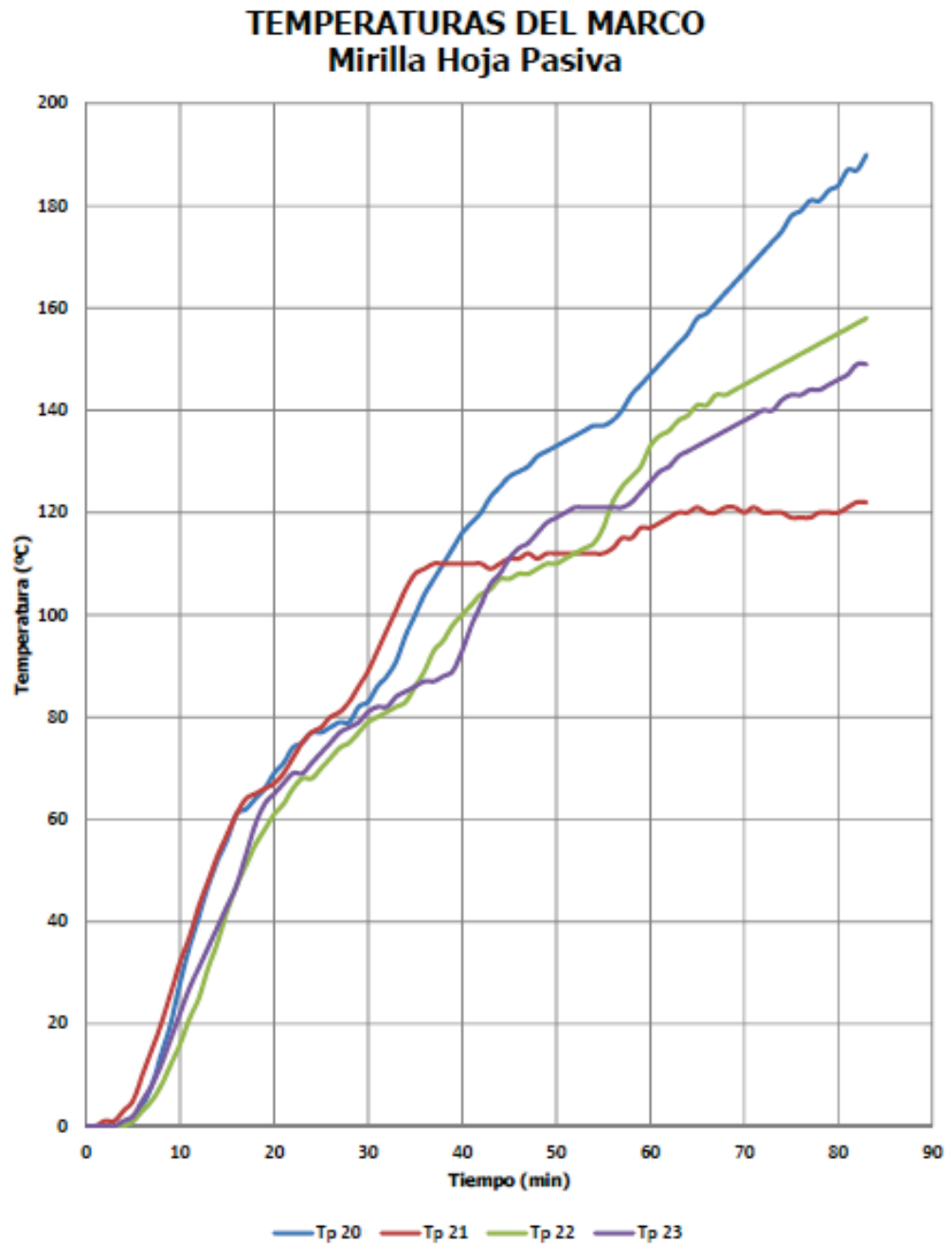


Figura 8-44. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del cerco del vidrio de la hoja pasiva

La Figura 8-45 muestra las temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco de la puerta.

