

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CAJA DE BATERÍAS
PARA UN COCHE ELÉCTRICO***

Alumno/Alumna: Barrasa Márquez, Iñaki

Director/Directora (1): García de Amezaga, Francisco Javier

Curso: 2022-2023

Fecha: 05-09-2023



Índice

1.	Introducción	11
1.1.	Objetivos	13
1.2.	Alcance	14
1.3.	Sobre ESI Group	16
2.	Marco Teórico	20
2.1.	Tipos de vehículos eléctricos	22
2.2.	Cajas de Baterías	24
2.2.1.	Requisitos de la caja de baterías	25
2.2.2.	Tipos de cajas de baterías en función de disposición y ubicación	27
2.2.3.	Componentes del Battery Box	29
2.2.4.	Tipos de caja de baterías: estructural vs no estructural	32
2.2.5.	Componentes estructurales	36
2.2.6.	Procesos de fabricación	37
2.2.7.	Consideraciones económicas	39
2.3.	Batería	41
2.3.1.	Características principales de las baterías	44
2.3.2.	Según su material de composición	46
2.3.3.	Según su geometría	50
2.3.4.	Tipos de baterías según su disposición	52
2.3.5.	BMS	56
2.3.6.	Inversor	68
2.3.7.	Controlador	68
2.3.8.	Motor	68
2.3.9.	Otros componentes	70
2.4.	Normativa y seguridad	71
2.4.1.	Normativa relativa a la caja de batería y sus componentes	71
2.4.2.	Normativa relativa a los componentes y diferentes sistemas que forman la caja de baterías	74
2.4.3.	Normativa relativa a la soldadura	78
3.	Diseño Caja Batería	81
3.1.	Requisitos	81



3.2.	Primeras decisiones	83
3.3.	Propuesta diseño celdas	92
3.4.	Propuesta diseño módulo de batería	94
3.5.	Propuesta diseño perfiles	97
3.6.	Propuesta final, nomenclatura de componentes y procesos	102
3.6.1.	Simplificaciones.....	114
4.	Simulación FEM.....	116
4.1.	Preprocesado	117
4.1.1.	Elementos y nodos.....	117
4.2.	Procesado.....	120
4.3.	Post-procesado y visualización	122
4.4.	YSWELD	123
4.4.1.	Simulación de Validación o Transitoria.....	125
4.4.2.	Simulación de Factibilidad o de Contracción	127
4.4.3.	Metodología.....	129
4.5.	Materiales	130
4.5.1.	Características del material.....	130
4.5.2.	Propiedades materiales en Sysweld	133
4.6.	Transferencia térmica	143
4.6.1.	Macrografía.....	144
4.6.2.	Fuente de calor	145
4.7.	Calibración uniones representativas.....	154
4.7.1.	Benchmark vs Industrial.....	157
4.7.2.	Calibración de la fuente de calor	166
4.7.3.	Validación vs Factibilidad	170
4.8.	Simulación Industrial.....	183
4.8.1.	Malla	184
4.8.2.	Materiales	188
4.8.3.	Contactos	188
4.8.4.	Clampado	192
4.8.5.	Secuencia de soldeo.....	197
5.	Resultados.....	207
6.	Conclusiones	215



7.	Presupuesto	217
8.	Diagrama de Gantt.....	222
9.	Anexo	223
9.1.	Normas y estándares adicionales	223
9.2.	Datasheet celdas de baterías.....	249
9.3.	Características generales de las baterías	259
9.4.	Planos.....	264
10.	Bibliografía	285



Índice de Imágenes

Ilustración 1. Logo ESI Group	16
Ilustración 2. Industrias operadas por ESI Group	17
Ilustración 3. Software para procesos de soldadura: SYSWELD	18
Ilustración 4. Entrañas de un vehículo Eléctrico	21
Ilustración 5. Comparación vehículo eléctricos según propulsión	22
Ilustración 6. Despiece caja de baterías de vehículo eléctrico	25
Ilustración 7. Caja de batería de distribución en suelo.....	29
Ilustración 8. Componentes de una caja de baterías.....	30
Ilustración 9. Ejemplo de caja de baterías Estructural.....	33
Ilustración 10. Ejemplo de caja de baterías No Estructural	34
Ilustración 11. Costo de fabricación de una batería	42
Ilustración 12. Componentes de una batería.....	43
Ilustración 13. Ejemplo de Celda, Módulo y Pack de baterías.....	44
Ilustración 14. Batería Plomo-Acido	46
Ilustración 15. Batería Ion-Litio.....	48
Ilustración 16. Celda Cilíndrica vs Prismática.....	50
Ilustración 17. Batería Prismática	51
Ilustración 18. Batería Cilíndrica	52
Ilustración 19. Baterías conectadas en serie	53
Ilustración 20. Baterías conectadas en serie defectuosa.....	54
Ilustración 21. Baterías conectadas en paralelo	54
Ilustración 22. Baterías conectadas en paralelo defectuosa	55
Ilustración 23. Baterías conectadas en serie-paralelo	55
Ilustración 24. Proceso de actuación de un BMS.....	56
Ilustración 25. SoC de una batería	58
Ilustración 26. SoC y SoH de una batería	59
Ilustración 27. Celdas en serie desbalanceadas.....	59
Ilustración 28. Celdas de batería desbalanceadas	61
Ilustración 29. Celdas de batería tras el balanceo pasivo.....	61
Ilustración 30. Esquema de balanceo con condensadores. a) condensador conmutado, b) condensadores conmutados y c) doble nivel de condensadores conmutados	62
Ilustración 31. Esquema de balanceo con un inductor.....	62
Ilustración 32. Esquema de balanceo con varios inductores.....	63
Ilustración 33. Esquema de balanceo con transformadores, a) un transformador, b) varios transformadores	63
Ilustración 34. Esquema convertidor Flyback	64
Ilustración 35. Esquema convertidor Boost.....	64
Ilustración 36. Esquema convertidor Full-bridge.....	65
Ilustración 37. Esquema convertidor Ramp.....	65
Ilustración 38. Esquema convertidor Resonant.....	66
Ilustración 39. Esquema de fallos de celdas y mecanismos de protección	66
Ilustración 40. Motor eléctrico	69



Ilustración 41. Proceso de documentación y validación de un ESS	72
Ilustración 42. Diseño celda de batería.....	93
Ilustración 43. Diseño de disposición de celdas en un módulo	94
Ilustración 44. Representación conexiones entre celdas	94
Ilustración 45. Representación sistema de refrigeración en el módulo	95
Ilustración 46. Diseño carcasa del módulo de baterías	95
Ilustración 47. Módulo de baterías. Vista en planta.....	96
Ilustración 48. Diseño módulo de baterías tapa exterior incluida.....	96
Ilustración 49. Diseño módulo de baterías	97
Ilustración 50. Perfil exterior lateral (PR1_BEAM2).....	98
Ilustración 51. Perfil exterior curvo (PR1_BEAM1)	98
Ilustración 52. Perfil exterior superior (PR3_BEAM1).....	99
Ilustración 53. Perfil inferior exterior (PR3_BEAM2)	99
Ilustración 54. Perfil exterior módulo inferior (PR3_BEAM3).....	100
Ilustración 55. Perfil interior módulo baterías (PR6_BEAM1)	100
Ilustración 56. Perfil interior transversal (PR5_BEAM1).....	101
Ilustración 57. Perfil interior longitudinal (PR5_BEAM2).....	101
Ilustración 58. Diseño caja de baterías completo	102
Ilustración 59. Proceso de soldadura 1.....	103
Ilustración 60. Proceso de soldadura 2.....	104
Ilustración 61. Componentes proceso de soldadura 3	105
Ilustración 62. Proceso de soldadura 3.....	105
Ilustración 63. Componentes proceso de soldadura 4	106
Ilustración 64. Proceso de soldadura 4.....	107
Ilustración 65. Componentes proceso de soldadura 5	108
Ilustración 66. Proceso de soldadura 5.....	108
Ilustración 67. Componentes proceso de soldadura 6	110
Ilustración 68. Proceso de soldadura 6.....	110
Ilustración 69. Componentes proceso de soldadura 7. Parte1.....	113
Ilustración 70. Proceso de soldadura 7. Parte1	113
Ilustración 71. Componentes proceso de soldadura 7. Parte2.....	114
Ilustración 72. Proceso de soldadura 7. Parte2	114
Ilustración 73. Esquema tipo de elementos 1D, 2D y 3D.....	120
Ilustración 74. SYSWELD - Procesos de soldadura	124
Ilustración 75. Predicción de resultados SYSWELD.....	124
Ilustración 76. Proceso del cálculo termo-metalúrgico y mecánico.....	126
Ilustración 77. Modos de distorsión	127
Ilustración 78. Simulación de Contracción.....	127
Ilustración 79. Perfil acero S355J2	131
Ilustración 80. Información Genérica. Número de fases	134
Ilustración 81. Información genérica. Composición del material	135
Ilustración 82. Propiedades termo-físicas. Conductividad térmica	135
Ilustración 83. Propiedades mecánicas.....	136
Ilustración 84. Propiedades mecánicas. Hardening Slope	137



Ilustración 85. Estructura FCC y BCC átomos.....	139
Ilustración 86. Estructuras y características átomos según temperaturas.....	139
Ilustración 87. Transformación de los aceros. Cambio de volumen.....	140
Ilustración 88. Propiedades metalúrgicas.....	141
Ilustración 89. Propiedades metalúrgicas. Transformación Martensítica.....	142
Ilustración 90. Diagrama de fases CCC.....	142
Ilustración 91. Propiedades materiales por método Shrinkage.....	143
Ilustración 92. Deformaciones plásticas material Shrinkage.....	143
Ilustración 93. Calculo propiedades físicas.....	146
Ilustración 94. Modelo fuente de calor de doble elipsoide.....	147
Ilustración 95. Fuente de calor Goldak.....	147
Ilustración 96. Huella de la fuente de calor de doble elipsoide.....	149
Ilustración 97. Fuente de calor cónica.....	150
Ilustración 98. Fuente de calor de superficie Gaussiana.....	150
Ilustración 99. Transferencia térmica por conducción.....	151
Ilustración 100. Transferencia térmica por convección.....	153
Ilustración 101. Transferencia térmica por radiación.....	154
Ilustración 102. Unión entre perfiles interiores.....	156
Ilustración 103. Unión entre perfil interior y cover.....	156
Ilustración 104. Unión entre perfil exterior y cover.....	157
Ilustración 105. Malla Quad de tipo Benchmark.....	159
Ilustración 106. Malla Quad de tipo Industrial.....	160
Ilustración 107. Malla hexaédrica-Benchmark.....	160
Ilustración 108. Malla hexaédrica-Industrial.....	161
Ilustración 109. Malla Tria de tipo Benchmark.....	162
Ilustración 110. Malla Tria de tipo Industrial.....	163
Ilustración 111. Calidad elementos 2D.....	164
Ilustración 112. Calidad elementos 3D - Zona fundida.....	165
Ilustración 113. Calidad elementos 3D - Zona alejada del cordón.....	165
Ilustración 114. Workflow Welding Advisor.....	166
Ilustración 115. Asignación material sobre los componentes.....	166
Ilustración 116. Definición de la Load.....	167
Ilustración 117. Dimensiones del cordón.....	167
Ilustración 118. Previsualización de la fuente de calor.....	168
Ilustración 119. Resultados térmicos - Vista de corte en sección.....	169
Ilustración 120. Progresión fuente de calor y grafica de temperaturas.....	169
Ilustración 121. Guía de Interfaz de Usuario de VisualWeld.....	170
Ilustración 122. Modos de distorsión de interés.....	171
Ilustración 123. Definición de condición de simetría.....	172
Ilustración 124. Definición de clamps tras el proceso.....	172
Ilustración 125. Definición de clamps durante el proceso.....	173
Ilustración 126. Definición de parámetros de cálculo.....	174
Ilustración 127. Workflow Joining Advisor.....	174
Ilustración 128. Definición de la secuencia de soldadura.....	176



Ilustración 129. Comparación de distorsiones - Vista en Planta, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra.....	178
Ilustración 130. Comparación de distorsiones vs malla inicial - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra.....	179
Ilustración 131. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra	179
Ilustración 132. Comparación de distorsiones - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra	180
Ilustración 133. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra	181
Ilustración 134. Comparación de distorsiones - Vista en Planta, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra.....	182
Ilustración 135. Comparación de distorsiones vs malla inicial - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra.....	182
Ilustración 136. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra	183
Ilustración 137. Detalle de refinado de malla cerca de los cordones de soldadura.....	184
Ilustración 138. Detalle de transición (Cover)	185
Ilustración 139. Detalle malla cordón.....	185
Ilustración 140. Resultado final mallado Hexaédrico	186
Ilustración 141. Detalle tamaño malla.....	187
Ilustración 142. Resultado final mallado Cuadrático Tetraédrico	187
Ilustración 143. Asignación de los materiales.....	188
Ilustración 144. Ejemplo de contacto entre componentes	189
Ilustración 145. Ejemplo de mallas 2D de contacto entre componentes.....	189
Ilustración 146. Definición de contactos tipo Nitsche	190
Ilustración 147. Definición de contactos Standard.....	191
Ilustración 148. Definición de conexión de malla entre componente y cordón.....	191
Ilustración 149. Clamp proceso 1 y 2.....	192
Ilustración 150. Clamp proceso 3.....	193
Ilustración 151. Clamp proceso 4.....	193
Ilustración 152. Clamp proceso 5.....	194
Ilustración 153. Clamp proceso 6.....	195
Ilustración 154. Clamp proceso 7.....	195
Ilustración 155. Clamp Isostático	196
Ilustración 156. Visualización térmica del proceso de soldadura.....	209
Ilustración 157. Temperatura máxima alcanzada durante el proceso	209
Ilustración 158. Distorsión y ejemplo de tendencia del perfil PR5_BEAM2	210
Ilustración 159. Distorsiones Proceso 3	211
Ilustración 160. Distorsiones previas al unclamping.....	211
Ilustración 161. Distorsiones tras el unclamping.....	212
Ilustración 162. Efecto de las distorsiones sobre el Cover (sección del conjunto).....	212
Ilustración 163. Tensiones previo a unclamping.....	213
Ilustración 164. Tensiones tras el unclamping.....	213



Ilustración 165. Visualización tensión interna 214



Índice de Tablas

Tabla 1. Normas de ensayo relacionadas con la seguridad de los sistemas y componentes del sistema..	73
Tabla 2. Pruebas del comportamiento eléctrico de las baterías	75
Tabla 3. Ensayos de seguridad	77
Tabla 4. Estándares para sistemas de almacenamiento	78
Tabla 5. Normativa para soldadura.....	79
Tabla 6. Normativa para ensayos de tracción.....	80
Tabla 7. Propiedades celda de batería.....	92
Tabla 8. Componentes y cordones Proceso 1	103
Tabla 9. Componentes y cordones Proceso 2	103
Tabla 10. Componentes y cordones Proceso 3	104
Tabla 11. Componentes y cordones Proceso 4	106
Tabla 12. Componentes y cordones Proceso 5	107
Tabla 13. Componentes y cordones Proceso 6	109
Tabla 14. Componentes y cordones Proceso 7-Parte 1	112
Tabla 15. Componentes y cordones Proceso 7-Parte 2	113
Tabla 16. Norma del material S355J2	132
Tabla 17. Secuencia de clampado transitorio	197
Tabla 18. Secuencia de la soldadura método Transitorio.....	203
Tabla 19. Secuencia completa método Shrinkage Procesos 1-4.....	204
Tabla 20. Secuencia completa método Shrinkage Procesos 5 y 6	205
Tabla 21. Secuencia completa método Shrinkage Proceso 7	206
Tabla 22. Presupuesto Licencia Software	217
Tabla 23. Presupuesto Ingeniería	217
Tabla 24. Presupuesto Materiales	218
Tabla 25. Presupuesto Procesos de fabricación	219
Tabla 26. Presupuesto Procesos de fabricación - Soldadura	219
Tabla 27. Presupuesto Mano de obra fabricación	220
Tabla 28. Presupuesto Gastos Indirectos.....	220
Tabla 29. Presupuesto Total	221
Tabla 30. Diagrama de Gantt	222

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico



1. Introducción

Gracias a la preocupación generalizada por el medio ambiente se ha propiciado la búsqueda de un método de transporte más sostenible tratando de reducir las emisiones de CO₂. Es por eso por lo que la revolución de la movilidad eléctrica, incluyendo en el sector automóviles eléctricos o híbridos, ha cobrado una gran importancia en la última década y que dicho mercado siga al alza.

Es por esto por lo que la industria automovilística lleva años inmersa en el desarrollo de nuevas tecnologías, modelos e incluso materiales que ayuden en el desempeño y las prestaciones de estos vehículos mejorando y progresando en los procesos de producción de estos.

Los coches híbridos o eléctricos son aquellos propulsados por un motor alimentado por una fuente de energía eléctrica que posteriormente se transforma en energía cinemática en el caso de híbrido, o aquellos que disponen una doble motorización, un motor eléctrico y otro motor térmico o de combustión interna en caso de tratarse de un híbrido. En ambos casos, la inclusión de estos motores eléctricos supone cambios en los componentes de los vehículos. La principal diferencia que van a adoptar son la de las baterías y lo que estas suponen, ya que las baterías son las máximas responsables de la autonomía de este tipo de automóviles.

Ya que las baterías asumen este factor clave, estas requieren de una integración propicia entre los demás componentes de estos coches. Asimismo, para proteger las celdas ante posibles accidentes o fallos se protegen con lo que se denomina con la caja de baterías o Battery Box.

Las cajas de baterías, elemento clave en la sujeción y protección de las celdas y módulos de las baterías asumen un papel importante en la protección todas las conexiones, cables y componentes electrónicos que deben tener todo sistema de baterías, aunque se pueden asociar varias otras funciones a estas cajas como:

- Refrigeración. Debido a la alta capacidad energética necesaria para estos vehículos, el sistema de baterías puede llegar a alcanzar muy altas temperaturas. Una caja de baterías debe incorporar un sistema de refrigeración para ayudar a la disminución de esas temperaturas. Una consecuencia de una buena definición y diseño de estas cajas de batería puede suponer una mejora en la eficiencia, obteniendo un mejor aprovechamiento de la energía y aumentando así la vida útil de las celdas.
- Estructura. Debido a la alta capacidad energética necesaria, todo el sistema de batería va a suponer un volumen considerable. Una buena disposición de estas celdas, como ya se verá, es clave no solo para el mejor aprovechamiento energético si no para el diseño y distribución de todos los componentes del vehículo. Supone un aspecto importante en la distribución de pesos, en el sistema de seguridad, así como para la robustez que pueda alcanzar el automóvil, ya que, en algunas ocasiones estas cajas de batería van a asumir un papel estructural.

En los coches con motor de combustión las cajas de baterías se suelen ubicar debajo del suelo y del asiento posterior. Sin embargo, en los vehículos con propulsión eléctrica, suelen ubicarse lo más cerca posible del suelo tratando de ocupar toda la extensión posible del suelo del vehículo.



De este modo es posible aprovechar el máximo espacio posible incrementando la capacidad, autonomía y optimizando la distribución de pesos para garantizar un mejor comportamiento en cuanto a dinámica.

Como se está pudiendo observar la caja de batería supone un papel más que importante y a tener en cuenta en los procesos de fabricación. A su vez, la soldadura, la técnica de unión de diferentes piezas de metal o aluminio, juega un papel decisivo en la fabricación de la caja de batería.

La calidad de las soldaduras en la caja de baterías es de vital importancia para garantizar la integridad estructural del vehículo eléctrico. La caja debe soportar el peso de las propias baterías que protege, así como soportar las tensiones mecánicas a las que se somete durante la utilización del vehículo: vibraciones, impactos o cargas dinámicas. Las soldaduras bien ejecutadas aseguran una conexión robusta y duradera, lo que garantiza la integridad estructural de la caja de baterías a lo largo de su vida útil.

Además, la seguridad es un aspecto prioritario para este tipo de productos, a tener en cuenta en el proceso de fabricación. Soldaduras mal ejecutadas podrían provocar fugas de energía o puntos calientes, lo que podría resultar en sobrecalentamiento o el fenómeno conocido como 'hot cracking', que consiste en la aparición de agrietamiento en las zonas soldadas en caliente. Incluso una soldadura mal ejecutada puede producir agrietamiento o imperfección en frío.

En un contexto de creciente conciencia sobre la sostenibilidad y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los coches eléctricos representan una solución prometedora para la movilidad del futuro. La caja de baterías, como componente clave en la fabricación de vehículos eléctricos, implica retos y desafíos técnicos, donde la soldadura implica un papel fundamental para la integridad estructural, eficiencia eléctrica y seguridad de la caja de baterías, contribuyendo así al avance de la movilidad eléctrica.



1.1. Objetivos

Este proyecto trata de demostrar las diferentes etapas a seguir y con que estrategia para realizar el estudio de una caja de baterías partiendo desde su propio diseño, realizando el prototipado virtual, hasta la obtención de resultados tras realizar el proceso de ensamblaje a través de las soldaduras de todos los componentes que lo conforman. De esta manera, se evitará la realización de ensayos físicos en la fase temprana de estudio y se predecirán las distorsiones y tensiones que aparecen durante el soldeo

Pueden definirse además los siguientes objetivos:

- Construcción prototipado virtual.

Pese a no ser el objetivo principal en este proyecto se realizará desde 0 el diseño de la caja de batería a fin de poder visualizar los diferentes aspectos para tener en cuenta en la construcción de este tipo de productos. Además, se realizará una descripción, de los diferentes componentes que debe tener una caja de baterías, enfocándose principalmente en las celdas de batería, y los beneficios y consecuencias que tendrá las diferentes disposiciones de estas.

- Obtención de resultados en tiempos industriales.

Uno de los principales objetivos es la ejecución de este en el menor tiempo con la mayor precisión posible. La ejecución de este tipo de procesos puede alargarse tanto si se hace de forma física, con el aumento de costes que esto supone, o a través del prototipado virtual.

La ejecución del proceso a través del prototipado virtual acarrea ventajas como la economización del proceso. Sin embargo, es posible que las simulaciones que se ejecuten a lo largo del proyecto recurran en errores o problemas a la hora de ser resueltas. Es por eso, por lo que se llevará a cabo una metodología, desarrollada en ESI, aprovechando las capacidades del software, en la que se correlarán dos métodos diferentes: de factibilidad y de validación. Ambas tienen sus ventajas y desventajas, es por eso por lo que se ejecutaran de aquella manera en la que se aprovechen las ventajas de cada una de ellas.

- Optimización secuencia de soldadura para la mejora de resultados de distorsión.

Una vez diseñados los diferentes perfiles de la caja de batería, se definirá no solo cuales son los mejores lugares para depositar los cordones de soldadura, sino cual es la secuencia adecuada para ejecutar estos. Las distorsiones que obtengamos en los resultados finales van a depender, entre otros factores, de la secuencia de soldadura que se haya definido.

Otros parámetros pueden ser calibrados y definidos a fin de obtener menores distorsiones y tensiones en los resultados finales que se vayan a obtener, como pueden ser los amarres que se van a emplear a la hora de ejecutar la soldadura de los cordones de soldadura, la potencia que se defina en la fuente de calor u otros parámetros del proceso. Algunos de los parámetros mencionados serán definidos durante la fase de calibración.

- Comprobación de resultados de tensiones residuales, microestructurales.

Se deben comprobar todos los aspectos que nos puedan indicar que las soldaduras realizadas no han sido correctamente ejecutadas o tengan algún defecto de calidad. Estos defectos pueden ser detectados al revisar los resultados correspondientes a la microestructura del material o a las tensiones. Gracias a esta predicción de posibles fallos o agrietamientos, se puede evitar la realización de los ensayos físicos ahorrando costes de producción y tiempo.



1.2. Alcance

Para alcanzar los objetivos anteriormente mencionados, se ha estructurado el proyecto en diferentes etapas, comenzando por la fase de investigación para poder realizar un diseño adecuado, continuando por la creación de los modelos de elementos finitos y finalizando con la revisión de los resultados obtenidos y optimizándolos:

- Investigación

Para poder realizar un diseño adecuado de una caja de baterías se debe prestar atención a las diferentes características que los componentes que esta encierra presentan. Como cabe esperar, el principal enfoque se realizará sobre las propias celdas de batería, donde se observarán diferentes aspectos de su fabricación para poder contextualizar las geometrías de estas y los diferentes requisitos que protegerlas supone, como por ejemplo, la creación de los módulos o la protección ante posibles desbalances que pueden sufrir durante su funcionamiento

También se observarán las diferentes tipos y propiedades que deben presentar las estructuras que conforman las propias cajas de baterías y se identificará el papel que juega en el vehículo.

- Diseño.

Para la realización del diseño de la caja de baterías de un vehículo eléctrico se ha partido desde cero. Por lo tanto, este proceso, a su vez, se ha dividido en diferentes etapas:

1. Se seleccionará el tipo de celda a emplear en el modelo. A partir de las hojas de características de las diferentes celdas existentes en el mercado se seleccionan aquellas que mejor funcionamiento, rendimiento y relación calidad-precio ofrecen. Una vez definida el tipo de celda que se va a emplear se realizará el modelado a raíz de sus características geométricas y se buscará la disposición idónea. En primer lugar sobre el diferente número de celdas por módulo y a continuación sobre las conexiones serie-paralelo
2. Una vez determinado el número de celdas por módulo, se procede al diseño de este primer elemento de protección de una forma simplificada, ya que no es el principal objeto de interés.
3. Tras la obtención de los módulos y conociendo la geometría de estos, se procederá al diseño de los perfiles que componen la caja de baterías. Para analizar los efectos que la soldadura provoca sobre la estructura se han desarrollado perfiles de extrusión, componentes propicios para obtener robustez sobre el conjunto.
4. Previo a pasar a la etapa de modelado, se deben acometer ciertas simplificaciones sobre el diseño final. En los cálculos FEM que se generen, es conveniente realizar estas simplificaciones para evitar complicaciones posteriores en cuanto a calidad de elementos concierne:
 - Eliminación de agujeros no estructurales.
 - Eliminación de superficies de pequeño tamaño.
 - Eliminación de los radios de acuerdo.



- Modelado y simulación FEM.

Durante el modelado se prepara la geometría diseñada para ser simulada mediante un software que emplea el método de elementos finitos. Además, se siguió una estrategia que permite la obtención de resultados precisos en un corto periodo de tiempo. Al tratarse del mercado industrial los procesos de simulación no deben prolongarse durante largos periodos de tiempo. Para ello, se realizan una serie de calibraciones en una fase temprana de estudio del modelo, dichas calibraciones servirán para validar los diferentes procesos que existen en el conjunto y permite realizar la simulación del modelo industrial completo en un tiempo reducido con resultados fiables.

- Análisis de resultados y toma de decisiones.

Una vez realizado tanto el modelado como la preparación de la simulación se realiza un post procesamiento, donde se visualizarán los resultados obtenidos. Una vez, seamos capaces de observar cuales son las distorsiones y tensiones que se producen sobre el modelo durante el proceso completo, en caso de considerarlo necesario, se podrán tomar una serie de decisiones que optimizarán el proceso y mejorarán el estado tensional y de distorsiones.



1.3. Sobre ESI Group



Ilustración 1. Logo ESI Group

Fundado en 1973, ESI ofrece soluciones fiables y personalizadas en modelos físicos predictivos y en su experiencia en la creación de prototipos virtuales para que las industrias puedan tomar decisiones correctas en el momento adecuado, al tiempo que gestionan su complejidad. Actuando principalmente en los sectores de automoción, transporte terrestre, aeroespacial, defensa y naval, energía e industria pesada. ESI está presente en más de 20 países, con sede en Francia.

Entre los objetivos de ESI se encuentran:

- Innovación sin concesiones.

A través de la innovación de productos sostenibles, procesos de fabricación eficientes y pruebas físicas probadas mediante simulación, ESI ayuda a sus clientes a crear productos limpios durante toda su vida útil con una menor huella medioambiental para crear una industria limpia, segura y productiva aprovechando la tecnología de simulación digital inteligente.

- Ayudar a los clientes a conseguir sus objetivos empresariales.

De forma habitual, entre los clientes de ESI, se pueden encontrar los siguientes objetivos entre otros: Acelerar la comercialización, disminuir los costes de producción, reducir riesgos sin que esto suponga una reducción de la calidad de estos, reducir la huella medioambiental

Desde ESI, se trata de ayudar a los clientes a cumplir estos objetivos a través de su propuesta de valor, donde se profundiza en los objetivos de los clientes y se resuelven los problemas de simulación complejos a través del talento que existe entre sus filas.

Creencias y ADN.

En ESI existe una profunda pasión por el impacto positivo que su trabajo tiene en el mundo. Esto impulsa a seguir esforzándose por conseguir más cada día.

Además, se promueve el trabajo en equipo, liberando el verdadero potencial, que es resolver problemas complejos de simulación a escala, ayudando así a la industria a ser más limpio, segura y productiva.

Visión, con la visión vienen las oportunidades.

El mundo de la industria se ha transformado para siempre, y es un momento apasionante de innovación y responsabilidad. Los consumidores exigen más que nunca y las empresas se apresuran a seguir el ritmo del cambio sin dejar de ser buenas guardianas de la tierra y sus habitantes.



Desde ESI, siempre se ha considerado apasionante dar pasos audaces para crear un mundo mejor siendo pioneros en un enfoque que da prioridad a lo virtual para resolver los problemas más complejos y críticos con la simulación.

Perspectivas a largo plazo.

Como nunca antes, la industria está adoptando practicas digitales, trasladando gran parte de los procesos y decisiones a lo virtual. ESI imagina un mundo con mejoras inspiradoras en una industria limpia, segura y productiva.

Para llegar ahí, todo debe simularse, explorando antes las alternativas e implicando a un elenco diverso de partes interesadas en todas las decisiones. Para ir más allá de las pruebas virtuales, las soluciones de software de ESI Group se basan en tres pilares:

- Predictivo. Valida el producto tal y como se fabrica encadenando la física y los procesos.
- A tiempo real. La reducción de pedidos de modelos e HybridTwin están transformando el prototipado virtual en una herramienta de toma de decisiones en tiempo real.
- Inmersivo. Los productos o procesos concebidos virtualmente deben probarse desde una perspectiva centrada en el ser humano. Un metaverso industrial para una colaboración virtual y una toma de decisiones eficientes.

Industrias principales en las que opera ESI Group.



Ilustración 2. Industrias operadas por ESI Group

- Aeronáutica y defensa.

Acelerar la transformación estructural y ampliar las capacidades de pruebas virtuales. Ganar agilidad en el lanzamiento de nuevos programas más rápido que nunca, alcanzar mayores niveles de eficiencia industrial y lograr procesos más ecológicos y ajustados con menos desechos, más rendimiento y mayor rentabilidad son algunos de los beneficios.

Aventurarse en la digitalización para acelerar la innovación, reducir los costes de desarrollo y los plazos de comercialización.

- Probar y verificar el rendimiento vibro acústico de los nuevos diseños de forma totalmente virtual con su propio sistema de pruebas digital.
- Aprovechar la potencia de fabricación virtual de piezas de alta precisión para conseguir el máximo rendimiento de los materiales.
- Impulsar los flujos de trabajo virtuales colaborativos que permiten la integración de productos, el montaje y las revisiones de mantenimiento en el metaverso industrial.



- Automoción.

Aumenta la rentabilidad de la I+D con la tecnología de pruebas virtuales. Innova en la movilidad sostenible y consigue nuevos diseños correctos a la primera, al tiempo que reduce la huella de carbono, en el desarrollo y la ingeniería al evitar las pruebas de prototipos físicos que suponen grandes costes y emisiones.

Convierte los nuevos modelos de negocio de movilidad y la digitalización en valor probado y retorno de la inversión.

- Prueba y certifica la seguridad, resistencia y durabilidad, así como el rendimiento vibro acústico de los nuevos diseños de forma totalmente virtual con su propia pista de pruebas digital.
- Aumenta la potencia de la ingeniería concurrente creando una cadena de procesos de fabricación virtual para los conjuntos de carrocería y chasis.
- Potencia los flujos de trabajo virtuales colaborativos que permiten la integración de productos, ensamblajes y las revisiones de mantenimiento desde la perspectiva de un trabajador y un operario en el metaverso industrial.

- Industria pesada

Innovar con costes controlados y plazos de entrega ajustados. Consigue nuevos diseños correctos a la primera, al tiempo que reduce la huella de carbono, en el desarrollo y la ingeniería al evitar las pruebas de prototipos físicos que suponen grandes costes y emisiones.

- Predice la dinámica, la resistencia y la durabilidad, así como el rendimiento vibro acústico de los nuevos diseños desde el principio, con confianza y de forma totalmente digital con su propio campo de pruebas virtual.
- Garantiza la fabricabilidad a la vez que se potencia la ingeniería concurrente y la fabricación anticipada.
- Potencia los flujos de trabajo virtuales colaborativos que permiten la integración de productos, ensamblajes y las revisiones de mantenimiento desde la perspectiva de un trabajador y un operario en el metaverso industrial.



Ilustración 3. Software para procesos de soldadura: SYSWELD

Entre los diferentes tipos de procesos que se pueden simular, entre los objetivos de este proyecto se encuentra la preparación y realización de un proceso de soldadura. ESI, cuenta con un software dedicado para la predicción de esta clase de procesos: SYSWELD.



SYSWELD ofrece una evaluación virtual única y completa de las características de los materiales, microestructura, tensiones residuales y las distorsiones en estructuras y conjuntos soldados. SYSWELD aborda diferentes procesos de soldadura (soldadura por arco, haz de electrones y puntos laser) y procesos de tratamientos térmicos (carburación, carbonitruración y temple) y tiene en cuenta todos los fenómenos relevantes (químicos, térmicos, metalúrgicos y mecánicos). Así, SYSWELD permite a los ingenieros que lo utilizan ser lo más productivos posible construyendo estructuras virtuales físicamente realistas que reducen el número de prototipos que se necesitan construir en la fase de desarrollo, al tiempo que mejoran la calidad y la vida útil de los productos fabricados. Esto minimiza directamente el tiempo de comercialización y el coste de desarrollo, proporcionando a los clientes de SYSWELD una ventaja competitiva clave.

SYSWELD, es una cadena de simulación predictiva para verificar y validar la calidad de la soldadura y las prestaciones del producto teniendo en cuenta los efectos de la unión y el ensamblaje por adelantado en el proceso de diseño, lo que permite:

- Reducir la necesidad de generar prototipos físicos y de esta manera dedicar mayor tiempo a crear nuevos e innovadores productos.
- Controlar y optimizar las características del material, el proceso de unión y la integridad de la soldadura.
- Mejorar el rendimiento, la calidad y la vida útil del producto.

2. Marco Teórico

La evidencia de los efectos del cambio climático es innegable. Esto ha hecho que los gobiernos de todo el mundo actúen para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que se producen. El sector del transporte es uno de los principales emisores de este tipo de emisiones, por lo que, se espera que en los próximos años este sector realice una profunda transformación para cumplir con los objetivos de emisiones propuestos. Para ello, se pide que la industria proporcione soluciones o ideas innovadoras para poder cumplir con los objetivos. Los límites de emisión de CO₂ se aplican mediante la regulación adoptada en diferentes países y se espera que disminuya el consumo de combustible con base de carbono en los próximos años.

En la anterior década, únicamente el sector de transporte supuso un 21% de los gases de efecto invernadero. El 15%, solamente a través de transporte terrestre, suponiendo prácticamente la mitad los transportes de pasajeros y mercancías.

Las estrictas regulaciones que se están estableciendo acompañadas de las posibles ventajas que pueden provenir de los nuevos vehículos innovadores hacen que muchos de los fabricantes de vehículos hayan comenzado, durante la pasada década, a hacer la transición a vehículos con sistemas de propulsión alternativos.

En la actualidad, la solución más ampliamente difundida y contrastada parece ser la de la propulsión a través de la electrificación, aunque en los últimos años también se ha dado a conocer la propulsión a través de sistemas de hidrógeno, aunque para la aparición de estas baterías para un uso cotidiano se antoja algo más lejano debido a los problemas existentes de la distribución y reabastecimiento del combustible. Entre los vehículos con sistemas eléctricos se encuentran diferentes tipos como, los vehículos eléctricos híbridos (HEV), los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) o los vehículos eléctricos de batería totalmente eléctrica (BEV). Los vehículos eléctricos de pila de combustible propulsado por hidrógeno (FCEV) también son considerados como otra evolución.

Los beneficios del uso de los vehículos eléctricos suponen una mejora en cuenta a la diversificación de las fuentes de energía, mejora de las características mecánicas del motor eléctrico, que lo hacen adecuado para la tracción. Los vehículos puramente eléctricos logran una eficiencia global del 35% frente a un aprovechamiento del 25% de los vehículos de gasolina estándar. Así, la reducción de emisiones debería suponer entre un 40% y un 60% menor en condiciones normales. Para disponer un cálculo aproximado de la eficiencia de estos vehículos se deben tener en cuenta parámetros como la densidad energética de las baterías.



Ilustración 4. Entrañas de un vehículo Eléctrico

Se debe prestar atención a las modificaciones arquitectónicas que se introducen en la carrocería de los vehículos para proporcionar la mejor solución posible a la hora de realizar el diseño de la caja de baterías. Es una de las principales diferencias que se encuentran en los coches electrificados, ya que, la incorporación de las baterías requiere determinar no solo su ubicación, sino que también deben estar debidamente protegidas gracias a su carácter inflamable ante una colisión o defecto de funcionamiento. El paquete de baterías es un componente grande, pesado y muy costoso para ser administrado, refrigerado, mantenido y protegido.

El principal objetivo del paquete de baterías es el de la protección y sujeción de las celdas de baterías. Es por eso, por lo que resulta esencial conocer las diferentes opciones de baterías que se pueden confeccionar y las diferentes características que estas tienen. Además de las baterías, existen otra serie de componentes en el interior de la caja de baterías. Estos sistemas se centran en la correcta administración de las baterías, como un sistema de refrigeración, un sistema de gestión de dichas baterías o un sistema de protección ante posibles fallos y desbalances, entre otros. El diseño de la estructura completa se debe amoldar a las características geométricas de los integrantes que la componen.

Es por eso, por lo que durante el marco teórico se busca comprender los siguientes puntos:

- Caja de batería, su función integral y sus diferentes tipos de diseño posibles
- Celdas de baterías, su concepción, fabricación y diseño para el mejor aprovechamiento de su rendimiento
- Componentes claves que conforman el entramado eléctrico de estos vehículos
- Normativa estándares y seguridad



2.1. Tipos de vehículos eléctricos

En términos generales se puede hablar de la existencia de diferentes tipos de vehículos eléctricos según el modo de propulsión. Estas diferencias han ido surgiendo a medida que la tecnología iba evolucionando y el concepto de vehículo eléctrico iba ganando adopción entre más y más usuarios:

- Los vehículos puramente eléctricos – BEV.

Este tipo de vehículos debe sus siglas BEV al nombre Battery Electric Vehicle. Es el vehículo eléctrico clásico que está propulsado puramente por uno o varios motores eléctricos que reciben energía a través de una o varias baterías recargables. Estas recuperan su energía conectada a un enchufe de red domestico o wallbox.

La autonomía de estos vehículos, es decir, los kilómetros que son capaces de hacer sin recurrir a la carga de las baterías dependen de la capacidad de estas, aunque también de otros factores como el peso o la resistencia aerodinámica. Gracias a las evoluciones de los últimos años, existen algunos vehículos con autonomías de hasta 700 kilómetros, aunque la media de este tipo de vehículos todavía ronda los 400 kilómetros.

- Vehículos Híbridos Eléctricos – HEV.

Los vehículos híbridos convencionales, o Hybrid Electric Vehicle (HEV), fueron los primeros en ser producidos en masa. Son vehículos híbridos no enchufables, es decir, que combinan un motor de combustión con uno eléctrico. La energía del motor eléctrico no se obtiene a través de la red eléctrica, sino que, del propio funcionamiento del motor de combustión, especialmente cuando se realizan frenadas y aceleraciones.

Los HEV utilizan una batería para almacenar la energía, pero la capacidad es muy reducida por lo que no tienen una gran autonomía en modo eléctrico.

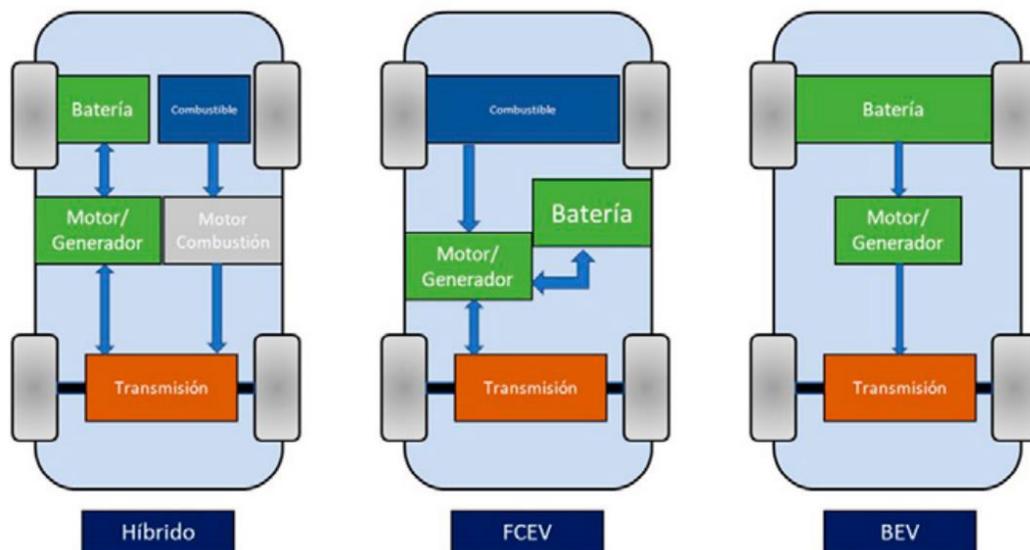


Ilustración 5. Comparación vehículo eléctricos según propulsión



- Vehículo Híbrido Enchufable – PHEV.

Los Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) son coches híbridos enchufables. Este tipo de vehículos fueron una evolución del híbrido no enchufable. El siguiente paso de los híbridos enchufables puede considerarse los BEV, los puramente eléctricos.

Estos vehículos cuentan con un motor de combustión y otro eléctrico. Estos motores pueden funcionar de manera independiente o conjunta.

Las baterías se recargan conectando a una toma de enchufe. La autonomía eléctrica es superior al HEV, entre 5 y 90 Kilómetros mientras que HVE pueden llegar a los 40 Kilómetros, aunque muy inferior a los BEV.

Dentro de este tipo de coches se distinguen dos variantes principales:

- Híbrido en serie (acoplamiento eléctrico)

El motor eléctrico es el encargado de propulsar al vehículo, mientras que el motor de combustión posibilita la recarga de la batería y apoyar al motor eléctrico cuando este lo necesite.

- Híbrido en paralelo (acoplamiento mecánico)

El motor de combustión interna proporciona la tracción a las ruedas según el modo de conducción que elija el usuario.

- Vehículo eléctrico de autonomía extendida – EVER.

O con las siglas en inglés Extended Range Electric Vehicle (EVER), este tipo de vehículos combinan un motor de combustión con uno o varios motores eléctricos. El motor de combustión se emplea como generador eléctrico para recargar las baterías. Los motores eléctricos se alimentan de esas baterías.

La condición para que los coches eléctricos de autonomía extendida no sean considerados como híbridos es que el motor de combustible no impulsa las ruedas y puede emplearse como un coche eléctrico durante prácticamente todo el tiempo. Además, las baterías también pueden ser recargadas a través de la red eléctrica como los eléctricos convencionales.

La autonomía de las baterías puede rondar los 40 kilómetros sin el uso del motor de combustión. Existen otras variantes no consideradas híbridas que pueden englobarse dentro de este tipo de vehículos:

- Mild-Hybrid: Son vehículos de combustión a los que se le adapta un pequeño sistema de asistencia eléctrica, generalmente a través de la adopción de un motor de arranque y generador que puede recuperar la energía que se almacena en una pequeña batería de 48V. En ocasiones disponen de un freno regenerativo para recargar las baterías.

Esta energía se devuelve para ayudar al motor de combustión en la fase de aceleración o para alimentar el consumo eléctrico de algunos sistemas para restar esfuerzo a dicho motor. Este tipo de vehículo no podrá moverse de una forma 100% eléctrica.

- Micro-Hybrid: Los coches microhíbridos cuentan con dos motores. Incorporan un motor de combustión junto con un motor eléctrico que sustituye al motor de arranque tradicional. Este motor de arranque dispondrá de mayor potencia que el anterior, aunque solo funcionará en momentos puntuales. Al igual que el anterior caso, tampoco pueden moverse únicamente a través de una propulsión puramente eléctrica, es necesario que en todo momento el motor de combustión intervenga.



- Vehículo eléctrico con pila de hidrogeno – FCEV.

Cuando la electricidad que requiere el motor procede de una pila de combustible se está ante un Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV). Estos vehículos son de hidrógeno. En este caso la generación de electricidad se lleva a cabo mediante una reacción química conocida como electrolisis, por la que el hidrogeno se oxida perdiendo electrones que son encapsulados para generar la energía eléctrica.

Ofrecen mayor autonomía, ya que es su principal objetivo teniendo una media de 600 kilómetros de autonomía por carga. Además, requiere de un menor tiempo de carga. Los puntos de carga, por el momento son escasos, y el coste de la cadena de distribución del hidrogeno no está ampliamente adoptada, por lo que, el precio de estas baterías aumenta su valor.

2.2. Cajas de Baterías

Con la aparición de los vehículos eléctricos en las últimas décadas los fabricantes y diseñadores se han tenido que enfrentar a nuevos desafíos para lograr la integración de todos los componentes. Uno de esos grandes desafíos es el de la fabricación y diseño de una de las piezas fundamentales dentro de estos vehículos, el Battery Box.

Una caja de baterías, o Battery box, es una estructura cuyo objetivo principal es el de fijar y proteger las celdas de batería y los demás componentes electrónicos relacionados con estas celdas como, cables, conectores y el resto de los sistemas de administración y seguridad de las baterías. Por lo tanto, este componente debe amoldarse a los elementos que van en su interior con una estructura lo más robusta posible. Además, debe garantizar la seguridad de la batería y de los pasajeros del coche.