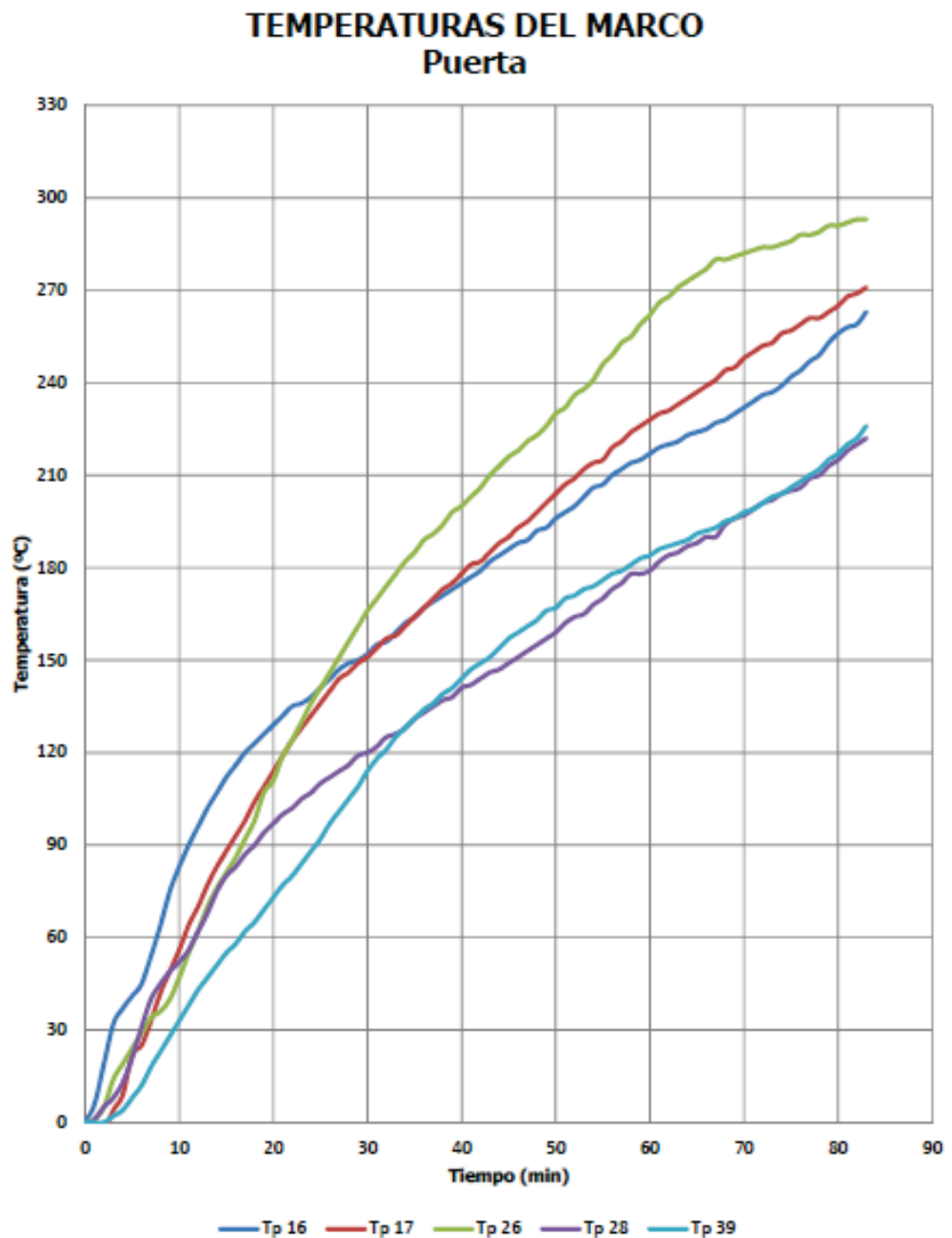


Figura 8-45. Ensayo de fuego 2 hojas. Temperaturas de los termopares situados en la cara no expuesta del marco

La Tabla 8-4 y la Tabla 8-5 exponen las deformaciones medidas durante el ensayo, donde las deformaciones positivas indican un desplazamiento hacia el interior del horno, mientras que las deformaciones negativas suponen un desplazamiento hacia el exterior del horno.

Tiempo (min)	E (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)
0	0	0	0	0
13	38	26	37	12
25	67	55	50	26
40	85	79	64	34
52	105	96	77	46
60	115	103	83	51

Tabla 8-4. Ensayo de fuego 2 hojas. Deformaciones medidas en la hoja activa durante el ensayo de la muestra

Tiempo (min)	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
0	0	0	0	0
13	4	39	20	44
25	25	44	34	62
40	33	58	48	77
52	46	69	63	93
60	52	75	68	100

Tabla 8-5. Ensayo de fuego 2 hojas. Deformaciones medidas en la hoja pasiva durante el ensayo de la muestra

Las incertidumbres de los termopares de control del horno no sobrepasan los $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las incertidumbres de los termopares de temperatura ambiente y de temperatura en la cara no expuesta en ningún caso sobrepasan los $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La incertidumbre de otros termopares no sobrepasa los $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A continuación se exponen algunas imágenes tomadas durante el transcurso del ensayo.



Figura 8-46. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra en los instantes previos al ensayo

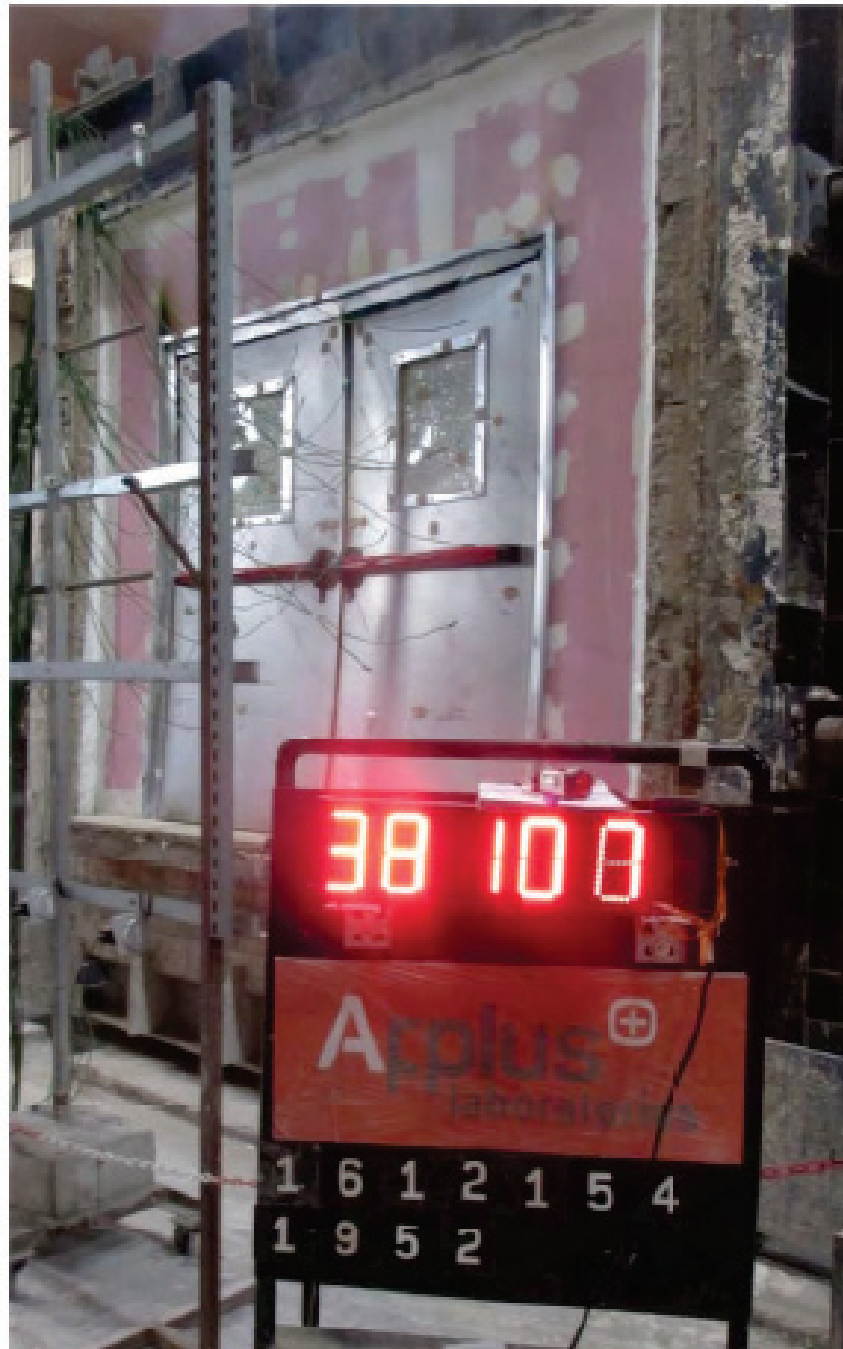


Figura 8-47. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 30 minutos de ensayo



Figura 8-48. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 44 minutos de ensayo