La carcasa del paquete de baterías es un componente altamente personalizado, está hecho a medida, para su aplicación específica. El tamaño y la forma de la caja están, por un lado, determinados por el espacio de diseño y por los puntos de montaje dados por el vehículo y, por otro lado, por los componentes internos que tienen que encajar y montarse en su interior. Además, el diseño de la carcasa debe responder ante requisitos mecánicos, de seguridad, de servicio y de costo.

Como bien se sabe, la anatomía de un coche eléctrico recaba cierta complejidad, la posibilidad de gestionar grandes cantidades de energía requiere un nuevo sistema y componentes capaces de proporcionar la energía de forma adecuada tras haberla recogido y almacenado.



Ilustración 6. Despiece caja de baterías de vehículo eléctrico

El elemento principal de una caja de batería es la propia batería. Sin embargo, además de la batería también se encuentran otros componentes que contribuyen al funcionamiento seguro y eficiente del sistema de propulsión, como por ejemplo: una batería auxiliar, sistema térmico, convertidor, inversor, controlador, sistema de transmisión, ...

A continuación, se verán diferentes características, propiedades y requisitos de la estructura que supone la caja de batería en el contexto de esta investigación.

2.2.1. Requisitos de la caja de baterías

Una caja de batería de un coche eléctrico es una parte fundamental que debe cumplir con varios requisitos para asegurar el rendimiento óptimo, la seguridad y la longevidad del sistema de baterías:

- Protección y seguridad.

La caja de batería debe estar diseñada para brindar una protección sólida a las celdas de batería contra impactos externos y condiciones ambientales adversas. Esto implica la utilización de materiales resistentes y tecnologías de absorción de impactos.

Deben cumplir con estándares de seguridad que incluyan características como cortocircuitos y sistemas de apagado de emergencia para prevenir riesgos de incendios o explosiones en caso de un cortocircuito.

- Gestión térmica.

La caja de baterías debe ser capaz de mantener las celdas dentro de los rangos de temperatura óptimos para un funcionamiento óptimo y eficiente. Para ello, se deben incorporar sistemas de refrigeración activa y pasiva que puedan disipar el calor generado durante la carga y descarga de la batería, evitando el sobrecalentamiento.

La distribución uniforme de calor y la prevención de puntos calientes son fundamentales para prolongar la vida útil de las celdas y garantizar su seguridad.



- Integridad estructural.

Este componente debe tener la capacidad de resistir fuerzas mecánicas generadas durante el manejo, frenado, aceleración y posibles impactos. Esto implica la selección de materiales estructurales resistentes, como aleaciones de aluminio o acero, y un diseño que distribuya de manera uniforme las cargas y las tensiones en toda la estructura.

- Compatibilidad con las baterías.

El diseño de la caja de batería debe ser versátil para acomodar diferentes tipos y tamaños de celdas de batería, ya que las tecnologías de baterías pueden variar entre fabricantes y modelos de vehículos.

La caja debe mantener las celdas en su lugar de manera segura y prevenir movimientos no deseados que puedan generar vibraciones o dañar las celdas durante la operación

- Aislamiento eléctrico.

La caja de batería debe proporcionar un aislamiento eléctrico adecuado para prevenir cortocircuitos y descargas eléctricas involuntarias. Esto se logra mediante selección de materiales aislantes y la implementación de barreras eléctricas circundantes.

- Resistencia a humedad y corrosión.

Este componente debe estar diseñado para proteger las celdas de batería y los componentes eléctricos internos de la humedad y la corrosión. Esto puede incluir la aplicación de recubrimientos resistentes a la intemperie y la implementación de sistemas de sellado efectivos en las uniones y puntos de entrada.

- Facilidad de mantenimiento.

Debe estar diseñada de manera que permita un acceso relativamente fácil para el mantenimiento y la posible sustitución de celdas o módulos individuales en caso de fallo. Esto reduce el tiempo de inactividad del vehículo y los costos de mantenimiento, ya que no será necesario reemplazar toda la batería si una parte falla.

- Diseño.

Aunque la función principal de la caja de baterías es garantizar el rendimiento y seguridad, su diseño también puede influir en la apariencia general del vehículo. La integración estética en el diseño del vehículo es importante para crear una experiencia de conducción agradable y atractiva para los usuarios.

- Cumplimiento regulatorio.

El Battery Box debe cumplir las regulaciones y normativas locales e internacionales relacionadas con la seguridad vehicular, la protección ambiental y otros aspectos legales que afectan a los vehículos eléctricos.

- Condiciones de carga y descarga.



La caja de batería debe permitir un flujo eficiente de energía durante la carga y descarga de las baterías. Esto implica diseñar una disposición interna que minimice la resistencia eléctrica y las pérdidas de energía, garantizando una transferencia de energía efectiva.

- Reducción de vibraciones y ruido.

Para garantizar la comodidad de los ocupantes del vehículo, la caja de batería debe minimizar la transmisión de vibraciones y ruido desde las celdas y componentes internos hacia el habitáculo.

Se pueden implementar sistemas de aislamiento y absorción de vibraciones para lograr un viaje suave y silencioso.

Cumplir con todos los requisitos garantiza que la caja de batería cumpla una función esencial de manera efectiva, al tiempo que asegura la seguridad de los ocupantes y maximiza la durabilidad del sistema de batería en diversas condiciones de operación.

2.2.2. Tipos de cajas de baterías en función de disposición y ubicación

Una caja de baterías suele tener dimensiones considerables que dependerán de la cantidad y capacidad de las baterías que las compongan. Suelen ser grandes, por eso, en la etapa de diseño es importante tener en consideración la ubicación de estas cajas y cómo será la distribución de su peso.

Como mínimo, la masa que supone la integración de este componente debe permanecer estable durante el funcionamiento del vehículo. En un diseño apropiadamente acometido, la batería y el recinto mejoran, en gran medida, la estructura del coche eléctrico y la capacidad de absorber la energía de los impactos.

Existe una variedad de tipos de Battery Box en función de la disposición y ubicación de las celdas de batería:

- Caja monolítica

La caja monolítica, es un diseño en el que todas las baterías del vehículo se alojan en una única estructura continua. Este enfoque busca simplificar la construcción al crear una sola entidad que protege y alberga todas las celdas de la batería. Desde una perspectiva de protección, la caja monolítica puede ser robusta, ya que todas las celdas están envueltas por una carcasa unificada. Sin embargo, este diseño puede presentar desafíos en términos de gestión térmica. Dado que todas las celdas están contenidas en un espacio compacto, la disipación del calor puede ser más complicada. Esto podría requerir la implementación de sistemas de enfriamiento o calefacción eficientes para mantener las baterías dentro de rangos de temperatura óptimos. Además, la caja monolítica podría dificultar el acceso y el reemplazo de celdas individuales en caso de fallo.

- Modulo independientes

Este enfoque implica agrupar las baterías en módulos separados dentro de la caja de batería. Cada módulo contiene un conjunto de celdas y suele contar con su propia administración de energía y sistemas de refrigeración. La modularidad ofrece ventajas notables. Primero, permite una mayor flexibilidad en el diseño y la distribución de las baterías, lo que puede adaptarse a diferentes tamaños



y formas de vehículos. Segundo, en caso de que una celda o módulo falle, solo es necesario reemplazar esa parte en lugar de toda la batería, lo que puede simplificar el mantenimiento y reducir los costos. Además, los sistemas de refrigeración pueden ser más eficientes, ya que es más fácil controlar la temperatura en módulos separados.

- Caja de batería apilable.

La configuración de cajas de batería apilables implica montar múltiples cajas una sobre otra, aprovechando el espacio vertical disponible. Este diseño es particularmente útil en vehículos que necesitan una mayor capacidad de batería, como camiones eléctricos o SUVs. La disposición vertical permite maximizar el espacio disponible sin ocupar espacio en la parte trasera del vehículo. Además, mantener el centro de gravedad bajo puede mejorar la estabilidad y el manejo del vehículo. Sin embargo, se deben tener en cuenta consideraciones de seguridad y distribución del peso para evitar problemas de estabilidad.

- Configuración en túnel central

Algunos fabricantes eligen ubicar la caja de batería en un túnel central entre los asientos delanteros y traseros. Esta ubicación equilibra el peso entre los ejes delantero y trasero del vehículo, lo que puede contribuir a una mayor estabilidad y un mejor manejo. Además, libera espacio en la parte trasera del vehículo, lo que puede ser aprovechado para crear más opciones de almacenamiento o para mejorar la flexibilidad en el diseño del habitáculo. Esta configuración puede requerir una planificación cuidadosa para garantizar que no afecte negativamente al espacio para los pasajeros y la comodidad interior.

- Distribución en el suelo

La distribución de baterías a lo largo del suelo del vehículo se ha vuelto popular en muchos coches eléctricos. Al ocupar este espacio, se logra un bajo centro de gravedad, lo que puede mejorar la estabilidad y el manejo del vehículo, además de beneficiar la eficiencia aerodinámica. No tener una caja de batería separada también libera espacio en el interior del vehículo, lo que puede ser utilizado para acomodar a los pasajeros o para ofrecer un mayor espacio de almacenamiento. Esta configuración también facilita la gestión térmica al permitir una mejor distribución del calor generado por las baterías.



Ilustración 7. Caja de batería de distribución en suelo

- Configuración de sándwich

En este diseño, las baterías se colocan entre dos plataformas, creando una estructura tipo sándwich. Esta configuración puede brindar una mayor rigidez estructural al vehículo, lo que puede mejorar la seguridad en caso de colisión y contribuir a la integridad general del vehículo. Además, esta disposición puede permitir un uso más eficiente del espacio vertical y horizontal, lo que es especialmente valioso en vehículos compactos donde el espacio es limitado. Sin embargo, se deben tener en cuenta las implicaciones de peso y seguridad al usar esta configuración.

2.2.3. Componentes del Battery Box

La caja de batería es un componente crítico en la arquitectura de un vehículo eléctrico, desempeñando un papel fundamental en la gestión, protección y rendimiento de la batería que impulsa el motor eléctrico. El objetivo principal de la caja de baterías es el de proteger y sujetar las celdas de batería. Además de eso, existen otros componentes que se encuentran dentro de la caja que asumen diversas funciones, la mayoría para proteger las celdas de baterías ante diferentes tipos de falla o malfuncionamiento:



Ilustración 8. Componentes de una caja de baterías

1. Estructura externa.

La estructura externa de la caja de batería es una carcasa robusta y protectora que rodea todo el sistema de batería. Su función principal es proporcionar una capa defensiva contra impactos externos, vibraciones y condiciones climáticas adversas. Además, la estructura externa también puede contribuir al rendimiento aerodinámico del vehículo, minimizando la resistencia al viento y mejorando la eficiencia energética. El diseño de esta estructura debe equilibrar la necesidad de resistencia con la optimización del peso, y se basa en materiales avanzados como aleaciones de aluminio y acero de alta resistencia.

2. Módulos de batería.

Los módulos de batería son compartimentos individuales dentro de la caja de batería que alojan grupos de celdas de batería. Su función es organizar y asegurar las celdas en su lugar, permitiendo una configuración modular que facilita el mantenimiento y la expansión del sistema. Cada módulo suele incorporar sistemas de administración de energía (BMS) que monitorean y controlan el rendimiento de las celdas. La disposición de los módulos influye en la distribución del calor y la corriente, lo que es crucial para maximizar la vida útil de la batería y garantizar un rendimiento uniforme.

3. Celdas de batería.

Las celdas de batería son los componentes esenciales que almacenan la energía eléctrica. Pueden ser de varios tipos, como celdas cilíndricas, prismáticas o de lámina, cada una con sus propias ventajas en términos de densidad de energía y eficiencia. La caja de batería debe proporcionar una estructura segura y estable para alojar estas celdas, protegiéndolas de impactos, vibraciones y variaciones de temperatura. El diseño de la disposición de las celdas dentro de los módulos también es clave para una distribución uniforme de la energía y el calor.

4. Sistemas de enfriamiento y calefacción.



Los sistemas de enfriamiento y calefacción son esenciales para mantener las celdas de batería dentro de rangos de temperatura óptimos. Las variaciones térmicas pueden afectar negativamente el rendimiento y la vida útil de las celdas. La caja de batería debe estar diseñada para permitir la circulación efectiva de líquidos refrigerantes o aire para disipar el calor generado durante la carga y descarga. La integración de sistemas de calefacción puede prevenir la congelación de las celdas en condiciones frías, asegurando un rendimiento consistente en una amplia gama de climas.

5. Sistemas de Gestión de Energía (BMS).

Los sistemas de gestión de energía (BMS) son componentes críticos que supervisan y controlan el estado de cada celda de batería. Estos sistemas monitorean parámetros como la tensión, la corriente y la temperatura en tiempo real, lo que permite al BMS tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento y la seguridad de la batería. Además, el BMS también se encarga de evitar desequilibrios entre celdas, prevenir sobrecargas y descargas excesivas, y administrar la carga y descarga de manera uniforme.

6. Sistemas de seguridad.

Los sistemas de seguridad en la caja de batería incluyen dispositivos como interruptores de circuito y fusibles que garantizan que las celdas no se sobrecarguen ni descarguen en exceso. Estos sistemas son esenciales para prevenir situaciones peligrosas, como cortocircuitos y sobrecalentamientos, que podrían resultar en daños en las celdas o incluso incendios. La caja de batería también puede incorporar sistemas de desconexión rápida en caso de emergencia, lo que permite a los técnicos desconectar la batería en situaciones críticas.

7. Conexiones y cables.

Las conexiones y los cables en la caja de batería son responsables de asegurar una transferencia de energía eficiente entre las celdas, los módulos y los sistemas de gestión. Estos componentes deben estar diseñados para minimizar la resistencia eléctrica y las pérdidas de energía, garantizando que la energía fluya sin problemas entre los diferentes elementos del sistema. La selección de materiales y la calidad de las conexiones son cruciales para mantener la integridad de la transferencia de energía y evitar puntos calientes que puedan comprometer la seguridad.

8. Aislamiento y sellado.

El aislamiento eléctrico y el sellado adecuado son aspectos esenciales de la caja de batería para evitar cortocircuitos y prevenir la entrada de humedad, polvo y otros contaminantes. Los materiales aislantes y los sellados herméticos evitan que las celdas entren en contacto directo con elementos que podrían dañarlas o afectar su funcionamiento. Un sellado eficaz, también contribuye a mantener un ambiente interno controlado y seguro para las celdas de la batería.

9. Sensores y monitoreo.

Los sensores integrados en la caja de batería permiten el monitoreo constante de parámetros como la temperatura, la tensión y la corriente en tiempo real. Estos datos son esenciales para el BMS, ya que le proporcionan información precisa sobre el estado y el rendimiento de las celdas. Con esta información, el BMS puede tomar decisiones informadas para ajustar la operación de la



batería y prevenir situaciones peligrosas, como sobrecalentamientos o desequilibrios entre celdas.

10. Dispositivos de anclaje y fijación.

Los dispositivos de anclaje y fijación aseguran que los módulos y las celdas estén firmemente sujetos dentro de la caja de batería. Estos dispositivos previenen movimientos no deseados que pudieran surgir debido a vibraciones o impactos durante el funcionamiento del vehículo. La seguridad y la confiabilidad del sistema dependen en gran medida de la firme sujeción de las celdas y los módulos en su lugar, lo que evita daños y contribuye a un rendimiento constante a lo largo del tiempo.

Cada uno de estos diez componentes desempeña un papel fundamental en la creación de una caja de batería eficiente, segura y confiable en un vehículo eléctrico. El diseño y la integración cuidadosa de estos componentes son esenciales para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema de batería en diversas condiciones de operación.

2.2.4. Tipos de caja de baterías: estructural vs no estructural

Existen dos categorías principales de cajas de baterías: las estructurales y las no estructurales. Estas dos variaciones presentan diferencias significativas en su diseño, función y contribución al rendimiento general del vehículo eléctrico.

- Caja de batería estructural.

Las cajas de baterías estructurales son componentes clave en vehículos eléctricos que cumplen un doble propósito: no solo contienen y protegen las celdas de batería y sus componentes asociados, sino que también forman parte integral de la estructura del vehículo. Esta integración estructural brinda varias ventajas, incluida una mayor rigidez del chasis, mejor distribución del peso y una eficiente utilización del espacio en el vehículo. Las cajas de baterías estructurales desempeñan un papel esencial en la electrificación del transporte, ya que no solo suministran energía sino que también contribuyen a la seguridad, el rendimiento y la experiencia de conducción.

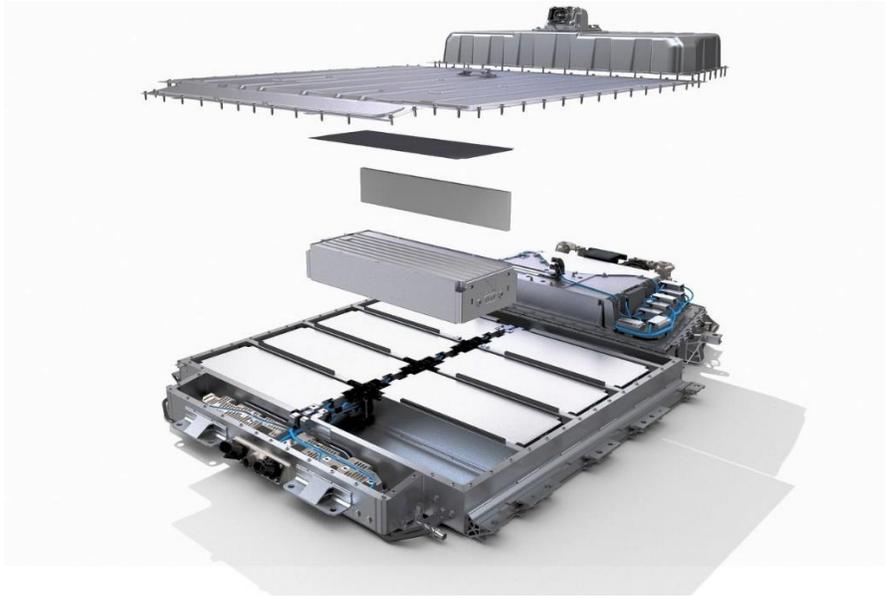


Ilustración 9. Ejemplo de caja de baterías Estructural

Algunas de las características y beneficios clave de las cajas de baterías estructurales son:

1. Integración estructural.

Las cajas de baterías estructurales se diseñan para formar parte de la estructura del vehículo, contribuyendo a su rigidez y resistencia. Esto puede mejorar la seguridad del vehículo en caso de colisiones y garantizar una experiencia de conducción más estable y controlada.

2. Distribución del Peso.

La ubicación estratégica de las cajas de baterías estructurales en el vehículo permite una distribución equilibrada del peso entre los ejes delantero y trasero. Esto puede mejorar el manejo, la estabilidad y la respuesta del vehículo en diferentes condiciones de conducción.

3. Ahorro de espacio.

Al integrar las celdas de batería en la estructura del vehículo, se utiliza el espacio disponible de manera más eficiente, lo que resulta en un uso óptimo del espacio interior y exterior. Esto es especialmente valioso en vehículos eléctricos, donde el espacio de almacenamiento puede ser un factor crítico.

4. Reducción de vibraciones y ruidos.

La integración de las cajas de baterías en la estructura puede ayudar a absorber vibraciones y reducir la transmisión de ruidos no deseados al interior del vehículo. Esto puede contribuir a una experiencia de conducción más silenciosa y cómoda.

5. Seguridad mejorada.

La rigidez adicional proporcionada por las cajas de baterías estructurales puede contribuir a una mejor protección en caso de colisiones. Además, estas cajas están diseñadas para evitar que las



celdas de batería sufran daños en situaciones de impacto, minimizando el riesgo de cortocircuitos o fugas.

6. Eficiencia en la producción.

La integración de las cajas de baterías en la estructura del vehículo puede simplificar los procesos de producción al eliminar la necesidad de componentes de soporte adicionales. Esto puede reducir los costos de fabricación y acelerar los tiempos de producción.

7. Flexibilidad en el diseño.

Aunque las cajas de baterías estructurales se integran en la estructura del vehículo, los diseñadores aún tienen cierta flexibilidad en la forma y configuración de estas cajas para adaptarse a las necesidades específicas de cada modelo de vehículo.

En resumen, las cajas de baterías estructurales representan una innovación fundamental en la industria de vehículos eléctricos al combinar la funcionalidad de almacenamiento de energía con la mejora de la seguridad y el rendimiento del vehículo. A medida que la tecnología de baterías y la electrificación continúan evolucionando, es probable que las cajas de baterías estructurales sigan desempeñando un papel esencial en la conducción hacia un futuro más sostenible y eficiente en términos energéticos.

- Caja de batería no estructural.

Las cajas de baterías no estructurales son componentes esenciales en los vehículos eléctricos que cumplen con la función principal de contener y proteger las celdas de batería y sus componentes asociados sin tener un papel en la integridad estructural del vehículo. A diferencia de las cajas de baterías estructurales, que forman parte de la estructura del vehículo y contribuyen a su rigidez, las cajas de baterías no estructurales se diseñan para ser unidades autónomas que pueden incorporarse en el chasis del vehículo de manera flexible.



Ilustración 10. Ejemplo de caja de baterías No Estructural



Las cajas de baterías no estructurales tienen varias ventajas y aplicaciones clave:

1. Versatilidad en el diseño.

Al no estar involucradas en la rigidez del chasis del vehículo, las cajas de baterías no estructurales permiten a los diseñadores más libertad para crear formas y configuraciones personalizadas que se adapten mejor al espacio disponible en el vehículo. Esto es especialmente importante para vehículos eléctricos, ya que la optimización del espacio es esencial para maximizar la eficiencia y el rendimiento del sistema de batería.

2. Flexibilidad en la ubicación.

Las cajas de baterías no estructurales pueden ubicarse en diversas áreas del vehículo, como el suelo, el maletero o incluso dentro de paneles laterales. Esto permite una distribución más equilibrada del peso y puede contribuir a una mejor distribución del centro de gravedad, lo que mejora la estabilidad y el manejo del vehículo.

3. Mantenimiento simplificado.

Debido a su diseño modular y su independencia de la estructura del vehículo, las cajas de baterías no estructurales son más fáciles de reemplazar y mantener en comparación con las cajas de baterías estructurales. En caso de falla de una celda o módulo de batería, es posible reemplazar la caja de baterías no estructural completa sin afectar la integridad estructural del vehículo.

4. Escalabilidad y actualizaciones.

Dado que las cajas de baterías no estructurales son unidades independientes, es más sencillo agregar o reemplazar módulos de batería según las necesidades del vehículo. Esto permite que los fabricantes actualicen o adapten la capacidad de la batería a medida que avanza la tecnología o cambian los requisitos del mercado.

5. Eficiencia en la producción.

La fabricación de cajas de baterías no estructurales puede ser más eficiente, ya que se pueden producir en instalaciones separadas y luego integrar en el vehículo durante el ensamblaje final. Esto puede agilizar los procesos de producción y permitir una mayor flexibilidad en la cadena de suministro.

Aunque las cajas de baterías no estructurales ofrecen flexibilidad y ventajas en términos de diseño y producción, es importante considerar la integración adecuada con la estructura del vehículo y la gestión térmica eficiente para garantizar un rendimiento óptimo y una seguridad sólida. Estos componentes son esenciales para el funcionamiento confiable de los vehículos eléctricos y para el éxito continuo de la electrificación del transporte.



2.2.5. Componentes estructurales

- Cubierta superior

La cubierta superior de la caja de batería en un vehículo eléctrico es una capa protectora que se encuentra en la parte superior de la estructura. Está cubierta tiene un papel crucial en la protección de las celdas de batería y los componentes internos contra factores externos dañinos. Además de su función de aislamiento térmico, la cubierta superior actúa como una barrera contra la humedad, el polvo y otros contaminantes que podrían afectar el rendimiento y la seguridad del sistema de batería. También puede tener propiedades de resistencia a la radiación solar y el calor ambiental, lo que ayuda a mantener una temperatura interna adecuada. La elección de materiales resistentes y duraderos para la cubierta superior es esencial para asegurar una protección confiable y a largo plazo.

- Cubierta inferior

La cubierta inferior es un componente esencial de la caja de batería que se encuentra en la parte inferior de la estructura. Al igual que la cubierta superior, su principal función es proporcionar una capa de protección a las celdas de batería y los componentes internos. La cubierta inferior actúa como una barrera física que evita la entrada de humedad, suciedad y otros contaminantes desde la parte inferior del vehículo. Además, ayuda a mantener un entorno sellado y controlado dentro de la caja de batería, lo que es fundamental para garantizar el rendimiento y la seguridad del sistema. La elección de materiales resistentes a la corrosión y propiedades herméticas es crucial para asegurar una protección efectiva.

- Estructura interna

La estructura interna de la caja de batería es una armazón diseñada para mantener en su lugar los módulos de batería y otros componentes internos. Esta estructura proporciona soporte y rigidez, evitando movimientos no deseados durante la operación del vehículo. Además, ayuda a distribuir uniformemente las cargas y las tensiones generadas por el manejo y las condiciones de la carretera. La estructura interna juega un papel esencial en la protección de las celdas de batería contra vibraciones y tensiones mecánicas, lo que podría afectar negativamente su rendimiento y durabilidad. La elección de materiales resistentes y un diseño adecuado de la estructura garantizan una integridad mecánica confiable.

- Estructura contra impactos laterales

La estructura contra impactos laterales es una característica de seguridad clave en la caja de batería de un vehículo eléctrico. Diseñada para absorber y dispersar la energía de un impacto lateral, esta estructura minimiza los daños en las celdas de la batería en caso de una colisión. En situaciones de impacto, la estructura contra impactos laterales absorbe la fuerza del choque y evita que la energía se transmita directamente a las celdas. Esto ayuda a prevenir cortocircuitos y situaciones peligrosas que podrían surgir como resultado de daños en las celdas de la batería. La inclusión de esta estructura refleja un enfoque de diseño integral que prioriza tanto la seguridad de los ocupantes como la protección del sistema de batería.



2.2.6. Procesos de fabricación

1. Extrusión.

La extrusión implica forzar el material a través de una matriz para crear perfiles de sección transversal específica. Es especialmente útil para crear perfiles de aluminio que se utilizan en la estructura de la caja de batería, ya que es un proceso eficiente y versátil que permite formas personalizadas y tamaños ajustados.

2. Conformado en frío (Stamping).

El conformado en frío utiliza prensas para dar forma a láminas de metal a través de troqueles. Es eficaz para producir componentes con formas complejas y alta precisión dimensional, especialmente si se utilizan láminas de metal en la estructura de la caja de batería.

3. Fabricación aditiva (Impresión 3D).

La fabricación aditiva, como la impresión 3D, permite crear componentes tridimensionales capa a capa. Puede ser utilizada para prototipos y producciones de bajo volumen, permitiendo formas personalizadas y complejas en la estructura de la caja de batería.

4. Laminado de composites.

Los materiales compuestos, como la fibra de carbono, se pueden laminar en capas para crear componentes rígidos y ligeros. Es eficaz para crear componentes de alta resistencia con propiedades específicas en la estructura de la caja de batería.

5. Moldeo por inyección.

El moldeo por inyección es comúnmente utilizado para la fabricación de plásticos y polímeros. Se inyecta material fundido en un molde para crear componentes con formas específicas, pudiendo utilizarse para partes plásticas en la estructura de la caja de batería.

6. Mecanizado CNC.

El mecanizado CNC (Control Numérico Computarizado) utiliza herramientas de corte para dar forma a una pieza en bruto. Puede ser utilizado para crear componentes precisos a partir de bloques de material sólido, como aluminio, para la estructura de la caja de batería.

7. Forjado.

El forjado implica aplicar fuerza a un material a alta temperatura para darle forma. Puede ser utilizado para crear componentes metálicos con alta resistencia y durabilidad en la estructura de la caja de batería.

8. Fundición.

La fundición implica verter material fundido en un molde para crear componentes con formas específicas. Puede ser utilizado para la fabricación de piezas metálicas o de plástico en la estructura de la caja de batería.



9. Troquelado.

El troquelado corta formas específicas en láminas de material usando troqueles. Es utilizado para producir piezas planas con geometrías precisas, y puede ser aplicado en la estructura de la caja de batería.

Cada uno de estos métodos de fabricación tiene sus propias ventajas y desafíos, y la elección dependerá de los requisitos específicos del diseño, los materiales utilizados, el volumen de producción y otros factores. La combinación de varios métodos también puede ser utilizada para crear componentes complejos y funcionales en la estructura de la caja de batería.

2.2.6.1. *Perfiles de extrusión*

La fabricación de perfiles a través del proceso de extrusión es recomendable en muchas aplicaciones, incluyendo la estructura de cajas de baterías, debido a varias ventajas clave que ofrece este método. Aquí hay algunas razones por las cuales la extrusión es una opción recomendable para la creación de perfiles en la estructura de la caja de batería:

1. Diseño versátil.

La extrusión permite crear perfiles con una amplia variedad de formas y tamaños, lo que es esencial para adaptarse a las necesidades específicas de diseño de la caja de batería. Esto permite una mayor flexibilidad en la creación de estructuras modulares y personalizadas que se ajusten al espacio disponible en el vehículo.

2. Eficiencia de costos.

El proceso de extrusión es relativamente eficiente en términos de costos, especialmente para la producción en masa. La capacidad de crear perfiles de manera rápida y en grandes cantidades puede llevar a una reducción de los costos de fabricación en comparación con otros métodos más complejos.

3. Menos desperdicio de material.

Durante el proceso de extrusión, se utiliza material en forma de lingotes o barras, lo que reduce el desperdicio en comparación con otros procesos de fabricación que requieren cortes significativos. Esto también contribuye a la eficiencia de costos.

4. Personalización y modularidad.

La extrusión permite la creación de perfiles modulares que se pueden unir fácilmente para construir estructuras más grandes y complejas, como las cajas de baterías. Esto facilita la personalización y adaptación de la estructura según los requisitos de diseño y los componentes internos.

5. Alta calidad y tolerancias ajustadas.



El proceso de extrusión puede lograr perfiles con tolerancias ajustadas y alta precisión dimensional. Esto es esencial para asegurar que los perfiles encajen correctamente en el diseño general de la caja de batería y que cumplan con los estándares de calidad requeridos.

6. Tiempos de producción rápidos.

La extrusión es un proceso rápido y continuo que puede producir perfiles a una velocidad constante. Esto es beneficioso para la producción en masa y para cumplir con los plazos de entrega.

7. Amplia gama de materiales.

El proceso de extrusión es compatible con una amplia gama de materiales, incluyendo aleaciones de aluminio, acero, polímeros y más. Esto permite elegir el material que mejor se adapte a las necesidades de rendimiento y peso específicas de la caja de batería.

La extrusión ofrece una combinación de eficiencia de costos, flexibilidad de diseño y calidad en la fabricación de perfiles para la estructura de la caja de batería. Estas ventajas hacen que la extrusión sea una opción recomendable para crear perfiles que cumplan con los requisitos de resistencia, rigidez y peso necesarios en vehículos eléctricos.

2.2.7. Consideraciones económicas

Las consideraciones económicas también desempeñan un papel importante en el diseño y fabricación de la caja de batería en un vehículo eléctrico. A medida que la industria de vehículos eléctricos continúa creciendo y evolucionando, es esencial abordar aspectos económicos para garantizar que las soluciones sean viables desde el punto de vista financiero. Aquí hay algunas consideraciones económicas clave relacionadas con la caja de batería:

1. Costo de fabricación.

El costo de fabricar la caja de batería puede tener un impacto significativo en el costo total del vehículo eléctrico. Se deben evaluar las diferentes opciones de materiales y métodos de fabricación para lograr un equilibrio entre rendimiento, calidad y costo.

2. Eficiencia de producción.

Seleccionar un método de fabricación eficiente puede afectar la velocidad y el volumen de producción. Un proceso de fabricación más eficiente puede reducir los tiempos de producción y los costos laborales, lo que contribuye a la competitividad económica.

3. Volumen de producción.

El volumen de producción esperado de vehículos eléctricos influye en las decisiones económicas. Para producciones a gran escala, los costos unitarios pueden reducirse debido a economías de escala. Evaluar el volumen de producción esperado es fundamental para tomar decisiones económicas informadas.



4. Vida útil y mantenimiento.

La durabilidad y confiabilidad de la caja de batería afectan los costos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del vehículo. Se busca minimizar los costos de mantenimiento a través de la selección de materiales duraderos y soluciones de diseño que reduzcan la necesidad de reemplazo frecuente.

5. Investigación y desarrollo.

Las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) pueden aumentar los costos iniciales, pero también pueden llevar a soluciones más innovadoras y eficientes en el futuro. Evaluar el equilibrio entre los costos iniciales y las posibles mejoras a largo plazo es fundamental.

6. Costos de energía y eficiencia.

El diseño de la caja de batería también puede influir en la eficiencia del sistema de batería, lo que a su vez afecta el rango y la economía de uso del vehículo. Es importante considerar cómo los costos de energía y la eficiencia se relacionan con el diseño de la caja de batería.

7. Ciclo de vida y sostenibilidad.

Evaluar los costos a lo largo del ciclo de vida del vehículo es crucial. Si bien los costos iniciales pueden ser más altos para ciertas soluciones, si se logra una mayor eficiencia operativa, menor mantenimiento y una vida útil más larga, los costos totales pueden ser más bajos a largo plazo.

8. Costos de cumplimiento normativo.

Es importante considerar los requisitos reglamentarios y las normativas de seguridad que puedan afectar los costos de fabricación y diseño de la caja de batería.

En resumen, las consideraciones económicas abarcan una variedad de aspectos que van desde la eficiencia de producción y los costos de fabricación hasta la vida útil del vehículo y los costos de mantenimiento. Al evaluar estas consideraciones de manera integral, los fabricantes pueden tomar decisiones informadas para diseñar y producir cajas de baterías que sean eficientes y económicamente viables en el mercado de vehículos eléctricos.



2.3. Batería

Es el principal componente de una caja de batería y el porqué de la existencia de este.

El termino batería se refiere a un almacenador o acumulador de energía de carácter eléctrico que reúne y descarga la energía que es capaz de acumular gracias a reacciones una serie de reacciones químicas. Esa energía es almacenada en forma química, se convierte en eléctrica y es transmitida al motor. Mientras mayor sea su capacidad de carga, más corriente puede llegar a almacenar. Estas reacciones mencionadas pueden ser de dos tipos, reversibles y no reversibles, por lo que se pueden diferenciar dos tipos básicos de baterías:

- Baterías primarias.

Son baterías de un solo uso, no son recargables, por lo que, una vez se descargan no tienen la capacidad de volver a albergar energía en su interior.

- Baterías secundarias.

Son recargables gracias a reacciones electroquímicas reversibles. Estas recargas son posibles gracias a un proceso químico llamado Reducción-Oxidación, o Redox, debido a que los electrodos se oxidan con el uso de la energía eléctrica. Por supuesto, en la gran mayoría de dispositivos y aparatos electrónicos que se tienen hoy en día es esencial que dispongan reacciones reversibles. El mismo comentario se podría realizar sobre los vehículos eléctricos, la revolución que suponen es gracias a la capacidad y recarga que estas baterías pueden soportar, aunque, cabe decir, que aún queda mucho terreno de mejora.

A pesar de que las baterías pueden estar compuestas por diferentes materiales, cada material proporciona unas características diferentes, es por eso por lo que en función del material empleado las baterías tendrán diferentes características físicas, de descarga, voltaje y precio. A pesar de tener diferentes composiciones, la estructura básica que poseen es la misma en todos los casos. Cada celda de batería que compone el sistema completo estará compuesta por dos polos (un ánodo y un cátodo), un electrolito conductor, un separador, una cámara de aire y una carcasa:

- Ánodo.

Es el electrodo negativo. Es el que produce la reacción de oxidación, es decir, que el material del cual está constituido el ánodo pierde electrones incrementando así su estado de oxidación. Interpreta el papel de almacenamiento y liberación de energía. Es uno de los factores clave que determina el rendimiento de las baterías y es el elemento que lo compone es el principal para la seguridad de las baterías eléctricas. El material debe cumplir diferentes requisitos:

- Potencial químico bajo, formando una diferencia de potencial con el material del electrodo positivo para obtener una batería de alta potencia.
- Debe tener una alta capacidad de ciclo específico.
- Buena conductividad eléctrica e iónica.
- Buena estabilidad y compatibilidad con electrolitos.
- El material debe ser libre de contaminación, verde y lo más económico y simple en el proceso de fabricación posible.



Los materiales de ánodos que cumplen esas características no existen actualmente, por lo que la investigación de nuevos materiales con buena densidad energética, buen desempeño de seguridad, bajo precio y de materiales fácilmente disponible en una tarea que está ganando mucha importancia y urgencia.

En la actualidad se emplea el carbono en forma de grafito o un compuesto de grafeno con fosfato de hidrogeno de circonio, microesferas de carbono mesofase o grafito artificial de coque de petróleo entre otros para suplir esta necesidad.

- **Cátodo.**

Es el electrodo positivo. Es el que sufre una reacción de reducción mediante la cual el material del que está formado reduce su estado de oxidación al recibir electrones.

El cátodo puede estar formado por diferentes materiales. Cada uno de ellos proporcionará diferentes valores de rendimiento, densidad energética y estabilidad entre otros aspectos. Como ejemplo se nombrarán una serie de cátodos comunes en las baterías de litio:

- NCA (Níquel-Cobalto-Aluminio).
- NCM (Níquel-Cobalto-Manganeso).
- LFP (Litio-Hierro-Fosfato).
- LMO (óxido de manganeso de litio).
- LCO (óxido de cobalto de litio).
- Carbonato de litio.
- Hidróxido de litio.

Actualmente las más utilizadas en las baterías de coches eléctricos son las 3 primeras: NCA, NCM y LFP.

Como queda ilustrado en la siguiente imagen, el material que compone el cátodo es el más costoso de incluir, suponiendo, a efectos prácticos, la mitad del precio de la batería.

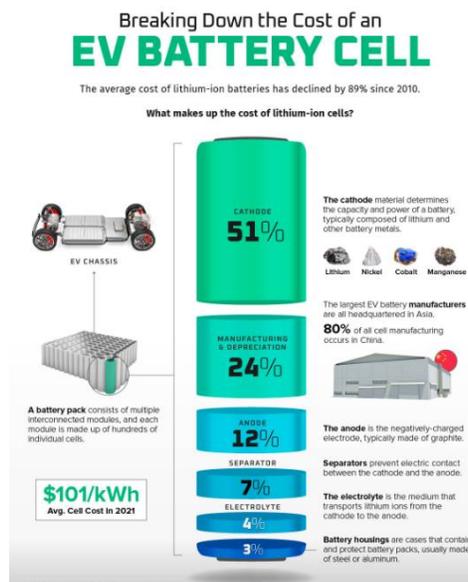


Ilustración 11. Costo de fabricación de una batería



- **Electrolito.**
La función principal del electrolito consiste en permitir la migración de electrones entre ambos electrodos. El electrolito puede estar constituido de diferentes maneras: Electrolito húmedo, como en las baterías de los vehículos convencionales, en las que se puede encontrar una placa de plomo sumergido en una solución acida; Electrolito sólido, en forma de pasta como la que se puede encontrar en las baterías de litio. Las baterías que contienen litio se emplean en forma de pasta porque es un material altamente inflamable y muy volátil si se encuentra humedecido; Electrolitos de sales fundidas, estas baterías deben trabajar a altas temperaturas además de permanecer siempre aisladas.
- **Separador.**
El separador es una membrana porosa que separa físicamente el ánodo y el cátodo para que únicamente puedan pasar a través de este los iones.

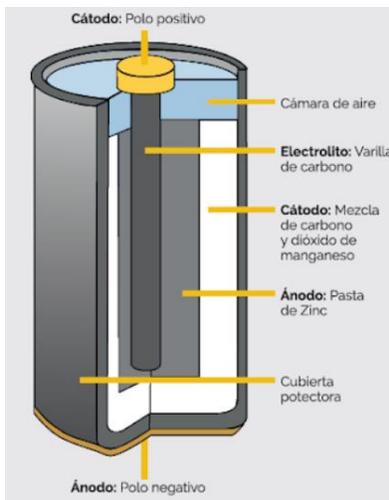


Ilustración 12. Componentes de una batería

Cuando la batería se está cargando, los iones de litio se desplazan desde el cátodo (electrodo positivo) a través del electrolito hasta el ánodo (electrodo negativo) donde se almacenan esos iones. Al mismo tiempo, los electrones fluyen desde el electrodo positivo a través del circuito externo hacia el electrodo negativo. Cuando la batería se está consumiendo o descargando, el proceso se revierte, ahora, los iones de litio vuelven a pasar del electrodo negativo al positivo a través del electrolito. Al mismo tiempo, los electrones fluyen desde el electrodo negativo al positivo a través del circuito externo. De esta manera se produce la electricidad que alimenta el motor del vehículo.

Químicamente estos procesos de carga y descargas de los electrodos podrían ser eternos si no fuese por el desprendimiento y sedimentación paulatina de los materiales de las placas durante sus ciclos de vida. Los materiales son elementos que cuando se desprenden dejan de formar parte de la reacción química y, por lo tanto, la capacidad de réplica de la carga se va reduciendo hasta que se produce una cristalización lo suficientemente grande como para seguir su funcionamiento.



Las baterías pueden estar agrupadas en 3 niveles diferentes: celda, modulo y pack:

- Celda.
Es la unidad mínima, básica y elemental de una batería. Dentro de cada celda ocurren una serie de reacciones químicas relacionadas con la energía eléctrica. Cada celda dispone de un ánodo, cátodo y un electrolito para que esas reacciones puedan ocurrir.
- Modulo.
En una estructura que contiene un número determinado de celdas.
- Pack.
Es el artefacto final que se designa como batería, es la combinación de varios módulos. Este denominado pack contiene, además, sistemas de protección y de refrigeración.

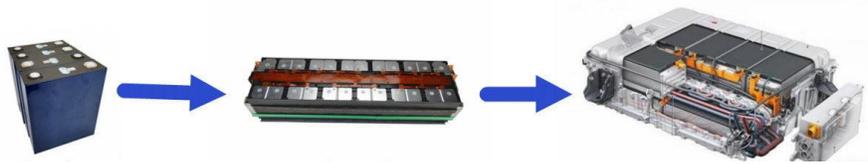


Ilustración 13. Ejemplo de Celda, Módulo y Pack de baterías

2.3.1. Características principales de las baterías

Para poder conocer si la batería tiene buenas cualidades se deben fijar una serie de características básicas:

- Densidad energética.
Este parámetro se refiere a la cantidad de energía que una batería puede almacenar en relación con su peso. Cuanto mayor sea la densidad, más capacidad de almacenar energía y mayor autonomía tendrá el pack de batería.
Se expresa en vatios-hora por kilogramo (Wh/Kg).
- Capacidad.
Indica la cantidad de amperaje que la batería es capaz de suministrar o recibir. Este parámetro depende en cierta forma de la capacidad del motor.
Se mide en kilovatios hora (kWh), como referencia se puede considerar que un vehículo eléctrico estándar para utilitarios puede tener una capacidad de 40 kWh.
- Potencia.
Indica el amperaje máximo que se puede llegar a alcanzar en el proceso de descarga, es decir, indica el potencial del pack de baterías. Es un indicador de las prestaciones que ofrece, a mayor potencia mejores prestaciones.
Se expresa como vatio por kilogramo (W/Kg).



- Eficiencia.

Porcentaje de energía que la batería es capaz de proporcionar en relación con la recibida durante la carga.

- Velocidad y tiempo de carga.

Se refiere al tiempo necesario para cargar por completo la batería. Los tiempos de carga de una batería dependen del tipo de carga que se esté realizando:

- Recarga lenta: entre 5 y 10 horas en función de la capacidad de la batería.
- Recarga semi rápida: entre 2 y 3 horas, en función del tipo de corriente que se utilice: monofásica o trifásica.
- Recarga rápida: una recarga en corriente continua puede llegar a cargar una batería entre 5 y 30 minutos, mientras que si se hace con corriente alterna la recarga se puede realizar en 10 minutos.

- Autonomía.

Indica los kilómetros que se pueden recorrer sin necesidad de realizar ningún tipo de recarga a la batería.

En el caso de vehículos híbridos la autonomía hoy en día ronda los 100 km, mientras que en los puramente eléctricos los valores estándar rondan los 400 km. En coches con mejores prestaciones pueden alcanzar los 900 km.

- Ciclo de carga y ciclo de vida.

Indica el número de veces que se completa el ciclo de descarga y recarga completa de la batería. El número de veces de recarga es limitado, se puede llegar a perder capacidad de carga de manera progresiva según el tipo de batería. Esto se debe a que los químicos en el electrolito donde el ánodo se encuentra sumergido se descomponen y degradan con su uso. Se puede hablar de una reducción de un 2-3% anual de capacidad de carga. Disponer de un mayor número de ciclos de carga supone que la vida útil de la batería será mayor.

Los fabricantes ofrecen unos 3000 ciclos de recarga completos, es decir, teniendo en cuenta que la carga se produce desde que la batería este totalmente descargada hasta que se llegue a la carga completa. En el caso de realizar una recarga completa al día, 3,000 ciclos supondrían 8 años de vida útil de la batería. Si se realiza la traducción a kilómetros esos 3,000 ciclos supondrían entre 160,000 y 200,000 km.



2.3.2. Según su material de composición

Existen varios tipos de celdas en función de los materiales que los componen. Recordar, que los materiales y las propiedades que estos acarrearán pueden llevar a diferentes tipos de ventajas e inconvenientes. En el pasado, donde la investigación de los materiales no estaba tan desarrollada como en la actualidad, obtenían como resultado baterías de mayor volumen y peso y con peores prestaciones por norma general. A través del desarrollo en los últimos años, motivada por la necesidad de mejorar las prestaciones y rendimientos de estas baterías, se han obtenido grandes avances en cuanto a autonomía y fiabilidad se refiere. Existen una serie de componentes de uso en baterías tradicionales, empleadas en vehículos con motores de combustión que se siguen empleando ya sea por su uso en motores híbridos, donde la propulsión del vehículo parte de motor de combustión y eléctrico o porque se ha hallado un uso que puede seguir siendo beneficioso para los vehículos eléctricos.