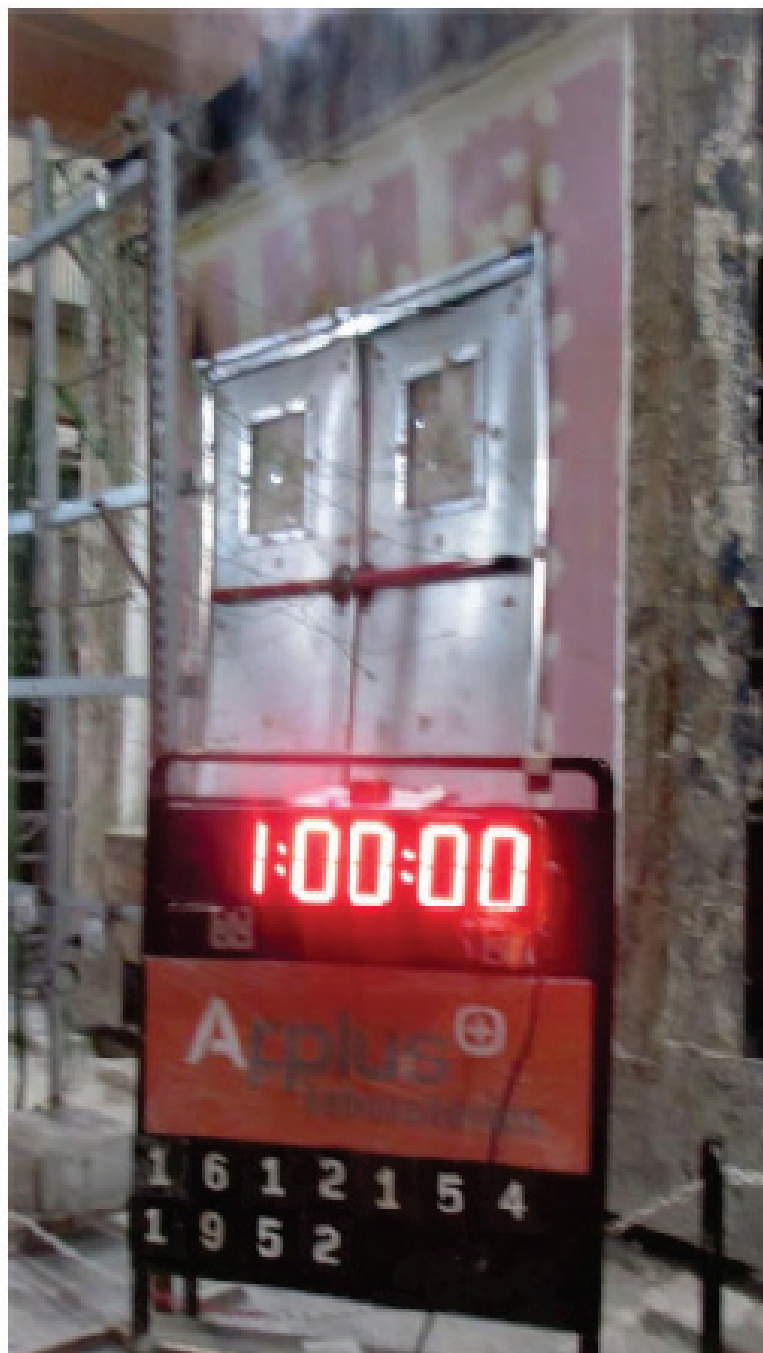


Figura 8-49. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra en el minuto 60 de ensayo



Figura 8-50. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra transcurridos los 70 minutos de ensayo



Figura 8-51. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra superados los 81 minutos de ensayo



Figura 8-52. Ensayo de fuego 2 hojas. Estado de la muestra una vez finalizado el ensayo

8.1.2.5 Clasificación y campo de aplicación

Los resultados hallados en el ensayo de fuego dan lugar a un informe de clasificación de resistencia al fuego, donde se define la clasificación asignada al elemento ensayado, de acuerdo con el procedimiento dado en la norma UNE-EN 13501-2:2009 + A1:2010.

En este caso, la finalidad de dicho informe será exponer las características del comportamiento de resistencia al fuego, concretamente las características o

prestaciones de integridad y aislamiento térmico dadas en el apartado 5 de la norma en cuestión.

Junto con la clasificación pertinente, este informe hace mención al campo de aplicación directa de los resultados de ensayo, tal y como dicta el apartado 13 de la norma EN 1634-1:2014. El campo de aplicación directa de los resultados define los cambios que se pueden efectuar en la puerta después de un ensayo de resistencia al fuego con resultado satisfactorio. Estas variaciones se pueden introducir de forma directa o automática, sin necesidad de que el fabricante de la puerta solicite un informe de extensión, cálculo o aprobación adicional.

Cabe señalar que la clasificación obtenida es EI 60, o lo que es lo mismo, se constata que la puerta ensayada ha mantenido con éxito su integridad y su aislamiento térmico durante un tiempo superior a los 60 minutos. Existe una clasificación adicional, más bien ligada al campo de aplicación directa y relativa a las posibles variaciones de tamaño de la puerta; se trata de la categoría. De acuerdo con el punto 13.3.2 de la norma UNE-EN 13501-2:2009 + A1:2010, la categoría alcanzada es la categoría A, por lo que no se permitirán los aumentos dimensionales de forma inmediata o directa.

Dado el número de consultas relacionadas con este asunto, es importante señalar que el informe de clasificación obtenido no representa ninguna aprobación tipo ni certificación de producto, ya que no se asocia con ninguna norma de producto; simplemente se trata de un informe de clasificación que habrá de compendiarse para la elaboración de un informe de clasificación unificado (Eltt Cx), tal y como preconiza el CTE, en general, y la norma sobre seguridad contra incendios UNE 23740-1:2016, en particular.

8.2 Ensayo de durabilidad del autocierre

La prueba necesaria para definir la característica de durabilidad del autocierre consiste en un ensayo según la norma UNE-EN 1191:2013: “Ventanas y puertas. Resistencia a aperturas y cierres repetidos. Método de ensayo.”

Como apoyo a la norma anterior, se tomará la norma UNE-EN 12046-2:2000: “Fuerzas de maniobra. Método de ensayo. Parte 2: Puertas”.

Para desarrollar una gama de producto completa, será suficiente con ensayar una muestra de dos hojas, como caso más completo y desfavorable desde el punto de vista mecánico. Esto será así ya que se prevé la publicación de la norma EN 17020-1, actualmente en fase de borrador, que permitirá la extensión de los

resultados obtenidos en una muestra de dos hojas hacia una muestra de una hoja, siempre y cuando las configuraciones de ambas muestras sean análogas.

No obstante, los principales organismos notificados ya aplican el supuesto anterior, por lo que la prestación de durabilidad del autocierre será extensible a toda la gama, con total seguridad. Siendo así las cosas, se someterá a ensayo la siguiente unidad:

- Muestra de dos hojas, con unas dimensiones totales de 2300 x 2235 mm.