Estos son los materiales y tipos de baterías en función de los materiales que lo componen:

- Plomo-ácido (PB-ácido).
Es la más antigua y la más empleada en vehículos convencionales, de combustión. Suelen estar constituidas por 6 celdas en serie, lo que equivale a entre 6 y 12 voltios, una autonomía de 100km aproximadamente y se utilizan muy frecuentemente para funciones relacionadas con el arranque de los vehículos, iluminación o soporte eléctrico. Dentro de las utilidades de los coches eléctricos, está cayendo en desuso el empleo de este tipo de baterías, ya que, en un principio se utilizaban para proporcionar energía a los motores eléctricos. Más características de este tipo de baterías:
 - Ciclo de vida limitado: oscila entre los 500 y 800 ciclos de carga-descarga.
 - Densidad energética baja: 30-40 Wh/kg.
 - Necesidad de revisión y mantenimiento periódico.

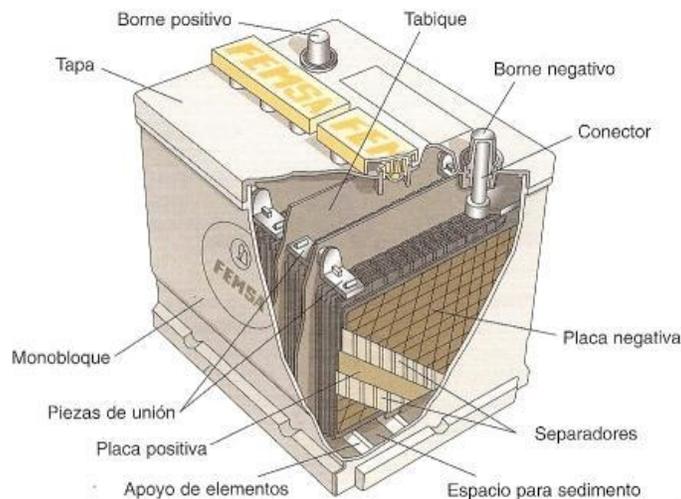


Ilustración 14. Batería Plomo-Acido



Una de las cualidades por las que se seguían usando este tipo de baterías era por la buena respuesta en frío que tienen o por su bajo coste de producción. A pesar de eso, la nueva generación de baterías está haciendo valer más sus defectos y es que las nuevas baterías son menos pesadas, por no mencionar que las baterías de Plomo-ácido contienen un elemento tóxico, como lo es el plomo, y que la capacidad de recarga es lenta.

Se pueden diferenciar dos tipos diferentes de baterías según el estado del electrolito:

- VLA: donde los electrodos se encuentran sumergidos en exceso de electrolito líquido.
 - VRLA: donde el electrolito se encuentra inmovilizado por un separador absorbente o en un gel.
- Níquel-Cadmio (NiCd).
Este tipo de baterías son muy utilizadas en la industria del automóvil, a pesar de su alto coste de fabricación y su efecto memoria, cualidades que hacen que tampoco sean las más idóneas para su uso en vehículos eléctricos. Prácticamente suponen una actualización de las baterías de Plomo-Ácido ya que tienen el mismo funcionamiento, pero con un peso mucho menor.
Características de este tipo de baterías:
 - Ciclo de vida elevado: 1500 y 2000 cargas y descargas.
 - Densidad energética: 40-60 Wh/kg.
 - Se deben revisar periódicamente para comprobar su estado antes fallos específicos.

Una de las características que hacen de este tipo de baterías se empleasen en estos vehículos es que cuentan con una gran fiabilidad. Sin embargo, su alto coste de adquisición debido a sus costes de fabricación elevados, el efecto memoria, o que, en ocasiones, pueden tener un envejecimiento prematuro cuando se someten a altas temperaturas y que su capacidad y rendimiento es inferior a las utilizadas actualmente en los coches eléctricos hacen que en la actualidad estén en desuso.

- Níquel-hidruro metálico (NiMH).
Dentro del mundo de los materiales que componen las baterías este tipo es uno de los más empleados para la nueva gama de vehículos, en particular para los vehículos de propulsión híbrida. Más características sobre las baterías de níquel-hidruro metálico:
 - Ciclo de vida limitado: entre 300 y 500 ciclos de carga y descarga.
 - Densidad energética: 30-80 Wh/kg.
 - Necesidad de un elevado mantenimiento.

Este tipo de baterías solucionan uno de los principales problemas de las baterías de níquel-cadmio y es que se puede observar una reducción del efecto memoria en estas, además de eliminar el cadmio, otro componente metálico tóxico, lo que hacen de ellas unas baterías con baja toxicidad. A su vez, cuentan con fiabilidades inferiores, menor resistencia a altas temperaturas y menor resistencia a altas corrientes de carga.

- Ion-litio (LiCoO₂).
Este tipo de baterías son muy comúnmente utilizadas y sus utilidades no se limitan únicamente al ámbito de los vehículos eléctricos, ya que, por ejemplo, pueden llegar a obtener una densidad energética del doble que las baterías de níquel-cadmio a pesar, de reducir el tamaño de las celdas



por un tercio y mejorar hasta en 6 veces el rendimiento que puede ofrecer las baterías de Plomo. Más características:

- Ciclo de vida: entre 400 y 1200 ciclos de carga y descarga.
- Densidad energética: 100-250 Wh/kg.
- No tienen necesidad de hacer operaciones de mantenimiento.

Entre sus principales ventajas, destaca su densidad energética frente a sus competidoras, tienen un menor tamaño, son más ligeras, tienen una mejor eficiencia y no tienen limitaciones en cuanto al efecto memoria. A pesar de sus muchas ventajas, estas baterías requieren de un almacenaje cuidadoso por su fragilidad y un circuito de seguridad, además contar con un alto coste de producción.

- Ion-litio con cátodo de LiFePO_4 .

Una de las principales ventajas de estas baterías es que no utilizan cobalto, lo que les dé proporciona mayor seguridad, ya que el aumento del porcentaje de hierro entre los materiales que las componen hace que sean más estables.

- Aumento del ciclo de vida: en torno a 2000 ciclos de carga y descarga.
- Densidad energética: 90-100 Wh/kg.
- Sin necesidad de mantenimiento.



Ilustración 15. Batería Ion-Litio

Entre sus ventajas se encuentra la ya mencionada estabilidad y seguridad y el aumento de potencia. En contraposición, se puede disponer de ellas bajo un coste más elevado y disponen de menor densidad energética que las anteriores.

- Polímero de litio (LiPo).

Entre los diferentes tipos de baterías empleadas en los coches eléctricos, las de polímero de litio, que no dejan de ser una variación de las baterías de ion-litio, cuentan con una buena densidad energética, potencia, además de ser ligeras, eficientes y sin efecto memoria.

- Ciclo de vida: por debajo de 1000 cargas y descargas.
- Densidad energética: 300 Wh/kg.
- Sin necesidad de mantenimiento alguno.



Como se ha mencionado, son ligeras y eficientes, pero el coste de fabricación aumenta a la vez que los ciclos de vida se reducen.

- El futuro de los materiales en las baterías.

Como se está pudiendo ver, las baterías para la implementación en los coches eléctricos siguen evolucionando y, por el momento, tienen mucho margen de mejora.

Una de las propuestas más prometedoras hasta el momento, son las baterías de estado sólido, que tienen mejores prestaciones que las de litio a pesar, de que su funcionamiento es parejo. Una de las diferencias entre ambas es que la de estado sólido, como su nombre indica, tiene el electrolito en estado sólido, lo que permite que tenga mayor seguridad, mayor autonomía y ofrezcan recargas más rápidas.

Otra propuesta es la de las baterías de aluminio-aire, que, al parecer, son capaces de multiplicar por 10 la autonomía de los vehículos actuales. Su principal diferencia con el resto de los tipos de baterías que se han visto hasta ahora es que utilizan el oxígeno para generar la corriente, por lo que, tienen un gran potencial. El mayor problema que presentan esta batería es que, de momento, no es posible hacer una recarga, es decir, una vez se gasten no podrían volver a utilizarse. Un obstáculo, que les ha impedido que, hasta la fecha, salgan al mercado.

Otra línea de desarrollo considerable es la que representan las baterías construidas a partir de polímero de grafeno. Estas baterías, por el momento, prometen 800 Km de autonomía, tienen un tamaño menor que las baterías ion-litio, no tienen efecto memoria y tienen muy altas velocidades de carga, de hasta 5 minutos.

Efecto memoria. Se produce en una batería cuando no se realiza un ciclo de carga completo, perdiendo capacidad. Durante las reacciones químicas de las cargas y descargas se crean unos cristales en los poros del plomo a causa del calentamiento del electrolito, haciendo que las baterías pierdan eficacia y se necesiten cargar más veces. Para evitar la formación de cristales basta con que las cargas y descargas sean completas. Durante la carga, también es recomendable utilizar ecualizadores para cargar la batería hasta su máxima carga posible.

Las baterías que más sufren el efecto memoria son las de Níquel-Cadmio y las de Níquel e hidruro metálico. Aunque todas las baterías se ven afectadas por este efecto las de ion-litio y las de plomo ácido apenas lo sufren. En el caso de baterías de polímero-litio no se deben descargar por debajo de un cierto voltaje, dependiendo de cada modelo y de la recomendación del fabricante.

Existe otra reacción en las baterías de litio parecida al efecto memoria, se llama pasivación. Este efecto tiene lugar cuando las baterías están mucho tiempo sin ser usadas o cuando las cargas que se realizan son muy pequeñas.



2.3.3. Según su geometría

Las baterías de los coches eléctricos pueden adoptar diversas geometrías para adaptarse a los espacios y requerimientos del vehículo. Estas geometrías varían desde un diseño cilíndrico, semejante a las pilas comunes, hasta configuraciones prismáticas y planas, que permiten optimizar el espacio en el chasis. Cada forma representa ventajas y desafíos específicos en términos de capacidad de almacenamiento, eficiencia de enfriamiento y distribución de peso. La elección de la geometría de la batería influye en aspectos clave como el rendimiento del vehículo, la autonomía y la seguridad, siendo un factor muy importante en el diseño y fabricación de los coches eléctricos modernos.

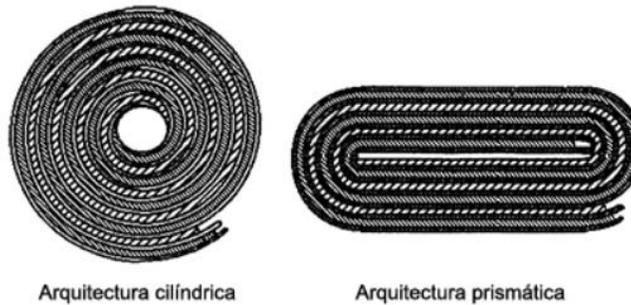


Ilustración 16. Celda Cilíndrica vs Prismática

- Celdas prismáticas.

Estas celdas fueron introducidas a principios de la década de los 90. Este tipo de celdas se asemejan a un bloque rectangular o cuadrado y son conocidas por su eficiente uso del espacio. Al ser planas son propensas a apilarse, por lo que, permiten una distribución uniforme en el módulo de baterías, que, a su vez, contribuye en una mayor densidad energética. Esta configuración optimiza la capacidad de almacenamiento y la autonomía del vehículo, ya que se pueden acomodar más celdas en un espacio reducido. Además, su diseño facilita la gestión térmica, entre las celdas se dispondrá de un separador, lo que ayudará a la disipación del calor que emanan y, por ello, se puede tener un mejor control de la temperatura. De esta manera se puede contribuir al aumento de la vida útil de este tipo de celdas y por tanto de una vida útil más larga para el uso de la batería. Sin embargo, las celdas prismáticas pueden ser más propensas a sufrir deformaciones debido a la expansión térmica durante la carga.

Esta configuración por capas no es la única forma de conformar estas celdas, otros diseños también se enrollan y aplanan en un rollo de gelatina pseudo-prismático.

Este tipo de celdas predominan en los aparatos cotidianos que se utilizan en el día a día como lo puede ser en teléfonos móviles, tabletas u ordenadores portátiles de bajo perfil, normalmente, los que se encuentran entre 800 y 4000 mAh. Por ejemplo, Samsung fabrica algunas de sus celdas con esta forma, aunque en el mercado no existen unas dimensiones estandarizadas y cada fabricante debe diseñar las suyas.



Las celdas prismáticas de grandes dimensiones suelen fabricarse en carcasa de aluminio soldado, en donde las celdas ofrecen capacidades entre 20 y 50 Ah, cuyo principal uso se encuentra en la propulsión de los vehículos híbridos o eléctricos.

Hoy en día, estas celdas son muy populares debido a su gran capacidad. La forma puede conectar sin ningún tipo de problema cuatro baterías a la vez para formar un paquete de baterías.

Las celdas prismáticas se representan, de forma general, a través de 6 dígitos. Donde los dos primeros suponen el grosor, los dos siguientes el ancho y los dos últimos la altura, en milímetros, de la batería. Por ejemplo, en el caso de disponer baterías 103450, significa que se tiene entre manos una batería de 10 mm de grosor, 34mm de ancho y 50mm de alto. Si el valor del grosor es mayor que el valor del ancho, el grosor se debe multiplicar por 0.1, por ejemplo, para la batería 433861, el grosor supone 4.3mm ($43 * 0.1$), el ancho 38mm y el alto 61mm.

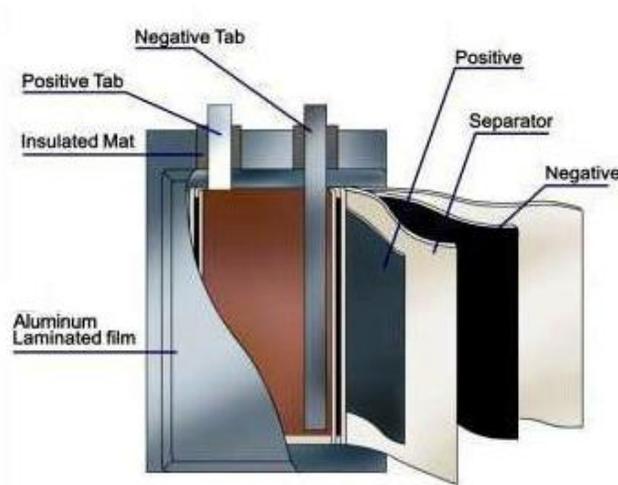


Ilustración 17. Batería Prismática

- Celdas cilíndricas.

Las celdas cilíndricas, a menudo llamadas 'celdas 18650' o 'celdas 21700' por el inmenso uso que tienen este tipo de configuraciones concretas, tienen otra geometría común en las baterías de los coches eléctricos. Estas tienen forma cilíndrica y su diseño recuerda a las pilas del tipo AA, pero a mayor escala. Una de las ventajas de esta celda es su alta eficiencia en la disipación de calor, lo que contribuye a un mejor rendimiento y a una vida útil prolongada de la batería. Además, su construcción robusta y la capacidad de absorber expansiones térmicas de mejor manera que las prismáticas las hacen menos propensas a deformaciones. A pesar de su menor densidad energética en comparación con las celdas prismáticas, el aprovechamiento del espacio que ocupan las celdas es peor por su topología. Son seleccionadas por los fabricantes que priorizan la seguridad y el rendimiento a largo plazo en sus vehículos. Sin embargo, la configuración cilíndrica es menos eficiente en términos de espacio, ya que puede requerir más diseño para encajar los componentes que se ven afectados por esta condición.

Las celdas cilíndricas, gracias a su diseño y estabilidad son fácilmente escalables para su producción en masa. El diseño de la celda tiene una buena capacidad de ciclo, ofrece una larga vida útil y es económica.



Las baterías de celda cilíndrica tienen una ventaja fuerte y robusta ya que su carcasa está protegida. La resistencia a los golpes es excelente, por lo que esta batería suele ser familiarmente usada en vehículos eléctricos. Las aplicaciones típicas de la celda cilíndrica son herramientas eléctricas, instrumentos médicos, ordenadores portátiles y bicicletas eléctricas. Algunas marcas como Panasonic o Samsung fabrican celdas con esta forma.

Dentro de este tipo de celdas se encuentran numerosos formatos de celdas estandarizadas, entre los más comunes se encuentran las: 18650, 20700, 21700, 22700 o las anunciadas por Tesla 4680. Los dígitos de estas baterías describen la propia geometría, donde:

- Los dos primeros dígitos indican el diámetro de la carcasa de la celda. Por ejemplo, en la celda 22700, se puede observar que los dos primeros dígitos indican que el diámetro de esta celda es de 22mm.
- Los dos siguientes indican la longitud de la celda. Por ejemplo, en la 22700, se conoce que la longitud es de 70mm.

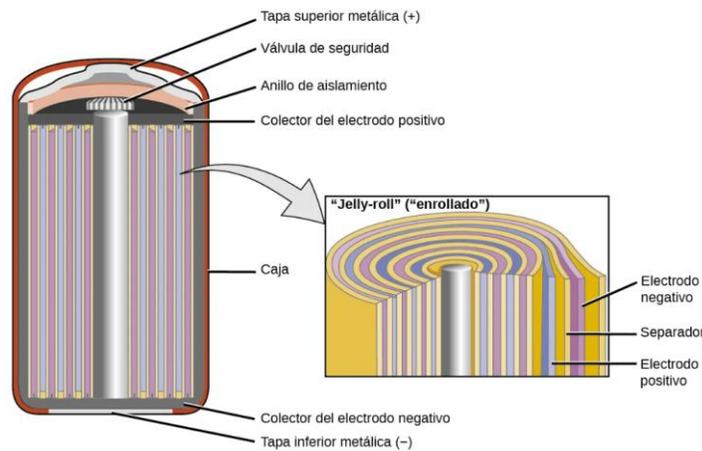


Ilustración 18. Batería Cilíndrica

2.3.4. Tipos de baterías según su disposición

La disposición de las celdas que compone cada módulo puede determinar un mejor rendimiento para las necesidades que se requieran. En función de la disposición (serie o paralelo) se pueden lograr mayores voltajes o una mayor capacidad. Cabe recordar que las baterías logran los requerimientos energéticos a través de la conexión de varias celdas:

- En serie. Las celdas suman su voltaje para lograr el voltaje total en las terminales.
- En paralelo. La conexión en paralelo consigue mayor capacidad por la suma de amperajes-hora (Ah).

Algunos conjuntos de celdas consisten en la combinación de las diferentes conexiones, serie o paralelo. Normalmente la mayoría de la química de las celdas están preparadas para conexiones en serie o paralelo. Es importante usar el mismo tipo de batería con igual voltaje y capacidad (Ah), no mezclar diferentes modelos o tamaños. Una celda con un voltaje o amperaje más débil puede provocar un desbalance. Este



rasgo principalmente afecta a las celdas con conexiones en serie, ya que, la batería es tan fuerte como la celda más débil de la cadena.

Una celda débil puede no fallar al instante, pero puede descargarse más rápidamente que las demás cuando tienen este tipo de conexiones. Durante la carga, la celda más débil se carga más rápidamente que el resto debido a su capacidad limitada, por lo que permanecerá en sobre carga durante más tiempo, hasta que el resto de las celdas se carguen.

En cuanto a la nomenclatura de las diferentes disposiciones se suele determinar con una 'S' la conexión en serie y con una 'P' en paralelo. De esta manera si disponemos de un sistema con cuatro celdas de 3.6 V Li-ion en serie para lograr un voltaje nominal de 14.4 V y dos en paralelo para aumentar la capacidad de 2.400 mAh hasta los 4.800 mAh se representa como 4s2p. Normalmente, para proteger las conexiones (cubierta metálica conductora) y evitar un cortocircuito se utiliza una lámina aislante entre las celdas.

- Celda única.

La configuración de celda única en una batería es la más simple, solo consta de una celda. En ella la celda no puede parearse con otras y el circuito de protección de una única celda de ion-litio puede ser sencillo.

- Conexión en serie

En la actualidad gran cantidad de sistemas utilizan este tipo de conexiones debido a su estructura simple, bajo costo y fácil realización. Como resultado de la diferente capacidad, impedancia interna, características de envejecimiento y rendimiento de autodescarga, cuando se carga la batería en serie, la celda de la batería con capacidad más pequeña se cargará completamente primero. En este punto, el resto de las celdas no están completamente cargadas, pero si se continua la carga, la celda de capacidad menor puede sobrecargarse.

La sobrecarga de las baterías dañara el rendimiento e incluso puede provocar explosiones y lesiones. Para evitar la sobrecarga y estos problemas en las celdas, el sistema está equipado con un sistema de administración de batería (llamado BMS). Este sistema tiene protección contra la sobrecarga para cada celda. Al cargar en serie, si el voltaje de una sola celda de la batería alcanza el voltaje de protección contra sobrecarga, el sistema de administración cortará todo el circuito de carga en serie y se detendrá. Se tratará de evitar que la única celda de la batería se sobrecargue y haciendo que las otras celdas no puedan cargarse por completo.

Cuando conectamos varias celdas en serie, se obtiene una tensión de batería igual a la suma de las tensiones de las celdas. Por ejemplo, en la siguiente imagen se encuentran 4 celdas de 3.6V y 3400mAh conectadas en serie. De esta manera, se obtiene una tensión total de 14.4V y una capacidad de 3400mAh.



Ilustración 19. Baterías conectadas en serie



Sí, como se ha explicado anteriormente en este apartado, una de las celdas, por cualquier tipo de defecto o deterioro, reduce su tensión a 2.8V, el voltaje total se reduce hasta los 13.6V.

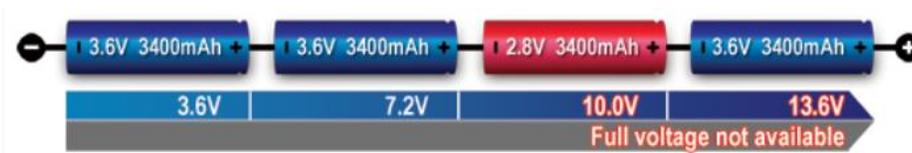


Ilustración 20. Baterías conectadas en serie defectuosa

Sí por el contrario, la capacidad de una de las celdas se ve reducida, como por ejemplo a 3200mAh, mientras el resto continúan a 3400mAh esa celda se descargará y cargará más rápidamente que el resto, lo que conlleva a desigualdades de carga y descarga (desbalance) y puede dañar el resto de las celdas de forma permanente o provocar un cortocircuito interno. En definitiva, causará una disminución de la capacidad total y en casos extremos podría resultar peligroso.

- Conexión en paralelo

En la carga paralela, cada celda de la batería necesita una carga de equalización, de lo contrario, el rendimiento y la vida útil de todo el paquete se verán afectados. Las tecnologías comunes de equalización de carga incluyen una carga de equalización de resistencia de derivación constante, carga de equalización de resistencia de derivación de encendido y apagada carga de equalización de voltaje promedio de la batería, carga de equalización de capacitor de interruptor, carga de equalización de convertidor reductor, carga de equalización de inductancia, ...

En cambio, sí ponemos celdas en paralelo, se sumarán las capacidades de cada celda. Utilizando el mismo ejemplo que el visto anteriormente en la conexión en serie, pero conectando ahora las celdas en paralelo se obtendrá la misma tensión que cada celda tiene individualmente, 3.6V y una capacidad de 13600mAh.

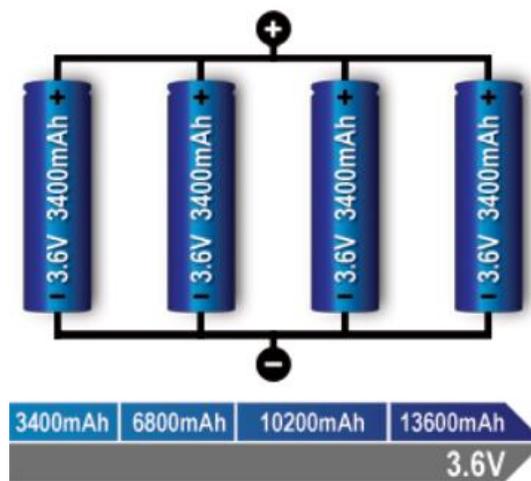


Ilustración 21. Baterías conectadas en paralelo



Si por cualquier defecto o desgaste la capacidad de una de las celdas se ve reducida a 1700mAh, ya que las celdas en paralelo comparten corriente, la celda de menor capacidad podría descargarse con más velocidad que el resto ya que se le pediría que suministre una fracción mayor de la corriente total. El amperaje total suministrado se reduce a 11900mAh.

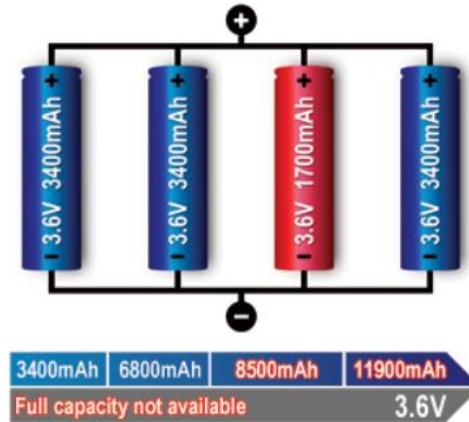


Ilustración 22. Baterías conectadas en paralelo defectuosa

- Conexión Serie/Paralelo

En algunos casos, se utiliza una combinación de las dos configuraciones anteriores, serie y paralelo, para lograr un equilibrio entre la tensión total y la capacidad.

Por ejemplo, si se disponen de 4 celdas, se pueden dividir en dos conjuntos de celdas. Cada conjunto de celdas tendría 2 celdas en serie y ambos conjuntos estarían conectados de forma paralela. Esta combinación proporciona una tensión total mayor que una sola celda y una carga de mayor capacidad que el de solo un conjunto en serie.

Ilustración 23. Baterías conectadas en serie-paralelo

Es también importante considerar las características de las celdas, como el voltaje nominal, capacidad y la corriente máxima, al realizar configuraciones de celdas serie-paralelo. Además, es fundamental que las celdas sean similares en términos de especificaciones para evitar desequilibrios y posibles problemas de rendimiento y seguridad.



2.3.5. BMS

Como se ha mencionado anteriormente, las celdas son susceptibles a las condiciones de funcionamiento y están diseñadas para un rango de funcionamiento concreto. Fuera de los límites de tensión, corriente y temperatura proporcionados por los fabricantes de las propias baterías el debido funcionamiento no está garantizado, pudiendo producirse desde problemas leves, como una reducción paulatina de rendimiento, disminución de la capacidad de las celdas o sobrecalentamiento y reducción de su vida útil, hasta problemas más graves como, la inflamación de las propias baterías o su explosión.

Es por eso, que se diseña un sistema que se encarga del debido funcionamiento de las celdas de batería y se encarga de monitorear y mantener los parámetros de tensión, capacidad y temperaturas dentro de los límites recomendados. De no ser así, corregir los valores tan pronto como salgan de la zona de seguridad antes de que sea demasiado tarde. Se está hablando del BMS, Battery Management System, o Sistema de Gestión de Baterías en castellano.

El BMS, es un componente esencial en sistemas de baterías recargables. Su función principal es supervisar y gestionar diferentes aspectos de la batería para garantizar su correcto, seguro, eficiente y prolongado funcionamiento, de esta manera, se protegerán las celdas de sufrir ningún daño, se prolongará la vida útil de la batería y se mantendrá la batería dispuesta para la demanda energética del motor. En función de la aplicación que se le dé, puede aumentar o disminuir su complejidad. Si se emplea para una batería de un vehículo eléctrico no solo debe acometer las funciones anteriores, sino que también debe tener la batería dispuesta en todo momento para abastecer la demanda del motor y así, poder aprovechar de una mejor manera la energía almacenada sin necesidad de recargar.

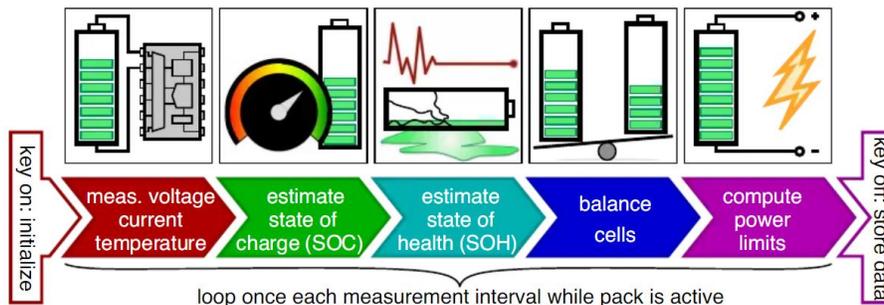


Ilustración 24. Proceso de actuación de un BMS



2.3.5.1. Funciones principales

- Monitorización de las celdas.

Las baterías de los vehículos eléctricos están formadas por un conjunto muy grande de celdas colocadas en serie-paralelo. Teóricamente todas las celdas se manufacturan de igual manera, pero al ser un proceso completamente automatizado se debe tener en cuenta que pueden ocurrir fallos o defectos en alguna de las celdas que no sean detectados. Además, no todas las celdas van a ser sometidas a las mismas condiciones, en función de la parte del módulo en el que se encuentren puede tener que aguantar mayores temperaturas, por ejemplo, la disipación del calor no será igual en el centro del módulo que en las regiones exteriores. Sobre todo, las de tipo Ion-litio son muy sensible en cuanto al rango de funcionamiento de temperatura, tensión y capacidad se refiere, siendo peligroso cuando se encuentran fuera de este rango. Por estas razones, se lleva un monitoreo de todas y cada una de las celdas que conforman el pack de baterías completo. Por supuesto las principales características que se observan son las temperaturas, tensiones y capacidades de cada celda para ver si su funcionamiento es correcto o si es necesario activar el controlador para tomar medidas y evitar una potencial situación peligrosa.

- Control sobre la carga y la descarga.

El BMS debe tener muy en cuenta los procesos de carga y descarga que se producen y los estados en los que se encuentra cada celda. Un mal funcionamiento de una de las celdas puede suponer someter al resto a un estrés y reducir el rendimiento y capacidad de la batería en su conjunto.

Al someter a las celdas de la batería a un proceso de carga o descarga demasiado rápido las reacciones químicas se producen en igual proporción temporal. Las transformaciones químicas son procesos exotérmicos, por lo que se exporta calor al sistema, cuanto más rápidas sean las reacciones requeridas por el motor mayor serán las temperaturas que se alcancen. Estas altas temperaturas pueden producir un escape térmico. Para evitarlo, de nuevo, se tiene que prestar atención a los rangos de tensión y capacidad.

El proceso de carga se realiza inyectando energía a través de una fuente de alimentación externa. Se debe corregir la tensión y corriente introducidas desde la red para adaptar estos parámetros a las celdas. Se produce la carga aplicando una corriente constante hasta que las celdas llegan a su tensión máxima. Una vez alcanzado ese punto, se pasa a proporcionar una tensión constante y se reduce paulatinamente la corriente hasta que el sistema se cargue por completo.

- Determinación de los estados.

Existen diferentes estados para las baterías que proporcionan información realmente importante para conocer la vida útil y carga que tiene el conjunto de celdas. Además, se determina la diferencia de carga entre las celdas. Los principales estados son:

- SoC, State of Charge.

- El estado de carga de una batería describe la diferencia entre una batería completamente cargada y el estado de carga actual de esa misma batería. El objetivo de este indicador es el de determinar



en cada momento la carga de la batería y de cada celda. De esta manera, se puede determinar el estado de equilibrio de las celdas y en caso de requerirlo activar el circuito de equilibrado.

No es muy habitual, pero el estado de carga puede expresarse también como profundidad de descarga, DoD, Depth of Discharge. El DoD es el porcentaje de la capacidad total de la batería que se usa durante un ciclo.

Cabe decir que el SoC de las celdas, no suelen trabajar desde el 100% hasta el 0%, cuentan con unos márgenes de seguridad. De hecho, por debajo del 20% o 30% puede considerarse que la batería en cuestión ha entrado en el rango de descarga profunda. Lo mismo ocurre cuando se produce una sobrecarga y se cargan las celdas por encima de su rango superior, normalmente establecido en torno al 80% o 85% de la carga total



Ilustración 25. SoC de una batería

o SoH, State of Health

El SoH indica el estado de salud de las celdas y se define como la relación entre la carga máxima de la batería y su capacidad nominal, que es la capacidad original proporcionada por el fabricante. El deterioro que hace que la carga actual nunca sea la misma que la nominal y que siempre se encuentre por debajo es debido a las reacciones químicas irreversibles que se producen constantemente para proporcionar energía al motor. Estas reacciones acaban por descomponer el electrolito formando cristales que reducen la capacidad de hacer reacciones, lo que se traduce, en la generación de menor energía y capacidad. Este fenómeno también guarda reacción con los ciclos de vida útil que puede tener un pack de baterías. A partir del número indicado por el proveedor las baterías pueden perder capacidad más rápidamente. La degradación varía en cada caso y de cómo se produzca la cristalización del material del electrolito empleado. Por lo general, y para tomar conciencia de este efecto, se suele estimar una merma de un 2% o 3% anual de forma ideal. Resultando en un 25% o 30% tras el transcurso de 10 años de uso.

Al contrario que el SoC, no hay ninguna manera exacta de determinar este valor, el fabricante es el encargado de proporcionar una estimación o de como medirlo en sus propias celdas. Como se ha mencionado, es posible realizar una estimación, aunque nunca van a ser muy precisas, en función de la capacidad y la resistencia interna que dispongan las celdas.



En ocasiones no es posible predecir el rendimiento de la batería ya que tener valores de SoC y de SoH próximos al 100% no garantiza que la energía almacenada pueda ser utilizada, esto se debe al valor SoF.

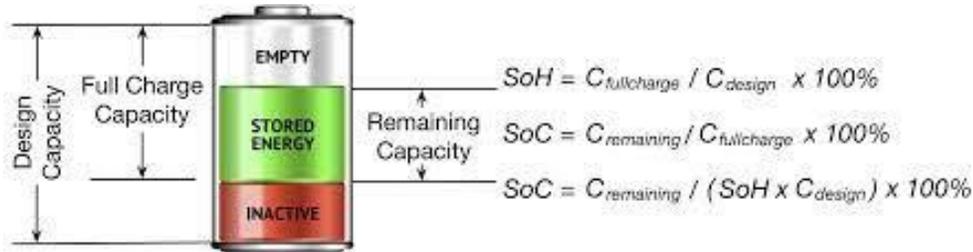


Ilustración 26. SoC y SoH de una batería

- SoF, State of Function

Con el SoF, o estado de función, se define la cantidad de energía que puede ser utilizada por la batería con respecto a la energía total que hay almacenada en esta.

- Protección de la batería

Durante los procesos de carga y descarga de las celdas de batería, es posible que se produzcan cierto tipo de desbalances en algunas y que tras la carga o descarga cada celda tenga estados de carga diferente al resto. Puede ocurrir, que mientras una celda tenga un estado de descarga por debajo de los valores mínimos de SoC recomendados, o que incluso hayan entrado en DoD, otras tengan todavía suficiente carga para mantenerse fuera de esos rangos, o que se produzca el caso contrario durante la carga. El BMS debe controlar el estado de carga de todas las celdas e intervenir sobre el proceso de carga o descarga si alguna de estas celdas deja de funcionar dentro de los rangos seguros.

- Equilibrado de las celdas

Como se ha mencionado en el apartado anterior, las celdas, durante los procesos de carga y descarga, pueden sufrir pequeñas variaciones con respecto al resto. Estas variaciones reiteradas en el tiempo pueden ser muy perjudiciales para el rendimiento. Teniendo en cuenta el monitoreo de cada una de las celdas es posible detectar donde se están produciendo esos desajustes y al contar con un circuito de balanceo estas diferencias se pueden corregir, volviendo a lograr una batería equilibrada.

El trabajo del circuito de balanceo consiste, básicamente, es el de encargarse de que todas las series de celdas tengan exactamente el mismo estado tensional. Si se continua con el mismo ejemplo de las baterías demostrado en los tipos de conexiones, se pueden obtener un circuito desbalanceado, de forma exagerada y tras muchos ciclos de carga y descarga.



Ilustración 27. Celdas en serie desbalanceadas



Una celda estaría muy cerca de obtener su máximo punto de carga mientras que el resto de las celdas todavía tienen margen para la carga completa. Para no comprometer y sobrecargar la primera celda, la carga se detendrá cuando esta complete su capacidad, dejando al resto de celdas lejos de su estado de carga máximo. Este tipo de situaciones pueden darse de una manera más notable cuando se aprovechan diferentes químicas o distintas tiradas de un mismo tipo de celdas, o incluso cuando todas las características de las celdas son idénticas. Al tratarse de un proceso basado en reacciones químicas pueden tener algunas mínimas diferencias en cuanto a la cantidad máxima que son capaces de almacenar, dando lugar a este tipo de desbalances en largos periodos de tiempo a lo largo de su vida útil.

2.3.5.2. Balanceo

Este tipo de problemas se solucionan a través del balanceo, el cual consiste en equilibrar las tensiones de las celdas para que puedan llegar a la tensión máxima en el mismo momento y de esta manera que el pack de baterías sea capaz de entregar toda la tensión posible. Se puede hallar una solución a través de los diferentes métodos existentes para hacer balanceos, principalmente existen 2 tipos: balanceo pasivo y activo.

- Balanceo pasivo.

Tratan de disipar la energía de las celdas con valores superiores de estado de carga para igualarlas a las que tienen un estado de carga inferior, es decir, se descargan las celdas que tengan más voltaje hasta igualarlas al resto. Una vez todas las celdas tengan la misma tensión, todas son cargadas hasta el voltaje máximo simultáneamente.

Esta es la técnica más sencilla para realizar estos balanceos, es por eso, que entre las ventajas se encuentra la posibilidad de generar sistemas más compactos y baratos por la baja necesidad de componentes electrónicos necesarios. Es por el bajo coste de implementación que este método es comúnmente utilizado para el sistema de gestión de baterías.

En cuanto al lado negativo del uso de estos sistemas, se encuentra el echo del desperdicio energético que se produce al descargar las celdas. Al tratarse de sistemas donde la energía lo es todo, el producir ese tipo de derroches no parece ser la mejor opción. La liberación de esa energía se convierte en calor, aumentando la temperatura del sistema en su conjunto y pudiendo afectar al circuito de refrigeración del acumulador si el sistema de gestión de baterías se encuentra en su interior.

Con el anterior ejemplo se demostrará el funcionamiento de este tipo de sistemas. Sobre la primera imagen se puede observar el desbalance total que acumula el sistema de baterías representado. Las celdas que se encuentran desbalanceadas por encima del margen establecido, respecto a la celda con menor tensión descargan la energía sobrante en la resistencia que se coloca en paralelo. La celda de menor tensión, al no necesitar disipar nada de energía, queda cortocircuitada al abrir el interruptor. De esta manera, se realiza la misma operación para cada una de las celdas desbalanceadas, dejando tras la operación, de nuevo, un sistema completamente balanceado y cargado. Una vez todas las celdas quedan balanceadas, se cortocircuitan todas las resistencias.

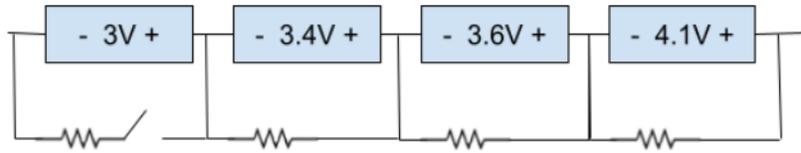


Ilustración 28. Celdas de batería desbalanceadas

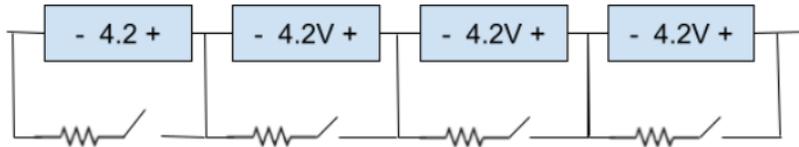


Ilustración 29. Celdas de batería tras el balanceo pasivo

- **Balanceo activo.**

Se basa en la transferencia de energía de las celdas con un estado de carga superior a aquellas con un estado de carga inferior. En estos sistemas se evita tener esa pérdida o desperdicio de energía que si se obtenida en los sistemas de balanceo pasivos. Para tal propósito, se deben utilizar componentes electrónicos más sofisticados como los interruptores de potencia y elementos intermedios capaces de almacenar energía de forma temporal como los condensadores o inductores entre otros.

Este tipo de sistemas, como es de esperar, resultan más complejos y requieren de más componentes para conseguir el balanceo sin desperdiciar energía. De esta manera se pueden distinguir balanceos basados en:

- **Condensadores.**

Se utilizan los condensadores como forma de almacenamiento intermedio de la energía que se debe trasladar de una celda a otra. En primera instancia, el condensador recibe la energía de la celda con mayor carga hasta que es cargado hasta la misma tensión que la propia celda. Una vez se ha cargado este condensador se carga a la celda con menor tensión y le transmite su energía almacenada anteriormente, hasta reducir al mínimo la diferencia de potencial entre ambos. Existen 3 sistemas predominantes que son los de: condensador conmutado, varios condensadores conmutados y doble nivel de condensadores conmutados.

El esquema más sencillo es el de condensador conmutado donde los interruptores solamente tienen dos posiciones y cada condensador puede mover la energía de una celda a la contigua, consiguiendo lentamente el equilibrio deseado. Los otros dos esquemas suponen una mejora en el tiempo de balanceo de todas las celdas, ya que permiten trasladar la energía a través de celdas no adyacentes, suponiendo una gran ventaja sobre los de condensador conmutado. En cuanto al doble nivel de condensadores no solo permite mantener el equilibrio entre celdas, sino que también entre módulos de baterías

Este tipo de sistemas tienen una eficiencia de entorno al 50%.

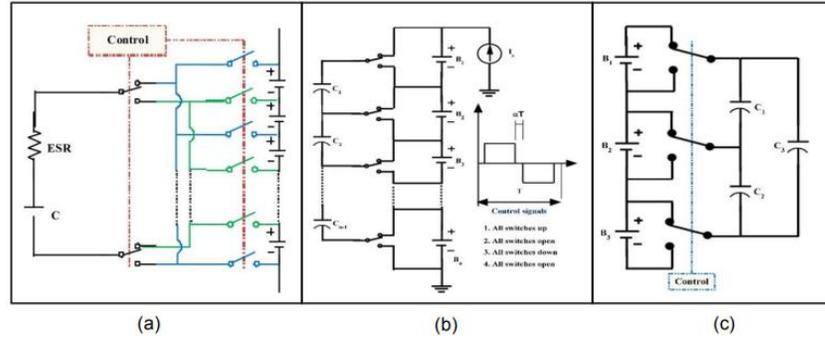


Ilustración 30. Esquema de balanceo con condensadores. a) condensador conmutado, b) condensadores conmutados y c) doble nivel de condensadores conmutados

○ Inductores.

En este caso, se utilizan inductores como elementos de almacenamiento de energía intermedio. El funcionamiento consiste en conectar una bobina a cada celda. Posteriormente, esa celda se conecta a una de menor carga transmitiéndole la energía a través de la bobina. Es un funcionamiento básico, muy similar al del sistema con condensadores, aunque, el proceso se realiza en un menor periodo de tiempo.

Existen dos sistemas principales con el uso de inductores: equilibrado con uno o con varios inductores. En el esquema de un único inductor, al tener un sistema de control de carga de cada celda de forma individual se puede controlar entre que dos celdas cualesquiera se quiere realizar esa transferencia energética. Activando los interruptores necesarios se hace pasar la energía desde una celda a través de la bobina, hasta que quede cargada. Una vez cargada se desconectan los interruptores. El circuito permite circular la corriente de la bobina, hasta que la batería completa quede cargada, siempre y cuando los interruptores necesarios estén cerrados. Una vez estos interruptores se activan, se fuerza a que la corriente pase a través de la celda que quiera cargar.

El esquema de múltiples inductores transfiere energía únicamente a celdas adyacentes. De nuevo, aumenta el tiempo requerido para completar el balanceo, más aún si las celdas desequilibradas se encuentran en extremos opuestos del pack de baterías. El sistema de transmisión de energía es el mismo que en el caso anterior.

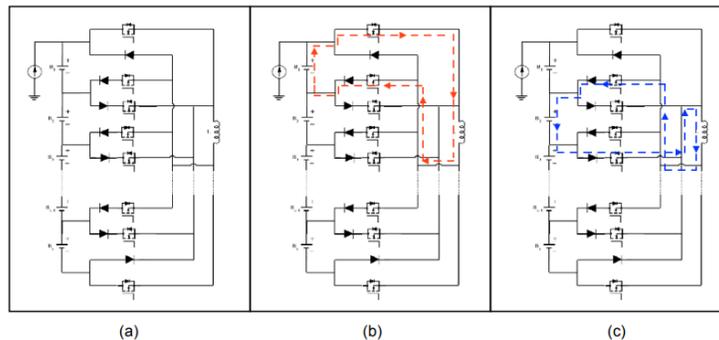


Ilustración 31. Esquema de balanceo con un inductor

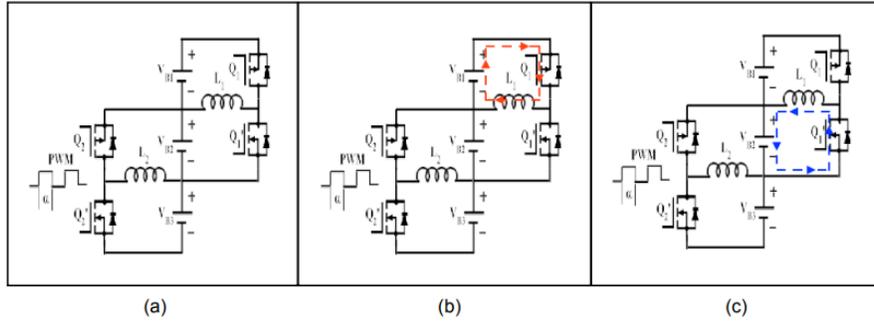


Ilustración 32. Esquema de balanceo con varios inductores

○ Transformadores.

Los transformadores son empleados, en este caso, como almacenadores de energía y como aislantes eléctricos. Son ellos los que se encargan de transportar la energía de la celda de mayor tensión a los de menor. En el centro ferromagnético de estos se deja un hueco de aire que facilita el almacenamiento de energía. Este tipo de BMS resuelven el balanceo de una forma similar a la de los transformadores de tipo flyback.

A diferencia de los casos anteriores este método no transmite la energía entre celdas, sino que se hace a través de una batería y una celda o viceversa. En el caso de transmisión de batería a celda, se basa en la transferencia de energía de la batería a una celda con menor carga, mientras que, en el sistema opuesto, se traspasa la energía de la celda con mayor carga a la batería.

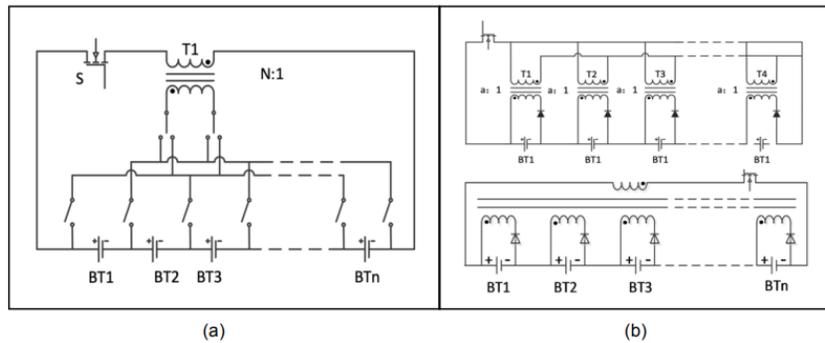


Ilustración 33. Esquema de balanceo con transformadores, a) un transformador, b) varios transformadores

Según el número de transformadores empleados se diferencian dos tipos de sistemas: un único transformador o múltiples transformadores. El funcionamiento es similar al del inductor y al del condensador conmutado, a pesar de que en este esquema no se haga una transferencia de celda a celda. Por el contrario, el ir conectando la celda requerida mediante interruptores al devanado secundario del transformador los hace pares. En el esquema de devanado múltiple el transformador magnético es compartido y se utiliza un solo núcleo con múltiples devanados. En el sistema de múltiples transformadores, se utilizan tantos núcleos como celdas tenga el sistema de baterías.



- Convertidores.

Se utilizan diferentes tipos de convertidores para hacer el equilibrado de las celdas, siendo los principales convertidores empleados los: FlyBack, Boost, Full-Bridge, Ramp o Resonant. Todos los convertidores mencionados poseen un control preciso del equilibrio de celdas y tienen una velocidad y eficiencia muy alta, a pesar de su complejidad.

- Flyback.

Son similares a los esquemas que se emplean en los balanceos con transformador, pudiendo usar un único o varios devanados junto con una serie de interruptores y condensadores. Funcionan entregando la energía de las celdas con mayor carga a la batería o pasando la energía de la batería a las celdas con menor carga.

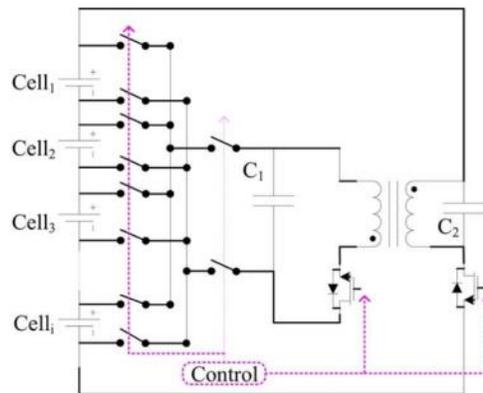


Ilustración 34. Esquema convertidor Flyback

- Boost.

El sistema Boost se utiliza para transferir energía de las celdas con mayor carga a la batería. Un sistema Buck-Boost, se utiliza para transmitir la energía de las celdas con cargas mayores a las de menor carga. Requieren un controlador para seleccionar las celdas entre las que se va a producir la transferencia energética, pero son muy eficientes.

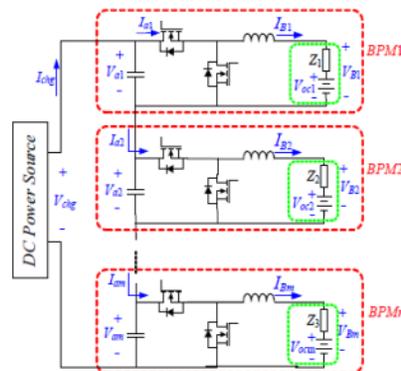


Ilustración 35. Esquema convertidor Boost



- Full-Bridge.
Como su nombre indica, este circuito está compuesto por un puente de interruptores que equilibra las celdas en la carga y descarga de estas. Requiere de un gran tamaño, pero su uso está ligado a sistemas de baterías modulares por su buen funcionamiento en estos casos.

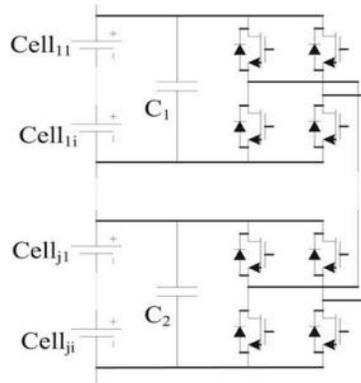


Ilustración 36. Esquema convertidor Full-bridge

- Ramp.
Está compuesto por un transformador conectado a la batería y múltiples devanados secundarios conectados a las baterías adyacentes. El funcionamiento de este sistema es a través de dos semiciclos de la onda senoidal que se genera en el transformador.

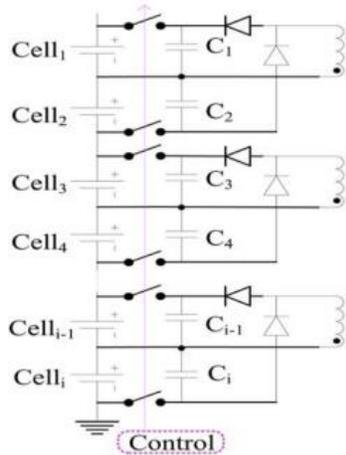


Ilustración 37. Esquema convertidor Ramp

- Resonant.
Utilizan un circuito de resonancia y un condensador para controlar los interruptores del circuito de equilibrado de celdas. Estos interruptores funcionan a través de las diferencias de tensión de las celdas adyacentes. Como forma de la transmisión de energía se utiliza una inductancia.

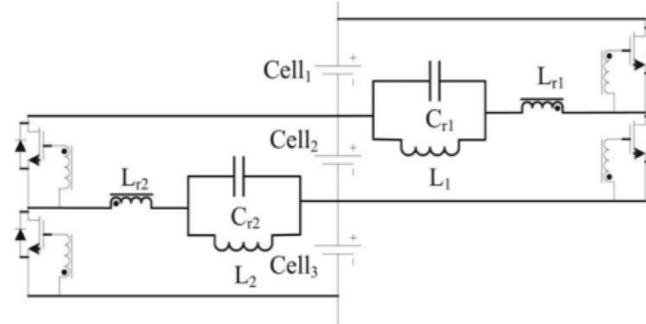


Ilustración 38. Esquema convertidor Resonant

2.3.5.3. Diagnóstico de fallos

A consecuencia de los desequilibrios que las celdas pueden tener, el pack puede llegar a sufrir problemas por sobrecarga de celdas o sobrecalentamientos. El BMS es capaz de revertir, en la medida de lo posible, o prevenir esos problemas, aunque no son los únicos. El BMS también puede sufrir errores en la adquisición de datos o tener problemas en el aislamiento, por lo que, debe ser capaz de detectar cuando se producen este tipo de fallos y mantener el funcionamiento de la batería en un rango seguro.

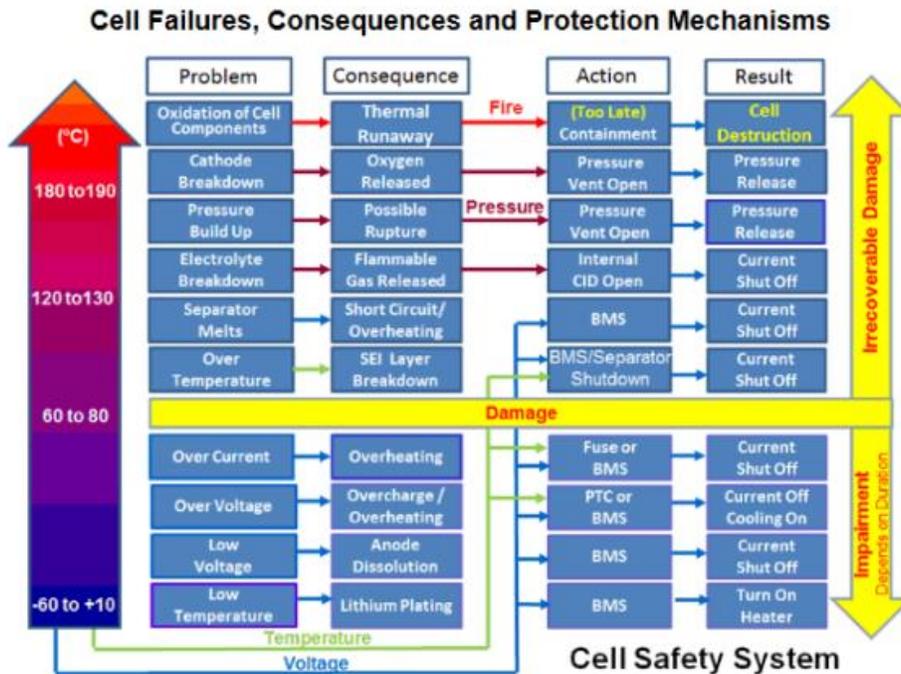


Ilustración 39. Esquema de fallos de celdas y mecanismos de protección

Además, el BMS debe volcar y procesar toda la información que recogen sus sensores. Para ello se usará un postprocesador y un almacenador para guardar la información recogido y guardar un registro.



2.3.5.4. Topologías

Sin entrar en grandes detalles acerca de cómo está compuesto a nivel electrónico estos sistemas de gestión de baterías es importante generalizar la topología que tiene a través de dos grandes grupos: centralizados y descentralizados.

- Centralizado.

En los sistemas centralizados todas las operaciones se realizan desde un solo módulo. Desde ese módulo de BMS saldrán conexiones directas a todas las celdas. Todos los cálculos como pueden ser el SoC o el estado de salud de la batería son realizados por la misma unidad, esa unidad será denominada maestro.

Resulta una topología útil para modelos reducidos ya que el cableado no supondría ningún tipo de problema. Este tipo de topologías es comúnmente utilizado en portátiles o en los cargadores de los teléfonos móviles. Sin embargo, si se utilizan en sistemas con una cantidad de celdas considerables los defectos son más evidentes, ya que aumentaría de forma considerable el cableado necesario y de esta forma aumentaría también el peso total que supone implementar el sistema BMS

Todas las funciones que se realicen en este sistema van a pasar por un único microcontrolador, por lo que no requerirá de un gran coste ni una gran infraestructura. Cuando el número de celdas es considerable, en los que la disposición de las celdas es propicia para obtener grandes tensiones utilizar un único microcontrolador puede resultar problemático, como es el caso de un vehículo eléctrico.

- Descentralizado.

En los sistemas descentralizados las tareas se distribuyen entre los diferentes microcontroladores. Estos sistemas se componen de un módulo maestro y como mínimo un módulo esclavo. Los esclavos tienden a realizar las mediciones analógicas, realizan el balanceo de las celdas y transmiten la información adquirida al módulo maestro. La información es enviada de forma digital como medida para proteger los datos. Mientras, el módulo maestro, se encarga de analizar la información recibida de los diferentes módulos esclavos. Con esa información realiza los cálculos sobre el estado de la batería y toma la decisión de si se debe intervenir o actuar o no.

De esta manera se reduce el cableado necesario, reduciendo el coste y el peso del sistema, por lo que son idóneos para grandes sistemas de baterías. Se reducen las señales analógicas, protegiendo en mejor medida contra interferencias. Otra ventaja de estos sistemas es que son ideales para su modularidad ya que el BMS maestro puede contar con diferente número de esclavos, realizar un mayor número de configuraciones. Además, aumenta la flexibilidad de las cargas de las baterías, con un maestro controlando los diferentes módulos las posibles configuraciones de carga controlada de celdas serán mayores.

- Jerárquico.

Para los BMS jerárquicos existen módulos que monitorizan un grupo de celdas, ese grupo puede variar a tantas celdas como se requiera. Normalmente, las celdas monitorizadas por un mismo esclavo son las celdas pertenecientes a un mismo módulo.

Las unidades de monitorización, conocidas como MMU (Module Monitorization Units), se conecta directamente con el módulo de celdas. Los módulos realizan el balanceo entre las celdas de ese mismo módulo.

Todos los MMU se conectan a una unidad central por diferentes sistemas de comunicación, en el caso de vehículos eléctricos suele usarse CAN bus. El sistema central (e maestro),



también el llamado PMU (Pack Management Unit), se encarga de leer los datos que recibe de los MMUs, calcular el estado de las celdas, decidir si se debe intervenir alguna celda y controlar los relés de seguridad y ventiladores encargados de la refrigeración del sistema, en función de los datos que recibe.

- Parcialmente distribuido.

En esta topología cada celda esta monitorizada con un sistema individual. La propia celda alimenta este circuito y se encarga de mantener los valores de la celda en particular dentro de su rango de seguridad. Todas las unidades de control de celdas están conectadas a una unidad maestra, al igual que en el sistema jerárquico.

La unidad de control maestra tiene las mismas funciones que se han descrito anteriormente, calcula los valores de SoC y SoH y control sobre los relés de seguridad.

Se reduce en gran medida el cableado necesario, pero hacen falta una gran cantidad de microcontroladores para poder implementar este sistema.

- Completamente distribuido.

Es exactamente igual que el sistema parcialmente distribuido con una salvedad, y es que no existe un sistema maestro en este BMS. Las propias MMU son capaces de realizar las funciones que le corresponderían al PMU.

2.3.6. Inversor

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua (DC) de la batería, en corriente alterna (CA) que es la que utilizan los motores eléctricos para moverse. El inversor, además, se ocupa de hacer la conversión en ambos sentidos, es decir, también se encarga de convertir la corriente alterna que recibe a través de la frenada regenerativa en corriente continua para recargar la batería.

2.3.7. Controlador

El controlador se encarga de regular la energía eléctrica que recibe desde las baterías y los inversores y la distribuye al motor o motores eléctricos. El controlador regula la potencia que demanda el conductor del vehículo a través del acelerador y ajusta la variación de frecuencia o la variación del voltaje que entra al motor, por lo que, se está determinado la velocidad del automóvil.

Esta unidad gestiona el flujo de energía eléctrica entregada por la batería, controla la velocidad del motor eléctrico y el par o empuje que produce.

2.3.8. Motor



Ilustración 40. Motor eléctrico

Al recibir la energía eléctrica proveniente de la batería, inversor y controlador, el motor de tracción eléctrica hace girar las ruedas a través de la transmisión, una correa transfiere la energía cinética del motor a las ruedas.

Algunos vehículos eléctricos híbridos utilizan también un motor generador, que utiliza las funciones de propulsión y regeneración.

En general, el tipo de motor eléctrico es un motor conocido como motor de inducción electromagnética, cuyo inventor fue Nikola Tesla en 1883. Faraday inventó la rotación electromagnética a través de imanes, pero Tesla fue el que aplicó la electricidad para crear campos electromagnéticos en los motores. Concretamente, lo aplicó a las bobinas de la pieza llamada estator (queda estática) y del componente que va asociado al eje que tracciona, llamado rotor. Al activarse los campos magnéticos, estos componentes se empujan entre sí, haciendo girar el rotor y generando un empuje que se transmite hacia las ruedas. Este tipo de motores de alto rendimiento, son ideales para aplicaciones que requieren gran fiabilidad, alta eficiencia y relación potencia-volumen. Proporciona grandes cantidades de par motor, en un amplio abanico de velocidades.

Tipos de motores eléctricos:

- Motor asíncrono o de inducción.
Este tipo de motores tiene la particularidad de que el rotor no gira a la misma velocidad a la que gira el campo magnético generado por el estator. Entre sus ventajas se encuentra que apenas emiten ruido ni vibraciones y son muy fiables. Por otro lado, este tipo de motores tienen un coste muy reducido.
- Motor síncrono de imanes permanentes.
Tanto el peso como el tamaño son reducidos a parte de tener un control de velocidad más sencillo, ya que, la velocidad del rotor es constante y además está vinculada de forma directa al campo magnético producido por el estator. En función de donde se encuentre el campo magnético este tipo de motores pueden ser radiales o axiales, los primeros son comúnmente utilizados, sin embargo, los de tipo axial se pueden integrar directamente en cada rueda del vehículo.



- Motor síncrono de reluctancia conmutada o variable.
Es un tipo de motor eléctrico que no destaca por su entrega de potencia, sin embargo, son robustos y entregan un par motor bastante elevado. La corriente se envía a través de las bobinas, generando un campo magnético giratorio. No requiere de imanes permanentes, por lo que los polos del rotor se ven atraídos por el campo magnético generando un par que alimenta al motor.
- Motor sin escobillas de imanes permanentes.
Este es el único tipo de motor que utiliza corriente continua. Suelen ser utilizados en vehículos de mecánica híbrida y tiene directamente en el rotor una serie de imanes permanentes, que son alimentados secuencialmente en cada fase del estator. Aunque no tiene una entrega excepcional de potencia y ser un tipo de motor caro, no producen ningún tipo de ruido, son robustos y no requieren de mantenimiento.

2.3.9. Otros componentes

Además de los componentes principales, anteriormente descritos, el vehículo cuenta con otros elementos de apoyo absolutamente necesarios

- Transmisión.
En los vehículos eléctricos se integra una transmisión, que transfiere la potencia mecánica al motor para impulsar las ruedas
- Cargador.
Un componente imprescindible para los vehículos eléctricos es el cargador, se emplea para cargar la batería. Este obtiene la electricidad de fuentes externas en forma de corriente alterna, que se transforma en corriente continua para ser almacenada en la batería. Existen dos tipos diferentes de cargador para coches eléctricos, el cargador de a bordo, elemento que está preinstalado en el vehículo y el externo, que es el que incrementa la velocidad de carga.
- Puerto de carga.
Es donde se conecta la fuente de alimentación externa.
- Convertidor.
Transforma la corriente continua de mayor voltaje del paquete de baterías. Su principal función es la de reducir el voltaje de la corriente que pasa por él. Esta operación es necesaria para recargar la batería auxiliar, que se encarga de suministrar electricidad para alimentar los accesorios del vehículo.
- Sistema térmico.
Otro componente esencial es el sistema térmico, el cual mantiene en un rango de temperatura de funcionamiento adecuado el motor, la electrónica de potencia y el resto de los componentes. Es decir, refrigera los elementos para que las altas temperaturas que se puedan formar no afecten en su rendimiento y calienta o aumenta la temperatura de ciertos componentes para que la electricidad no se disperse por el frío.



2.4. Normativa y seguridad

Los estándares son documentos de consenso adoptados por empresas u organizaciones con un interés en el proceso, servicio o práctica particular con un valor comercial. Una norma se genera por la necesidad de establecer una serie de reglas básicas para poder llevar a cabo el proceso de fabricación o servicio y poder completarlo. Por norma general, estos estándares no son de obligado cumplimiento propuesto por ningún organismo ni organización, sino que es escrito y evoluciona por las organizaciones que consideran útil establecer esos estándares. Cuando la norma alcanza tal notoriedad y es ampliamente empleada se puede considerar que las organizaciones que no ponen en práctica dicha norma entran en un proceso ineficiente, de menor calidad o, en ciertos casos, inseguros. Una vez, alcanza un reconocimiento general, su aplicación puede volverse obligatoria si así lo deciden los organismos reguladores o gobiernos. En forma de resumen, una norma puede ser considerada como un documento donde se reúnen las mejores prácticas para llevar a cabo o analizar un proceso particular de una manera eficaz, segura y con mayor garantía de la obtención de buenos resultados. Los estándares proporcionan dos beneficios principales:

1. Proporcionan una guía básica a la que cualquier organización, fabricante, cliente o terceros pueden acudir.
2. Una norma debe aportar información clara y concisa sobre el marco regulatorio al que se ajusta, por eso, las organizaciones o fabricantes que se ciñen a tales normativas pueden decir que los productos fabricados u obtenidos han sido a través de buenas prácticas, y dadas esas condiciones, se han obtenido productos o procesos de una calidad igual o superior a la indicada.

Como cabe esperar, en el campo de los vehículos eléctricos ocurre lo mismo que en el resto de las industrias. A medida que las baterías y procesos de fabricación crecen y se desarrollan se generan nuevos ensayos y normas para garantizar la calidad. Muchas empresas se han fijado el objetivo de desarrollar sistemas de baterías avanzados capaces de satisfacer las demandas del sector. La norma también es una forma de proporcionar una base básica para la comparación, lo que hace que los fabricantes que desarrollan estas normas destaquen sobre sus competidores.

Debido a la variedad de aplicaciones y pruebas una sola forma de clasificar los estándares es complicado. A menudo, las normas pueden ajustarse a varios criterios de clasificación, por lo que la referencia cruzada de pruebas entre diferentes documentos es frecuente. En el caso que se ocupa en este trabajo se contemplarán 3 normativas de diferentes naturalezas:

- Normativa relativa a la caja de baterías, o ESS (Energy Storage System), y sus componentes.
- Normativa y ensayos sobre las celdas de batería.
- Normativa relativa a la soldadura.

2.4.1. Normativa relativa a la caja de batería y sus componentes

El objetivo de la normativa aplicada en este apartado es la de proporcionar una visión general de lo que implica validar la seguridad de una caja de batería, ya sea como el producto completo o como un conjunto de varios componentes. Verificar una caja de baterías, o ESS según se menciona en la norma, sus



componentes y su instalación cumplen una serie de códigos o estándares específicos considerados como evaluación de conformidad. En la siguiente imagen se muestra el proceso que se debe seguir para documentar y validar la seguridad de una caja de baterías donde si un estándar no está todavía establecido se puede documentar según los criterios que se han seguido, puede que con métodos alternativos.

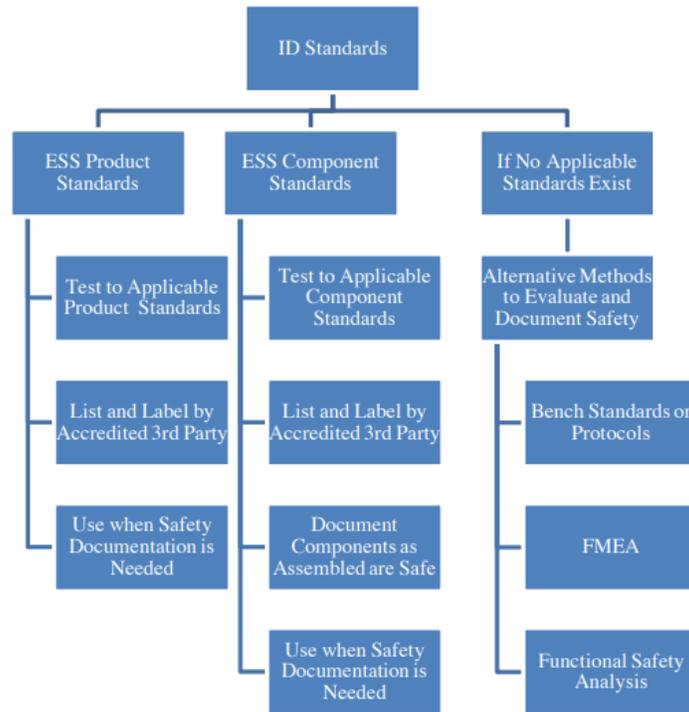


Ilustración 41. Proceso de documentación y validación de un ESS

Determinar las normas de ensayo relacionadas con la seguridad que sean aplicables a la caja de baterías como un sistema completo o a los componentes cuando no sea un sistema completo. En la siguiente tabla se enumerarán alguna de las normas de ensayo relacionada con la seguridad de los sistemas y componentes del sistema. Además de las normas listadas, puede haber especificaciones y documentos relacionados que abordan la aceptabilidad de un ESS para la interconexión con la red eléctrica. Esto incluye IEEE 1547.



Estándar	Resumen del alcance
UL 489	Molded-case circuit breakers, molded-case switches, and circuit-breakers enclosures
UL 810A	Electrochemical capacitors
UL 1642	Lithium batteries
UL 1741	Inverters, converters, controllers, and interconnection system equipment for use with distributed energy resources
UL 1973	Batteries for use in stationary applications
UL 1974 (proposed)	Second-use batteries
NFPA 791	Recommended practice and procedures for unlabeled electrical equipment evaluation
IEEE 1547	Standard for interconnecting distributed resources with electric power systems
NFPA 791	Recommended practice and procedures for unlabeled electrical equipment evaluation
UL 9540 (proposed)	Outline for investigation for safety for ESSs and equipment
UL 3001 (proposed)	Safety for distributed energy generation and storage systems
ASME TES -1 (proposed)	Safety standard for molten salt thermal energy storage systems

Tabla 1. Normas de ensayo relacionadas con la seguridad de los sistemas y componentes del sistema

Donde:

- UL = Underwriters Laboratory
- NFPA = National Fire Protection Association
- ASME TES = American Society of Mechanical Engineers Thermal Energy Storage

Si no se identifican las normas de ensayo necesarias, es posible que estén siendo elaboradas por una organización de pruebas de normalización. Los documentos previos a ser considerados estándares formales se pueden denominar como ‘estándares de banco’ o ‘protocolos’ y pueden proporcionar orientación sobre las pruebas a falta de la norma formal. Como fabricante de un sistema de caja de baterías, se pueden realizar pruebas internas según lo exijan las normas que se consideren aplicables a este proceso, y en función de los resultados de las pruebas, determinar si se necesitan cambios en el diseño o la construcción del componente. Implementar los cambios hasta que los resultados indiquen su cumplimiento. Al realizar pruebas como fabricantes, es posible que al seguir la normativa surjan dudas, complicaciones o sugerencias de cambio que puedan mejorar el proceso.

La base fundamental para la evaluación de un proceso de ESS con respecto a la seguridad es el diseño y la construcción de los componentes que componen el sistema. Las normas de los diferentes componentes tienen como objetivo proporcionar criterios para el diseño y la construcción de los componentes y las métricas de rendimiento relacionadas con la seguridad que se consideran importantes para evaluar durante las pruebas. Si se considera un ESS como un conjunto de componentes el estándar para este producto completo se refiera a varios componentes y estándares de componentes dentro del estándar del propio ESS. Otra forma de enfocar la normativa es considerando el producto como una caja negra, comprobar el funcionamiento del ESS como un conjunto de componentes y evaluar el producto contra un estándar apropiado que lo cubra. Y es que, sí el producto global satisface la norma y los criterios de diseño y métricas de rendimiento, se considerará que los componentes del conjunto cumplen también la norma.



2.4.2. Normativa relativa a los componentes y diferentes sistemas que forman la caja de baterías

Los estándares que se describen a continuación están relacionados con una aplicación sobre los vehículos eléctricos. Algunos de los estándares son generales, mientras que otros se centran en una aplicación específica, como energética, de potencia, para vehículos eléctricos completos, para vehículos híbridos o vehículos ligeros. Algunos de los siguientes documentos son descritos como ‘manuales’ o ‘prácticas recomendadas’, por lo que, no están completamente regulados o fijos, sino que son el resultado de las mejores prácticas que se han llevado a cabo y han logrado un cierto consenso entre los usuarios. Entre la variedad de aplicaciones y pruebas existentes destacan dos aplicaciones que pueden resultar de interés: pruebas de seguridad, con un enfoque a las celdas de baterías, y las pruebas de seguridad, en las que se pondrán a prueba la seguridad del sistema antes diferentes pruebas de fallos de baterías u otros sistemas.

- Pruebas de rendimiento.
Prueban el comportamiento eléctrico de una batería en condiciones normales de funcionamiento del vehículo. Estas pruebas pueden dividirse en dos grupos: pruebas de entrada o pruebas de vida útil. Las pruebas de entrada deben ser suficientes para caracterizar las celdas y baterías de nueva fabricación. Las pruebas de vida útil miden los parámetros principales de uso tras unas semanas, meses o años de pruebas y ver el rendimiento de las baterías a largo plazo.

Estándar	Título	Organización
DOE/ID-1049 (1996)	‘USABC Electric Vehicle Battery Test Procedures Manual’	United States Advanced Battery Consortium (USABC) for the U.S. Department of Energy.
DOE/ID-10597 (1997)	‘PNGV Battery Test Manual’	Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) for the U.S. Department of Energy
DEO/ID-11069 (2003)	‘FreedomCAR Battery Test Manual for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles’	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
DOE/ID-11070 (2003)	‘FreedomCAR 42 V Battery Test Manual’	FreedomCAR Program for the U.S. Department of Energy
IEC 62660-1 (2010)	‘Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles—part 1: performance testing’	International Electrotechnical Commission
IEC 61982 (20120)	‘Secondary batteries (except lithium) for the propulsion of electric road vehicles— performance and endurance tests’	International Electrotechnical Commission



INL/EXT-08-12536 Rev.1 (2012)	'Battery Calendar Life Estimator Manual'	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
INL/EXT-07-12536 Rev.2 (2010)	'Battery test manual for plug-in hybrid electric vehicles'	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
INL/EXT-12-27620 (2013)	'Battery Test Manual for Low-Energy Energy Storage System for Power-Assist Hybrid Electric Vehicles'	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
INL/EXT-12-27920 Rev.1 (2012)	'Battery Technology Life Verification Test Manual'	Idaho National Laboratory for the U.S. Department of Energy
ISO 12405-1 (2011)	'Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs and systems—part 1: high power applications'	International Organization for Standardization
ISO 12405-2 (2012)	'Electrically propelled road vehicles—test specifications for lithium-ion traction battery packs and systems—part 2: high energy applications'	International Organization for Standardization
SAE J2288 (2008)	'Life cycle testing of electric vehicle battery modules'	SAE International.

Tabla 2. Pruebas del comportamiento eléctrico de las baterías

- Ensayos de seguridad

Las pruebas de seguridad suelen ser destructivas. Estas pruebas proporcionan información acerca de la respuesta de la batería ante un fallo. Existen dos tipos de causas que pueden producir un fallo, los de carácter interno (defectos en las baterías) o de carácter externo (daños producidos externamente). El objetivo de realizar estos ensayos de seguridad es para simular de manera realista las condiciones reales a las que los sistemas de baterías pueden estar expuestos. Otro de los objetivos de estos ensayos es el de comprender los límites de utilidad de la batería y observar cuando se volverá insegura o se dañará.



Estándar	Título	Organización
BATSO 01 (2011)	'Manual for Evaluation of Energy System for Light Electric Vehicle-Secondary Lithium Batteries'	Battery Safety Organization
IEC 62660-2 (2010)	'Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles—part 2: reliability and abuse testing'	International Electrotechnical Commission
ISO 12405-3	'Electrically propelled road vehicles—test specification for lithium-ion traction battery packs and systems—part 3: safety performance requirements'	International Organization for Standardization
ISO 16750-2	'Road vehicles—environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment—part 2: electrical loads'	International Organization for Standardization
ISO 6469-1 (2009)	'Electrically propelled road vehicles—safety specifications—part 1: on-board rechargeable energy storage system (RESS)'	International Organization for Standardization
ISO 6469-3 (2011)	'Electrically propelled road vehicles—safety specifications—part 3: protection of persons against electric shock'	International Organization for Standardization
FMVSS 305 (2008)	'Laboratory test procedure, electric-powered vehicles: electrolyte spillage and electrical shock protection'	U.S. Department of Transportation
QC/T 743-2006 (2006)	'Lithium-ion batteries for electric vehicles'	National Development and Reform Commission of the People's Republic of China
SAE J2380 (2009)	'Recommended Practice for Electric and Hybrid Electric Vehicle Battery Systems Crash Integrity Testing'	SAE International
SAE J2464 (2009)	'Vibration Testing of Electric Vehicle Batteries'	SAE International
SAE J2929 (2011)	'Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage System'	SAE International



	(RESS) Safety and Abuse Testing'	
SAND 2005-3123 (2005)	'FreedomCAR, Electrical Energy Storage System, Abuse Test Manual for Electric and Hybrid Electric Vehicle Applications'	Sandia National Laboratories for the U.S. Department of Energy
UL Subject 2271 (2010)	'Batteries for Use in Electric Vehicle (LEV) Applications'	Underwriters Laboratories
UL 2580 (2011)	'Batteries for Use in Electric Vehicles'	Underwriters Laboratories

Tabla 3. Ensayos de seguridad

- Además de los estándares mencionados anteriormente, existen otros estándares para los sistemas de almacenamiento de energía electroquímica en general. Aunque estos documentos no se centran en la aplicación para los vehículos eléctricos pueden ser de utilidad. Algunos de estos artículos fueron concebidos con aplicaciones de electrónica portátil en mente, por lo que, a menudo, sus menciones a los paquetes de baterías suelen suponer una sola celda o un número muy reducido de ellas. Algunas de las normas que entran en este campo son:

Estándar	Título	Organización
ANSI C18.2M, Part2 (2007)	'Standard for portable rechargeable cells and batteries—safety standard'	American National Standards Institute
IEC 61960 (2011)	'Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes—secondary lithium cells and batteries for portable applications'	International Electrotechnical Commission
IEC 62133 (2012)	'Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes—safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications'	International Electrotechnical Commission
IEC 62281 (2004)	'Safety of primary and secondary lithium cells and batteries during transport'	International Electrotechnical Commission
IEEE Std 1625 (2008)	'IEEE Standard for rechargeable batteries for multi-cell mobile computing devices'	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE Std 1725 (2011)	'IEEE Standard for rechargeable batteries for cellular telephones'	Institute of Electrical and Electronics Engineers
JIS C8712 (2007)	'Safety tests for portable lithium-ion secondary cells and batteries for use in portable electronic applications'	Japanese Standards Association



UL 1642 (2005)	‘Lithium Batteries’	Underwriters Laboratories
UL 2054 (2004)	‘Household and Commercial Batteries’	Underwriters Laboratories
UL 2575 (2011)	‘Lithium-ion battery systems for use in electric power tool and motor operated, heating and lighting appliances’	Underwriters Laboratories
ST/SG/AC.10/11/Rev.5 (2009)	‘Recommendations on the transport of dangerous goods—manual of tests and criteria,’ Sub-section 38.3, ‘Lithium metal and lithium-ion batteries,’	known as “UN 38.3” for short, United Nations

Tabla 4. Estándares para sistemas de almacenamiento

2.4.3. Normativa relativa a la soldadura

La guía describe métodos para evaluar la aceptabilidad de fallas en todo tipo de estructuras y componentes. Aunque se pone énfasis en las fabricaciones soldadas en aceros ferríticos y austeníticos y aleaciones de aluminio. Los procedimientos desarrollados pueden utilizarse para analizar fallos en estructuras hechas de otros materiales metálicos y en componentes o estructuras soldadas. Los métodos se pueden aplicar en las fases de diseño, fabricación y operación de la vida de una estructura.

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de la norma. Para las referencias fechadas, solo se aplica la edición citada, mientras que para las que no tienen fecha se aplica la última edición:

Estándar	Título
PD 5500:2003	Specification for unfired fusion welded pressure vessels
BS5950-1: 1990	Structural use of steelwork in buildings- Part1: Code of practice for design in simple and continuous construction: hot rolled section
BS 7448	Fracture mechanics toughness test
BS 7608	Code of practice for fatigue design and assessment of steel structures
BS 8118	Structural use of Aluminium
BS EN 571-1	Non-destructive testing- Penetrant testing- Part1: General principles
BS EN 1289	Non-destructive examination of welds – Penetrant testing of welds – Acceptance levels
BS EN 1290	Non-destructive examination of welds – Magnetic particle examination of welds



BS EN 1291	Non-destructive examination of welds – Magnetic particle testing of welds – Acceptance levels
BS EN 1435	Non-destructive examination of welds – Radiographic examination of welded joints
BS EN 1712	Non-destructive examination of welds – Ultrasonic examination of welded joints
BS EN 1714	Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at ambient temperature
BS EN 10002-1	Metallic materials – Tensile testing – Part 5: Method of test at elevated temperatures
BS EN 10002-5	Non-destructive examination of welds. Radiographic examination of welded joint - Acceptance levels
BS EN 12517	Non-destructive examination of welded joints – Ultrasonic examination of welded joints – Acceptance levels
BS EN ISO 6520-1	Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials – Part 1: Fusion welding
BS EN ISO 7539	Corrosion of metals and alloys
BS ISO 12108	Metallic materials – Fatigue testing – Fatigue crack growth method
BS EN ISO 12737	Metallic materials – Determination of plane-strain fracture toughness

Tabla 5. Normativa para soldadura

La parte de la norma ISO 6892 especifica el método para el ensayo de tracción de materiales metálicos y define las propiedades mecánicas que pueden determinarse a temperatura ambiente.

Los siguientes documentos referenciados son indispensables para la aplicación de la norma. Para las referencias fechadas, solo se aplica la edición citada, mientras que para las que no tienen fecha se aplica la última edición:



Estándar	Título
ISO 377	Steel and Steel products – Location and preparation of samples and test pieces for mechanic testing
ISO 2566-1	Steel – Conversion of elongation values – Part 1: Carbon and low alloy steels
ISO 2566-2	Conversion of elongation values – Part 2: Austenitic steels
ISO 7500-1	Metallic materials – Verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression testing machines – Verification and calibration of force-measuring system
ISO 9513	Metallic materials – Calibration of extensometers used in uniaxial testing

Tabla 6. Normativa para ensayos de tracción

3. Diseño Caja Batería

El diseño de la caja de batería en vehículos eléctricos debe representar un nexo entre la funcionalidad ingenieril y la estética automotriz. Más allá de su función primordial de albergar y proteger las baterías, la caja de baterías ejerce una influencia significativa en la configuración del vehículo, la seguridad de sus ocupantes y la eficiencia en su operación. Este apartado se adentrará en los aspectos esenciales de diseño que engloba la caja de batería, explorando como su estructura, ubicación y características estéticas y definir la percepción del transporte sostenible en la modernidad automotriz.

En el proceso de diseño de la caja de baterías es necesario considerar la relación que esta tiene con el resto de los componentes involucrados en sistema de propulsión eléctrica. Específicamente, las celdas de batería como la base elemental de almacenamiento de energía desempeñan un papel crucial. El diseño de la caja debe ser compatible con la distribución y disposición de las celdas y los módulos de batería, así como garantizar la seguridad y eficiencia del sistema, sino también la disipación del calor generado durante los procesos de carga y descarga. De esta manera, para proceder con el diseño de la caja de baterías se deben tener en cuenta no solo los requerimientos de la propia caja sino también los debidos a las celdas de batería, estos aportarán requisitos de diseño en cuanto a la disipación de calor o aislamiento eléctrico.

3.1. Requisitos

El diseño de la batería depende en parte a los diferentes requisitos. La mayoría de esos requisitos están definidos por los propios fabricantes del vehículo eléctrico o híbrido. Los requisitos adicionales surgen de las normas y estándares como se ha podido observar en el apartado 2.4. *Normativa y seguridad*. La norma ONU 38.3 describe también requisitos que deben cumplirse si los componentes que forman la batería se transportan al extranjero, mientras que la norma ISO 6469 detalla las especificaciones de seguridad de los vehículos eléctricos propulsados eléctricamente o la norma CE-R 100 especifica detalles sobre los sistemas de seguridad que un vehículo de estas características debe tener. Dejando a un lado las normas anteriormente mencionadas, las diferentes especificaciones pueden clasificarse por: requisitos mecánicos, de seguridad, de servicio o de costes.

- Requisitos mecánicos

Los requisitos mecánicos de la batería, normalmente, están cubiertos por la caja de baterías. La caja deberá contar con una resistencia mecánica y proporcionará una rigidez al sistema para que sea capaz de integrar los módulos de la batería, el sistema de gestión térmica, la caja de interruptores y las interfaces mecánicas, eléctricas y térmicas del vehículo. Dependiendo de la ubicación del paquete de baterías, la caja que las protege estará diseñada para soportar las cargas de coque. Por lo tanto, el rendimiento de choque requerido influye en el diseño, en el peso y, en definitiva, en todo el sistema de la caja de baterías.

Un requisito de diseño importante es el aislamiento eléctrico de los componentes del paquete de baterías. Los componentes incluyen los terminales de celda, el módulo o el paquete de batería y cualquier parte conductora que este conectada a ellos. Estos componentes deben aislarse del



resto, entre otros de la caja de baterías. El procedimiento de prueba y los requisitos de holgura y fuga se definen en ISO 6469-3 e IEC 60664-1.

- Requisitos de seguridad.

Los requisitos mecánicos están directamente relacionados con los requisitos de seguridad del rendimiento del choque y el comportamiento del sistema en caso de abuso. Aunque el diseño de la caja de batería garantiza que la deformación de la caja no afecte a los módulos de la batería o a las celdas en caso de choque con otro objeto, puede suceder, ya que no se pueden probar todos los escenarios de choque fortuitos durante el desarrollo de la estructura. Como las celdas son muy inseguras, la estructura debe diseñarse para condiciones de abuso como cortocircuito, sobrecarga, penetración o similares.

Otros requisitos de seguridad incluyen, el manejo de la fuga del sistema de enfriamiento, pudiendo causar un cortocircuito en el sistema de alta tensión o la protección contra el acceso de personas a componentes que se encuentran a alta tensión. Los requisitos de seguridad de la caja de baterías se derivan del proceso de desarrollo a la norma ISO 26262, 2011 'Vehículos de carretera: seguridad funcional'.

- Requisitos de servicio.

Los requisitos de servicio de un paquete de baterías comprenden el intercambio de componentes internos del paquete de baterías durante la vida útil debido al mantenimiento que estos deben tener. Los requisitos de servicio definen que componentes se pueden intercambiar. Por lo que, el diseño de los componentes de la batería depende en cierta medida de la estrategia de servicio y los requisitos resultantes.

- Requisitos de costes.

Los requisitos de costes tienen un impacto importante en el diseño de los paquetes de baterías. Como se ha apuntado previamente las celdas de baterías destacan por su alto costo, de forma general, por lo que, el resto de los componentes deben diseñarse de una manera rentable sin comprometer la seguridad ni la vida útil del sistema. Un análisis detallado de los costes debe incluir los costes de los componentes individualmente, así como los costes de herramientas o de desarrollo. En función de las cantidades específicas, los componentes se diseñan de acuerdo con diferentes métodos de producción.

- Tendencias futuras.

La principal demanda de los vehículos eléctricos de parte de los clientes proviene de los costes, por lo que, la tendencia más importante a desarrollar será la reducción de estos en el entorno de la caja de baterías y sus componentes. El campo principal donde los costes pueden verse reducidos es en el elemento más caro, ya que supone un 50% del coste total, y son las baterías de ion-litio. Con los próximos desarrollos que se avecinan es de esperar que los costes de las celdas se reduzcan y que las capacidades de las celdas aumenten. Por supuesto, el resto de los componentes del paquete de baterías también debe disminuir diseñando módulos de baterías que se ajusten de una mejor manera a los requisitos específicos del vehículo.

Otra área de mejora para futuros desarrollos son los materiales. Los materiales ligeros tenderán a ganar más importancia a medida que aumenten sus capacidades. Según expertos el acero, el aluminio y los plásticos de alta resistencia ganarán cada vez más importancia en esta industria. Para los componentes del paquete de batería el aluminio parece ser la mejor opción a pesar de su volumen. El cobre caerá en desuso por el aumento del precio de mercado de este material. De igual manera ocurre con el uso de plásticos o plásticos reforzados, donde la fibra de carbono o



fibra de vidrio aumentará para el alojamiento de las baterías. A pesar de las buenas características que pueden aportar este tipo de material aun enfrentan algunas dificultades en temas de seguridad, inducidos por las propiedades térmicas del material en caso de fallo.

Otra área de mejora es el aumento de potencia de carga y descarga del paquete de baterías, ya que se exigen tiempos de carga más cortos. Las corrientes altas que supondrían una carga más veloz aumentarían la temperatura dentro de las celdas y de los conectores, por lo que el sistema de gestión térmico se verá afectado. Sin embargo, tensiones más altas reducirán las corrientes requeridas. Esto supondría un aumento de los costes, ya que se debe supervisar con mayor frecuencia las baterías conectadas en serie, además de que se requerirán de nuevas medidas respecto al aislamiento eléctrico.

3.2. Primeras decisiones

Una vez considerados los requisitos que debe tener la estructura, se deberán desarrollar las decisiones tomadas para la concepción del paquete de baterías. La estructura definida está destinada a maximizar la fiabilidad y mitigar los riesgos de seguridad lo máximo posible en caso de impacto. Además, las superficies deben estar preparadas para facilitar la soldabilidad de los componentes. Al tratarse de un proceso realizado mediante robots los diferentes componentes deben dejar paso a los brazos robóticos.

En la primera toma de decisiones se analizarán los puntos básicos, pero clave, para para la futura concepción de la caja de baterías completa. Entre otros parámetros de diseño se resalta la elección del tipo de baterías que se van a emplear, parámetros de localización y distribución de estas, material de los componentes estructurales, secciones de las vigas que conforman el esqueleto de los módulos de baterías.

Previo a la revisión a los puntos mencionados, cabe destacar que los parámetros de diseño aquí expuestos son el resultado de un diseño inicial además de varias correcciones y modificaciones posteriores para una mejor acomodación de todos los componentes.

- **Baterías**

Respecto a las baterías empleadas, se ha optado por el uso de las baterías de tipo ion-litio, las más ampliamente empleadas en los vehículos eléctricos hoy en día por cuatro razones principales:

- **Capacidad.**

Tomando como referencia las baterías diseñadas por Tesla previo al desarrollo de las baterías 21700 se empleaban las 18650. Estas nuevas baterías alcanzan unas cifras de capacidad de forma individual significativamente superior a sus predecesoras, pudiendo alcanzar cifras en torno a 4500 Ah, lo que aumenta en un 35% frente a las 18650 y superando de forma general a las baterías empleadas en la mayor parte de vehículos eléctricos.