8.2.1 Ensayo sobre una muestra de dos hojas

Como complemento a los ensayos de fuego anteriores, entregué al laboratorio una muestra de puerta abisagrada metálica de dos hojas, con referencia “NA-60-2BO-1”.

El montaje se realizó, por petición expresa mía, en las instalaciones del LGAI Technological Center S.A.

Así mismo, el laboratorio verifica mediante inspección la muestra recibida para ensayo, que ha sido fabricada como prototipo según las instrucciones de proceso de la línea de producción.

Los datos de recepción y ensayo son los siguientes:

- Fecha de entrega a laboratorio: 19 de diciembre de 2016.
- Fecha de inicio de ensayo: 27 de diciembre de 2016.
- Fecha de finalización de ensayo: 16 de enero de 2017.
- Número de registro: 16/12262-2452.
- Peso total de la muestra: 290 kg.

8.2.1.1 Características de la muestra

Dimensiones de la muestra:

- Dimensiones totales: 2300 x 2235 mm.
- Dimensiones de paso libre: 2180 x 2175 mm.

Marco:

- Tipo de marco: envolvente, designación: C70.
- Dimensiones totales de la sección: 60 x 70 mm.

- Material: acero electrocincado de 1.5 mm de espesor.

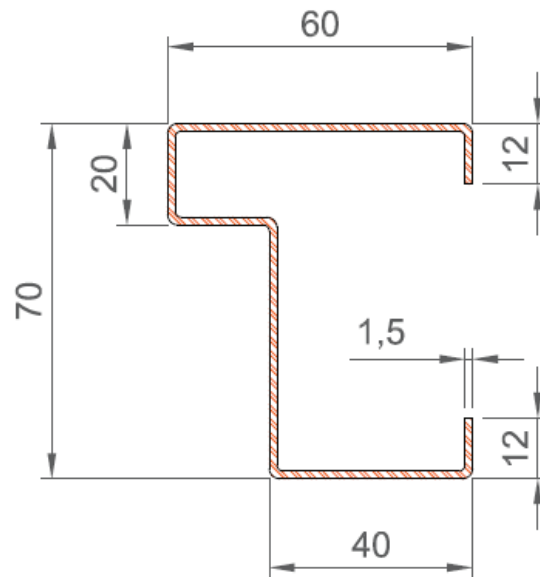


Figura 8-53. Detalle de la sección transversal del marco C70

- Método de unión entre perfiles: puntos de soldadura.
- Método de fijación: soldadura.

Hoja activa:

- Dimensiones: 1200 x 2180 mm.
- Espesor: 70 mm.
- Peso: 144 kg.

Hoja inactiva:

- Dimensiones: 1100 x 2180 m.
- Espesor: 70 mm.
- Peso: 132 kg.

Composición de las hojas:

- Una chapa de acero galvanizado de 1.2 mm.
- Un panel de lana de roca volcánica "KNAUF INSULATION DRS FIRE BOARD D15" de densidad 150 kg/m^3 y espesor 56 m.
- Una placa de silicato "PROMATECT-H" de 12 mm de espesor y densidad 870 kg/m^3 .
- Una chapa de acero galvanizado de 1.2 mm.

- La parte superior de la hoja incorpora dos placas de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H", una de 6 mm. de espesor y otra de 12 mm. de espesor, con 150 mm. de altura y una densidad de 870 kg/m³; estos refuerzos aparecen dispuestos a lo largo de toda la anchura de la hoja.
- Los laterales verticales de la hoja se refuerzan con una placa de de silicato cálcico con referencia "PROMATECT-H" de 6 mm. de espesor, con 150 mm. de anchura y una densidad de 870 kg/m³.
- Los paneles interiores de la hoja están adheridos a las chapas exteriores a través de adhesivo de silicato BAKAR SI-010.

Superficie vidriada:

- Dimensiones totales (cerco incluido): 500 x 700 mm.
- Dimensiones de paso de luz: 400 x 600 mm.
- El vidrio cortafuego empleado es suministrado por el fabricante "GLASTRÖSCH" con la referencia "FIRESWISS FOAM® 60-23". Se trata de un vidrio laminado con un espesor total de 23 y dimensiones totales de 425 x 625 mm.

Barra antipánico + cerradura + manilla (hoja activa):

- Descripción: barra antipánico de deslizamiento.
- Fabricante: TESA.
- Referencia: QUICK1E
- Montaje: superpuesta en superficie.
- Descripción: cerradura cortafuego
- Fabricante: TESA.
- Referencia: CF60RSR9ZCE.
- Montaje: embutida en la hoja.
- Descripción: manilla ignífuga con cuadradillo 9 mm.
- Fabricante: ECO SHUTTLE.
- Referencia: 3136000.02 (modelo D110).
- Cantidad: una unidad instalada a una altura de 1075 mm respecto a la parte inferior de la hoja.

- Montaje: superpuesta en superficie.

Barra antipánico + contracerradura + fallebas verticales (hoja inactiva):

- Descripción: barra antipánico de deslizamiento.
- Fabricante: TESA.
- Referencia: QUICK1E.
- Montaje: superpuesta en superficie.
- Descripción: contracerradura cortafuego.
- Fabricante: TESA.
- Referencia: CF320SR9Z.
- Montaje: embutida en la hoja.
- Descripción: fallebas verticales + elemento retenedor.
- Fabricante: TESA.
- Referencia: BARVECF32 + RETFACF32.
- Cantidad: dos unidades (superior + inferior).
- Montaje: oculta/embutida en la hoja.

Bisagras (hoja activa y hoja inactiva):

- Descripción: bisagra oculta cortafuego.
- Fabricante: KRONA KOBLENZ.
- Referencia: KUBI7 K7120.
- Cantidad: dos unidades en cada hoja, instaladas a 190 mm respecto a la parte superior e inferior de la hoja.
- Montaje: oculta/embutida en la hoja a través de tornillería.

Cierrapuertas + coordinador de cierre (hoja activa y hoja inactiva):

- Descripción: sistema de cierrapuertas oculto con leva.
- Fabricante: DORMAKABA.
- Referencia: ITS96.
- Cantidad: uno en cada hoja.
- Montaje: oculto/embutido en la parte superior de la hoja.

- Descripción: guía de deslizamiento con coordinador de cierre.
- Fabricante: DORMAKABA.
- Referencia: G96 GSR.
- Cantidad: una unidad actuando sobre ambas hojas.
- Montaje: oculta/embutida en la parte superior del marco.

8.2.1.2 Método de montaje e instalación de la muestra

La muestra seleccionada ha sido almacenada y testada en las siguientes condiciones ambientales:

- Temperatura: entre 15 °C y 30 °C.
- Humedad relativa: entre 25 % y 75 %.

La muestra de ensayo ha sido instalada de forma sólida en un bastidor de acero galvanizado, con una sección de 100 x 100 mm, soldado en las esquinas y formando un cuerpo perimetral.

Tras dicha instalación y antes de realizar las primeras mediciones, la puerta ha sido sometida a cinco ciclos de maniobra manual.

Previo al ensayo, se realiza el ajuste y la lubricación de acuerdo con las instrucciones que aportamos desde fábrica.

8.2.1.3 Condiciones de ensayo

Se asume que las condiciones ambientales durante el ensayo son las mismas que las declaradas durante el montaje de la muestra.

En número de ciclos a ejecutar está definido, en función del uso previsto, en la tabla H.1 del apartado H.3.2 de la norma UNE-EN 1191:2013: “Ventanas y puertas. Resistencia a las aperturas y cierres repetidos. Método de ensayo”.

Para un uso de la puerta definido por el cliente como “Puertas peatonales con dispositivo automático de cierre y dispositivo coordinador de la puerta”, la distribución y el orden de ciclos a ejecutar será como sigue:

- 90 % abriendo la hoja activa, con la hoja inactiva en la posición cerrada y bloqueada.
- 5 % abriendo ambas hojas mediante la hoja inactiva.
- 5 % abriendo primero la hoja activa y a continuación la hoja inactiva.

Para complementar el uso anterior con el uso definido como “Puertas peatonales en vías de evacuación, con o sin dispositivos automáticos de cierre en la hoja activa”, igualmente definido por el cliente, se ensaya a continuación de la anterior secuencia la siguiente distribución de ciclos:

- 5 % abriendo la hoja activa, con la hoja inactiva en la posición cerrada y bloqueada.
- 5 % abriendo ambas hojas mediante la hoja inactiva.

La secuencia programada durante el ensayo de durabilidad se realiza en base al apartado H.4.1.3 de la norma UNE-EN 1191:2013: “Ventanas y puertas. Resistencia a las aperturas y cierres repetidos. Método de ensayo”.

La velocidad de referencia es la definida en la Tabla 8-6.

Masa (M) kg	Movimiento		
	Traslación m/s	Rotación m/s	Oscilación m/s
$M \leq 65$	0,25	0,50	0,50
$65 < M \leq 100$	0,20	0,35	0,50
$100 < M \leq 150$	0,16	0,30	0,41
$150 < M \leq 200$	0,14	0,25	0,35
$200 < M \leq 300$	0,12	0,20	0,29
$M > 300$	0,10	0,18	0,25
Para puertas peatonales y ventanas practicables resistentes al fuego y estancas al humo, consultar la Norma EN 14600.			
NOTA La base para el cálculo de las respectivas masas y velocidades es una energía consistente de 2,03 J (para la traslación), 1,56 J (para la rotación) y 3,125 J (para la oscilación).			

Tabla 8-6. Ensayo de durabilidad. Velocidades de referencia según norma UNE-EN 1191:2013

8.2.1.4 Condiciones de mantenimiento

El mantenimiento a aplicar en la muestra de ensayo lo facilita el fabricante y consiste en una lubricación básica cada 25.000 ciclos, con lubricante WD-40, de los siguientes herrajes:

- Bisagras.
- Resbalón de la cerradura.

8.2.1.5 Resultados obtenidos

Las mediciones anteriores al inicio del ensayo son:

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Masa del elemento móvil:	
- Hoja activa	144 kg
- Hoja inactiva	132 kg
Peso muerto aplicado sobre el elemento móvil:	
- Hoja activa	0,68 kg
- Hoja inactiva	0,00 kg
Fuerza de maniobra manual para abrir la hoja activa (N)	14 N
Par de torsión para maniobrar manualmente hoja activa (Nm)	14 Nm
Fuerza de maniobra del accionamiento de la manilla hoja activa (N)	18 N
Par de torsión para maniobrar la manilla hoja activa (Nm)	1,8 Nm
Fuerza de maniobra manual para abrir la hoja inactiva (N)	15 N
Par de torsión para maniobrar manualmente hoja inactiva (Nm)	15 Nm
Fuerza de maniobra del accionamiento de la barra hoja inactiva (N)	71 N
Velocidad:	0,30 m/s
Carrera:	0-90°

Tabla 8-7. Ensayo de durabilidad. Mediciones previas al ensayo

Las mediciones a la finalización del ensayo se resumen a continuación:

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Masa del elemento móvil:	
- Hoja activa	144 kg
- Hoja inactiva	132 kg
Peso muerto aplicado sobre el elemento móvil:	
- Hoja activa	0,68 kg
- Hoja inactiva	0,00 kg
Fuerza de maniobra manual para abrir la hoja activa (N)	14,5 N
Par de torsión para maniobrar manualmente hoja activa (Nm)	14,5 Nm
Fuerza de maniobra del accionamiento de la manilla hoja activa (N)	18 N
Par de torsión para maniobrar la manilla hoja activa (Nm)	1,8 Nm
Fuerza de maniobra manual para abrir la hoja inactiva (N)	15 N
Par de torsión para maniobrar manualmente hoja inactiva (Nm)	15 Nm
Fuerza de maniobra del accionamiento de la barra hoja inactiva (N)	73 N
Velocidad:	0,30 m/s
Carrera:	0-90°
Observaciones: - No se observa fallo material de componente esencial para el funcionamiento - La puerta no deja de ser funcional respecto a las fuerzas de maniobra - El mecanismo de autocierre funciona correctamente - La puerta abre y cierra correctamente - Se ha completado el número de ciclos especificado	

Tabla 8-8. Ensayo de durabilidad. Mediciones a la finalización del ensayo

Tras la comparativa de mediciones se concluye que el ensayo ha sido satisfactorio y se emiten una serie de observaciones, a saber:

- No se observa fallo material del componente esencial para el funcionamiento.
- La puerta no deja de ser funcional en cuanto a las fuerzas de maniobra.
- El mecanismo de autocierre funciona correctamente.
- La puerta abre y cierra correctamente.
- Se ha completado el número de ciclos especificado.

Con todo lo anterior, el laboratorio declara que:

“La puerta con referencia comercial NA-60-2BO-1 ha sido sometida a ensayo de resistencia a aperturas y cierres repetidos durante 220.000 ciclos según la norma UNE-EN 1191:2013”.

Este resultado es equivalente a una clasificación C5 en términos de durabilidad del autocierre (200.000 ciclos) además de permitir el uso como puerta peatonal en vías de evacuación (20.000 ciclos adicionales).