- **Densidad energética.**

Continuando la misma comparación que en el caso anterior se puede observar que según datos publicados por la compañía Tesla, la densidad energética ha mejorado. Se recuerda que la densidad energética es la cantidad de energía que una batería puede entregar por kilogramo de esta. En el caso de las baterías 18650 la densidad energética en la etapa



inicial supone 250 Wh/kg, mientras que bajo las mismas circunstancias las baterías 21700 tienen una densidad aproximada de 300Wh/kg. La densidad energética ha aumentado un 20%.

- Costo.

En cuanto al costo de las baterías, el sistema con baterías 18650 supone una cantidad de 170 €/Wh. Sin embargo, un sistema alimentado por baterías 21700 supone un precio de 155 €/Wh. Lo que supone un ahorro de alrededor de un 9%.

- Reducción de los componentes.

A pesar de que el volumen de estas nuevas baterías incrementa frente a sus predecesoras, el incremento de la capacidad, así como el de la densidad energética harán que se alcance la misma energía entregada con un número menor de estas celdas. Las predicciones hablan de la reducción por 1/3 del número de celdas a entregar, suponiendo además un sistema más sencillo y por lo tanto fiable. Con esta reducción se espera que se alcance una reducción de tamaño de entorno al 10% del tamaño global ocupado por las baterías.

Por lo que se puede observar, las nuevas baterías 21700 superan en cuando a rendimiento sobradamente a baterías ya de por sí con buenas características. Se requerirán un menor número de celdas por lo que en ese aspecto se disminuirán los costes de fabricación de estas. Por lo general, la fabricación de las baterías suele suponer un 25% del precio total de la propia batería.

El mayor porcentaje de costo de las celdas viene dado por la selección del material del ánodo, con un 50% del precio total, mientras que el cátodo únicamente supone el 12% del total. Estas baterías están conformadas por una variedad de óxidos metálicos variados para la construcción del cátodo y algún compuesto de carbono como el grafito para el ánodo. El electrolito lo forman sales de litio disueltas en solventes orgánicos.

Con respecto a la geometría, se han seleccionado celdas cilíndricas frente a las prismáticas. El uso de esta geometría tiene ciertas ventajas comparado con las prismáticas:

- Las celdas cilíndricas poseen una carcasa de protección que hará que mejore la resistencia al trabajo a mayores temperaturas y mejore la resistencia a los golpes.
 - Estas celdas tienen dimensiones reducidas comparadas con las prismáticas. En consecuencia, los módulos de baterías estarán conformados por un mayor número de celdas que hace que aumenten las posibles configuraciones de conexiones serie-paralelo (mayor versatilidad)
 - Una celda prismática consiste en un mayor número de electrodos positivos y negativos flanqueados entre sí, lo que aumenta la posibilidad de que se produzcan cortocircuitos y aumenten sus inestabilidades.
- Localización y distribución de las baterías.

En cuanto a la localización de la estructura y de las celdas de baterías la elección no suele llevar a mucha confusión. El lugar más práctico para localizarlas es en la parte baja del vehículo. Las baterías, junto con la estructura, suponen una parte importante del peso total del coche, que la estructura quede centrada es de vital importancia para no desequilibrar el peso y provocar inestabilidades durante la conducción, especialmente en las curvas. Además, localizar las celdas en



la parte baja ayudará a bajar el centro de gravedad del vehículo y colaborará en la estabilidad de este.

Por otro lado, como las celdas en su conjunto suponen un peso tan grande, entre 100 y 700 kilogramos sobre el peso global del coche, entre 1500 y 2000 kilogramos, es conveniente distribuir las celdas en el mayor espacio disponible posible. Al colocar la estructura en la zona baja del vehículo, supone una localización ideal con mayor posibilidad de configurar diferentes distribuciones de celdas que en cualquier otro lugar del coche.

- Material de los componentes estructurales.

- Aluminio.

El aluminio es un material muy interesante para este tipo de estructuras, especialmente si uno se fija en sus características. Es un metal muy ligero que aporta una gran resistencia. Para mejorar aún más las propiedades del aluminio se emplea en forma de aleaciones. Una aleación resulta de una mezcla de materiales metálicos, en este caso entre el aluminio y otros metales. Existe una condición en la generación de aleaciones que dice que una aleación debe retener todas las propiedades del metal en el material resultante (conductividad eléctrica, ductilidad, brillo, opacidad,) pero, además, pueden surgir nuevas propiedades, como una mayor fuerza o dureza de la que tienen los metales de origen.

Las aleaciones suelen definirse por porcentaje de masa de cada material que lo compone como por ejemplo el aluminio 2004 que tiene un 93.6% de aluminio, un 6% cobre y un 0.4% circonio.

A diferencia del hierro, material que se produce principalmente para alearlo con carbono y obtener el acero, aunque también se usa en estado puro (hierro forjado), el aluminio nunca se usa en estado puro porque sus cualidades no resultan interesantes para su uso industrial. Es por eso, que el nombrado aluminio industrial es en realidad aluminio aleado. Existen gran variedad de aleaciones de aluminio, cada variación de los porcentajes de los materiales que componen la mezcla da lugar a una aleación nueva. Estas aleaciones se clasifican mediante un sistema numérico que las ordena por series. Cada serie considera una familia de aleación con unas características comunes.

- Serie 1000.

Son las series con más porcentaje de aluminio, tanto, que prácticamente es considerado como aluminio puro, con un porcentaje de alrededor del 99%.

Son muy fáciles de soldar por la ductilidad, son blandos y tienen una buena conductividad térmica, aunque no soporta tratamiento térmico para endurecerse, se debe hacer en frío. Tienen una buena conductividad eléctrica.

- Serie 2000.

La serie 2000 son variaciones de aluminio y cobre y son ampliamente usados. En torno al 4 o 5% suele estar compuesto por cobre y un 93 o 94% de aluminio, siendo el resto aportaciones de otros materiales como silicio, manganeso, bismuto o plomo.

Sus aplicaciones principales se realizan en la industria aeroespacial, automoción o artillería entre otros. Tienen una elevada resistencia mecánica y son idóneos para el mecanizado, pulido por su escasa producción de rebabas.



- Serie 3000.
Consisten en aluminio prácticamente puro, con aportaciones de manganeso para aumentar su resistencia, un 20% más de resistencia que la serie 1000, y de cobre. Tienen una excelente resistencia a la corrosión y son muy fáciles de trabajar con ellos. Son fácilmente soldables.
- Serie 4000.
Son aleaciones de aluminio y silicio, en las que el silicio puede ir desde un 0.5 a un 21.5%. La aportación de silicio reduce el punto de fusión de la aleación y lo hace más fluido una vez se funde. Además, se puede añadir magnesio o cobre para aumentar su capacidad de respuesta térmica, ya que el silicio únicamente no es tratable térmicamente. Es interesante para aplicaciones que involucran soldadura, por lo que estas aleaciones suelen considerarse material de aporte.
- Serie 5000.
Se le suelen añadir cantidades menores de cobre, hierro, manganeso o zinc y suelen surgir materiales no tratables térmicamente, con una resistencia mayor que otros grados de aluminio de estas características. Son muy fáciles de trabajar y permiten su uso en formas muy diversas.
- Serie 6000.
Son aleaciones de aluminio que se pueden tratar térmicamente, son unas de las más versátiles y tienen gran parte de las cualidades de aluminio, como su resistencia a la corrosión, se puede fabricar con la mayoría de las técnicas de uso común, son fáciles de trabajar tras un recocido y se puede soldar con cualquier método.
Son buenas cualidades para el uso en industrias aeroespacial, naval, automoción
- Serie 7000.
Se trata de las aleaciones de aluminio con más resistencia que se conocen. Tienen una relación resistencia/peso muy bueno, ideal para piezas que deben someterse a grandes esfuerzos. Pueden estar compuestos por zinc, magnesio, cobre o cromo.
Estas cualidades, junto con la baja densidad del aluminio, propiedades térmicas y capacidad para ser pulido, hacen que esta aleación sea utilizada sobre todo en ingeniería aeroespacial.
- Acero.
Se conoce como acero a un conjunto de aleaciones de hierro con otros elementos, principalmente carbono, zinc, silicio, o aluminio. Estas aleaciones alteran las propiedades del metal puro, en este caso el hierro, y se obtiene por lo general un material más resistente o menos oxidable. Además, entre las propiedades del acero se encuentran su maleabilidad, dureza y resistencia a altas temperaturas.
Los aceros tienen una serie de propiedades que se diferencian en dos grandes grupos:
 - Propiedades mecánicas.
Las propiedades mecánicas del acero caracterizan y define a este material. El acero es una aleación metálica constituida principalmente por hierro y carbono lo que lo convierten en un material ampliamente empleado en estructuras metálicas.



- **Plasticidad.**

El acero es un material duro y resistente, aunque también es muy maleable. Puede ser moldeado y formado por una amplia variedad de formas sin romperse. Es una propiedad única que lo hace ideal para la fabricación de diferentes objetos. La plasticidad es una de las propiedades mecánicas y permiten el uso en estructuras.
- **Resistencia.**

Al ser un material resistente y duro, significa que no se rompe fácilmente en caso de ser sometido a un esfuerzo excesivo.
- **Maleabilidad.**

Son capaces de ser deformado sin romperse. Esta propiedad es posible gracias a la presencia del carbono entre los materiales que lo componen. La maleabilidad y la dureza son características que se relacionan de forma inversa. Cuanto más duro es un metal, menos maleable es, y viceversa cuanto mayor maleabilidad menor dureza.
- **Dureza.**

Presentan una gran resistencia ante los golpes y los arañazos que pueden darse. Se mide en una escala conocida 'Brinell' y varía según el tipo de aleación, en concreto según el porcentaje de carbono, a mayor carbono más duro será el acero resultante. Generalmente se encuentra entre 120 y 180.
- **Tenacidad.**

Los aceros destacan por su capacidad de resistir a la tensión, lo cual le confiere una gran tenacidad. Ya que no se rompen fácilmente ante una posible fractura.
- **Propiedades físicas.**

Las propiedades físicas del acero permiten comprender la composición y la relevancia del material.

 - **Térmicas.**

El acero es un material muy resistente a altas temperaturas. Su punto de fusión es de 1500C, lo que hace que sea idóneo para la fabricación de objetos sometidos a altas temperaturas, como es el caso de procesos soldados.
 - **Eléctricas.**

El acero tiene la capacidad de conducir fácilmente la electricidad a través de su superficie. Esto es útil en la construcción de dispositivos que requieran estas características.
 - **Ópticas.**

Esta aleación es altamente reflectable. Normalmente las superficies de los aceros suelen ser brillantes. También es transparentes a los rayos infrarrojos y ultravioleta, por lo que es posible ver a través de estos con una cámara térmica.
 - **Magnéticas.**

Es un material ferromagnético, por lo que es atraído por los imanes.



En función de los componentes que compongan la aleación y de su porcentaje en la mezcla total los aceros pueden ser clasificados en diferentes tipos:

- Acero corrugado.
Es un tipo de acero laminado compuesto por hierro y carbono. Son ampliamente empleados en la construcción ya que presentan mejoras en la adherencia con el hormigón.
- Acero galvanizado.
El acero galvanizado es una aleación de hierro y carbono procesado con zinc. Destaca su resistencia a las rayaduras y se utiliza para crear componentes industriales.
- Acero inoxidable.
Los aceros inoxidables están compuestos por cromo, hierro y carbono, aunque también pueden tener otros componentes. Destacan por su gran resistencia a la corrosión y son empleados en vehículos.
- Acero laminado.
Es un acero tratado mediante un proceso en caliente o en frío ('acero laminado en caliente' o 'acero laminado en frío'). Los laminados en caliente tienen una apariencia áspera, pero es muy moldeable, mientras que el laminado en frío es más liso y presenta bordes afilados.
- Acero al carbono.
Este tipo de aceros está principalmente compuesto por carbono, junto con hierro y manganeso. Es un acero que se emplea para la fabricación de maquinaria, vehículos, motores o en construcción.
- Acero de aleación.
El acero de aleación es aquel resultante de la mezcla de otros metales. Dependiendo de la cantidad de esos metales y sus diferentes combinaciones se pueden obtener aceros con propiedades muy diferentes.
- Acero estructural.
El acero estructural debe su nombre a su aplicación, principalmente a fabricaciones de estructuras de maquinaria o edificios.
- Materiales compuestos.
Un material compuesto, o un composite, surge de la unión de varios materiales para generar otro con mejores propiedades. Razón por la que poseen múltiples aplicaciones industriales. A resumidas cuentas los materiales compuestos están formados por dos componentes:
 - Matriz.
La matriz configura la pieza geoméricamente dando cohesión al material, suele ser flexible, poco resistente y transmite los esfuerzos a los que está siendo sometido de una fibra a otra. Es la responsable de las propiedades físicas y químicas del material.
Además, existen diferentes tipos de matrices: matriz metálica, matriz cerámica, matriz orgánica, polimérica o plástica reforzada.
Las matrices orgánicas pueden ser elastómeras, termoestables o termoplásticas. Las matrices termoestables son las más empleadas para crear materiales



compuestos de alto rendimiento. Estas resinas dan lugar a un material sólido imposible de fundir, mediante una serie de reacciones químicas conocidas como curado o reticulación. Por el contrario, las termoplásticas se funden cuando se exponen al calor

▪ Refuerzo

El refuerzo proporciona rigidez y resistencia este tipo de materiales. Los refuerzos deben absorber las tensiones. Definen las propiedades mecánicas del material. En función del refuerzo empleado estos pueden ser englobados en dos grupos principales:

- Refuerzos discontinuos.

Este tipo de refuerzos se utilizan para aplicaciones con bajas exigencias estructurales. Estos tipos de refuerzos pueden ser en carácter de partículas, plaquetas o fibras cortas o discontinuas. En estas últimas, la longitud de dichas fibras tendrá una influencia directa sobre las propiedades finales del material.

- Refuerzos continuos.

Al igual que en los refuerzos discontinuos también existen una gran variedad de refuerzos continuos, como los de fibra larga, los laminados o los tejidos o estructuras tipo sándwich.

En cuanto a los refuerzos, existen gran variedad de tipos, los más conocidos son las fibras de carbono, fibras de vidrio, fibras de aramida y las fibras naturales.

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por filamentos de 10 micras de diámetro que está compuesta por átomos de carbono. Las fibras de carbono tienen las siguientes propiedades:

- Baja densidad, si se compara con materiales como el acero.
- Alta resistencia específica.
- Alta rigidez específica.
- Alta resistencia a impacto.
- Alta resistencia al desgaste.
- Coeficiente de expansión térmica cercano a cero, estabilidad dimensional.
- Amplia variedad de tipos de fibra de carbono.
- Alto costo.

Las fibras de carbono pueden clasificarse según su material de origen, según su módulo de elasticidad y según la dirección de las fibras.

Las fibras de vidrio se conforman por entre un 50 y un 70% de sílice, al que se le añaden otros componentes en función de las propiedades requeridas. Las fibras de vidrio proporcionan estas características:

- Buena relación fuerza/peso, superando la del acero.
- Buena rigidez, en comparación se encuentra entre el aluminio y la fibra de carbono.
- Buena resistencia a la humedad y a la corrosión.



- Buen aislante térmico y eléctrico.
- Ignífugo.
- Buena resistencia química.
- Amplia diversidad de fibras.
- Económico.

Las fibras de aramida son de origen sintético. Las fibras se obtienen mediante procesos de hilado y extrusión. Este tipo de fibras son relativamente nuevas y altamente novedosas y revolucionarias ya que disponen de una buena rigidez a resistencia. Las fibras de vidrio tienen las siguientes propiedades:

- Baja densidad, en comparación con otras fibras.
- Alta resistencia a la tracción y rigidez.
- Baja resistencia a la compresión.
- Dureza extrema.
- Buena resistencia al desgaste por abrasión.
- Alta resistencia a impactos.
- Buena aislante eléctrico.
- Fractura dúctil.
- Buena resistencia química.
- Resistente al fuego, auto extinguido.

Las fibras naturales, son materiales hechos a partir de filamentos de origen biológicos. Existen dos tipos, las de origen animal, a través de secreciones de glándulas especializadas, y las de origen vegetal, que son un conjunto de células compuestas esencialmente por lignina y celulosa. Este tipo de fibras, en comparación con los materiales tradicionales, son más livianos y tienen un menor impacto en el medio ambiente. Además, sus características químicas, físicas y mecánicas les dan cualidad en su aspecto, resistencia y flexibilidad que hacen que sean ampliamente usadas.

Sin duda las opciones estudiadas son muy interesantes para la aplicación que se pretende dar en este proyecto. Finalmente se ha decantado la balanza a favor del acero, específicamente del acero S355J2, un acero no aleado al carbono-manganeso de alto rendimiento. Es considerado un acero estructural por lo que tiene una excelente resistencia, tenacidad y muy buena soldabilidad.

A pesar de las buenas propiedades de las que disponen los aluminios, especialmente los de las series 6000 o 7000 por poder ser tratados térmicamente y presentar una mayor resistencia entre las diferentes aleaciones, en comparación con los aceros pueden considerarse más blandos y materiales de menor resistencia.

Además, entre los lados negativos de los aluminios se encuentra que son altamente reactivos, pueden reaccionar con otros materiales y producir una reacción negativa. En aplicaciones tan sensible como las de proteger las baterías o evitar la propagación de una llama en caso de fallo de los sistemas de seguridad que rigen las celdas, es un punto negativo para tener en cuenta.

Por otro lado, la elección de los materiales compuestos podría ser altamente aceptable. Sin embargo, las propiedades necesarias para una estructura de gran densidad y altamente resistente pueden ser



altamente satisfecha con la selección de un acero. Además, las mejores prestaciones de materiales compuestos vienen a través del uso de fibras de carbono y de vidrio, materiales que suponen un alto costo, cuando otro de los requisitos principales es la máxima reducción del precio posible de este componente.

No obstante, en los últimos años los materiales compuestos se están empleando para conformar las cajas de baterías no estructurales. Al pasar a ser un componente no estructural del chasis del vehículo los requisitos mecánicos disminuyen y con ellos las propiedades que estos materiales deben presentar, por lo que puede abaratar, en ese caso, los costes de fabricación.

El acero empleado tiene entre sus componentes un pequeño porcentaje de carbono (0.18%) lo que hace que aumente la maleabilidad y se reduzca la dureza. Además, dispone de 1.6% de manganeso, un 0.035% de fósforo y azufre y un 0.55% de silicio. Se dará más información acerca de este material en el apartado 4.4. *Materiales*, donde se profundizará en todas sus características.

- Sección de las vigas centrales.

Otro de los puntos más importantes es el diseño de la estructura, es decir, el diseño de las vigas que componen el esqueleto de la caja de baterías. De entre las diferentes posibilidades geométricas de estos perfiles se han considerado:

- Forma de T.

Emplear vigas en forma de T en este tipo de estructuras supone la unión entre la propia viga transversal que delimitará los diferentes módulos de la batería y el cover o placa inferior formando una sola placa. Esta composición cubre grandes dimensiones sin necesidad de ningún apoyo intermedio, es capaz de soportar grandes cargas y en función de las necesidades del proyecto pueden optimizar el diseño. Además, mejora el proceso de fabricación, ahorrando en tiempo de producción y en tiempo de montaje.

- Forma de I.

El uso de un perfil con forma de I como viga transversal puede traer diversos beneficios en cuanto a la robustez de la estructura que se quiere construir. Las vigas en I son capaces de soportar grandes cargas, además de que se obtendrían vigas livianas, rígidas y resistentes, lo que supondría una ventaja para estructuras de gran magnitud.

- Forma rectangular.

Un perfil rectangular garantiza la resistencia estructural demandada. Esta viga hueca y se emplea en maquinaria o estructuras que deban soportar grandes cargas, aunque se obtendrán límites inferiores a los perfiles en I. La complejidad de estas vigas hace que la estructura sea liviana.

Otra ventaja de emplear perfiles rectangulares es que a través del hueco central la disipación de calor será mayor que en el resto de las configuraciones.

Para el diseño de la caja de baterías se han combinado diferentes secciones esperando obtener las ventajas de cada uno de estos. Los perfiles tendrán una geometría más compleja que si se utilizarán las anteriores configuraciones por separado, es por eso, que la propuesta incluye que se generen por extrusión.

Los perfiles de extrusión permiten crear objetos con perfiles transversales fijos empujando un material, normalmente metales, a través de una matriz de sección transversal deseada. De esta



manera, es posible la generación de perfiles con las dimensiones deseadas y geometrías complejas.

Este tipo de perfiles de extrusión, normalmente suelen ser empleados en cajas de baterías estructurales y tienen muy buen rendimiento. Entre los puntos fuertes del uso de perfiles de extrusión se encuentra la buena absorción de la energía de choque, tienen una buena rigidez torsional, son capaces de aguantar una fuerza considerable con un peso mínimo y son propicios para la transferencia de fluidos sin fugas a través de los medios estructurales.

Sobre la mayor parte de las vigas diseñadas se ha optado por la conjunción de la forma rectangular y la forma en 'I'. La forma rectangular, como se ha mencionado entre sus características son aptas para la absorción de grandes cargas, por lo que cumplirían su papel principal. Además, los perfiles de sección rectangular son huecos, permitiendo así, la disipación del calor y favoreciendo la transferencia de fluidos en caso de ser necesarios, como los del sistema de refrigeración. Para favorecer estas características se ha realizado la sección con perfiles anchos, por lo que para mantener la capacidad estructural se han añadido dos refuerzos.

Por otro lado, para aprovechar los beneficios que aportan los perfiles en 'I' se añaden pestañas en la parte superior e inferior. Además, estas pestañas favorecerán la extracción de los módulos de baterías y favorecerán el diseño de tal manera, que se puedan añadir otros componentes para favorecer el aislamiento eléctrico.

3.3. Propuesta diseño celdas

A pesar de que ni las celdas ni los módulos van a ser el objetivo del estudio de las simulaciones que se van a realizar, el espacio que ocupan en esencial para la configuración de la estructura de la caja de batería.

Como se ha mencionado anteriormente se han seleccionado las baterías cilíndricas 21700 para el diseño de cada una de las celdas. En la siguiente tabla se puede observar las principales características de las baterías. Además, en el Anexo 9.4. *Datasheet celdas de batería* se pueden observar el resto de las propiedades de las baterías seleccionadas.

Propiedad	Valor
Longitud	70 mm
Diámetro	21 mm
Volumen	23.818 mm ³
Peso	68 g
Tensión	3.6 V
Capacidad	21.275 Wh
Carga	4,100 mAh
Densidad energética	578 Wh/L
Energía específica	322.3 Wh/kg
Densidad	2.72 kg/L

Tabla 7. Propiedades celda de batería



A modo de simplificación se han diseñado las celdas de la forma más sencilla posible, aunque se ha tenido en consideración la conexión que se debe producir entre los polos de las celdas.



Ilustración 42. Diseño celda de batería

Con respecto a la conexión entre todas las celdas de batería:

Cada módulo cuenta con 414 celdas. Estas celdas son divididas en dos grupos en paralelo, por lo tanto, cada grupo dispondrá de 207 celdas conectadas en serie. De esta manera las tensión y capacidad de cada módulo será:

$$V_{\text{módulo}} = 3.6 \text{ V} * 207 \text{ celdas} = 745.2 \text{ V}$$

$$I_{\text{módulo}} = 4100 \text{ mAh} * 2 \text{ grupos} = 8100 \text{ mAh}$$

Si, la caja al completo tiene 12 módulos se obtendrán:

$$V_{\text{total}} = 745.2 \text{ V}$$

$$I_{\text{módulo}} = 8100 \text{ mAh} * 12 \text{ módulos} = 98400 \text{ mAh} = 98.4 \text{ Ah}$$

O lo que es lo mismo, la caja de baterías tendrá una capacidad total de:

$$\text{Capacidad} = 98.4 \text{ Ah} * 745.2 \text{ V} = 73,327.68 \text{ Wh} = 73.328 \text{ kWh}$$

De esta manera, se presenta la propuesta del diseño y disposición de las celdas, donde cada color representa uno de los dos grupos en paralelo de cada módulo.

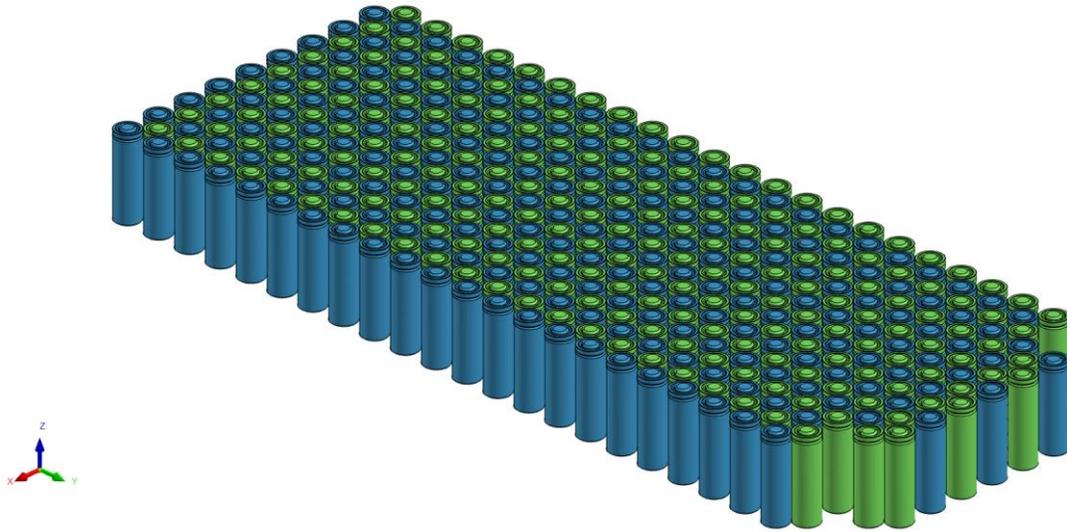


Ilustración 43. Diseño de disposición de celdas en un módulo

3.4. Propuesta diseño módulo de batería

A raíz de las celdas diseñadas y mostradas y, siguiendo la misma tónica, se han realizado diseño simplificados del resto de componentes básicos que pueden tener un papel importante en el diseño de los módulos de batería.

- En primer lugar, se ha representado como una chapa de un milímetro de espesor las conexiones entre las celdas. Cabe decir que la realización de las conexiones se debe realizar de una manera meticulosa y cuidadosa para no incurrir en fallos que produzcan, a posteriori, un desbalance del módulo y en definitiva del conjunto total. Por lo que la placa diseñada solamente servirá a modo representativo.

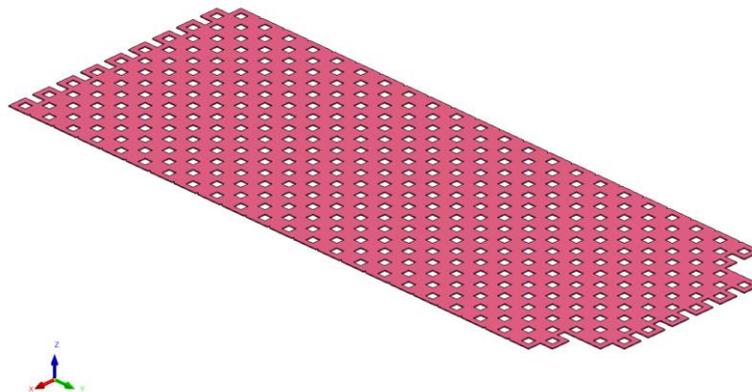


Ilustración 44. Representación conexiones entre celdas



- Otro sistema para tener en cuenta es el sistema de refrigeración de las celdas. Estas, durante su funcionamiento alcanzarán grandes temperaturas por lo que se requiere de este tipo de sistemas para evitar fallos y mejorar la vida útil de los componentes. De igual manera que en el caso anterior, se ha representado estos componentes como unas placas. Entre ellas, pasará el fluido encargado de refrigerar las celdas.

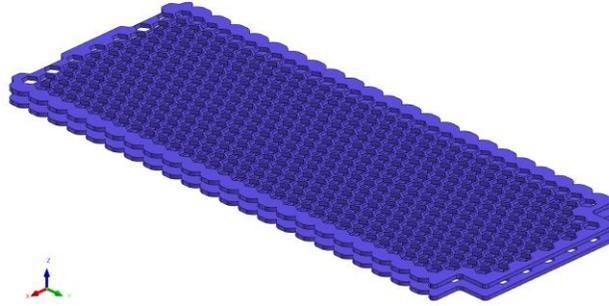


Ilustración 45. Representación sistema de refrigeración en el módulo

- El resto de las consideraciones para generar el módulo de la batería tienen una influencia directa sobre el propio módulo.

Al emplear un sistema de protección de batería jerárquico en cada módulo debe estar presente un esclavo, es decir, una placa base para recopilar y controlar los diferentes rangos de funcionamiento de las celdas. Para ello, se deja una especie de compartimento para insertar estas tarjetas.

Además, los circuitos de protección de las celdas, encargados de realizar el balanceo también deben localizarse dentro de estos módulos. Se ha empleado la parte superior del módulo para introducir dichos circuitos, marcado en rojo en la *Ilustración 46. Módulo de baterías. Vista en planta*.

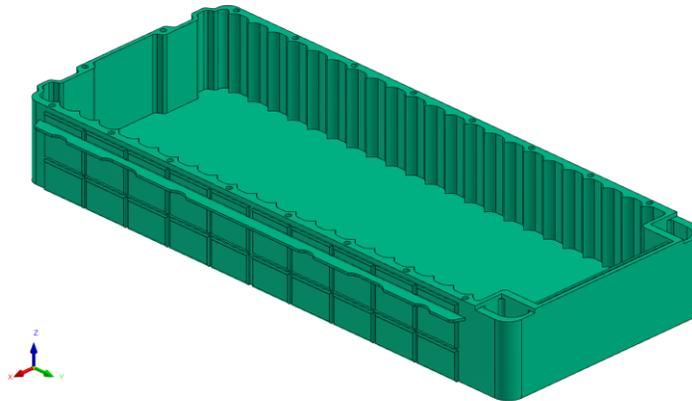


Ilustración 46. Diseño carcasa del módulo de baterías

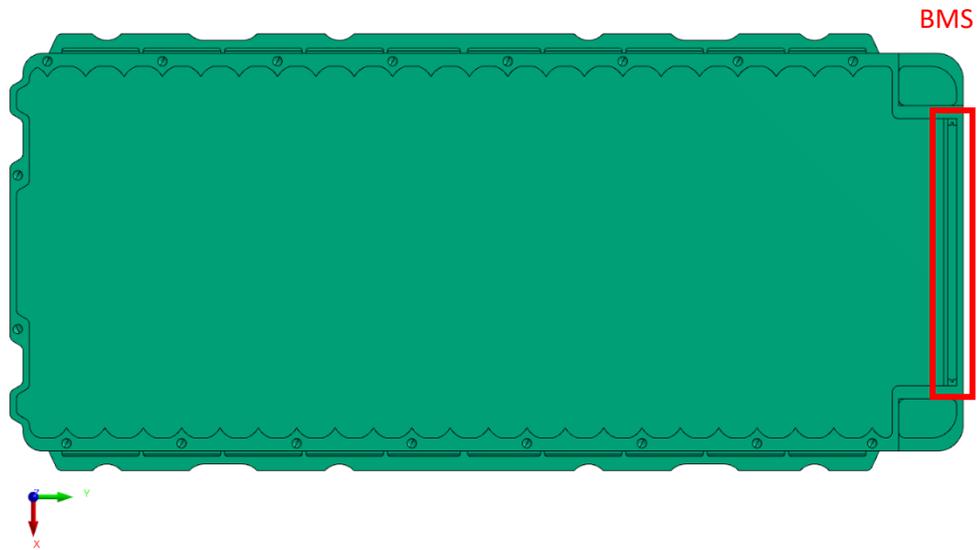


Ilustración 47. Módulo de baterías. Vista en planta

Teniendo en cuenta los diferentes aspectos, la propuesta final del módulo de batería es la siguiente:

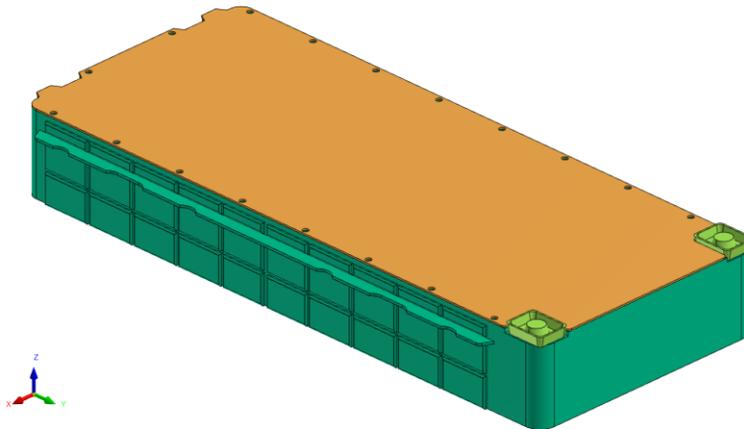


Ilustración 48. Diseño módulo de baterías tapa exterior incluida

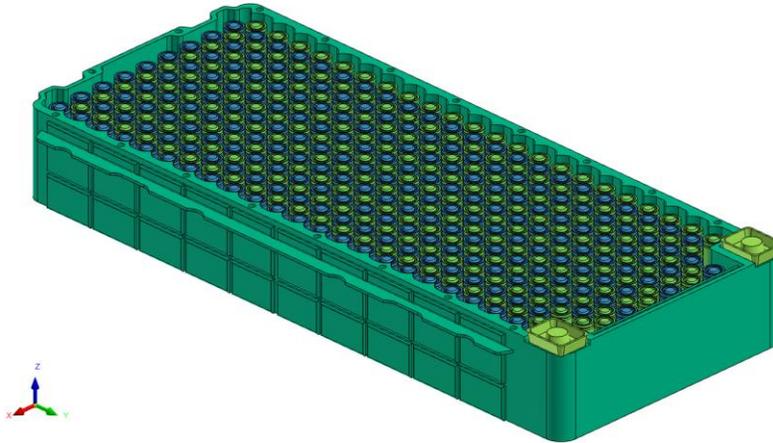


Ilustración 49. Diseño módulo de baterías

3.5. Propuesta diseño perfiles

Una vez se han definido las celdas y módulos, se comenzará con el diseño de los perfiles que darán forma a la estructura de la caja de baterías. Los perfiles serán de sección rectangular y huecos en el interior. De esta manera, permiten el transporte de líquidos de refrigeración y mejoran la disipación del calor generado por las celdas de batería.

La estructura exterior debe ser capaz de absorber la mayor parte de la fuerza en caso de impacto. Es por eso, que los perfiles que conforman el marco exterior serán de altura superior a la estructura interna. además, tanto los perfiles longitudinales como los transversales en la zona interna también serán capaces de distribuir esa fuerza hacia los laterales. Pero, debido a la necesidad de sustituir alguno de los módulos de batería y para que se puedan realizar trabajos de la forma más sencilla posible, los estos perfiles internos serán de una altura similar a la de los propios módulos de batería.

Cabe destacar que tanto los perfiles exteriores laterales como el perfil exterior superior poseen una zona rectangular adicional dedicada a la sujeción de la caja de baterías e integración con el resto de los componentes del vehículo.

A continuación se mostrarán las secciones de los perfiles de extrusión, si se quieren observar más detalles de los diseños realizados los planos se pueden encontrar en el Anexo 9.4 Planos.

- Estructura exterior
Perfil exterior lateral izquierdo/derecho – PR1_BEAM2 – PR2_BEAM2

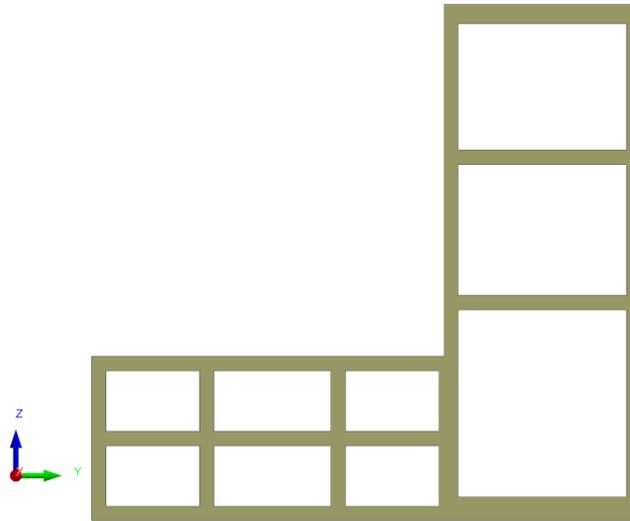


Ilustración 50. Perfil exterior lateral (PR1_BEAM2)

Perfil exterior curvo izquierdo/derecho – PR1_BEAM1 – PR2_BEAM1

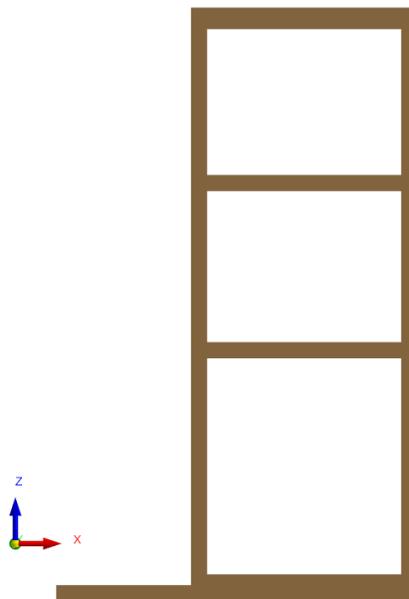


Ilustración 51. Perfil exterior curvo (PR1_BEAM1)



Perfil exterior superior – PR3_BEAM1

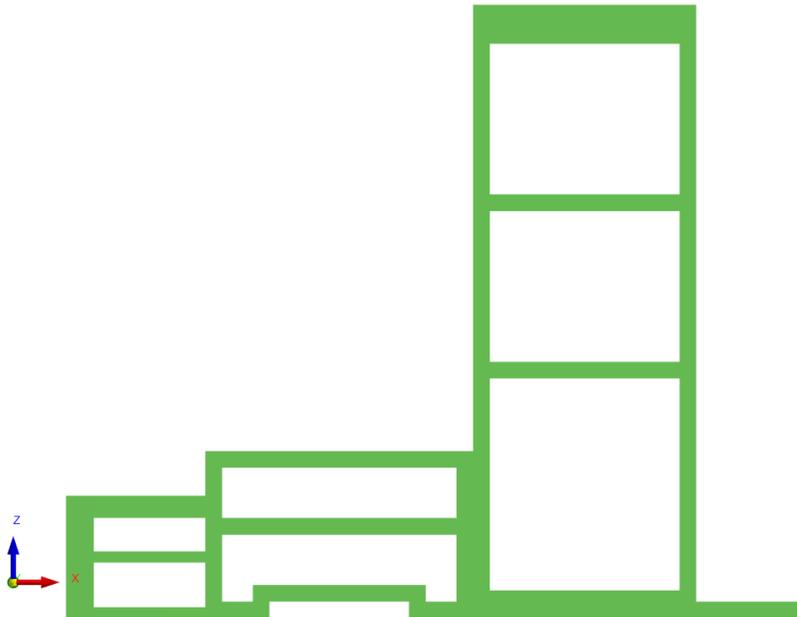


Ilustración 52. Perfil exterior superior (PR3_BEAM1)

Perfil exterior inferior – PR3_BEAM2

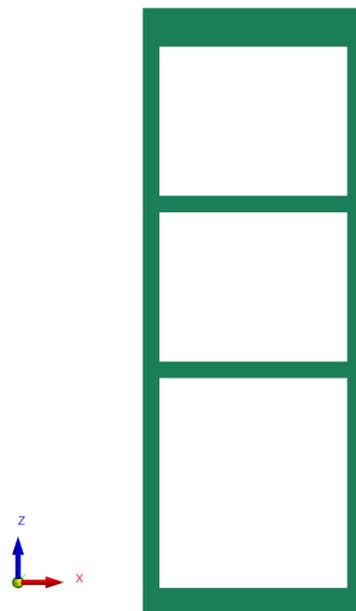


Ilustración 53. Perfil inferior exterior (PR3_BEAM2)



Perfil exterior módulo inferior – PR3_BEAM3



Ilustración 54. Perfil exterior módulo inferior (PR3_BEAM3)

- Estructura interior

Perfil interno módulos baterías – PR6_BEAM1 – PR6_BEAMB4

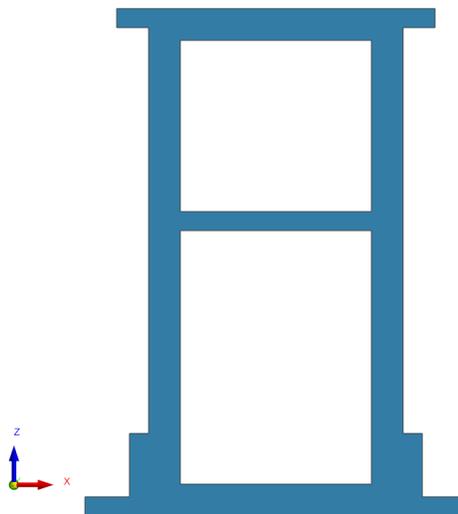


Ilustración 55. Perfil interior módulo baterías (PR6_BEAM1)



Perfil interno transversal – PR5_BEAM2

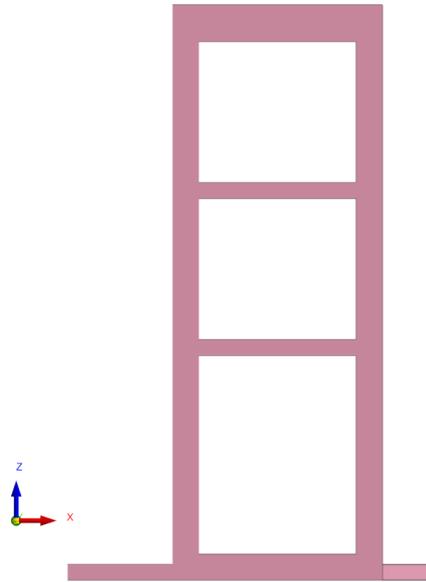


Ilustración 56. Perfil interior transversal (PR5_BEAM1)

Perfil interno longitudinal – PR5_BEAM1

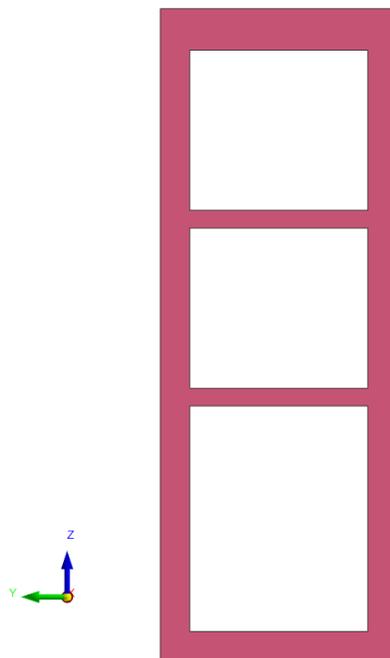


Ilustración 57. Perfil interior longitudinal (PR5_BEAM2)



3.6. Propuesta final, nomenclatura de componentes y procesos

Tras las decisiones tomadas anteriormente y tras varias iteraciones de mejora frente a una serie de problemas del diseño imprevistos y correcciones en la colocación de los componentes, así como de soldaduras se ha concluido el proyecto con el siguiente diseño:

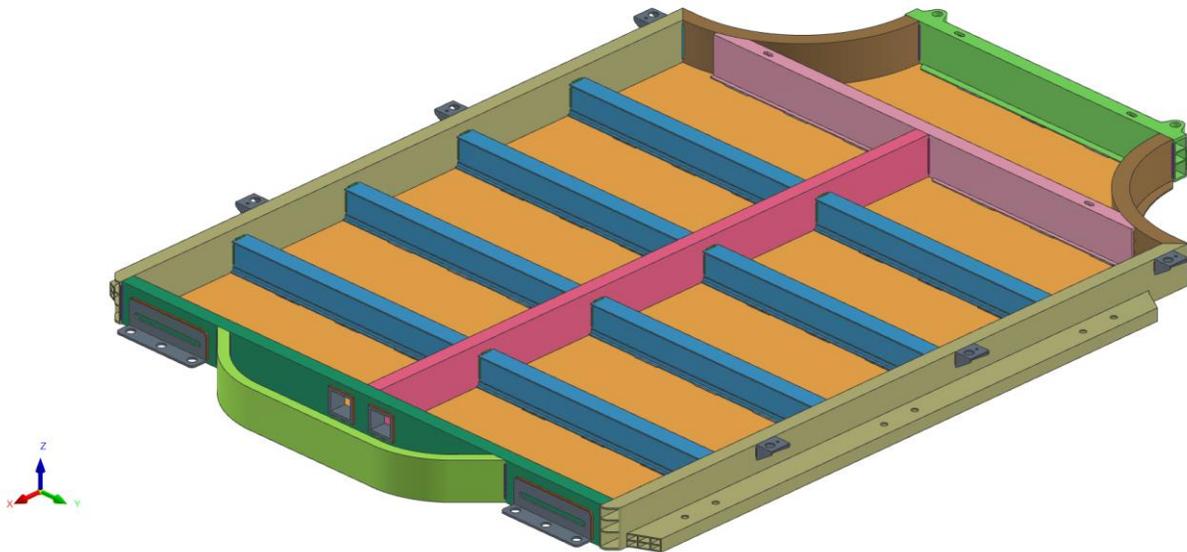


Ilustración 58. Diseño caja de baterías completo

Para realizar el proceso de soldadura de una forma ordenada y organizada se ha dividido los componentes por los diferentes procesos llevados a cabo. En total el modelo está conformado por 28 componentes (piezas a unir) y 201 cordones de soldadura, soldados en un total de 7 etapas o procesos diferentes. A su vez, se puede considerar dividir las soldaduras de la última etapa en 2 partes diferentes, las de la parte superior e inferior.