Figura 8-54. Ensayo de durabilidad. Estado de la muestra en el instante previo al ensayo



Figura 8-55. Ensayo de durabilidad. Detalle del sistema cierrapuertas oculto



Figura 8-56. Ensayo de durabilidad. Detalle de la bisagra oculta



Figura 8-57. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de la manilla (hoja activa)



Figura 8-58. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de la cerradura (hoja activa)



Figura 8-59. Ensayo de durabilidad. Detalle del dispositivo antipánico (hoja activa)



Figura 8-60. Ensayo de durabilidad. Detalle de la zona de contracerradura (hoja pasiva)



Figura 8-61. Ensayo de durabilidad. Detalle del dispositivo antipánico (hoja pasiva)



Figura 8-62. Ensayo de durabilidad. Detalle del mecanismo disparador de la falleba (hoja pasiva)

CAPÍTULO 9
VALORACIÓN DE RESULTADOS
CONCLUSIONES

9 VALORACIÓN DE RESULTADOS. CONCLUSIONES

Tras la realización de los ensayos anunciados en el capítulo 8, el nuevo diseño de puerta cortafuego quedó validado, a través de las prestaciones o características demostradas en el laboratorio. Las clasificaciones obtenidas, junto con los campos de aplicación de los resultados, serán indicativas de la aplicabilidad de los nuevos modelos de puerta, de manera que cualquier cliente podrá saber, en todo momento, donde se encuentra el límite de prestaciones de la puerta, pudiendo determinar igualmente si los modelos se adaptan a las necesidades reales de su solución constructiva.

De nuevo, insisto en que los resultados arrojados por los informes de ensayo son para registro interno del laboratorio y el fabricante, exclusivamente. Será el propio laboratorio quien, gracias a su departamento de consultoría, elabore los informes de clasificación asociados, donde deberá recogerse toda la información relevante sobre las muestras ensayadas, así como los campos de aplicación resultantes.

En tanto en cuanto el nuevo producto no esté sujeto a recibir el marcado CE, no será posible presentar ningún tipo de certificado de producto, por lo que el informe de clasificación será la única documentación exigible por el momento, tal y como informa el CTE, de forma general, y la norma UNE 23740-1 en particular.

A continuación, resumo los resultados alcanzados para cada una de las dos tipologías de puerta testadas a escala real.

9.1 Resultados y valoración de las muestras de una hoja sometidas a ensayo de fuego

Se ensayaron dos muestras de una hoja, con orientaciones de apertura opuestas, es decir, se instaló una muestra con apertura hacia el interior del horno y otra muestra con apertura hacia el exterior del horno. Con esta configuración se consigue evaluar el comportamiento de ambas caras, en cumplimiento de la normativa EN 1634-1 que afecta a las puertas cortafuego.

Como se ha podido apreciar en el capítulo anterior, se ensayaron las nuevas puertas incorporando una modificación adicional: un vidrio cortafuego rectangular, con un área nominal inferior al 15% del área total de la hoja. Esta decisión la tomé en base al punto 13.2.2 de la norma EN 1634-1, que posibilita la reducción ilimitada de la superficie acristalada, siempre que se cumpla con la condición anterior. Como

consecuencia, la nueva puerta podrá comercializarse con un vidrio cortafuego rectangular, con unas dimensiones iguales o menores que las testadas, hasta el punto de convertirla en un puerta totalmente ciega. Resulta evidente que la consecución de este supuesto reducirá el número de ensayos posteriores, así que decidí ensayar contemplando esta posibilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron:

- La muestra con apertura hacia el interior del horno superó los 68 minutos de ensayo, aunque se produjo la rotura del vidrio antes de llegar a este punto. Siendo así, la clasificación resultante fue EI 60 (categoría B) sin vidrio y EI 60 (categoría A) con vidrio incluido.
- La muestra con apertura hacia el exterior del horno superó los 68 minutos de ensayo, aunque se produjo la rotura del vidrio antes de llegar al minuto 60. Entonces, la clasificación resultante fue EI 60 (categoría B) sin vidrio y EI 45 (categoría B) con vidrio incluido.

Los resultados corroboraron el correcto diseño de la nueva puerta, tanto en el aspecto del aislamiento como en el de la integridad, permitiendo conseguir una clasificación EI 60 con categoría B en su versión ciega, es decir, lograr el objetivo marcado, incluso con posibilidad de extrapolación de medidas.

Sin embargo, el componente vidriado no respondió a las expectativas, lo que propició una reclamación al distribuidor del material. Por el momento, se solicita la clasificación EI 45 categoría B con la versión vidriada, máxima clasificación posible en función de los resultados logrados en ambas caras, hasta hallar una solución que permita lograr la clasificación EI 60 categoría A, al menos.

9.2 Resultados y valoración de las muestras de dos hojas sometidas a ensayo de fuego

Se ensayaron dos muestras de dos hojas, con orientaciones de apertura opuestas, es decir, se preparó una muestra con apertura hacia el interior del horno y otra muestra con apertura hacia el exterior del horno. Con esta configuración se consigue evaluar el comportamiento de ambas caras, en cumplimiento de la normativa EN 1634-1 que afecta a las puertas cortafuego.

Al igual que en el modelo de puerta de una hoja, se ensayaron las nuevas puertas de dos hojas incorporando como modificación sendos vidrios cortafuego rectangulares, con un área nominal inferior al 15% del área total de la hoja.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron:

- La muestra con apertura hacia el interior del horno superó los 82 minutos de ensayo, aunque se produjo la rotura de uno de los vidrios en el minuto 62. Consecuentemente, la clasificación resultante fue EI 60 (categoría B) sin vidrio y EI 60 (categoría A) con vidrio incluido.
- La muestra con apertura hacia el exterior del horno superó los 68 minutos de ensayo, aunque se produjo la rotura del vidrio antes de llegar al minuto 60. Entonces, la clasificación resultante fue EI 60 (categoría B) sin vidrio y EI 45 (categoría B) con vidrio incluido.

Los resultados volvieron a corroborar el correcto diseño de la nueva puerta, tanto en el aspecto del aislamiento como en el de la integridad, permitiendo conseguir una clasificación EI 60 con categoría B en su versión ciega, es decir, lograr el objetivo marcado, incluso con posibilidad de extrapolación de medidas.

Sin embargo, el componente vidriado, proveniente del mismo lote de fabricación que en el caso anterior, volvió a mostrarse insuficiente. Este hecho no hizo más que reforzar la hipótesis de que el material recibido no cumplía con las especificaciones declaradas, así que, por motivos de calidad, decidí retirar el resto de material almacenado y negociar el suministro de un nuevo vidrio cortafuego que ofreciera mayores garantías.

Con los resultados disponibles, se solicita la clasificación EI 45 categoría B con la versión vidriada, hasta disponer del nuevo vidrio cortafuego que posibilite la clasificación EI 60 categoría A, al menos.

9.3 Resultados y valoración de la muestra de dos hojas sometidas a ensayo de durabilidad del autocierre

Se ensayó una muestra de dos hojas a ciclos de apertura y cierre repetidos. Con este ensayo se obtuvo la clasificación C5, de acuerdo a la norma UNE-EN 1191, lo que representa un trabajo de 200.000 ciclos.

Por consiguiente, la característica de durabilidad del autocierre queda satisfecha, además de someter a la muestra a un ciclado extraordinario de 20.000 ciclos, con lo que se permitirá su uso como puerta peatonal en vías de evacuación.

9.4 Conclusiones

Como conclusión de los resultados a fuego obtenidos se puede afirmar que el comportamiento de los nuevos modelos es muy satisfactorio. Es más, los valores de integridad y aislamiento registrados podrían motivar el desarrollo de una variante EI 90, ya que el nuevo espesor de hoja y la robustez del conjunto permitirían desarrollar una evolución del producto que superara con éxito la barrera de los 90-100 minutos.

Sin embargo, en todas las muestras quemadas se aprecia un deterioro importante de un componente fundamental: la bisagra. Al principio de este trabajo ya se observó que las bisagras eran un componente determinante en el nuevo diseño. El modelo de bisagras elegido cumple a la perfección con su cometido estético, permitiendo ocultar totalmente su mecanismo, a la vez que su centro de giro flotante facilita una apertura de 180° en ausencia de otros herrajes que supongan una limitación, pero su composición material representa una barrera para superar ensayos de más de 70-80 minutos. Esto es así porque el material base de este tipo de bisagras es una aleación de aluminio, lo que significa que, aún efectuando un buen aislamiento de sus partes, la fusión del material es inevitable a medida que aumenta el tiempo y la temperatura de exposición. Los ensayos realizados muestran como el material de la bisagra comienza a fundirse alrededor del minuto 50-60; esta experiencia sólo hace pensar que el objetivo EI 90 no podrá alcanzarse sin un reemplazo de este componente.

En cuanto al comportamiento mecánico de los modelos no cabe hacer ninguna valoración adicional, ya que la prestación conseguida C5 es la máxima posible según la norma de aplicación UNE-EN 1191, incluso con un exceso de trabajo del 10% que permite su instalación en vías de evacuación. El objetivo queda completamente cumplido con el ensayo de la muestra de dos hojas, toda vez que los laboratorios ya están aplicando la extensión propuesta por la norma prEN 17020-1, que permite extender los resultados de una muestra de dos hojas sobre una muestra de una hoja. Adviértase que el procedimiento recién descrito supone el ahorro de un ensayo mecánico, sin perjuicio de los resultados finales esperados.

Tampoco ha de pasarse por alto la característica de control de humos (S_a, S_{200}), no testada hasta el momento, aunque prevista desde el inicio del proyecto. A la vista de los excelentes resultados de integridad mostrados, estimo factible la obtención de esta prestación, gracias a la adición de juntas de

estanqueidad y un burlete retráctil en la zona umbral de las hojas; las hojas ya quedaron preparadas durante su diseño para recibir tales accesorios.

Por último, ya se ha comentado la problemática encontrada con el vidrio cortafuego ensayado. Se volverá a testar la solución vidriada en muy corto plazo de tiempo, aunque al considerarse un elemento opcional, será posible preparar los nuevos catálogos técnicos y comenzar la comercialización del producto, asumiendo que no será posible instalar el vidrio ensayado en la versión EI 60.

Se puede considerar que el alcance de este trabajo llega hasta este punto, aunque se deberá tener presente que sólo se ha cubierto el diseño y desarrollo inicial de un nuevo producto. Mi diseño de producto fija aquí un punto y seguido, entendiendo que todo producto pasa por un proceso continuo de desarrollo y mejora, donde irán apareciendo nuevas soluciones y accesorios encaminados a mejorar la oferta propuesta.

En el capítulo 10 haré una breve referencia a las próximas actuaciones posibles, muy dependientes de las exigencias que detecte el mercado y del nuevo horizonte reglamentario que adviene a corto plazo.

CAPÍTULO 10
COMERCIALIZACIÓN. FUTURAS ACTUACIONES



10 COMERCIALIZACIÓN. FUTURAS ACTUACIONES.

Una vez recorrido todo el camino mostrado, los nuevos modelos de puerta cortafuego están listos para salir al mercado y comenzar su comercialización.

Con el desarrollo y las prestaciones obtenidos hasta el momento, la nueva puerta tendrá utilidad como “puerta peatonal cortafuego de uso interior”. Será primordial especificar que es éste su uso previsto, tanto en las órdenes de pedido como en los manuales de instalación, uso y mantenimiento.

La afirmación hecha en el párrafo anterior es la explicación de que el proceso de desarrollo se detenga en este punto. Hasta la entrada en vigor de la norma de producto EN 14351-2: *“Ventanas y puertas peatonales interiores. Norma de producto”*, en trámite de “voto formal” en el momento de la redacción de estas líneas, será suficiente con la determinación de las características Elxx Cx para la comercialización de este modelo de puerta de uso interior.

Cuando la norma de producto para puertas peatonales de uso interior haga su aparición, será momento de evaluar nuevas prestaciones a determinar, en cumplimiento con la referida norma, de forma que el producto pueda conseguir su certificación CE en base a las normas de producto EN 16034 y EN 14351-2.

Por el momento, y teniendo en cuenta que el período de transición de la nueva norma podría prorrogarse hasta el año 2020, los nuevos modelos de una y dos hojas de la puerta cortafuego con herraje oculto se apoyarán en sus informes de clasificación. Estos informes, a falta de una certificación de producto como tal, contendrán la información relativa a las características ElxxCx disponibles, junto con el campo de aplicación permitido.

Sin embargo, comienzo a plantear la posibilidad de dotar al nuevo producto de la utilidad de “puerta peatonal cortafuego de uso exterior”, tratando así de completar las especificaciones ofrecidas. Si bien es cierto que el diseño inicial siempre fue el de una puerta de uso interior, destinada a instalarse en espacios singulares u obras con alta especificación, el creciente interés de algunos clientes y distribuidores podría motivar el lanzamiento de una versión de uso exterior.

El desarrollo de la versión de uso exterior pasa por el cumplimiento de la norma EN 14351-1, además de la norma de producto cortafuego EN 16034, donde ambas normas se encuentran en estado de vigencia en la actualidad, con un período de transición hasta 2019 para la norma EN 16034.