Todas las nomenclaturas de los componentes, así como los colores definidos para la presentación de estos se presentan a continuación a través de los diferentes procesos llevados a cabo. Como se podrá observar a lo largo de la descripción que viene a continuación se ha seguido una nomenclatura de los componentes en función del proceso o etapa en el que se encuentra. De esta manera todos los componentes del proceso 1 serán denominados como *PR1_nombrecomponente* y todos los cordones de soldadura serán denominados como *PR1 nombrecordón_WIRE*

- Proceso 1

Se lleva a cabo las soldaduras de unión de dos perfiles laterales, los de la parte izquierda en función de la imagen general de la modelo presentada anteriormente. Los componentes y soldaduras que entran en juego en este proceso son:



Proceso 1	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil exterior lateral izquierdo	<i>PR1_BEAM2</i>
Perfil exterior curvo izquierdo	<i>PR1_BEAM1</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR1_BEAM1 – PR1_BEAM2	<i>PR1A1_WIRE</i>
	<i>PR1A2_WIRE</i>
	<i>PR1A3_WIRE</i>

Tabla 8. Componentes y cordones Proceso 1

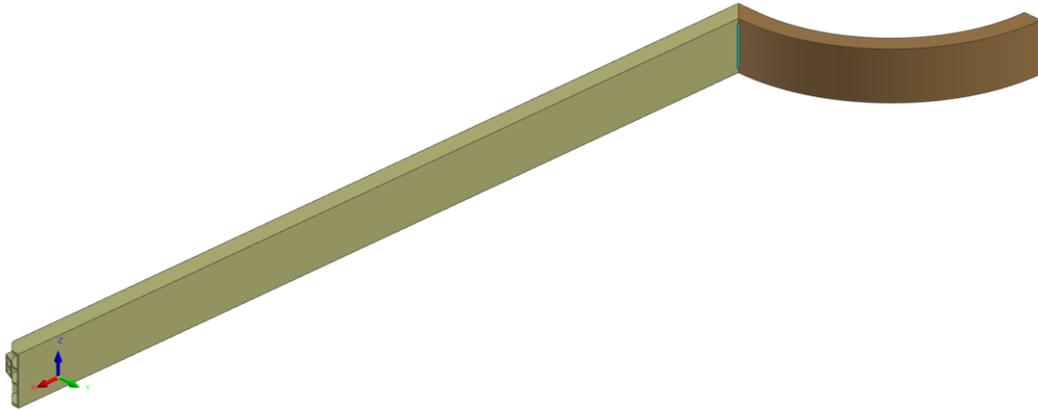


Ilustración 59. Proceso de soldadura 1

- Proceso 2
Se lleva a cabo las soldaduras de unión de dos perfiles laterales, los de la parte derecha en función de la imagen general de la modelo presentada anteriormente

Proceso 2	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil exterior lateral derecho	<i>PR2_BEAM2</i>
Perfil exterior curvo derecho	<i>PR2_BEAM1</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR2_BEAM1 – PR2_BEAM2	<i>PR2A1_WIRE</i>
	<i>PR2A2_WIRE</i>
	<i>PR2A3_WIRE</i>

Tabla 9. Componentes y cordones Proceso 2

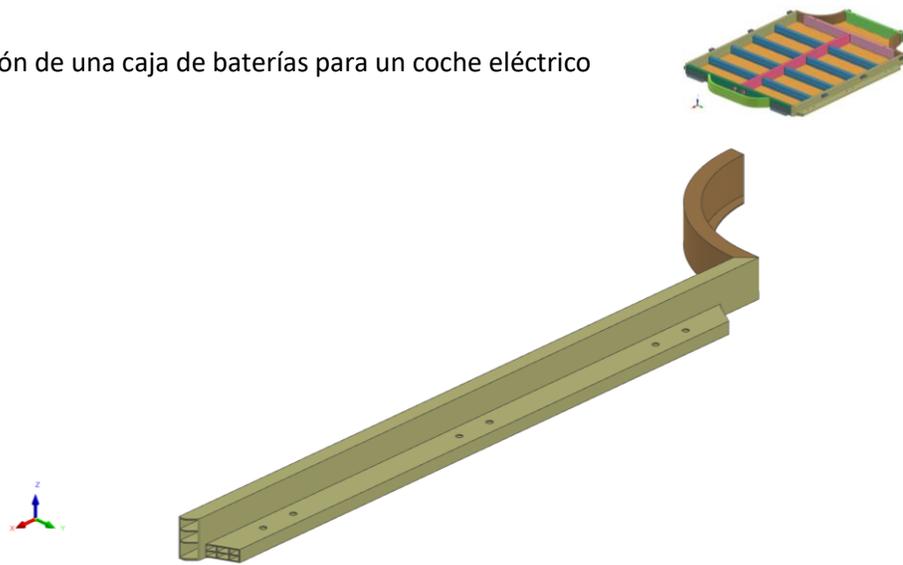


Ilustración 60. Proceso de soldadura 2

- Proceso 3

Proceso 3	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil exterior superior	<i>PR3_BEAM1</i>
Perfil exterior inferior	<i>PR3_BEAM2</i>
Perfil exterior módulo inferior	<i>PR3_BEAM3</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR1_BEAM1-PR3_BEAM1	<i>PR3B1_WIRE</i>
	<i>PR3B2_WIRE</i>
	<i>PR3B3_WIRE</i>
	<i>PR3B4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles PR2_BEAM1-PR3_BEAM1	<i>PR3BB1_WIRE</i>
	<i>PR3BB2_WIRE</i>
	<i>PR3BB3_WIRE</i>
	<i>PR3BB4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR1_BEAM2-PR3_BEAM2	<i>PR3C1_WIRE</i>
	<i>PR3C2_WIRE</i>
	<i>PR3C3_WIRE</i>
	<i>PR3C4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR2_BEAM2-PR3_BEAM2	<i>PR3CC1_WIRE</i>
	<i>PR3CC2_WIRE</i>
	<i>PR3CC3_WIRE</i>
	<i>PR3CC4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR3_BEAM3	<i>PR3D1_WIRE</i>
	<i>PR3D2_WIRE</i>
	<i>PR3D3_WIRE</i>
	<i>PR3D4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR3_BEAM3	<i>PR3DD1_WIRE</i>
	<i>PR3DD2_WIRE</i>
	<i>PR3DD3_WIRE</i>
	<i>PR3DD4_WIRE</i>

Tabla 10. Componentes y cordones Proceso 3

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico

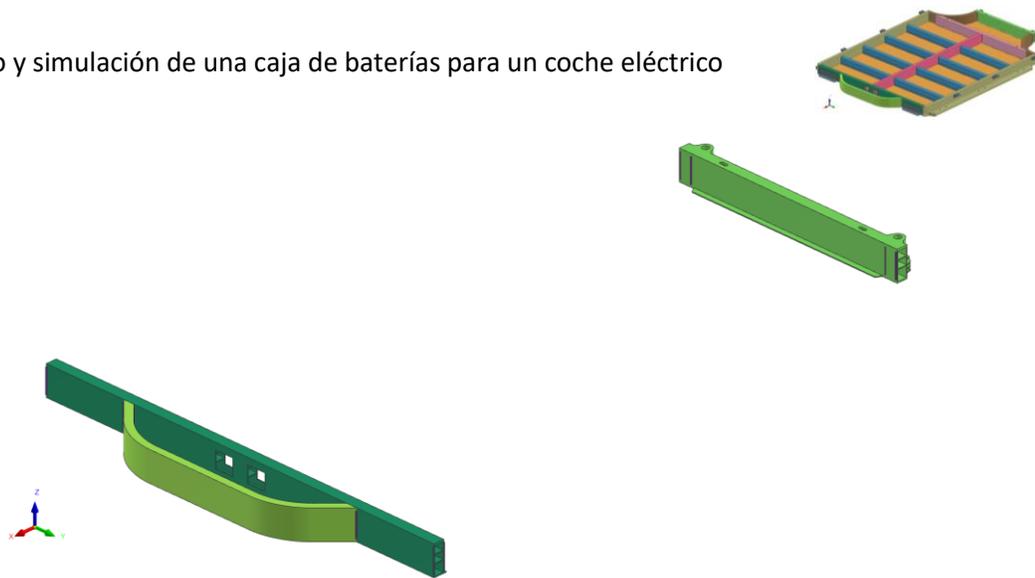


Ilustración 61. Componentes proceso de soldadura 3

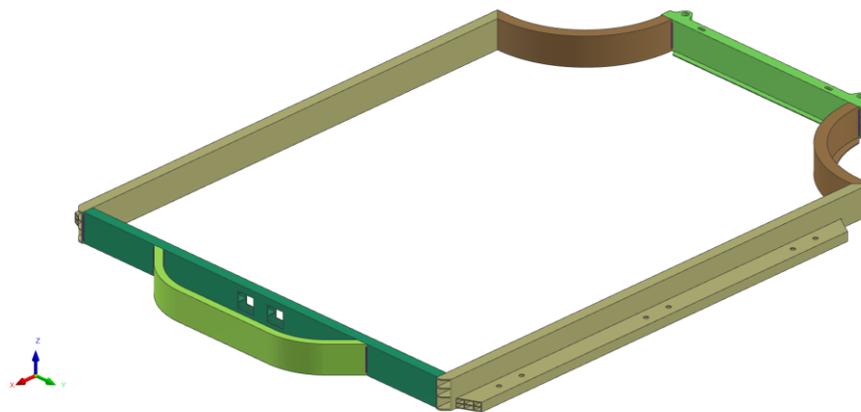


Ilustración 62. Proceso de soldadura 3

- Proceso 4

Proceso 4	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Pines	PR4_PIN1
	PR4_PINP1
	PR4_PIN2
	PR4_PINP2
	PR4_PIN3
	PR4_PINP3
Plates	PR4_PLATE1
	PR4_PLATE2
Conectores	PR4_CONNECTOR1
	PR4_CONNECTORC1
Cordón de soldadura unión perfiles PR1_BEAM2-PR4_PIN1	PR4E1_WIRE
	PR4E2_WIRE



	PR4E3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR2_BEAM2-PR4_PINP1	PR4EE1_WIRE
	PR4EE2_WIRE
	PR4EE3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR1_BEAM2-PR4_PIN2	PR4F1_WIRE
	PR4F2_WIRE
	PR4F3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR2_BEAM2-PR4_PINP2	PR4FF1_WIRE
	PR4FF2_WIRE
	PR4FF3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR1_BEAM2-PR4_PIN3	PR4G1_WIRE
	PR4G2_WIRE
	PR4G3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR2_BEAM2-PR4_PINP3	PR4GG1_WIRE
	PR4GG2_WIRE
	PR4GG3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR4_PLATE1	PR4H1_WIRE
	PR4H2_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR4_PLATE2	PR4HH1_WIRE
	PR4HH2_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR4_CONNECTOR1	PR4I1_WIRE
	PR4I2_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR3_BEAM2-PR4_CONNECTORC1	PR4II1_WIRE
	PR4II2_WIRE

Tabla 11. Componentes y cordones Proceso 4

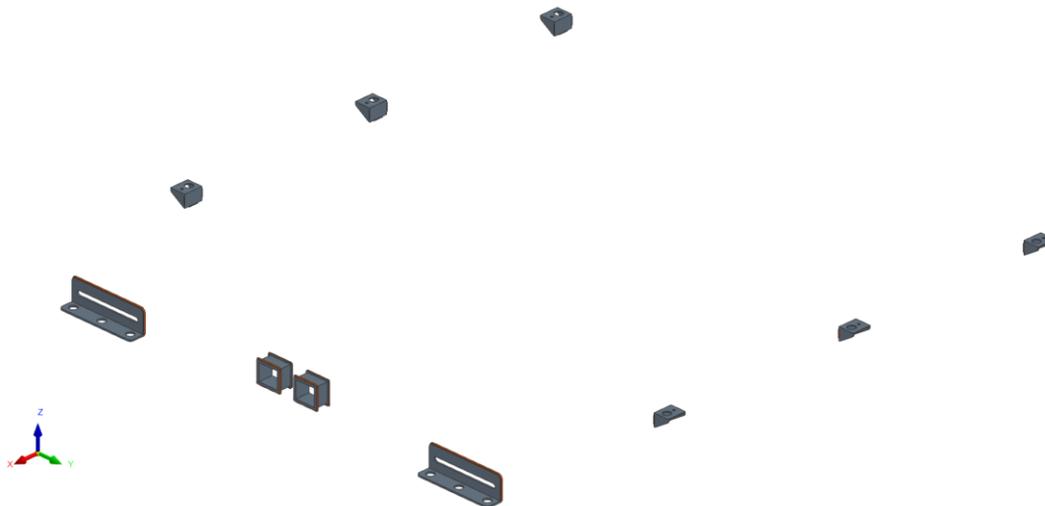


Ilustración 63. Componentes proceso de soldadura 4

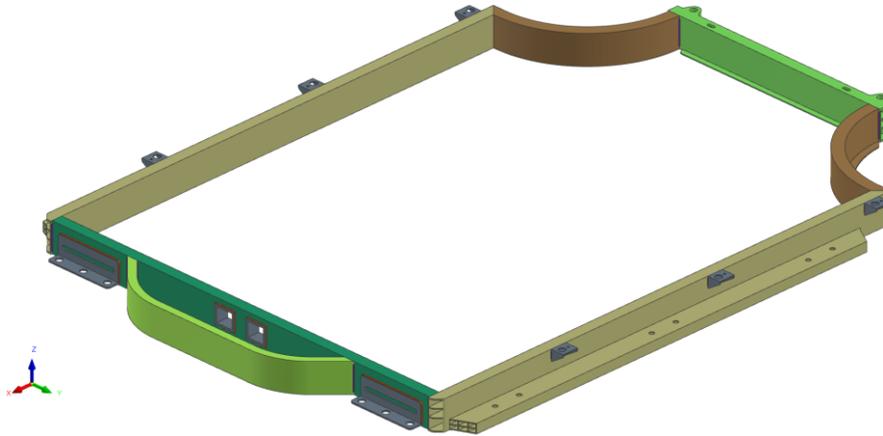


Ilustración 64. Proceso de soldadura 4

- Proceso 5

Proceso 5	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil interior transversal	<i>PR5_BEAM1</i>
Perfil interior longitudinal	<i>PR5_BEAM2</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR5_BEAM1-PR5_BEAM2	<i>PR5J1_WIRE</i>
	<i>PR5J2_WIRE</i>
	<i>PR5J3_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR5_BEAM1-PR1_BEAM1	<i>PR5K1_WIRE</i>
	<i>PR5K2_WIRE</i>
	<i>PR5K3_WIRE</i>
	<i>PR5K4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR5_BEAM1-PR2_BEAM1	<i>PR5KK1_WIRE</i>
	<i>PR5KK2_WIRE</i>
	<i>PR5KK3_WIRE</i>
	<i>PR5KK4_WIRE</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR5_BEAM2-PR3_BEAM2	<i>PR5L1_WIRE</i>
	<i>PR5L2_WIRE</i>
	<i>PR5L3_WIRE</i>
	<i>PR5L4_WIRE</i>

Tabla 12. Componentes y cordones Proceso 5

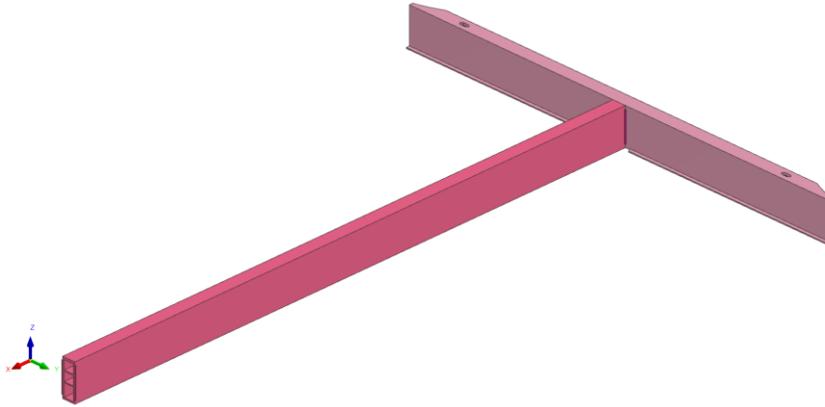


Ilustración 65. Componentes proceso de soldadura 5

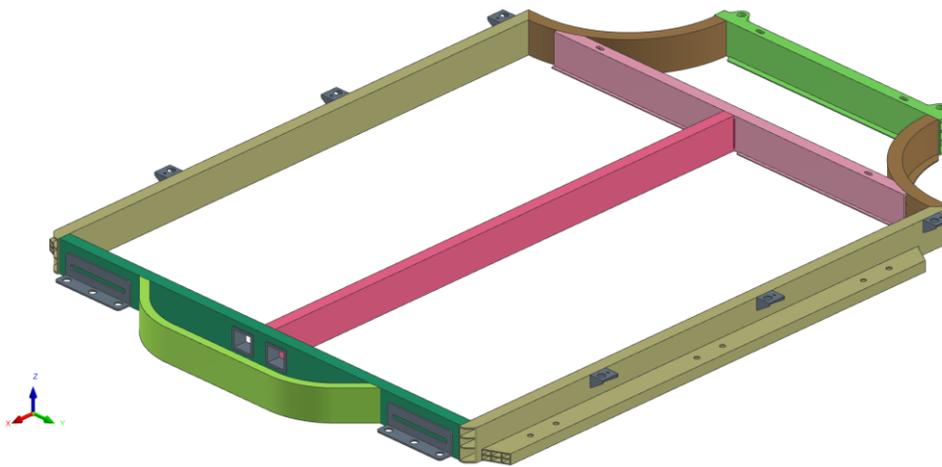


Ilustración 66. Proceso de soldadura 5

- Proceso 6

Proceso 6	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil interior módulo	PR6_BEAM1
	PR6_BEAMB1
	PR6_BEAM2
	PR6_BEAMB2
	PR6_BEAM3
	PR6_BEAMB3
	PR6_BEAM4
	PR6_BEAMB4
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM1-PR1_BEAM2	PR6M1_WIRE
	PR6M2_WIRE
	PR6M3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles:	PR6MM1_WIRE



PR6_BEAM1-PR5_BEAM2	PR6MM2_WIRE
	PR6MM3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB1-PR5_BEAM2	PR6N1_WIRE
	PR6N2_WIRE
	PR6N3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB1-PR2_BEAM2	PR6NN1_WIRE
	PR6NN2_WIRE
	PR6NN3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM2-PR1_BEAM2	PR6O1_WIRE
	PR6O2_WIRE
	PR6O3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM2-PR5_BEAM2	PR6OO1_WIRE
	PR6OO2_WIRE
	PR6OO3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB2-PR5_BEAM2	PR6P1_WIRE
	PR6P2_WIRE
	PR6P3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB2-PR2_BEAM2	PR6PP1_WIRE
	PR6PP2_WIRE
	PR6PP3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM3-PR1_BEAM2	PR6Q1_WIRE
	PR6Q2_WIRE
	PR6Q3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM3-PR5_BEAM2	PR6QQ1_WIRE
	PR6QQ2_WIRE
	PR6QQ3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB3-PR5_BEAM2	PR6R1_WIRE
	PR6R2_WIRE
	PR6R3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB3-PR2_BEAM2	PR6RR1_WIRE
	PR6RR2_WIRE
	PR6RR3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM4-PR1_BEAM2	PR6S1_WIRE
	PR6S2_WIRE
	PR6S3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAM4-PR5_BEAM2	PR6SS1_WIRE
	PR6SS2_WIRE
	PR6SS3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB4-PR5_BEAM2	PR6T1_WIRE
	PR6T2_WIRE
	PR6T3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR6_BEAMB4-PR2_BEAM2	PR6TT1_WIRE
	PR6TT2_WIRE
	PR6TT3_WIRE

Tabla 13. Componentes y cordones Proceso 6

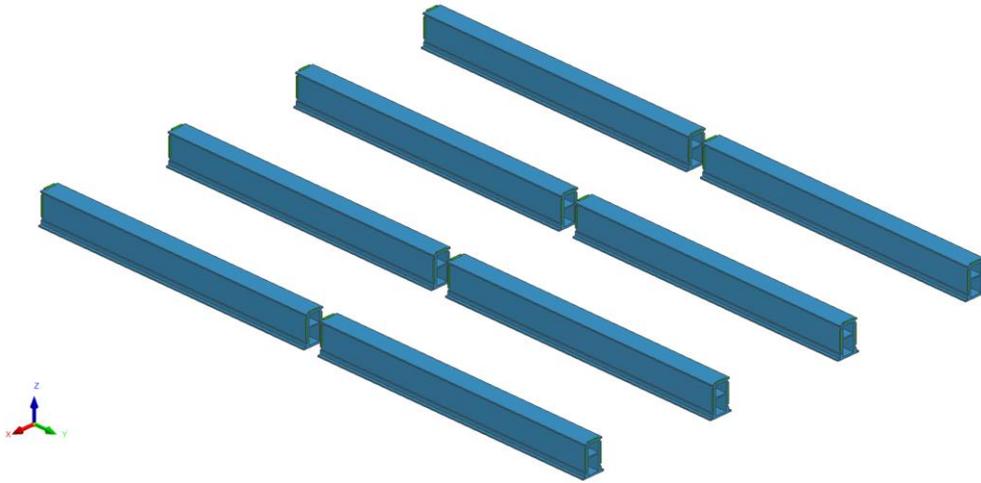


Ilustración 67. Componentes proceso de soldadura 6

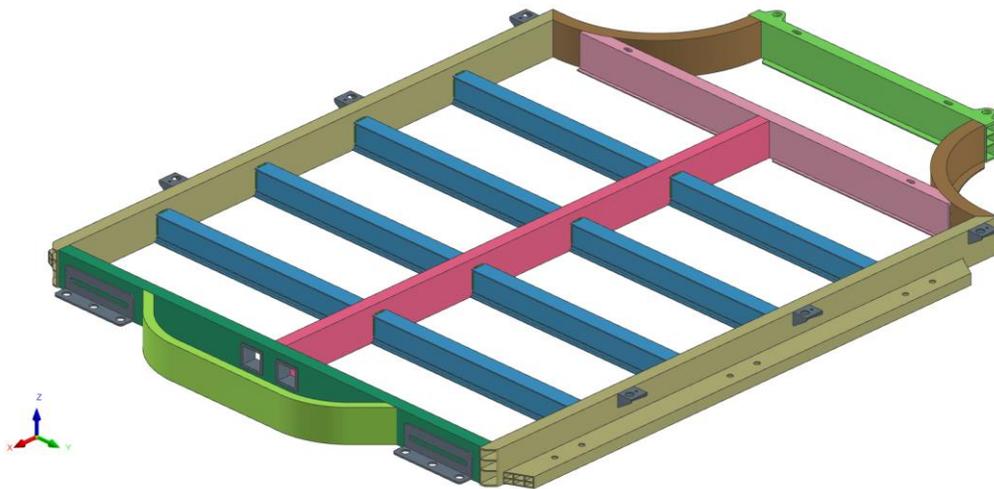


Ilustración 68. Proceso de soldadura 6



- Proceso 7 - Parte 1

Proceso 7 – Parte 1	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Cover	PR7_COVER
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR3_BEAM2	PR7W1_WIRE
	PR7W2_WIRE
	PR7W3_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR3_BEAM2	PR7W4_WIRE
	PR7W5_WIRE
	PR7W6_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM1	PR7W7_WIRE
	PR7W8_WIRE
	PR7W9_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB1	PR7W10_WIRE
	PR7W11_WIRE
	PR7W12_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM1	PR7W13_WIRE
	PR7W14_WIRE
	PR7W15_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB1	PR7W16_WIRE
	PR7W17_WIRE
	PR7W18_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM2	PR7W19_WIRE
	PR7W20_WIRE
	PR7W21_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB2	PR7W22_WIRE
	PR7W23_WIRE
	PR7W24_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM2	PR7W25_WIRE
	PR7W26_WIRE
	PR7W27_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB2	PR7W28_WIRE
	PR7W29_WIRE
	PR7W30_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM3	PR7W31_WIRE
	PR7W32_WIRE
	PR7W33_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB3	PR7W34_WIRE
	PR7W35_WIRE
	PR7W36_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM3	PR7W37_WIRE
	PR7W38_WIRE
	PR7W39_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB3	PR7W40_WIRE
	PR7W41_WIRE



	PR7W42_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM4	PR7W43_WIRE
	PR7W44_WIRE
	PR7W45_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB4	PR7W46_WIRE
	PR7W47_WIRE
	PR7W48_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAM4	PR7W49_WIRE
	PR7W50_WIRE
	PR7W51_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR6_BEAMB4	PR7W52_WIRE
	PR7W53_WIRE
	PR7W54_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR5_BEAM1	PR7W55_WIRE
	PR7W56_WIRE
	PR7W57_WIRE
	PR7W58_WIRE
	PR7W59_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR5_BEAM1	PR7W60_WIRE
	PR7W61_WIRE
	PR7W62_WIRE
	PR7W63_WIRE
	PR7W64_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR3_BEAM1	PR7W65_WIRE
	PR7W66_WIRE
	PR7W67_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR3_BEAM2	PR7W68_WIRE
	PR7W69_WIRE
	PR7W70_WIRE
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-PR3_BEAM3	PR7W71_WIRE
	PR7W72_WIRE
	PR7W73_WIRE
	PR7W74_WIRE

Tabla 14. Componentes y cordones Proceso 7-Parte 1

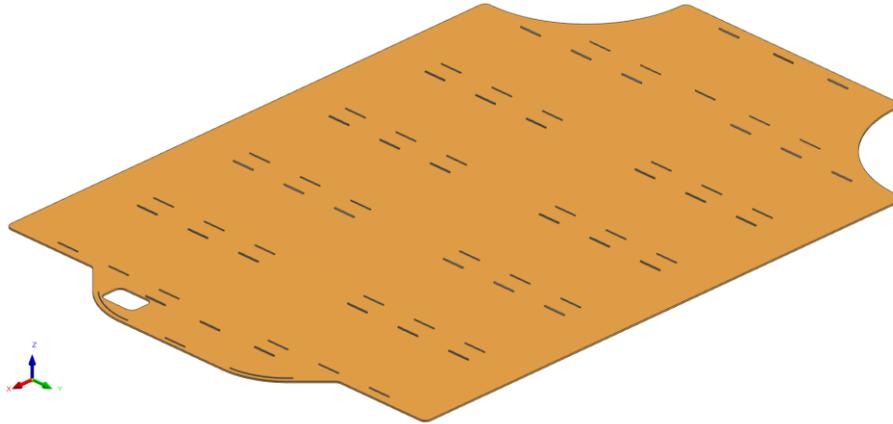


Ilustración 69. Componentes proceso de soldadura 7. Parte1

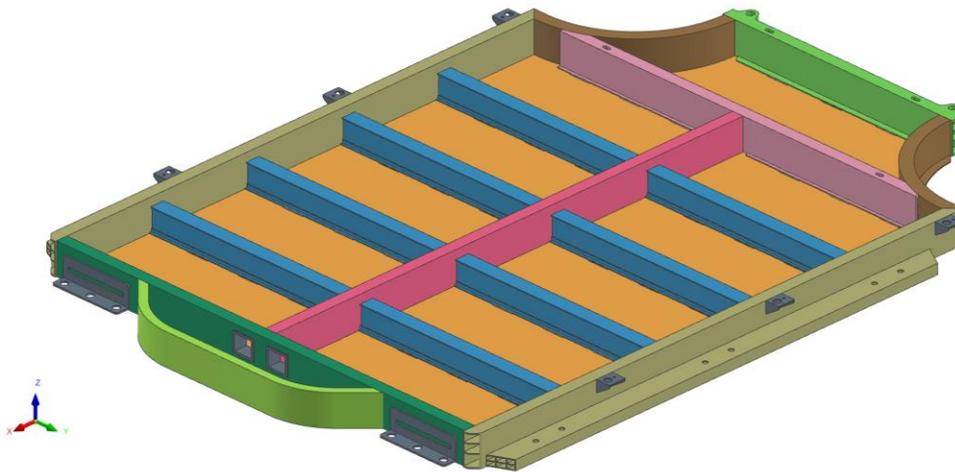


Ilustración 70. Proceso de soldadura 7. Parte1

- Proceso 7 - Parte 2

Proceso 7 – Parte 2	
Componente/Cordón de soldadura	Nomenclatura en modelo
Perfil exterior lateral izquierdo	<i>PR7_COVER</i>
Cordón de soldadura unión perfiles: PR7_COVER-Perfiles exteriores	<i>PR7WW1_WIRE</i>
	<i>PR7WW2_WIRE</i>
	<i>PR7WW3_WIRE</i>
	<i>PR7WW4_WIRE</i>
	<i>PR7WW5_WIRE</i>
	<i>PR7WW6_WIRE</i>
	<i>PR7WW7_WIRE</i>
	<i>PR7WW8_WIRE</i>
	<i>PR7WW9_WIRE</i>

Tabla 15. Componentes y cordones Proceso 7-Parte 2

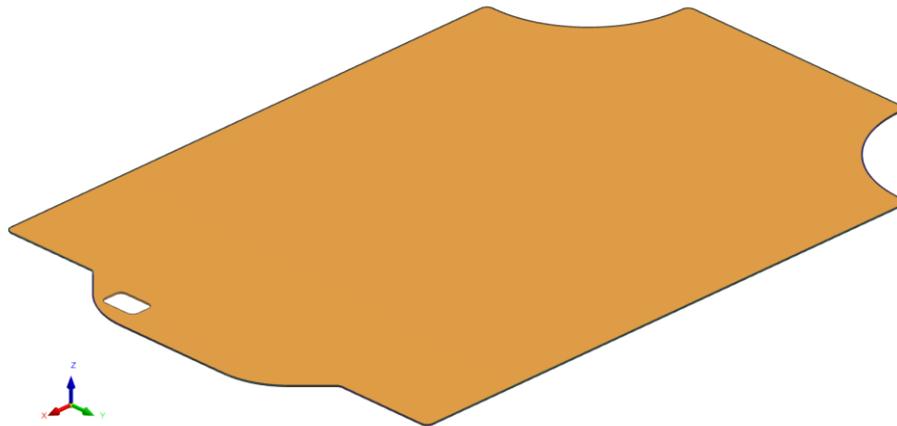


Ilustración 71. Componentes proceso de soldadura 7. Parte2

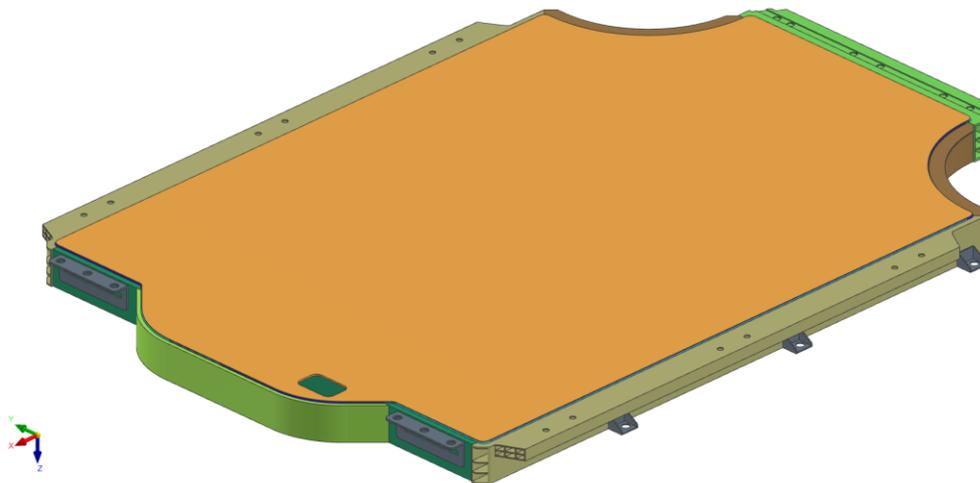


Ilustración 72. Proceso de soldadura 7. Parte2

3.6.1. Simplificaciones

En el proceso de modelado y análisis de estructuras y componentes mediante el Método de Elementos Finitos, la simplificación de pequeñas geometrías y detalles no estructurales puede ser una estrategia muy beneficiosa. Este se debe a que la creación de una malla de elementos más simple puede mejorar la eficiencia computacional y facilitar el análisis preciso. A continuación, se presentan 3 posibles enfoques comunes en la simplificación de este tipo de geometrías: pequeñas superficies, agujeros no estructurales y radios de acuerdo.



- Eliminación de superficies de pequeño tamaño.
Si la geometría presenta detalles que no afectan significativamente la respuesta estructural, se pueden eliminar o suavizar estas características previo al comienzo del estudio FEM. Esto permitirá reducir el número de elementos requeridos para representar la geometría, simplificando así la malla de elementos.
- Eliminación de agujeros no estructurales.
Si los agujeros son lo suficientemente pequeño que no tengan un impacto importante en la respuesta de la estructura, pueden ser omitidos. Esto implica cerrar los agujeros de la geometría y corregirá la necesidad de tener elementos finos alrededor de esos agujeros, mejorando la calidad de los elementos empleados.
- Eliminación de los radios de acuerdo.
En geometrías industriales los radios de acuerdo o radios de pequeño tamaño no influyen de manera significativa en el comportamiento estructural. Es posible simplificar el modelo suavizando o eliminando esos radios. La eliminación de estos radios también permitirá tener elementos de mayor tamaño en esas regiones sin comprometer la precisión del análisis. Esto simplifica la malla al evitar la necesidad de refinar la malla para capturar esos pequeños detalles.

La simplificación de estos elementos que pueden surgir perfectamente a la hora de realizar diseños de componentes industriales mejorará la eficiencia en la creación de mallas de elementos y, al mismo tiempo, conservar la precisión del análisis a realizar. Al identificar estas características geométricas que no afectan sustancialmente en la respuesta estructural del conjunto, es posible lograr resultados confiables mientras se reduce la complejidad no solo de los elementos de la malla, sino el proceso de creación de estos elementos.

4. Simulación FEM

El método de los elementos finitos, MEF (o FEM en inglés), es un método numérico basado en técnicas computacionales usado para el análisis de diferentes estructuras o sistemas continuos. Este método realiza aproximaciones a la solución mediante ecuaciones diferenciales. Al ser un método numérico versátil es ampliamente aplicado para resolver problemas de casi todo el espectro ingenieril, siendo sus principales campos: mecánica de sólidos, la transferencia de calor, la dinámica de fluidos, el transporte de masas, etc.

El MEF está pensado para realizarse sobre computadoras, por lo que, los avances en el hardware han facilitado, mejorado y aumentado la eficiencia del software de elementos finitos para la resolución de sistemas complejos sobre ordenadores personales. De esta manera se ha convertido en una herramienta muy poderosa en la ayuda al ingeniero. Entre otras cosas, facilita:

- La realización del propio cálculo.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Toma de decisiones que se deben realizar una vez revisados los resultados.

Este tipo de herramientas sirven sobre todo para geometrías o análisis de geometrías complejas o en situaciones de cargas que resultaría difícil de resolver de forma analítica.

La estrategia de resolución de estos problemas que se presentan al software es bien clara. Se parte de una geometría, ya sea sencilla o compleja, considerada como un sólido continuo sometida a diferentes cargas o procesos y restringida por diferentes puntos en una o más direcciones. A partir de ese sólido continuo, la raíz del método consiste en realizar pequeñas subdivisiones, dividiendo el sólido en pequeñas partes (elementos) conectados entre sí a través de los nodos de esos elementos. A este método de dividir el sólido continuo en pequeñas partes a través de elementos se le llama discretización. De esta manera, se supone que el desplazamiento que sufre cada elemento puede calcularse a través de los desplazamientos de los nodos que componen dichos elementos (desplazamiento nodal). Para ello, se determina la matriz de rigidez de cada elemento, a través de las diferentes propiedades que se asocian a estos, que permitirán la obtención de los desplazamientos en los nodos de cada elemento.

En la actualidad, existen numerosos softwares comerciales son capaces de realizar este tipo de análisis. En este caso, se ha optado por emplear el software CATIA para realizar la geometría, los sólidos continuos, y el software empleado en ESI Group para las aproximaciones de soldadura, SYSWELD. Dentro de SYSWELD la interfaz gráfica llamada VisualEnvironment ofrece una solución completa para realizar este tipo de análisis:

- Preprocesado.
Dentro de la interfaz de usuario de preprocesado, llamada VisualMesh, se tendrá la posibilidad de generar la geometría tipo CAD de sólido continuo de geometrías complejas. Tras la generación del CAD se podrá discretizar las diferentes piezas en las pequeñas porciones denominados elementos. En función de la magnitud del cálculo que se quiera realizar o el tipo de cálculo que se vaya a realizar se deben seguir diferentes estrategias de generación de elementos capaz de generar la geometría de sólido continuo, como capaz de discretizarla.



- **Procesado.**
Dentro del Entorno de Visual existen diferentes módulos donde se podrán realizar las operaciones propias del procesamiento, en concreto se utilizarán dos módulos: VisualWeld y VisualAssembly. En estos módulos se asignarán las diferentes propiedades para definir los diferentes componentes, las propiedades para la correcta realización del proceso objetivo, la soldadura y las variables de entorno de los diferentes componentes: temperatura ambiente, restricciones de movimiento o de rotación sobre regiones concretas. Por último, una vez todas las variables estén definidas se definirán los diferentes parámetros del solver, el encargado de resolver el cálculo.
- **Post-procesado.**
A través de la interfaz de post-procesado, VisualViewer, se podrá visualizar los diferentes resultados relacionados con la simulación que se vaya a realizar. Entre los objetivos de este trabajo se visualizarán y mostrarán los resultados: térmicos, microestructurales, mecánicos y tensionales.

A partir de esta pequeña introducción sobre el Método de los elementos finitos se ahondará en las 3 diferentes etapas:

4.1. Preprocesado

Es la primera fase que se debe realizar. Aunque las tres partes deben ser definidas de manera concienzuda, en esta se debe tener especial cuidado, ya que se debe definir no solo la geometría a analizar, sino la forma de los elementos que compondrán los diferentes componentes, tarea que puede resultar compleja en geometrías no regulares.

En primer lugar, se deben definir las geometrías y superficies continuas. Este paso también requiere de ciertas pautas. Se deben tener en cuenta los diferentes requisitos geométricos que se han especificado previamente en el apartado 3. *Diseño*. Una vez el diseño está completamente definido, se realizará una serie de simplificaciones en las superficies originales que facilitarán el proceso de realización de los elementos.

La malla está conformada por un número determinado de elementos. Los elementos son entidades finitas, por lo que, a través de esta discretización del medio continuo, en el que se tienen infinitos puntos y grados de libertad, se pasa a uno con un número finito de puntos y de grados de libertad. Gracias a la discretización, se consigue que las ecuaciones diferenciales que se deben resolver se reduzcan.

4.1.1. Elementos y nodos.

Los elementos representan una pequeña porción del volumen total. Estos elementos se comportan como un volumen de control independiente que se va a ver afectado por la interacción con sus elementos vecinos o adyacentes por las condiciones de frontera. Los nodos son puntos con unas coordenadas concretas en el espacio que sirven de referencia para realizar cálculos de temperatura, tensiones, desplazamientos puntuales. Normalmente, los nodos se encuentran en las aristas de los elementos y



serven como punto de conexión entre dos o más elementos. A través de los nodos y con las ecuaciones de interpolación se expanden los resultados a lo largo de los elementos formando un campo continuo.

Como cabe esperar, existen una gran variedad de geometrías para conformar los elementos. Se debe utilizar una u otra forma geométrica en función de diferentes factores, como el tipo de análisis que se quiera realizar, estabilidad de los elementos empleados o el tipo de solver del que se disponga.

Es necesario tener ciertos conocimientos de mallado, así como disponer de cierta experiencia con el software a emplear para generar de la manera más eficaz posible la malla y para que el posterior cálculo se realice de la mejor manera posible. En función del tipo de geometría de elemento que se emplee sobre los componentes se procederá a través de diferentes procedimientos, teniendo en cuenta diferentes criterios y parámetros en cada caso.

Además de la geometría del elemento a emplear se debe tener en consideración, en función de la geometría será posible preparar mallados con elementos 1D, 2D o 3D:

- Elementos 1D

Se emplean elementos 1D en geometrías compuestas por barras, ejes, pasadores o uniones similares de gran tamaño. Otro de los escenarios propicios para el uso de estos elementos es cuando una de las dimensiones es razonablemente menor que las otras dos. Posteriormente será necesario definir las dimensiones restantes.

Si se centra en el uso que le va a dar en las simulaciones a realizar a través de Sysweld, estos elementos servirán de apoyo para la preparación del SetUp del modelo, más concretamente para la definición de la trayectoria de las fuentes de calor

- Elementos 2D

En este caso dos de las dimensiones del conjunto de piezas es mayor al del otro eje. Este tipo de elementos es ampliamente utilizado en el análisis de placas o chapas o láminas con espesores longitudinales pequeños o en geometrías sencillas. Con geometrías de estas características, es relativamente sencillo, en función de la complejidad geométrica, de obtener o extraer la superficie media. La superficie media divide el espesor de la geometría en dos mitades, siendo más sencillo la extracción de la superficie media cuando las superficies inferior y superior son regulares y paralelas. Una vez obtenida la superficie media únicamente se deberá mallar dicha superficie para continuar con la preparación del cálculo.

Junto con los elementos 2D se deben tener en consideración diferentes factores

- Geometría

Dentro de las diferentes geometrías diferentes para definir un elemento en 2D se encuentran dos variantes principales, los elementos triangulares y los cuadrangulares, o mejor conocidos como elementos Tria o elementos Quad.

Los elementos tipo Tria suponen la entidad más sencilla posible de generar en análisis tipo 2D. Son los elementos más estables que se pueden realizar, aunque no ofrecen la mayor precisión. Con este tipo de elementos se pueden mallar geometrías más complejas que con una malla tipo Quad sería infinitamente más difícil de configurar. A pesar de su versatilidad, se pueden generar elementos más irregulares haciendo que la distancia entre nodos sea irregular y que la calidad general de los elementos sea peor si no se realizan las comprobaciones necesarias



Por otro lado, con los elementos tipo Quad se tiene la posibilidad mejorar los resultados obtenidos en comparación con los de tipo Tria. Suponen una entidad algo más compleja e inestable que los anteriores, pero formarán mallas más regulares.

Por otro lado, se puede configurar una malla tipo lineal o cuadrática. La malla lineal, por ejemplo, en un elemento tipo Quad estará compuesta por 4 nodos, uno por vértice, mientras que una malla cuadrática para el mismo tipo de elementos lo formarán 8 nodos, uno por cada vértice más otro cuatro en las aristas colocados de forma equidistantes a los vértices. De igual manera, ocurrirá con los elementos Tria con 3 y 6 nodos. Con las mallas cuadráticas se aumentan los puntos de integración de los elementos, esto servirá para tener cálculos con mayor precisión y más estables, aunque los tiempos de procesamiento aumentarán ya que se aumentarán considerablemente el número de nodos del conjunto completo.

- Calidad

Otro factor importante para estos elementos son los parámetros de calidad. Antes de continuar con la preparación del resto de propiedades se deben establecer ciertos criterios mínimos para la calidad de los elementos creados. Con esto, se podrá comprobar si los elementos no cumplen esos criterios y se deben volver a generar, haciendo un remallado sobre esas zonas. De nuevo, en función de los elementos empleados, se comprobarán unos u otros criterios. Cuando se realice la malla de los diferentes modelos en el apartado 4.5.1.3. *Comprobación calidad de los elementos* se especificarán las características comprobadas, aunque se puede mencionar que los criterios principales son: tamaño mínimo y máximo de los elementos, relación de aspecto, ángulo interno máximo y mínimo para elementos tipo Quad como para elementos tipo Tria, jacobiana mínima o el grado de torcedura que sufre cada elemento.

Además, del método explicado para el método de uso de elementos 2D sobre Sysweld este tipo de elementos servirán, igual que en el caso de los elementos 1D, de apoyo. En este caso, los elementos 2D servirán para definir la piel de los diferentes componentes e indicar la condición de temperatura de contorno sobre ellos.

- Elementos 3D

Los elementos 3D en una malla son componentes esenciales para modelar y analizar estructuras tridimensionales con mayor precisión. Estos elementos representan las propiedades mecánicas y geométricas de la estructura y permiten simular su comportamiento bajo diferentes condiciones. Los elementos 3D son más realistas para representar geometrías tridimensionales complejas. Este es un aspecto importante cuando se trata de características que no pueden aproximarse con elementos 2D. A pesar de ello, estos elementos tendrán una mayor carga computacional debido a su complejidad tridimensional. Por lo que, un análisis con estos elementos requerirá de tiempos de cálculo y de memoria mayores.

A diferencia de los elementos 2D que solamente son capaces de representar superficies, estos elementos tienen un volumen de control en el espacio tridimensional. Esto permite modelar los objetos sólidos y considerar efectos de volumen, como la transferencia de calor, deformaciones volumétricas y tensiones internas. Además, este tipo de elementos son esenciales cuando se consideran interacciones complejas como el contacto entre superficies, las deformaciones volumétricas o efectos tridimensionales como el estrés o la transferencia de calor.



Al igual que en el caso anterior existen diferentes tipos de elementos 3D que se pueden generar. Los elementos tetraédricos dividen el espacio en formas piramidales con cuatro vértices, teniendo la posibilidad de ensamblar una elemento lineal o cuadrático, que son más precisos y eficientes en la captura de comportamientos complejos. Por otro lado, los elementos hexaédricos subdividen el espacio en celdas de ocho vértices, presentando mayor estabilidad y precisión en comparación con los tetraédricos. También existe la versión cuadrática de los elementos hexaédricos, que mejoran la precisión de la solución.

La elección del tipo de elemento depende de la geometría y el comportamiento específico que se desea simular, ya sean deformaciones, tensiones, transferencia de calor u otras características del sistema tridimensional.

Examples of various types of elements

	Element Name	Element Shape	
		First Order	Second Order
1D Elements Line Element	Spring, Damper Beam, Truss		
2D Elements Surface Element	Shell, Plane2D		
3D Elements Volume element	Hexahedral		
	Tetrahedral		

Ilustración 73. Esquema tipo de elementos 1D, 2D y 3D

4.2. Procesado

Una vez definidos el tipo de simulación con la geometría de los elementos como su configuración se procederá a realizar el procesado definiendo todas las características y variables de entorno del cálculo que se pretende realizar. A continuación, se definen las características a definir:

1. Definición de las propiedades de los elementos.

Un conjunto de elementos formará lo que se denomina una parte (Part), dentro de esas partes se puede diferenciar entre Componente (pieza del diseño) o uniones (Cordón de soldadura que unirá los componentes).

Antes de lanzar una simulación se debe conocer y designar una serie de características a cada Parte. Un grupo de estas propiedades viene determinado por los materiales, gracias a asignar un material a



cada Parte se determinarán parámetros como: densidad, coeficiente de expansión térmica o cuando se deben dar las transformaciones microestructurales al alcanzar ciertas temperaturas. Estas propiedades se podrán observar con mayor detalle en el apartado 4.4.5. *Propiedades materiales en Sysweld*, donde se verá el formato de los materiales en el entorno de VisualEnvironment en Sysweld.

A parte de la definición del material también se deben definir, si las hubiera, otras condiciones o fuerzas externas concentradas, uniformes o distribuidas como pueden ser:

- Clampado.
El clampado son restricciones de movimiento que se pueden añadir de forma física o definir sobre un conjunto de nodos determinado. De esta manera se delimita una o varias direcciones el movimiento de forma rígida o elástica o añadiendo restricciones sobre ciertas direcciones de rotación.
- Características térmicas.
En este tipo de análisis que se pretende realizar se puede definir diferentes condiciones térmicas, es decir, aplicar una temperatura dada a un conjunto de elementos o nodos
- Características en forma de cargas.
A parte de las anteriores también se puede caracterizar ciertos nodos definiendo sobre ellos cargas como fuerzas, desplazamientos o presiones impuestos. Siendo la más comúnmente empleada la fuerza de gravedad.

2. Definición de las condiciones de frontera.

Además de tener la posibilidad de añadir ciertas características sobre los nodos se debe definir una serie de condiciones de frontera entre la superficie exterior de los elementos y el entorno sobre el que se va a producir el proceso que se trata de simular e imponer una temperatura. Para ello se pueden seleccionar una o varias zonas de las piezas, a través de elementos 2D, sobre las que imponen esta temperatura (temperatura ambiente). En caso de producirse este proceso sobre un entorno de temperatura cambiante se debe ver reflejado sobre la condición de temperatura impuesta que se va a definir.

4. Definición del proceso de soldadura.

Tras la definición de todas las características relacionadas con nodos, elementos se deben definir los parámetros que van a afectar de nuevo a los nodos y elementos a través del proceso de soldadura que se intenta simular. En la definición de este proceso de soldadura, como es de esperar, se deben definir diferentes características que definirán las fuentes de calor que se van a emplear, así como su velocidad y energía a aportar, si realizamos una simulación transitoria, como los nodos que se van a ver afectados debido al coeficiente expansión térmica, en el caso de encontrarnos en una simulación de contracción.

5. Definición de los parámetros de cálculo.

Antes de comenzar con la propia simulación se debe seleccionar que tipo de simulación se quiere realizar, si queremos que se tengan en cuentas únicamente las características lineales, o no lineales y los diferentes métodos de aproximación que tiene el solver para resolver el problema, así como, la definición del número de pasos que en los que se va a definir la propia soldadura, por lo tanto, en número de resultados que se quiere tener como delimitar el número máximo de iteraciones y cumplimiento de criterio en cuanto a energía interna o fuerzas internas se refiere para dar por bueno dicho resultado.



6. Ensamblado de matrices y Cálculo.

Con todos los parámetros definidos solo queda generar las matrices de rigidez de cada elemento y calcular el proceso de soldadura. Estas matrices consisten en los coeficientes los cuales pueden ser derivados del equilibrio, de residuos ponderados definidos o de métodos de energía. La matriz de rigidez del elemento se refiere a los desplazamientos nodales al ser aplicadas fuerzas en los nodos ($K * F = U$). El ensamblaje de esas matrices implica la aplicación del equilibrio para toda la estructura.

Para el análisis seleccionado se va a utilizar el método de integración implícito. Este método requiere, a cada paso de tiempo, resolver el sistema de ecuaciones, aunque los pasos de tiempo pueden variar. Es un método incremental en el que basándose de una matriz de rigidez original y con las condiciones iniciales con las que se ha planteado el problema se realiza el cálculo. Tras realizar el primer cálculo, se integra ahora una matriz de rigidez en la que se recogen todas las modificaciones sufridas. Una vez conformadas las matrices que definen el problema se vuelve a resolver el nuevo cálculo.

El cálculo que se realiza es un proceso iterativo. Se realizan diferentes aproximaciones con diferentes métodos como el BFGS o el de Newton-Raphson. El software itera hasta que la diferencia entre las fuerzas internas que sufren los nodos, estando cada iteración delimitada por el nodo con mayor fuerza interna, y la fuerza externa sea inferior al error de la precisión de la solución. Si tras realizar una serie de iteraciones (30 por defecto en Sysweld, aunque sea un valor que se pueda modificar a nuestro antojo) no llega a una solución óptima reducirá el paso de simulación que trata de resolver, si el paso de cálculo se reduce lo suficiente (hasta 0.0001 segundos por defecto, aunque, de nuevo, se puede editar el valor) se considerará un cálculo que no ha llegado a una convergencia, es decir, que diverge. Si por el contrario sí que llega a una solución aceptable, se dirá que el cálculo ha convergido.

4.3. Post-procesado y visualización

Los datos de los nodos y posterior interpolación a los elementos calculados son escritos en formato texto. A pesar de haber realizado el cálculo estos datos obtenidos deben ser tratados para poder visualizarlos de una manera clara. Por lo que, dentro de la propia etapa del cálculo el solver se encargará de convertir los resultados a un formato legible sin necesidad de realizar ninguna otra operación por parte del usuario.

Sobre el entorno visual (VisualViewer) se realiza el análisis para verificar que se satisfacen los requisitos de diseño. Para ello, el entorno gráfico pone a disposición la posibilidad de generar gráficas y curvas, además de visualizar los resultados con un campo de contorno. Todas ellas son herramientas útiles para poder entender de la forma más sencilla posible los resultados obtenidos.

Por otro lado, se debe revisar si se cumplen los criterios establecidos conforme a la norma, en caso de haber alguna inconformidad o no obtener los resultados esperados, se deberá tomar medidas para resolverla, como el cambio de alguna condición de contorno. De esta manera, se creará un bucle hasta obtener resultados conforme a las normas establecidas.



4.4. SYSWELD

SYSWELD es una herramienta de predicción y simulación de elementos finitos relacionado con los procesos de soldadura y de tratamientos térmicos. Este tipo de herramientas de prototipado virtual son de gran utilidad cuando se enfrenta un proceso industrial, ya que, evitará tener la necesidad de realizar pruebas físicas, con los costes que esto supone y permite reducir el tiempo a mercado de dicho proceso. Ahorrando gran cantidad de tiempo en diferentes etapas del desarrollo del producto: diseño, planificación de la fabricación, puesta a punto, validación de la fabricación; aumentando de esta manera la seguridad y fiabilidad de los productos que se pretenden fabricar. De igual manera, el evitar los ensayos de componentes complejos de forma física, así como la pronta comercialización permitirán ahorrar costes.

A pesar de las ventajas que una soldadura puede tener, existen algunos inconvenientes relacionados con este proceso. La soldadura conlleva la expansión y contracción térmica de los componentes a unir, así como, transformaciones microestructurales por el aumento de la temperatura, produciendo que los componentes se distorsionen y aumente la tensión en ellos. En ciertos casos, ya sea por una ineficiencia a la hora de realizar la soldadura como por someter a los componentes a unir a condiciones extremas se pueden producir roturas o cracks en dichas soldaduras. Diseñando las soldaduras por ordenador se puede controlar las tensiones residuales, mejorando considerablemente la vida en servicio de la estructura industrial. Además, Sysweld es capaz de calcular en cada instante del proceso:

- Temperatura
- Microestructura
- Dureza
- Tensiones, tensiones residuales
- Deformaciones
- Distorsiones
- Indicadores de rotura

Sysweld contempla todos los efectos relevantes de la fabricación y refleja los resultados de la simulación en cada etapa, proporcionando una solución integral para la fabricación de piezas industriales con conjuntos soldados y prediciendo los diferentes inconvenientes que pueden surgir en los procesos físicos.



Ilustración 74. SYSWELD - Procesos de soldadura

Este software es capaz de realizar diferentes procesos dentro de la soldadura: proceso por arco, soldadura por haz de electrones, soldadura laser, soldadura por fricción-agitación (friction stir welding) y las soldaduras por puntos. Además, de permitir controlar los diferentes parámetros del proceso como la secuencia de soldadura, las sujeciones de los componentes, temperatura ambiente y fuerzas o presiones externas.

Entre las muchas ventajas de realizar las simulaciones de prototipado virtual en Sysweld se encuentran:

- Analizar virtualmente estructuras de soldadura para determinar rápidamente los planes de soldadura y optimizarlos antes de la fabricación y reparación reales
- Compatible con todos los materiales estructurales industriales como acero, aluminio, compuestos y metales diferentes
- Evaluación de la temperatura, la tensión y la microestructura por acción térmica durante la soldadura de materiales de paredes gruesas y delgadas
- Garantizar la viabilidad y seguridad del proceso a un costo y tiempos muy bajos
- Controlar la distorsión causada por la soldadura dentro del rango actual
- Controlar altas tensiones residuales en estructuras soldadas para la evaluación de la calidad
- Mejora del rendimiento de colisión y fatiga de los productos

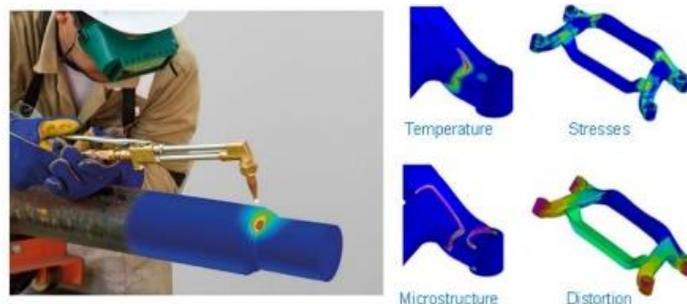


Ilustración 75. Predicción de resultados SYSWELD



4.4.1. Simulación de Validación o Transitoria

Este tipo de simulaciones de soldadura se basa en el cálculo de una fuente de calor. Esta fuente de calor simula la antorcha conectada a la fuente de energía de la que se dispondría en un proceso real. Esta fuente de calor se va desplazando a lo largo de una trayectoria seleccionada y a medida que esta avanza con la velocidad seleccionada irá transmitiendo una energía determinada sobre los elementos. Esos elementos, a su vez, al haber sido previamente asignados a un material en concreto, sufrirán ciertas transformaciones. Por los cambios de temperatura sufridos, se modificará el estado microestructural de estos. A consecuencia de los cambios microestructurales también se tendrán en cuenta tanto las tensiones como las deformaciones.

Cabe mencionar que el cálculo termo metalúrgico y el mecánico con cualquier software que se emplee no es la simulación de un proceso de soldadura, ya que no se simulan los efectos físicos reales que causan la transferencia de calor. En su lugar, se simulan los efectos de calor producidos por la soldadura.

Ya que únicamente se simulan los efectos producidos por la temperatura se realizarán dos análisis sobre la misma zona:

1. Análisis termo-metalúrgico. Primero será un análisis termo-metalúrgico, donde se calculan las temperaturas y la microestructura de cada elemento.

Si se presta atención a la *Ilustración 75. Proceso del cálculo termo-metalúrgico y mecánico*, se puede observar cual es la secuencia de los cálculos que SYSWELD ejecutará. En este caso, se comenzará el cálculo por el recuadro central, donde para realizar el análisis térmico será necesario tener la información del calor latente y de la proporción de fases. Sobre el material seleccionado, no solo se deben de haberse definido estas propiedades, sino que también se debe definir el estado microestructural inicial, es decir, cuál será la proporción de fase microestructural inicial. A su vez, una vez se ha realizado ese primer análisis térmico, donde se obtienen las temperaturas se procederá a calcular las nuevas propiedades metalúrgicas. Cabe mencionar que los análisis realizados forman un ciclo, por lo que, para que fracción de tiempo se calcularán tanto las temperaturas como la metalurgia de cada elemento.

2. Análisis mecánico. Sobre los datos obtenidos sobre el análisis termo-metalúrgico se analizarán y calcularán las propiedades mecánicas, siendo el principal foco de interés las distorsiones y las tensiones residuales.

Si revisamos de nuevo la ilustración a la que se hacía referencia anteriormente, se verá como para realizar el cálculo mecánico se requiere conocer las temperaturas y la composición de las fases del material de cada elemento.

El resto de los análisis que aparecen sobre la imagen resultaran de gran utilidad para otro tipo de simulaciones que se pueden realizar con la herramienta de Sysweld:

- Cordones de soldadura: análisis termo-metalúrgico y mecánico.
- Soldadura por punto y endurecimientos por inducción: electromagnetismo.
- Endurecimientos por difusión, nitruraciones o carburaciones (tratamientos térmicos): difusión-precipitaciones.

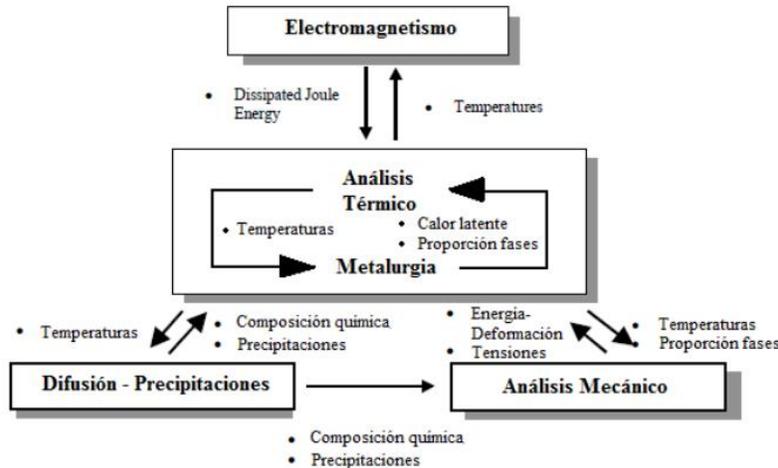


Ilustración 76. Proceso del cálculo termo-metalúrgico y mecánico

Al ser un proceso cíclico, donde se deben recalculan las diferentes propiedades para cada estado, los resultados obtenidos en cada estado se irán almacenando, puede considerarse como un cálculo dependiente del tiempo, es decir, se podrán observar la información termo-metalúrgica y mecánica a medida que la fuente de calor avanza sobre las diferentes trayectorias.

Esta característica le otorga de una mayor precisión en los resultados que se obtendrán, además, de contar con todos los detalles sobre las propiedades de los materiales, sus diferentes cambios de fases, cambio de propiedades y sobre que temperatura ocurrirán. Es por eso, por lo que, a este tipo de simulaciones se le denomina simulación de Validación, ya que refleja los resultados más próximos a la realidad que se pueden obtener.

Al tratarse de un proceso donde se tienen en cuenta la máxima cantidad de variables posibles, a su contra, conllevará grandes costes computacionales, si se compara el tiempo requerido para realizar una simulación de validación con una de factibilidad, se explicará en el siguiente apartado) la diferencia es notable.

Por otro lado, en estos procesos se podrán llegar a visualizar todos los modos de distorsión posibles que ocurren en los procesos de soldadura, en la gran mayoría de las veces combinados

- Contracción transversal
- Contracción longitudinal
- Distorsión angular
- Distorsión rotacional
- Flexión o curvado
- Pandeo o abombamiento

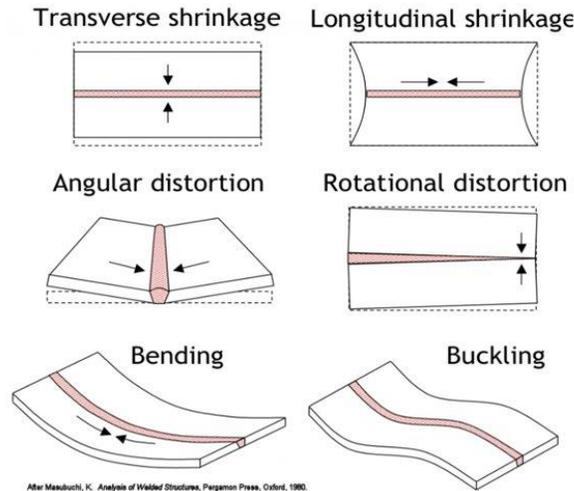


Ilustración 77. Modos de distorsión

Este tipo de procesos se llevan a cabo cuando se pretende validar un proceso realizado en la realidad con la intención de realizar posteriormente modificaciones o para comprobar el comportamiento de los objetos que tendrán una misión crítica a lo largo de su vida útil.

4.4.2. Simulación de Factibilidad o de Contracción

También conocida como método Shrinkage, este tipo de simulaciones de soldadura se basan en la contracción y en el grado/cantidad de contracción que va a suponer realizar cada cordón. Esto provoca una deformación plástica en la región seleccionada que conlleva una distorsión general de todo el conjunto. Como se ha revisado en el modelo transitorio los principales modos de distorsión surgen a raíz de la contracción de la zona afectada térmicamente. En este método se aprovecha esa cualidad para simplificar el proceso y dar la posibilidad de seleccionar cuales es la región o área que se contraerá/deformará o se prevé que contraiga/deforme. La región va a ser definida por nodos, por lo tanto, será aún de mayor importancia, si cabe, la manera de realizar este tipo de mallas. Se aprovechará que se dispone de la herramienta capaz de convertir mallas lineales en cuadráticas para no solo disponer de un nodo en los vértices de cada elemento, sino que, se tendrá un nodo adicional en el centro de cada arista de cada elemento.

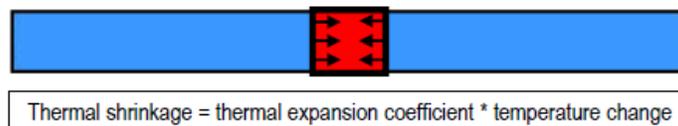


Ilustración 78. Simulación de Contracción

El módulo de Assembly donde se pueden realizar este tipo de simulaciones está diseñado para que todos los aspectos de esta puedan definirse y diseñarse de una manera más sencilla y rápida. La definición de



los diferentes aspectos que tienen cabida en un cálculo numérico de este tipo, por supuesto, deben ser definidos de igual manera, pero tanto la secuencia de los cordones como la secuencia de los amarres empleados en los diferentes componentes pueden ser fácilmente modificados. De esta manera se será capaz de obtener unos resultados viables, aunque puede que con una menor precisión si se compara con el método de validación.

El principal punto a favor de este método es el de la rapidez o inmediatez de la obtención de resultados. Esto es posible por las diferentes simplificaciones que se realizan en la definición de los diferentes parámetros.

- Propiedades de los materiales. La principal diferencia está en las propiedades de los materiales de este módulo. En este caso, no se contemplarán las transformaciones de fase que si se estudiaban en las simulaciones transitorias. Únicamente será necesario definir las propiedades básicas a temperatura ambiente del material a emplear, junto con la curva de plasticidad que este posee.
- No se requiere de una fuente de calor. La computación de la fuente de calor y la revisión paulatina que se debe hacer sobre esta para comprobar que elementos son afectados son costosos computacionalmente hablando. En este caso, se elimina la necesidad de tener que definir una fuente de calor, proporcionando como ventaja la agilidad del procesamiento del problema a resolver
- No se requiere definir una trayectoria. En este caso, al no tener la fuente de calor no se necesita definir una trayectoria. La contracción de todo el cordón se va a simular simultáneamente. Este punto puede llevar a diferencias con la realidad, sobre todo, si se tiene que realizar el proceso de soldeo de un cordón de grandes longitudes, ya que, si se realiza la contracción de forma simultánea no se tendrán en cuenta los datos obtenidos en los pasos anteriores. Es por eso que si se quiere hacer una buena aproximación con este método se utilice un grado de contracción equivalente para todo el cordón o se divida el cordón en diferentes tramos para simular ese efecto transitorio
- No se necesita definir una temperatura ambiente. En este caso la temperatura únicamente servirá para definir el grado de contracción que se obtendrá. Tal es el caso que no se necesita definir ninguna temperatura ambiente en el proceso.

Como se puede observar, este método, desde su concepción, es más sencillo al de validación en todos los aspectos, es por eso por lo que puede proporcionarnos simulaciones sobre los principales modos de distorsión y el comportamiento de los componentes que se quieren unir. La sencillez del cálculo permite tener resultados en un corto periodo de tiempo, en un entorno como el industrial, en el que el tiempo apremia, esto supone una gran ventaja. Además, su fácil manejo, supone una gran ventaja para realizar un mayor número de iteraciones, secuenciando de diferentes maneras amarres o cordones

Por otro lado, al reducir las variables que entran en juego a la hora de resolver el problema y dado que no se está simulando un proceso completamente físico los resultados pueden llegar a perder precisión, es por eso, que se recomienda realizar una serie de calibraciones, contrastando los resultados contra el método de validación, si se quieren dar por buenos esos resultados, de lo contrario esta herramienta sirve como predicción y asesoramiento para las distorsiones y tensiones que se pueden encontrar en el proceso. Es por eso, por lo que este método es denominado de Factibilidad.



4.4.3. Metodología

En este apartado se tratará de explicar cuáles son los principales pasos para seguir para poder lanzar una simulación de un modelo industrial, en este caso se extrapolará a la caja de baterías del coche eléctrico previamente diseñada.

La metodología puede ser dividida en diferentes pasos:

1. Selección de procesos.
Definir los diferentes procesos que se requieren para realizar todas las soldaduras del modelo y fabricar la pieza completa. Se diferencian como diferentes procesos aquellas soldaduras que dispongan de diferente:
 - a. Método de soldeo
 - b. Geometría de unión
 - c. Espesor de material de aporte
 - d. Parámetros de la fuente de calor
2. Extracción secciones representativa.
Por cada tipo de proceso identificado en el paso anterior se necesitará hacer una calibración para dar por validada la unión a soldar. En las calibraciones que se deben realizar se 'forzará' a la geometría a que muestren distorsiones típicas como pueden ser distorsiones de deformación angular o pandeo, también conocida como tipo banana, por formar ese tipo de distorsiones.
Si la región seleccionada no muestra las distorsiones típicas se pueden ajustar diferentes parámetros acordemente
3. Generación de las mallas de los modelos representativos
Una vez extraídas las secciones representativas se generarán dos mallas diferentes para cada región:
 - a. La primera malla denominada como Benchmark. Esta, contará con un mayor número de elementos, añadiendo el máximo detalle posible a los resultados obtenidos
 - b. La segunda se llamará malla Industrial. En este caso se trata de hacer una malla con los elementos lo más grande posible sin perder precisión en los resultados obtenidos en comparación con la malla Benchmark
4. Calibrar la fuente de calor
Una vez se hayan generado ambas mallas el primer paso es definir apropiadamente todos los parámetros de la fuente de calor, ajustando cual debe ser la zona fundida y la zona afectada térmicamente
5. Calibración entre simulación de validación y factibilidad
Una vez calibrada la fuente de calor se deberán calibrar los resultados que se van a obtener en las simulaciones transitoria (validación) como de contracción (factibilidad).
El primer paso reside en asegurarse de que la malla Industrial pueda representar el mismo comportamiento que la malla Benchmark. En caso de no ser así retroceder hasta el paso 3 y volver a generar una malla Industrial y ajustar acordemente el tamaño de elemento empleado. De forma general, si con una primera malla Industrial se pierde precisión en los resultados obtenidos, muy probablemente se deberá reducir el tamaño de elemento aplicado



Otro factor para tener en cuenta cuando se realizan este tipo de calibraciones entre las simulaciones de validación y factibilidad es el factor de contracción, se deberá ajustar para cada tipo de proceso permitiendo obtener resultados similares entre ambas computaciones

6. Generar malla del modelo completo

Tras la obtención de resultados similares los diferentes procesos pueden darse por calibrados. Ahora es el momento de realizar una malla para el modelo completo, por supuesto se seguirá el patrón de elementos utilizados para la calibración

7. Realizar análisis de factibilidad para el modelo completo

Por último, se preparará la simulación de factibilidad con los parámetros de los coeficientes de contracción obtenidos en las calibraciones

Por último, se post procesan y analizan los resultados obtenidos. A través de ellos se podrán extraer conclusiones, y en caso de considerar necesario optimizar el proceso de soldeo, secuencia o incluso los amarres empleados

4.5. Materiales

Como se ha mencionado anteriormente, Sysweld ofrece la posibilidad de realizar cálculos termo-metalúrgicos y mecánicos. Para poder obtener dichos resultados es necesario introducir en los diferentes componentes del modelo las propiedades tanto termo-físicas, mecánicas y de transformación de fases necesarias. Para ello se puede utilizar uno de los materiales de la base de datos que ofrece el propio software o, si se dispone de la información necesaria, diseñar un material propio. Como no se dispone de ningún medio para ejecutar las pruebas necesarias y comprobar la respuesta de la estructura diseñada ante un nuevo material se optará por seleccionar uno de los ya existentes, el S355J2, más concretamente.

4.5.1. Características del material

El material S355J2 es un acero no aleado al carbono-manganeso de alto rendimiento. Como acero estructural, tiene una excelente resistencia, una muy buena soldabilidad y tenacidad. Además, tiene resultados aceptables en la cementación en piezas de responsabilidad limitada. Se puede soldar fácilmente a otros aceros soldables. Por su bajo equivalente en carbono, posee buenas propiedades de formación en frío. El suministro de este acero S355J2 se produce normalmente en condiciones normalizadas.

Aplicación en productos planos y largos, así como productos semielaborados para su fabricación. Los aceros de grado S355J2 son aceros estructurales no aleados y soldables con una resistencia al impacto garantizada a -20C.

Los aceros de grado S355J2 se caracterizan por un conjunto de propiedades mecánicas óptimas, lo que permite su uso generalizado en la fabricación de estructuras y productos metálicos para la construcción y fabricación de maquinaria. Se utilizan en la ingeniería industrial civil, en la construcción de plataformas de petróleo y gas, así como en otras estructuras offshore, torres eléctricas entre otras estructuras metálicas.



Asimismo, estos aceros se suelen emplear para fabricar elementos de maquinaria pesada terrestre y subterránea (excavadoras, bulldozers y dumpers), así como vagones de ferrocarril y maquinaria agrícola.

El grado de calidad del acero S355J2 es S355 y es uno de los aceros estructurales sin alear más comúnmente utilizados en Europa. Según la norma EN 10025-2: Productos laminados en caliente de aceros estructurales, el acero S355 se divide en 4 grados de calidad:

- S355JR
- S355J0
- S355J2
- S355K2

La norma EN 10025 S355J2 es equivalente a ASTM A992/A992M.

Respecto al significado de los términos que componen el nombre del material S355J2 en términos de la norma EN 10025. La 'S' significa Steel, acero estructural, '355' indica que el material tiene un límite elástico mínimo de 355 MPa cuando el espesor nominal es ≤ 16 mm. El 'J2' indica que el material tiene una energía de impacto mínima de 27J a -20C



Ilustración 79. Perfil acero S355J2

El Acero S355J2 es un acero con una resistencia media y con buena soldabilidad y tenacidad. Contemplando sus características mecánicas es muy buen sustituto del C25 y C35. Resultados aceptables en la cementación en piezas de responsabilidad limitada. Sus aplicaciones más comunes son para bulones, cadenas, ejes de ferrocarril, bielas y estructuras metálicas.

Características ante diferentes esfuerzos del acero S355J2:

- A la compresión
Los perfiles tubulares admiten elementos más esbeltos que los perfiles abiertos para una misma carga de compresión centrada y bajo las mismas condiciones
- A la torsión
La rigidez a torsión es la más elevada de todos los perfiles comerciales de acero. Por esta razón tiene un comportamiento inmejorable frente al pandeo lateral o alabeo
- A la flexión



Su comportamiento es mejor que el de los perfiles abiertos frente a flexión en dos direcciones por su reparto de cargas en dos ejes

- A la tracción

El empleo de uniones soldadas en toda su extensión hace que se utilice al completo la sección resistente en las uniones, al contrario que en las uniones atornilladas o con cartelas

- A la fatiga

El amplio número de aplicaciones mecánicas en las que podemos encontrar los perfiles tubulares de acero, son una prueba de su buen comportamiento ante estas sollicitaciones

- Fluidodinámica

Su limitada oposición al empuje de los fluidos los hace buenos en estructuras a la intemperie o submarinas, como postes, mástiles, grúas, permitiendo utilizar perfiles más ligeros

- Al fuego

Se pueden proteger los perfiles tubulares de acero mediante recubrimiento superficiales. Es más sencillo que en los perfiles abiertos debido a la ausencia de cavidades y a la menor superficie a recubrir

- Protección Pasiva

Las estructuras de perfiles tubulares ofrecen mayor resistencia al fuego que las superficies abiertas debido a la menor superficie expuesta al fuego con relación a la masa

- Protección activa

Rellenas de agua, o con circulación de esta por efecto termosifón, las estructuras tubulares irrigadas proporcionan resistencia al fuego casi ilimitada. El mantenimiento de la circulación del agua, con restitución de las pérdidas que se produzcan por vaporación, asegura una refrigeración de la estructura tal que su temperatura, al cabo de un tiempo, se estabiliza sobre valores no muy superiores a la temperatura de cambio de estado de agua, muy inferior, por tanto, a la temperatura crítica del acero

Para la conformidad respecto a la norma de este material se deberían seguir los siguientes estándares:

Estándar	Descripción
EN 10210	Perfiles huecos estructurales acabados en caliente de aceros estructurales no aleados y de grano fino
EN 10219	Perfiles huecos estructurales soldados en frío de aceros no aleados y de grano fino

Tabla 16. Norma del material S355J2



4.5.2. Propiedades materiales en Sysweld

Para poder realizar correctamente la simulación del proceso se debe caracterizar apropiadamente el material a emplear. Se deben asignar las propiedades de todas las características posibles para tener en consideración los efectos más relevantes. Como se van a realizar diferentes ensayos sobre dos módulos de Sysweld diferentes (para simulaciones de factibilidad y validación) las propiedades a completar en cada módulo serán diferentes.

- Propiedades del material para Validación.

A continuación, se detallan los datos de material requeridos a nivel genérico para realizar un cálculo térmico, mecánico y microestructural con Sysweld.

a) Información genérica

Las características que se indican en esta sección definirán por cuantas fases microestructurales diferentes puede pasar el material seleccionado. El mínimo de fases debe ser dos, ya que siempre se debe definir una fase ficticia. Esta fase servirá para definir los cordones de soldadura cuando aún no se han soldado. Se considera que los elementos que se encuentren en esta fase tienen propiedades tipo chicle, no añade ninguna rigidez ni característica propia de cualquier otra fase, ya que como todavía no está soldado, en realidad esos elementos todavía no se han depositado. Cabe decir que durante el postproceso se podrá observar a lo largo de las simulaciones como los elementos van 'apareciendo' a medida que la fuente de calor se desplaza sobre ellos, siempre y cuando alcancen una cierta temperatura definida en las tablas de transformaciones de fase. Lo que le dará una similitud a lo que puede ocurrir en la realidad. Mientras tanto, en la parte mecánica se pueden observar las propiedades de tensión, o deformación que tienen desde el primer momento, aunque antes de ser soldados sean nulas o casi imperceptibles. Es por eso, que aparecerán todos los cordones desde el primer instante de la simulación, en caso de querer necesario durante la preparación de los modelos se puede definir una secuencia donde activar y desactivar las diferentes partes para poder ocultar los componentes o cordones deseados, aunque no tienen ningún efecto sobre los resultados obtenidos.

Además, en esta pestaña se puede definir la composición del material. Esta composición puede ser definida con carácter identificativo, ya que la simulación se resolverá en función de las propiedades que se definan en los apartados termo-físicos, mecánicos o metalúrgicos

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico



Generic Info				Thermo-Physical	Mechanical	Metallurgy	IT/CT diagrams	+/-
Property	Value	Recommended Range	Value Unit					
Material Type	Weld(W)							
Number of Phases	6	2 ~ 6						
Phase Details 1								
Phase Name	Ferrite							
Phase Description	Ferrite / Pearlite & Initial Material							
Initial Phase Proportions	1	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	0	0 ~ 1						
Initial Hardness			N/mm ²					
Phase Details 2								
Phase Name	Fictive Phase							
Phase Description	Not Yet Existing Filler Material							
Initial Phase Proportions	0	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	1	0 ~ 1						
Initial Hardness			N/mm ²					
Phase Details 3								
Phase Name	Martensite							
Phase Description	Martensite							
Initial Phase Proportions	0	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	0	0 ~ 1						
Initial Hardness	400		N/mm ²					
Phase Details 4								
Phase Name	Bainite							
Phase Description	Bainite							
Initial Phase Proportions	0	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	0	0 ~ 1						
Initial Hardness	300		N/mm ²					
Phase Details 5								
Phase Name	Tempered Martensite							
Phase Description	Tempered Martensite							
Initial Phase Proportions	0	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	0	0 ~ 1						
Initial Hardness			N/mm ²					
Phase Details 6								
Phase Name	Austenite							
Phase Description	Austenite							
Initial Phase Proportions	0	0 ~ 1						
Initial Phase Proportions if wire	0	0 ~ 1						
Initial Hardness			N/mm ²					

Ilustración 80. Información Genérica. Número de fases

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico



Element	%Composition	Recommended Range(%)
Base	Fe	
Al		0 ~ 0.5
B		0 ~ 4
C	0.18	0 ~ 4
Co		0 ~ 10
Cr	0	0 ~ 27
Cu	0	0 ~ 7.5
Mg		0 ~ 0.5
Mn	1.6	0 ~ 4.5
Mo		0 ~ 10
N		0 ~ 0.5
Nb		0 ~ 4
Ni	0	0 ~ 36
P	0.035	0 ~ 0.05
S	0.035	0 ~ 0.05
Si	0.55	0 ~ 5.5
Sn		0 ~ 0.05
Ti		0 ~ 4
V		0 ~ 7
W		0 ~ 7
Zr		0 ~ 0.05

Ilustración 81. Información genérica. Composición del material

b) Propiedades Termo-Físicas

Para las propiedades termo-físicas se deben definir los valores de densidad y de la conductividad térmica.

Property	Type	Value	Value Unit	F(*) U...
Physical Properties				
Density	F(T,Phase)	7.85	kg/mm ³	C
Reduced Integration				
Number of Integration Points	Integer			
Thermal Properties				
Thermal Conductivity / Penalty	F(T,Phase)	45	W/mm-K	C
Thermal Conductivity X / Penalty X	Const		W/mm-K	
Thermal Conductivity Y / Penalty Y	Const		W/mm-K	
Thermal Conductivity Z / Penalty Z	Const		W/mm-K	
Specific Heat	F(T,Phase)	460	J/kg-K	C
Enthalpy	Const		J/kg	
Grain Size Parameters				
Tmin	Const		C	
C	Const			
Power	Integer			
Q	Const			
AUSTENITE	Integer			
Fortran Code				
STATUS		FORTRANFUNCTION F(...)		
Electrical Conductivity				
Electrical Conductivity X	Const		S/mm	
Electrical Conductivity Y	Const		S/mm	
Commentaires				
Comments		.Disclaimer: : Whilst this d...		

Phase Name	Thermal Conductivity / Penalty
Phase Name1	45
Phase Name2	45
Phase Name3	45

Ilustración 82. Propiedades termo-físicas. Conductividad térmica



c) Propiedades mecánicas

En las propiedades mecánicas se deben definir los diferentes parámetros en función de, en primer lugar, la fase en la que se encuentre el material, y, en segundo lugar, de la temperatura. Como ejemplo de esto se muestra la gráfica del Yield Stress, donde, a la izquierda de la imagen se divide entre las 6 diferentes fases de los que dispone el material empleado como de las temperaturas de trabajo, entre 20C y 1500C.

Además del esfuerzo se definirán entre las propiedades mecánicas las curvas de módulo de Young, Poisson, las deformaciones plásticas o las curvas de dureza. Esta última característica no solamente estará en función de la temperatura y la fase microestructural, sino que también dependerá de las deformaciones plásticas. Por último, se especifica cual es la temperatura de fusión del material, a partir del cual se considerará que se encuentra fundido.

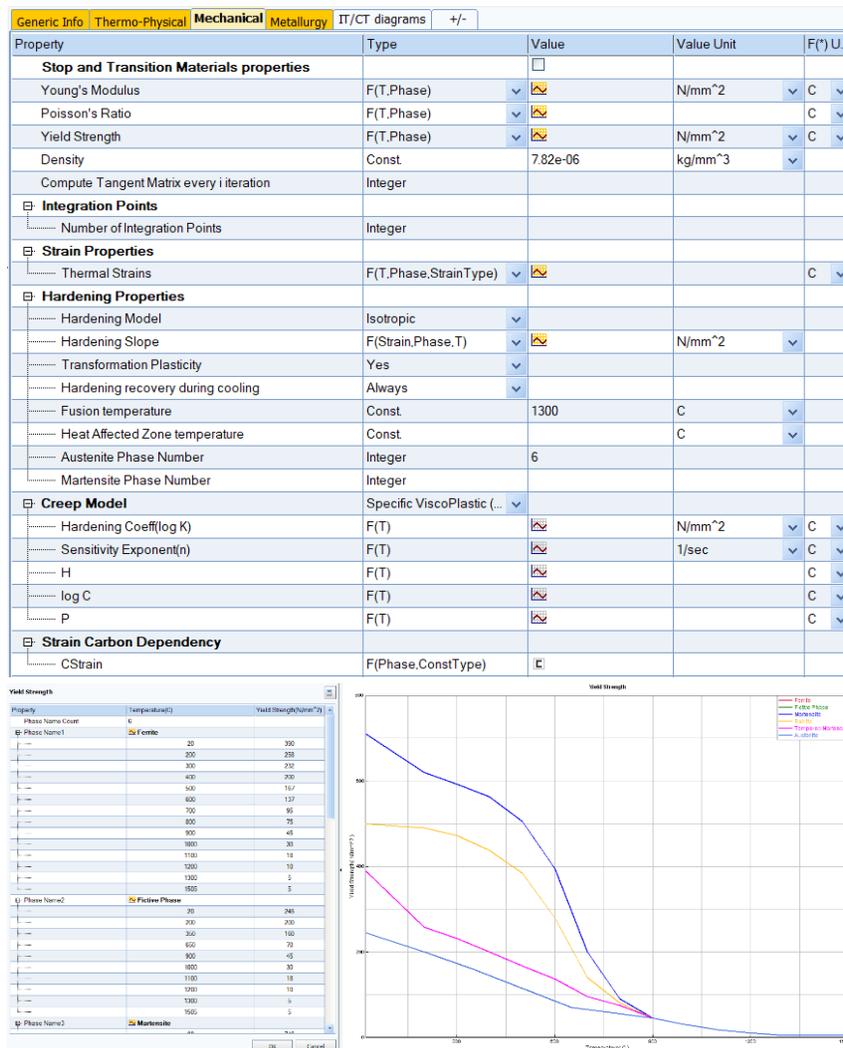


Ilustración 83. Propiedades mecánicas



Property		(N/m.	(N/m.	(N/m.	(N/m.	(N/m.	(N/m.	(N/m.
Phase Name Count: 6								
Phase Name1: Ferrite								
Temperature(C) →	Plastic Strain	20	100	200	300	400	500	600
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.003	3	3	4	6.10269	12.7503	13.088	1.76248	
0.0035	4	4	7	10.7422	16.6528	16.4484	2.60983	
0.0054	7	7	10	27.851	31.1369	28.744	5.36537	
0.01	12	15	30	66.0088	63.9967	55.5273	9.8447	
0.03	78.5125	72.6195	133.62	187.174	174.202	130.406	14	
0.04	103.086	95.3619	169.035	226.853	212.292	148.504	15	
0.05	124.95	115.644	198.577	256.798	241.278	158.338	16	
0.07	161.038	149.213	240.04	297.203	278.651	167.102	17	
0.085	181.898	168.654	255.721	317.43	295.267	177.807	18	
0.1	197.893	183.543	270	332.959	300.393	183	19	
0.13	216.932	200.977	285	351.141	325	188	20	
0.17	221.919	205.597	291.552	359.214	332.471	192.322	20.4598	
0.24	230.646	213.682	303.017	373.34	345.546	199.885	21.2644	
0.3	238.127	220.613	312.845	385.448	356.753	206.368	21.954	
0.4	250.594	232.163	329.224	405.629	375.431	217.172	23.1034	
0.5	263.062	243.713	345.603	425.81	394.109	227.977	24.2529	
0.8	300.464	278.365	394.741	486.351	450.144	260.391	27.7011	
1	325.398	301.465	427.5	526.712	487.5	282	30	
Phase Name2: Fictive Phase								
Temperature(C) →	Plastic Strain	20	100	200	300	400	500	600
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.003	3	3	4	6.10269	12.7503	13.088	1.76248	

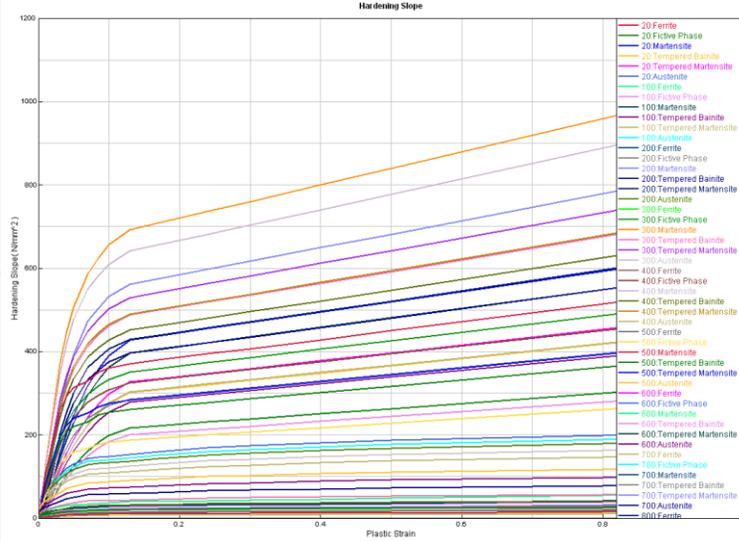


Ilustración 84. Propiedades mecánicas. Hardening Slope

d) Propiedades metalúrgicas.

En este apartado se deben introducir las propiedades metalúrgicas del material, es decir, definir en qué punto se producirán los cambios de fase entra las diferentes fases microestructurales. La evolución metalúrgica del material viene determinada por los siguientes modelos matemáticos:

1. Modelo de Leblond: derivado de la transformación de enfriamiento continuo o CCT (Continuous Cooling Transformation). Este modelo matemático se emplea en procesos que tienen altas velocidades de enfriamiento, campo donde se incluye la soldadura.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\bar{P} - P}{TR}$$

2. Modelo Jonhson-Mehl-Avrami (JMA): proporciona la proporción de fase P de acuerdo con el tiempo para una temperatura determinada que se deriva del diagrama de transformación isoterma, IT. Este modelo matemático, a su vez, se utiliza para tratamientos térmicos con bajas velocidades de enfriamiento y requiere los diagramas tanto de CCT como de IT.

$$P = \bar{P} * \left(1 - \exp - \left(\frac{t}{TR}\right)^n\right)$$

Si la temperatura deja de ser constante, la fórmula que se debe usar es la siguiente:

$$\frac{dP}{dt} = n * \left(\frac{\bar{P}(\theta) - P}{TR}\right) * \left(\frac{\ln(\bar{P}(\theta))}{\bar{P}(\theta) - P}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Cabe decir que esta ecuación es la misma que la del modelo de Leblond con $n = 1$ Estas dos ecuaciones caracterizan la transformación metalúrgica, donde:

- P: proporción de fase
- \bar{P} : proporción de fase en equilibrio
- TR: tiempo de retardo

3. Modelo de Koistinen-Marburger (KM): Se utiliza únicamente en las trasformaciones martensíticas. Se debe emplear este modelo adicional ya que con los modelos de Leblond y de



Jonhson-Mehl-Avrami esta transformación no queda bien definida. El modelo matemático se rige por la siguiente ecuación:

$$P\theta = 1 - \exp(KM * (MS - \theta))$$

Donde:

- $P\theta$: proporción de martensita
- MK : coeficiente de Koistinen-Marburger
- MS : es la temperatura de inicio para la transformación martensítica. El valor de MS debe ser mayor que 0, en caso contrario la proporción martensítica se mantendrá en 0%
- θ : temperatura

En las ecuaciones anteriores se muestra un parámetro como TR, en Sysweld a ese parámetro se le denomina como 'TAU' como función de la temperatura y 'F' como función de la velocidad de enfriamiento.

$$TR = \frac{TAU}{PEQ * F + F - PEQ * F}$$

Para el cálculo de las transformaciones es necesario conocer los diferentes parámetros que darán forma a las curvas CCT:

- Determinar 'n' y 'TAU' como función de la temperatura, en función del diagrama IT a partir de la ecuación del modelo de JMA:

$$TAU = e^{\frac{(a-b)*\ln t_s + b*\ln t_e}{a}}$$

$$n = \frac{a}{\ln t_e - \ln t_s}$$

$$v_1 = \ln \left(\ln \left(\frac{PEQ}{PEQ - P_{start}} \right) \right)$$

$$v_2 = \ln \left(\ln \left(\frac{PEQ}{PEQ - P_{end}} \right) \right)$$

Donde los coeficientes a y b son calculados:

- $a = |v_1| + |v_2|$
- $b = |v_2|$
- $P_{start} = \varepsilon$
- $P_{end} = 1 - \varepsilon$
- P_{start} y P_{end} : deben detectar la detección de fase ε (proporción típica: 1%)
- Determinar los parámetros 'F' y 'FP' a través del diagrama CCT
- Determinas los parámetros 'MS' y 'b', de temperatura de inicio de la transformación martensítica y factor de Kroistinen-Marburger respectivamente

$$P = 1 - e^{-b*(MS-T)}$$



Además, del fenómeno térmico, el análisis mecánico está influenciado por diferentes fenómenos microestructurales:

- Cambios de volumen característico de las transformaciones microestructurales
Durante el proceso de soldeo, los aceros experimentan una serie de cambios microestructurales debido a la rápida variación de la temperatura a la que se someten. Un aspecto importante de estos cambios es la transformación de la estructura cristalina de la celda unitaria del acero, que puede evolucionar de Cúbica Centrada en el Cuerpo (BCC) a Cúbica Centrada en la Cara (FCC). Esta transformación está estrechamente relacionada con las diferentes fases microestructurales que se forman.