Lo anterior quiere decir que la correspondiente certificación CE de estas puertas no es exigible hasta entonces, aunque sí es posible contemplar las dos normas de producto que las rigen y delimitar un plan de ensayos conveniente.

El cumplimiento de la norma de producto cortafuego EN 16034 queda resuelto con los ensayos de fuego que se realizan actualmente, donde el laboratorio ya tiene en cuenta los procedimientos y el acondicionamiento de las muestras señalados en la norma.

En definitiva, las nuevas prestaciones a declarar como puerta de uso exterior se extraerán de la norma de producto EN 14351-1, así como la relación de ensayos o pruebas necesarias para demostrar las primeras. Algunas de las prestaciones más importantes desde el punto de vista técnico-comercial son:

- Resistencia a la carga de viento.
- Permeabilidad del aire.
- Estanqueidad al agua.
- Prestación acústica.
- Transmitancia térmica.

Es preciso apuntar que la adaptación de los distintos elementos y herrajes que posibiliten la consecución de las prestaciones anteriores será objeto de un desarrollo de igual o mayor envergadura que el satisfecho hasta el momento.

Todos estos comentarios pueden contemplarse desde la mera perspectiva de desarrollo de producto. Sin embargo, no deben dejarse a un lado otros aspectos relacionados con la evolución de estos productos, como puede ser la modelización BIM (*Building Information Modeling*) o la parametrización e implementación de modernos configuradores de producto, todo ello encaminado a favorecer la gestión y el intercambio de todos los datos relacionados con los productos. El equipo de trabajo tiene la convicción de que estas nuevas tecnologías no sólo serán un requisito esencial a medio plazo, sino que supondrán una ventaja competitiva si se logra una correcta implantación.

Y, para dar conclusión a este último capítulo, lo que sí puedo afirmar es que continuaré trabajando y perseverando en el desarrollo de éste y otros proyectos de carácter innovador, con el firme propósito de mantenerme a la vanguardia de los nuevos desarrollos tecnológicos y normativos en esta materia, materia que a día de hoy constituye mi actividad profesional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias Bibliográficas

- Código Técnico de la Edificación (CTE) (2006)
<http://www.codigotecnico.org>.
- Condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción. Reglamento (UE) No. 305/2011 de 9 de marzo de 2011.
- UNE-EN 1363-1:2015 Ensayos de resistencia al fuego. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 1363-2:2000 Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales.
- UNE-EN 1634-1:2016 Ensayos de resistencia al fuego y de control de humo de puertas y elementos de cerramiento de huecos, ventanas practicables y herrajes para la edificación. Parte 1: Ensayos de resistencia al fuego de puertas, elementos de cerramiento de huecos y ventanas practicables.
- UNE-EN 1634-3:2006 Ensayos de resistencia al fuego y de control de humo de puertas y elementos de cerramiento de huecos, ventanas practicables y herrajes para la edificación. Parte 3: Ensayos de control de humo para puertas y elementos de cerramiento.
- UNE-EN 13501-2:2009+A1:2010 Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 2: Clasificación a partir de datos obtenidos de los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.
- UNE-EN-14600:2006 Puertas y ventanas practicables con características de resistencia al fuego y/o control de humos. Requisitos y clasificación.
- UNE-EN 16034:2015 Puertas peatonales, industriales, comerciales, de garaje y ventanas practicables. Norma de producto, características de prestación. Características de resistencia al fuego y/o control de humo.
- UNE-EN 15269-2:2016 Extensión de la aplicación de los resultados de ensayo de resistencia al fuego y/o control de humos para puertas, persianas y ventanas practicables, incluyendo sus herrajes para la edificación. Parte 2: Resistencia al fuego de conjuntos de puertas pivotantes y batientes de acero.
- UNE-EN 1191:2013 Ventanas y puertas. Resistencia a aperturas y cierres repetidos. Método de ensayo.

- UNE-EN 12046-2:2000 Fuerzas de maniobra. Método de ensayo. Parte 2: Puertas.
- UNE 23740-1:2016 Seguridad contra incendios. Elementos de cerramiento de huecos. Requisitos específicos de instalación, uso, mantenimiento. Parte 1: Puertas cortafuego.
- UNE-EN 13823:2012+A1:2016. Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción (Single Burning Item - SBI).
- UNE-EN ISO 1716:2011. Ensayos de reacción al fuego de productos. Determinación del calor bruto de combustión.
- UNE-EN 14351-1:2006+A1:2011 Ventanas y puertas. Norma de producto, características de prestación. Parte 1: Ventanas y puertas exteriores peatonales sin características de resistencia al fuego y/o control de humo.
- ASTM E 119-00a Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (2000).
- ASTM E 2074-00e1 Standard Test Method for Fire Tests of Door Assemblies, Including Positive Pressure Testing of Side-Hinged and Pivoted Swinging Door Assemblies (2000).
- NFPA-252 Standard methods of fire test and doors assemblies (2012).
- NFPA-80 Standard for fire doors and fire windows (2013).
- Thermal behaviour of a steel door frame subjected to the standard fire of ISO 834: Measurements, numerical simulation and parameter study. Wakili, K. Ghazi, Wullschleger, L. and Hugi, (2008) Fire safety journal, Vol. 43, págs. 325-333.
- Measured and calculated temperature evolution on the room side of a butted steel door frame subjected to the standard fire of ISO 834. Hugi, E., Wakili, K. G. y Wullschleger, Fire safety journal, Vol. 44, págs. 808-812.
- Thermo-mechanical analysis of fire doors subjected to a fire endurance test. Tabaddor, M., Gandhi, P. D. y Jones, G. (2009) Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 19, págs. 51-71.
- The influence of gaps of fire-resisting doors on the smoke spread in a building fire. Cheung, SC.; Lo, SM.; Yeoh, GH.; Yuen, RK. (2006) Fire safety journal, Vol. 41, págs. 539-546.
- Analysis and prediction of air leakage through door assemblies. Gross, D. y Haberman, WL. (1989) Fire Safety Science, Vol. 2. págs. 169-178.

-
- Estimating air leakage through doors for smoke control. Gross, D. (1990) Fire technology, Vol. 26, págs. 75-81.
 - ISO 11358 Plastics. Thermogravimetry (TG) of polymers (2014).
 - ISO 5660 Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) (2002).
 - prEN 14351-2 Windows and doors - Product standard, performance characteristics - Part 2: Internal pedestrian doorsets without resistance to fire and/or smoke leakage characteristics.
 - prEN 17020-1 Extended application os test results on durability of self-closing for fire resistance and/or smoke control doorsets and openable windows. Part 1: Durability os self-closing of hinged and pivoted steel doors.