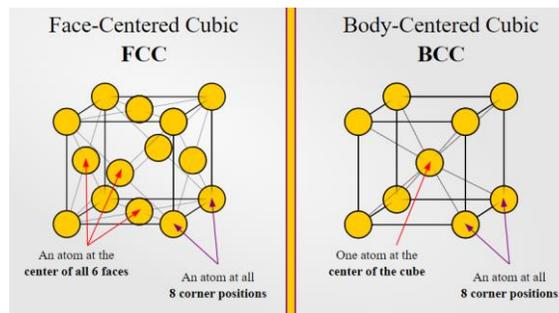


Ilustración 85. Estructura FCC y BCC átomos

Cuando el acero se calienta a altas temperaturas, la estructura cristalina inicial BCC puede transformarse en una fase austenítica, que forma una estructura FCC de alta temperatura. La austenita es muy dúctil y menos propensa a la fragilización, lo que la hace deseable en muchas aplicaciones. Sin embargo, al enfriar rápidamente el metal soldado, se puede formar martensita. La martensita es una estructura cristalina más dura y frágil, lo que tiene un impacto en las propiedades mecánicas del material soldado.

Debido a las altas tasas de enfriamiento se pueden generar gradientes térmicos y transformaciones microestructurales deseadas o no deseadas. Si el proceso de enfriamiento es controlado, se puede lograr que la austenita se transforme en otras fases microestructurales como perlita o bainita, que presentan propiedades mecánicas específicas y una buena combinación de resistencia y tenacidad. En ambos casos durante el enfriamiento la microestructura formará una estructura BCC.

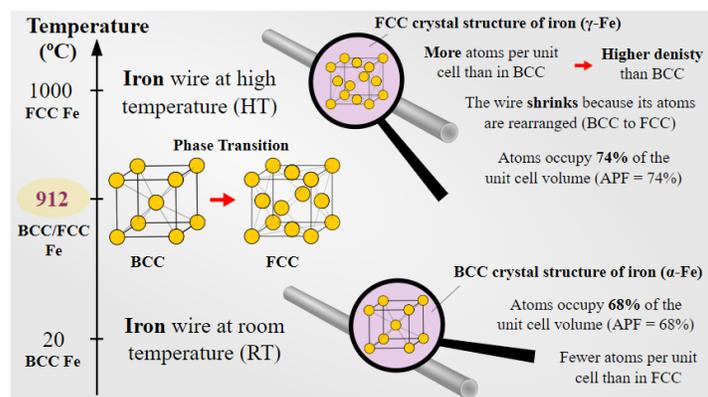


Ilustración 86. Estructuras y características átomos según temperaturas



Cada estado estructural tiene una disposición de los átomos diferente. En la estructura BCC, los átomos se encuentran en los vértices y en el centro de cada celda unitaria cúbica. Cada átomo en el centro de la celda está rodeado por 8 átomos en los vértices. Esta disposición compacta permite que los átomos estén relativamente cerca entre sí, lo que resulta en una estructura más densa. En términos de porcentaje de espacio ocupado por los átomos, la estructura BCC ocupa un 68% del volumen total de la celda.

En la estructura BCC, los átomos se encuentran en los vértices y en el centro de cada cara de la celda unitaria cúbica. Cada átomo en el centro de la cara está rodeado por cuatro átomos en los vértices y uno en el centro de la celda. Aunque los átomos en la estructura FCC están más cerca entre sí en comparación con la estructura BCC, hay más átomos por unidad de volumen debido a la disposición en las caras. La estructura FCC ocupa aproximadamente el 74% del volumen total de la celda.

Las diferencias de tracción y contracción que se observan a medida que el material se calienta o enfría por el proceso de soldadura se deben al diferente porcentaje que ocupan los átomos en cada disposición. La expansión térmica se puede representar de la siguiente manera:

$$\varepsilon_{thermal} = \sum_{Fase} p_i * \varepsilon_{i_{thermal}}(\theta)$$

Donde:

- $\varepsilon_{thermal}$: representa la expansión térmica de la fase i
- $\varepsilon_{i_{thermal}}$: depende de los coeficientes de dilatación de fase, en función de la temperatura

En la siguiente imagen, se puede observar el cambio de volumen típico de las transformaciones de un acero durante los procesos de calentamiento/enfriamiento.

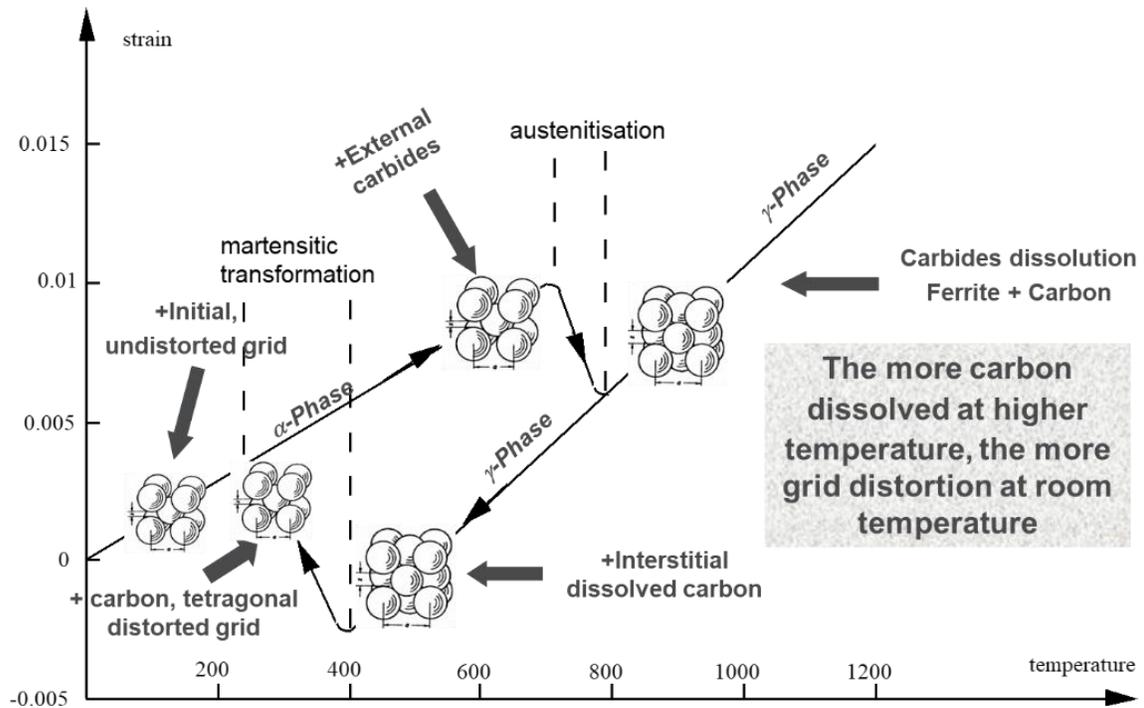


Ilustración 87. Transformación de los aceros. Cambio de volumen



En SYSWELD, las transformaciones de fase se representan a través de los modelos matemáticos expresados previamente a través de los parámetros 'TAU', 'PEQ' y 'F':

Generic Info		Thermo-Physical	Mechanical	Metallurgy	IT/CT diagrams	+/-		
Property	Type	Value	Value Unit	F(*) U...				
Number of Reactions	Count	10						
Reaction 1								
Reaction Name		Ferrite To Austenite By Heat...						
Parent phase	Ferrite							
Product phase	Austenite							
Thermal path	Heating							
Reaction Model	KJMA							
Isothermal parameters	PEQ.TAU							
PEQ table	Curve100							C
TAU table	Curve110		sec					C
F table	Curve120							C...
FP table	F(dT/dt)							C...
N table	F(T)							C
FCA	F(%C)							
Reaction 2								
Reaction Name		Fictive Phase To Austenite B...						
Parent phase	Fictive Phase							
Product phase	Austenite							
Thermal path	Heating							
Reaction Model	KJMA							
Isothermal parameters	PEQ.TAU							
PEQ table	Curve130							C
TAU table	Curve140		sec					C
F table	Curve150							C...
FP table	F(dT/dt)							C...
N table	F(T)							C
FCA	F(%C)							
Reaction 3								
Reaction Name		Martensite To Austenite By H...						
Parent phase	Martensite							
Product phase	Austenite							
Thermal path	Heating							
Reaction Model	KJMA							
Isothermal parameters	PEQ.TAU							
PEQ table	Curve100							C
TAU table	Curve110		sec					C
F table	Curve120							C...
FP table	F(dT/dt)							C...
N table	F(T)							C
FCA	F(%C)							
Reaction 4								
Reaction Name		Bainite To Austenite By Heat...						
Parent phase	Bainite							
Product phase	Austenite							
Thermal path	Heating							
Reaction Model	KJMA							
Isothermal parameters	PEQ.TAU							
PEQ table	Curve100							C
TAU table	Curve110		sec					C
F table	Curve120							C...
FP table	F(dT/dt)							C...
N table	F(T)							C
FCA	F(%C)							

Ilustración 88. Propiedades metalúrgicas



Reaction 10			
Reaction Name		Austenite To Martensite By C...	
Parent phase	Austenite	▼	
Product phase	Martensite	▼	
Thermal path	Cooling	▼	
Reaction Model	Koistinen Marburger	▼	
KM	Const	0.01428	
MS	Const	420	C ▼
FCA	F(%C)		
FCB	F(%C)		

Ilustración 89. Propiedades metalúrgicas. Transformación Martensítica

e) Representación de los diagramas de fases CCC.

En función de las características micrográficas definidas en la anterior pestaña se definirán los diagramas de curvas isothermas o el diagrama de la curva CCC. Representa las transformaciones que se han definido previamente, de una forma más visual y permite comprobar si las curvas de enfriamiento por las que pasan los componentes tras realizar la simulación guardan correlación con lo demostrado en el gráfico. Como tal, este gráfico no puede ser editado, si se quiere modificar las trasformaciones se debe volver a definir las transformaciones definidas en la pestaña de metalurgia.

Además, existe un editor, en el que en lugar de definir o calcular las curvas PEQ, TAU y F se puede realizar a través de una imagen de este mismo diagrama de curvas CCC. Se introduce la imagen, se definen los límites de los ejes de esta y se señala sobre la imagen los puntos que define cada transformación.

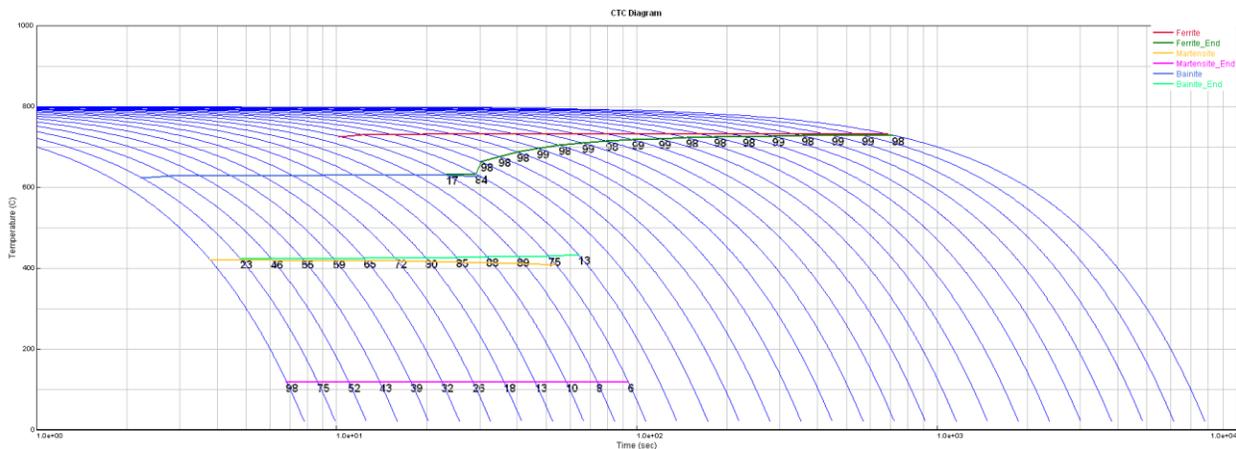


Ilustración 90. Diagrama de fases CCC

- Propiedades del material para Factibilidad

La definición del material de factibilidad, tal y como se ha explicado previamente en el apartado 4.4.2. *Simulación de Factibilidad o de Contracción*, requiere menos características al no diferenciar entre las diferentes fases metalúrgicas entre las que puede pasar cualquier acero. Las diferentes características a definir se hacen sobre las propiedades del material sobre la temperatura ambiente: módulo de Young,



Poisson, densidad, coeficiente de expansión térmica y la temperatura de fusión. Además de esto, se debe definir la curva de deformaciones plásticas.

Property	Type	Value	Value Unit	F(*) U...	Re...
Young's Modulus	Const	210000	N/mm ²		
Poisson's Ratio	Const	0.3			
Yield Strength	F(STRAIN)	620	N/mm ²		
Density	Const	7.82e-09	ton/mm ³		
Thermal Expansion Coefficient	Const	1.6e-05	1/K		0 ~
Melting Temperature	Const	1300	C		20 ~
Correction Factor Bead Width	Const	1			

Ilustración 91. Propiedades materiales por método Shrinkage

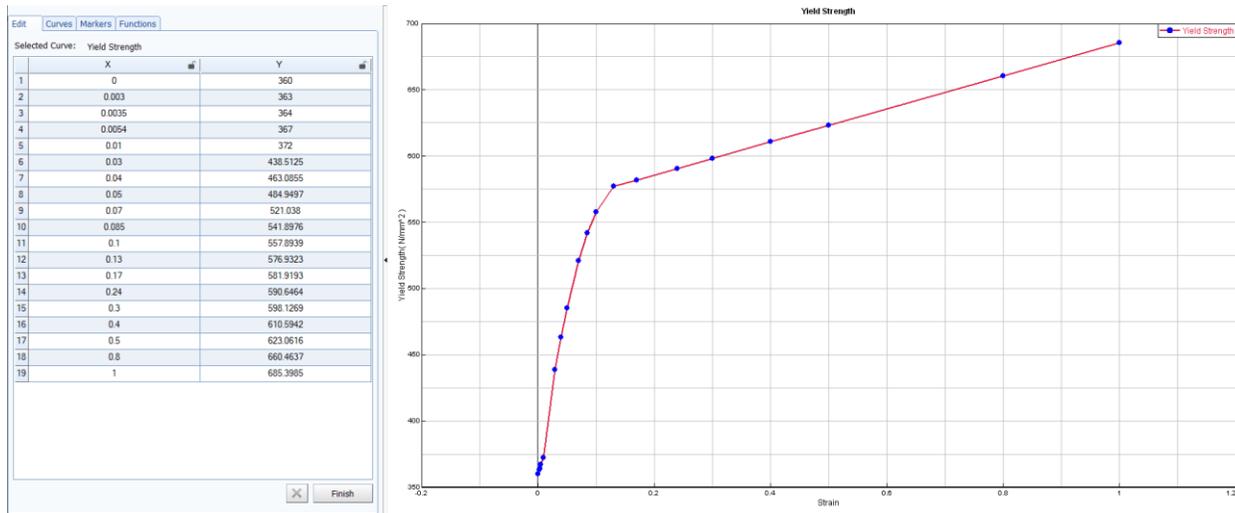


Ilustración 92. Deformaciones plásticas material Shrinkage

4.6. Transferencia térmica

La simulación transitoria consiste en el desplazamiento de una fuente de calor a lo largo de los elementos definidos como cordones de soldadura. Esta fuente de calor proporcionará una energía sobre estos elementos, esa energía se verá reflejada en forma de temperatura. De esta manera, esos elementos sobre los que la fuente de calor se ha trasladado comenzarán a fundirse, aquellos que alcancen la temperatura de fusión. Los elementos adyacentes también se verán afectados por el paso de la fuente de calor, y es que la temperatura se expandirá en función de las propiedades del material asignado. Como se ha revisado anteriormente el coeficiente de expansión térmica no solo depende de la temperatura, sino que también de la fase microestructural donde se encuentre el elemento de estudio. Estos elementos adyacentes que no alcanzan la temperatura de fusión, pero que si alcanzan una temperatura suficiente para cambiar de fase microestructural son incluidos en el grupo de zona afectada térmicamente. La temperatura se disipará conforme más nos alejemos de la trayectoria que sigue la fuente de calor.



4.6.1. Macrografía

En el caso de conocer previamente cuales son los parámetros del proceso, así como, los de la fuente de calor ya sea por haber realizado previamente ensayos físicos o por haber revisado las características de los materiales para realizar estos procesos de los que disponemos, únicamente se deben aplicar sobre la simulación.

Es conveniente y resulta de gran utilidad disponer de una macrografía antes de comenzar todo el proceso de preparación de las simulaciones. Este ensayo se puede realizar sobre unas probetas simples, a ser posible, de igual espesor que los perfiles que se van a unir. De esta manera, se dispondrá de datos fiables de la potencia de la fuente de calor que se estará empleando sobre el proceso una vez se lleve a fabricación.

Un ensayo macrográfico proporciona información acerca de las diferentes cualidades de los metales, pone en relación la física, química y mecánica de estos, por lo que la parte micrográfica del metal de estudio se verá completamente involucrado. Los ensayos macrográficos se realizan a través de microscopios de aumento que resaltan los posibles defectos a nivel estructural del metal observado tras haberse sido sometido a diferentes procesos, en este caso, como se realizarán aportaciones energéticas elevadas debido al proceso de soldadura, el proceso debe considerarse como el aumento de la temperatura.

Al mostrar la estructura del material, inevitablemente, se va a mostrar el estado metalúrgico del metal y por tanto la fase microestructural que se encuentra en cada área y por ende se dispondrá de un valor aproximado de temperaturas a las que se ha visto sometida cada región. De esta manera, se pueden diferenciar diferentes regiones:

- Zona fundida.
En esta región del material la temperatura alcanzada durante el proceso de soldadura ha sido suficiente para alcanzar la temperatura de fusión del material empleado
- Zona afectada térmicamente
En esta región se incluye también la zona fundida. Además, se añade a este grupo el área que ha sufrido altas temperaturas pero que no ha alcanzado una temperatura tal para llegar al punto de fusión. Por lo tanto, en este grupo se puede incluir toda el área que tras el proceso su microestructura se haya visto afectada
- Zona no afectada térmicamente
Es la zona más alejada del cordón de soldadura, la microestructura apenas se ve afectada por los cambios térmicos sufridos

Este tipo de ensayo ya sea sobre una probeta de ensayo simple, pueden ser de gran utilidad a la hora de definir las características y parámetros a definir en la simulación. Disponer de ella puede ayudar en gran medida a calibrar la fuente de calor, puesto que ya se cuenta con una imagen sobre que zonas van y no van a verse afectadas térmicamente. En este caso solamente se deberían realizar simulaciones hasta que la fuente definida haga que la zona afectada térmicamente coincida con la imagen de la macrografía

Si como en este caso, no se dispone de ninguna macrografía para este tipo de material y geometría se completarán una serie de requisitos mínimos para dar por buena la soldadura realizada en cuanto a la fuente de calor se refiere, es decir, en cuanto a la parte térmica y microestructural.



4.6.2. Fuente de calor

Existe una gran variedad de formas de resolver el proceso de realizar una soldadura, las formas más comunes son:

- Llama de gas
- Arco eléctrico
- Laser
- Rayo de electrones
- Procesos de fricción o ultrasonido

Para llevar a cabo estas uniones se pueden utilizar diferentes fuentes de energía o también conocidas como fuentes de alimentación. Estas fuentes son un equipamiento que proporciona una corriente eléctrica necesaria para realizar los soldeos, así como controlar el amperaje y el voltaje que se ejercen. Las fuentes de alimentación que se utilizan en procesos en los que se utiliza gas de protección ofrecen conexiones para este gas y métodos para controlar su flujo.

Cabe mencionar que la mayor parte de las fuentes de energía que se utilizan para soldadura no generan energía, sino que más bien funcionan como transformadores controlables permitiendo que se ajusten las características eléctricas según sea necesario.

Es cierto que existen, por ejemplo, muchos procesos de soldadura por arco de uso común que van desde la soldadura por arco de metal apantallado (SMAW) hasta procesos que utilizan gas inerte de apantallamiento como puede ser la soldadura por arco de gas metal (GMAW) o la soldadura de gas tungsteno (GTAW). En estos procesos el gas que se emplea es difícil de definir en el prototipado virtual y es que aun hoy en día existen ciertas limitaciones. Es por eso, que se engloban todas las fuentes de alimentación, en el entorno de software Sysweld llamado fuente de calor o de energía, en tres tipos diferentes y se diferencia la transferencia de calor de diferentes maneras en función de las características que se requieran.

Otra de las razones por las que se diferencian y simplifican los diferentes procesos es porque los efectos físicos reales debido a las fuentes de calor no son simulados. Una simulación de este tipo está ligado a numerosos efectos físicos, por no mencionar que el material y la información del proceso son muy complejas lo que causarían simulaciones extremadamente costosas computacionalmente hablando.

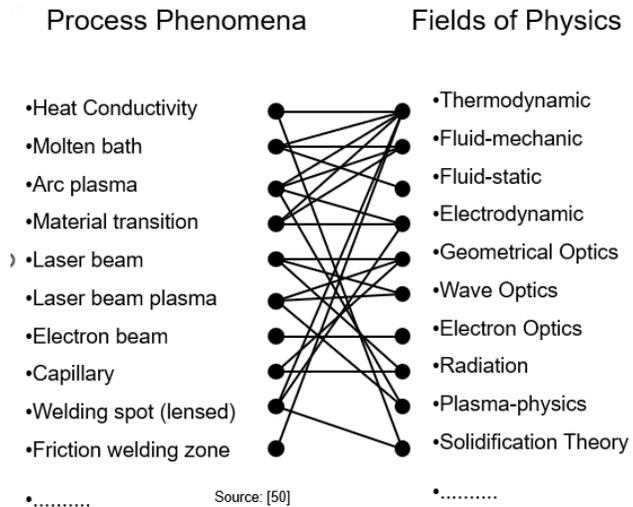


Ilustración 93. Calculo propiedades físicas

Las fuentes de calor o energía son las siguientes:

1. Goldak

Fuente de calor Goldak, o también conocida como fuente de calor de doble elipse, propone un modelo matemático basado en la distribución de calor no simétrico en el arco de la soldadura, planteando un doble elipsoide. A efectos prácticos, puede considerarse que esta fuente de calor este definida por la combinación de dos fuentes. La mitad delantera está constituida por el cuadrante de una fuente elipsoidal y la mitad trasera por el cuadrante de otra. De esta manera este modelo matemático permite el cálculo de la densidad térmica en cualquier punto dentro del volumen de este doble elipsoide.

En el software se engloban los procesos de arco general, arco metálico manual, MAG, MIG, arco sumergido, TIG y plasma bajo la definición de los parámetros de esta fuente de calor de doble elipsoide.

La eficiencia en procesos que emplean esta fuente de calor son los siguientes:

- Arco general: 80%-90%
- MAG (Metal Active Gas): 80%-90%
- MIG (Metal Inert Gas): 70%-80%
- TIG (Tungsten Inert Gas): 60%-70%

Expresión matemática de la distribución de la densidad de energía en una fuente de calor Goldak:

$$q(x,y,z,t) = \frac{6 * \sqrt{3} * f * Q}{a * b * c_{1,2} * \pi * \sqrt{\pi}} * e^{\frac{-3*x^2}{a^2}} * e^{\frac{-3*y^2}{b^2}} * e^{\frac{-3(z-v*(\tau-t))^2}{c_{1,2}^2}} [W * mm^{-3}]$$

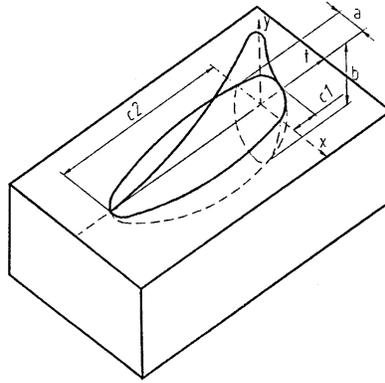


Ilustración 94. Modelo fuente de calor de doble elipsoide

También puede representarse la ecuación de la distribución energética de la siguiente manera:

$$Q_{(x,y,z)} = Q_f * e^{\frac{-y^2}{af^2}} * e^{\frac{-x^2}{b^2}} * e^{\frac{-z^2}{c^2}}$$

$$Q_{(x,y,z)} = Q_r * e^{\frac{-y^2}{ar^2}} * e^{\frac{-x^2}{b^2}} * e^{\frac{-z^2}{c^2}}$$

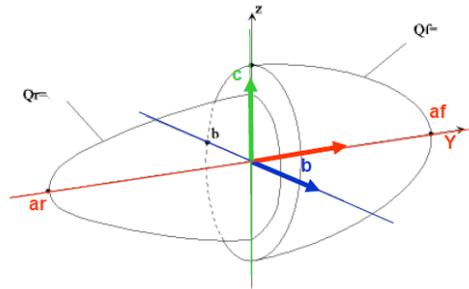


Ilustración 95. Fuente de calor Goldak

Donde:

- Q, a, b, c_1, c_2 son parámetros a calibrar
- $Q_{x,y,z,t}$ [$W * mm^{-3}$]: energía transferida por el proceso de soldadura
- a, b, c [mm]: parámetros dimensionales
- Q [W]: calor de entrada o de aporte, energía neta efectiva
- f : coeficiente de proporción de aporte de calor en la parte delantera de la fuente de calor o fracción de salida de calor
- r : coeficiente de proporción de aporte de calor en la parte trasera de la fuente de calor o fracción de salida de calor
- x, y, z [mm]: coordenadas sobre el punto de interés del elipsoide respecto a su centro
- v [$\frac{mm}{s}$]: velocidad de soldadura
- t [s]: tiempo de soldadura promedio
- τ [$-$]: espesor relativo



Para identificar el tipo de solución que debe usarse se cuenta con un parámetro llamado espesor relativo:

$$\tau = d * \sqrt{\rho * C * \frac{T_c - T_0}{H_{net}}}$$

Donde:

- $\tau [-]$: espesor relativo
- $d [mm]$: espesor del metal base
- $C [W * mm^{-3}]$: calor específico del material
- $\rho [kg * mm^{-3}]$: densidad del material base
- $T_0 [C]$: temperatura de referencia
- $T_c [C]$: conjunto de temperaturas desde la temperatura de fusión del material base
- $H_{net} [W * mm^{-1}]$: potencia de entrada del proceso de soldadura dividido por la velocidad de avance

Dada la distribución gaussiana, el aporte de energía fuera de la geometría delimitada por la definición de los valores a_r, a_f, b y c son bajos en comparación con la energía aportada en el interior de esta. Por lo tanto, existen ocasiones en las que esos parámetros deban ajustarse al tamaño de la zona fundida.

A modo de relación de variables se puede decir que:

- Una mayor concentración de energía significa una reducción de valor de los parámetros b, c, a_r y a_f , reduciendo el volumen de la fuente de calor y un aumento de Q_r y Q_f al mantener constante la tasa de transferencia de calor total
- Cuanto mayor sea la concentración de calor, mayor será la temperatura máxima en la zona fundida y, por lo tanto, mayor serán los gradientes térmicos
- La evolución de la temperatura en la zona afectada térmicamente depende en gran medida de los gradientes térmicos en la zona fundida
- La evolución del campo de temperaturas tiene una influencia decisiva en las tensiones y deformaciones residuales

Ecuación de flujo de calor o densidad media de potencia:

$$D_p = B * \left(\frac{E_p}{P_w * \left(\frac{\pi}{4} * D^2 \right)} \right)^{\frac{(w-w_r)^2}{2 * \phi^2}}$$

Donde:

- $D_p [W/mm^2]$: densidad media de potencia
- B : absortividad
- $E_p [KJ]$: energía producida por el arco eléctrico



- P_w [s]: ancho del pulso del arco eléctrico
- D [mm]: diámetro del electrodo
- w_r [mm]: punto de referencia del arco de soldadura en un eje determinado
- \emptyset [mm]: desviación estándar del arco eléctrico Gaussiano

Flujo de calor en la superficie:

$$q_s = k * \frac{\partial T}{\partial n}(x, y, z, t)$$

Donde:

- $\frac{\partial T}{\partial n}$ [C/mm]: distribución de temperatura en n (normal) en el punto (x, y, z, t)
- k [$\frac{W}{mm \cdot C}$]: conductividad térmica del material base isotrópico
- q_s [W/mm^2]: flujo de calor contante en la superficie

Flujo de calor mediante la Ley de Newton

$$q_{conv} = h_c * (T_\infty - T_s)$$

Aunque la ecuación también se puede formular de la siguiente manera:

$$h_c * (T_\infty - T_s) = k * \frac{\partial T}{\partial n}(x, y, z, t)$$

Donde:

- q_{conv} [W/mm^2]: calor transferido por convección
- h_c [$\frac{W}{mm^2 \cdot C}$]: coeficiente de transferencia de calor por convección
- T_∞ [C]: temperatura ambiente o de entorno
- T_s [C]: temperatura superficial de la unión a soldar

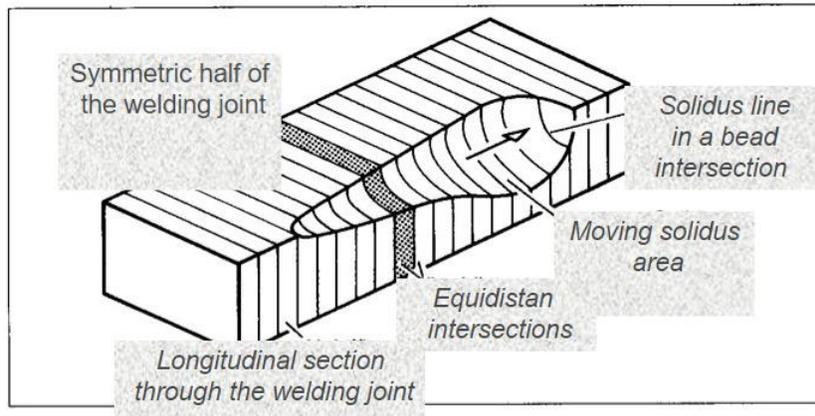


Ilustración 96. Huella de la fuente de calor de doble elipsoide



2. Cónica

Una fuente de calor cónica permite la modelización de procesos de soldadura de gran energía: tipo laser, haz de electrones.

A diferencia de la fuente de calor de doble elipse en esta se genera una forma cónica, gracias a la definición del radio superior e inferior, y mucho más incisiva, en función del valor de la penetración requerido.

$$Q(x, y, z) = Q_0 \frac{(x-x_s)^2 + (y-y_s)^2}{r_0^2(z)}$$

$$r_0(z) = r_e + \frac{r_i - r_e}{z_i - z_e} * (z - z_e)$$

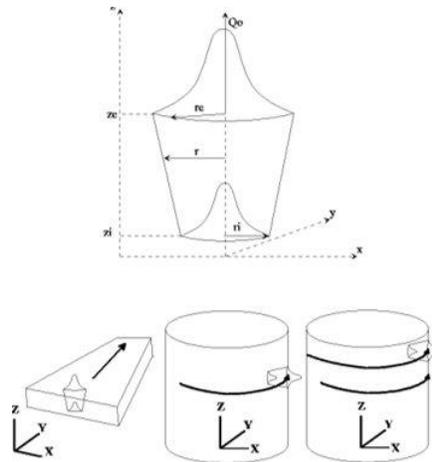


Ilustración 97. Fuente de calor cónica

3. De superficie Gaussiana

Una fuente de calor de superficie gaussiana esta especialmente adaptada para el modelado de tratamientos superficiales como el endurecimiento por láser.

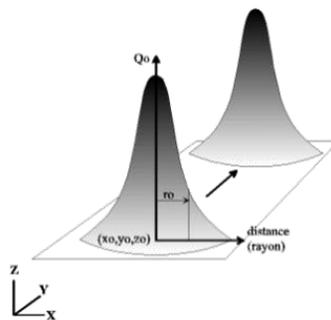


Ilustración 98. Fuente de calor de superficie Gaussiana



$$Q_{(x,y,z)} = Q_0 \frac{x^2+y^2}{r_0^2}$$

La transferencia de calor o transferencia térmica consiste en el traspaso de energía calórica de un medio a otro. Esto ocurre cuando dos sistemas que se encuentran a distintas temperaturas se ponen en contacto, permitiendo el flujo de la energía del punto de mayor temperatura al de menor, hasta alcanzar un equilibrio térmico, en el que se igualan las temperaturas o se llega a la temperatura objetivo. Se pueden distinguir entre diferentes transferencias de calor:

1. Conducción.

Se llama conducción a la transferencia de calor que se produce mediante el contacto directo de las partículas de un material con las de otro que tienen diferentes temperaturas sin transferir materia entre ambos cuerpos. Ocurre en todos los estados de la materia: sólido, líquido o gaseosos.

En los sólidos metálicos la transmisión del calor por conducción está relacionada con el movimiento de los electrones no ligados y con la transferencia de energía producida en los choques de estos. De esta manera, se deduce que existe una relación estrecha entre las conductividades térmica y eléctrica. En los sólidos aislantes la transferencia de energía por conducción está relacionada con las diferentes características de las vibraciones de la red cristalina entre las zonas que se encuentran a diferentes temperaturas. En cuanto a la transferencia de conducción dentro de los fluidos, esta se produce por choques entre las moléculas a diferentes temperaturas.

Este tipo de transferencia de calor únicamente puede darse cuando los cuerpos entre los que se va a producir dicha transferencia se encuentran a diferentes temperaturas.

Si se relaciona la teoría con las posibles transferencias térmicas que se producirá en las simulaciones de soldadura se observará que la conducción es el efecto dominante de las tasas de enfriamiento que ocurren en la estructura soldada. Al igual que para la soldadura, la transferencia de calor por conducción está desempeñando un papel dominante en los procesos de tratamiento térmico superficial que se basan en el auto enfriamiento por conducción, como, por ejemplo, el tratamiento superficial con láser. En el resto de tratamientos térmicos, la transferencia de calor por convección domina los procesos de enfriamiento, ya que se imponen unas temperaturas y unas curvas de enfriamiento más lentas que con un enfriamiento natural.

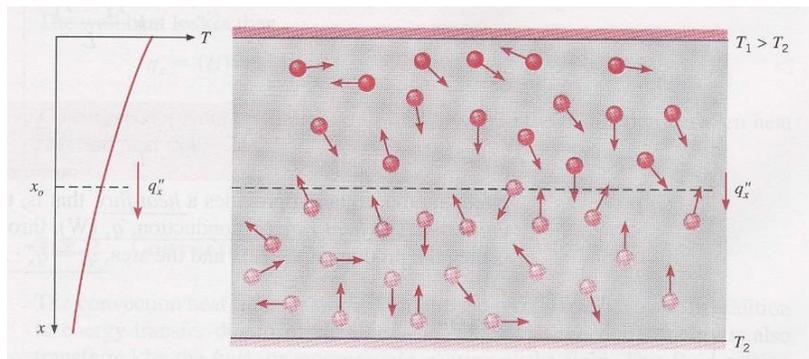


Ilustración 99. Transferencia térmica por conducción



2. Convección.

La transferencia de calor por convección va asociada al movimiento de un fluido que actúa como portador de energía entre zonas de este que se encuentran a distinta temperatura y entre el fluido y las superficies sólidas con las que este intercambia calor. En la transmisión de calor, las características del flujo (perfil de velocidades, régimen del flujo) influyen en gran medida en el proceso. Para realizar un análisis de la transferencia de calor que se produce se necesita estudiar en paralelo el flujo de energía y la dinámica del movimiento del fluido que actúa como portador del flujo.

La transferencia de calor por convección o ley de enfriamiento de Newton puede ser definida como:

$$q_{conv} = h_c * (T_{\infty} - T_s)$$

Donde:

- q_{conv} [W/mm^2]: calor transferido por convección
- h_c [$\frac{W}{mm^2 * C}$]: coeficiente de transferencia de calor por convección
- T_{∞} [C]: temperatura ambiente o de entorno
- T_s [C]: temperatura superficial de la unión a soldar

Aunque el coeficiente de transferencia de calor es difícilmente asumible como valor constante o fijo. Es conocido que este coeficiente depende de distintas variables como: el tipo de flujo (laminar o turbulento), la viscosidad y la conductividad térmica del fluido, la geometría, el estado de las superficies o el tipo de convección. Por lo tanto, el coeficiente de convección puede ser definido como:

$$h = \frac{1}{S} * \int_S h dS$$

Donde el movimiento del fluido producido por la convección sigue la condición de no deslizamiento en la que el fluido está en reposo respecto a la superficie. Al principio se establece el contacto con la superficie donde predominan las fuerzas viscosas y se obtiene el flujo laminar, un flujo ordenado por capas. Aunque en algunos casos dentro de la capa límite puede hacerse turbulento, es decir, con un movimiento desordenado, en función de las características del flujo. El paso del régimen laminar a turbulento en la capa límite se caracteriza por el número de Reynolds, definido como:

$$R_e = \frac{\rho * v * L}{\mu}$$

Donde:

- ρ : es la densidad
- L : es una longitud característica cuya elección depende del sistema
- μ : es la viscosidad dinámica
- $v = \mu/\rho$: es la viscosidad cinemática

Si se extrapola la teoría al caso particular de la soldadura, se podrá ver como en la mayoría de los casos solamente se tendrá aire inmóvil, el aire de entorno, a no ser que se defina una transferencia de calor por convección forzada. La transferencia de calor es por lo tanto baja en la gran mayoría de los casos, por lo que, a la hora de realizar la simulación de soldadura no



influye en las tasas de enfriamiento, aunque este tipo de transferencias son necesarias para que los componentes vuelvan de nuevo a las temperaturas ambiente definidas. Como es lógico pensar, las condiciones de entorno deben ser definidas, por lo tanto, se deberá registrar la temperatura ambiente para el proceso simulado, así como diferentes condiciones, si se dispone de enfriamientos u calentamientos forzados o si se quiere definir una región, una cara, incluso uno o varios componentes completos con diferentes o nulas transferencias de calor inducidas por convección.

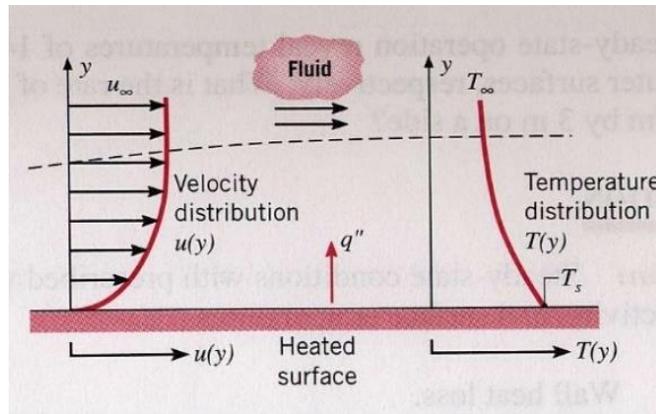


Ilustración 100. Transferencia térmica por convección

3. Radiación.

Por el simple hecho de encontrarse a una temperatura todos los cuerpos emiten una radiación electromagnética. Las características de esta radiación dependen del cuerpo y de la temperatura de emisión. Durante la transmisión del calor por radiación un cuerpo cede parte de su energía interna a través de la emisión de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz y no necesitan de un medio material para propagarse. Al absorberse estas ondas electromagnéticas por otros cuerpos, esa energía pasa de nuevo a un movimiento térmico y, por lo tanto, a un aumento de la temperatura. A su vez, estos cuerpos también se encuentran a cierta temperatura, por lo que, estos también emitirán ondas electromagnéticas correspondientes a la temperatura que tienen.

El intercambio de calor por radiación es un proceso no solo de emisión, sino, también, de absorción de energía en forma de fotones por parte de átomos y moléculas de las diferentes sustancias.

La radiación térmica, se corresponde con la radiación electromagnética de una longitud de onda comprendida, normalmente, en el rango de longitudes de onda entre 0.1 a $100 \mu m$. Esta longitud de onda esta conformada por los cuerpos que emiten radiación por el mero hecho de encontrarse a cierta temperatura. La radiación térmica tiene su origen en el movimiento vibracional y rotacional de los átomos y moléculas de una sustancia, fenómenos que están relacionados con la temperatura. Es por eso que, al aumentar la temperatura de un cuerpo aumenta la emisión de radiación térmica, mientras que al disminuir la temperatura ocurre lo contrario.

En el caso particular de la soldadura, la radiación domina la transferencia de calor al entorno a temperaturas más altas. Sin embargo, las velocidades de enfriamiento que se suelen



alcanzar altos coeficientes, por lo que, el tiempo para transferir energía al entorno por radiación no es muy elevado. Como consecuencia, la transferencia neta de calor al entorno por radiación durante la tan importante fase de enfriamiento, para el proceso de soldadura, no es muy importante para curvas de enfriamiento tan rápidas.

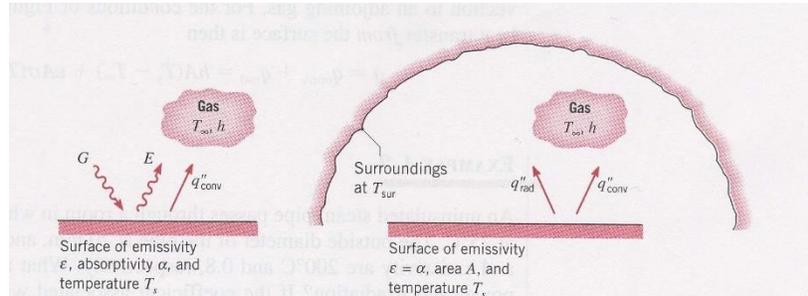


Ilustración 101. Transferencia térmica por radiación

4.7. Calibración uniones representativas

Una vez definida y afianzado los conceptos sobre la zona afectada térmicamente y la zona plástica que se obtiene, se procederá con la realización de los modelos de calibración.

Las calibraciones consistirán en primer lugar en la extracción de una serie de uniones representativas. Este proceso consiste en validar los resultados obtenidos con el método de factibilidad. Al realizar este proceso en las fases tempranas del análisis del conjunto, se pueden dar por calibradas todas las uniones de forma individual. Por lo tanto, cuando se realiza el proceso de soldeo completo, con todas las uniones los resultados de distorsión obtenidos por el método de validación y factibilidad no diferirán en gran medida.

Para realizar el proceso de calibración se deben definir cuáles son las uniones representativas del conjunto del que se dispone. Una unión representativa se refiere a un conjunto específico de condiciones que se eligen para representar una variedad de situaciones de unión. Se seleccionan diferentes uniones representativas para abarcar diversos escenarios y desafíos que pueden surgir en el proceso de soldadura, de esta manera se garantiza la robustez y eficiencia de los procedimientos seguidos. Se va a considerar que una unión debe ser calibrada cuando se dispone de una geometría de soldeo diferente, cuando se dispone de un mayor o menor tamaño de cordón, si se emplea un método de soldeo diferente, si se utiliza una fuente de calor diferente o cuando cualquiera de los parámetros que define la fuente de calor difiere con el resto:

1. Geometría de soldeo.

Existen 5 tipos diferentes de uniones (a solape, a tope, de borde, de esquina y la junta en T). A parte de los tipos de unión básica, los componentes a unir aún pueden presentar variaciones en términos de orientación de las piezas a unir, espesor, ángulo de unión o configuración de la junta. Los espesores de dichos componentes, por ejemplo, jugarán un papel importante en la disipación de las temperaturas que se alcancen por el paso de la fuente de calor. En este



caso, al tratarse de piezas de extrusión el espesor empleado en todos los componentes será homogéneo en las zonas laterales. Aun así, es otro parámetro para tener en cuenta en el diseño de los perfiles.

En el caso de que en las diferentes uniones los perfiles contarán con espesores diferentes habría que realizar una calibración diferente para cada unión.

2. Material de aporte.

El material de aporte consiste en el espesor que deseamos que tengan los cordones encargados de unir dos o más componentes, es decir, el espesor o el tamaño del cordón de soldadura. Aunque no se suele utilizar una gran variedad de tamaños de cordón, el espesor de este afecta a la energía a aplicar sobre la unión para que el material de aporte alcance la temperatura de fusión.

3. Método de soldeo.

En función del tipo de soldeo no solamente dispondremos de una fuente de calor diferente, sino que los parámetros y las ecuaciones tras esas fuentes de calor van a diferir. Se debe tener en cuenta que tipo de soldadura se va a realizar y cuáles serán los recursos para emplear. Como tal podrían definirse soldaduras de tipo arco, laser o por fricción.

4. Diferencias en parámetros de la fuente de calor.

Al tratarse de un proceso automatizado y por tanto realizarlas un robot, no se contará con el factor humano que puede llevar a tener diferencias durante el soldeo de un cordón. También se puede considerar que las fuentes de calor empleadas en los diferentes cordones, diferenciando los diferentes cordones en cuanto a material de aporte, van a ser definidas con los mismos parámetros.

En el contexto de este estudio, se han elegido varias uniones representativas que abarcarán una gama diversa de condiciones y desafíos que pueden surgir en la práctica. Estas uniones se han seleccionado para reflejar las diferentes situaciones geométricas y ayudarán a comprender mejor el comportamiento de los diferentes perfiles durante el proceso de la soldadura en diferentes escenarios.

- Unión entre dos perfiles de la región interior.

Más concretamente se analizará la unión entre *PR5_BEAM2* y *PR6_BEAM1*. Se ha seleccionado esta unión no solo por el hecho de ser considerada como una unión representativa, sino también como forma para visualizar que secuencia inducirá un mejor comportamiento en la estructura tras la soldadura. En esta unión se incluyen 3 cordones: *PR6_MM1*, *PR6_MM2* y *PR6_MM3*. A pesar de que el cordón de soldadura central tiene una longitud menor, todos tienen un espesor de 3mm.

Para una buena visualización de los modos de distorsión en la unión los perfiles seleccionados tendrán una longitud mínima de 500mm. De esta manera, el costo computacional también se verá reducido en gran medida y se podrán realizar diferentes iteraciones de una forma más sencilla. Este requisito se contempla sobre las 3 uniones a calibrar.

Además, a modo de simplificación esta unión seleccionada tiene un carácter simétrico, por lo que, dicho de otra manera, puede considerarse una condición de simetría a modo de ahorro de elementos empleados y de reducir aún en mayor medida el coste computacional.

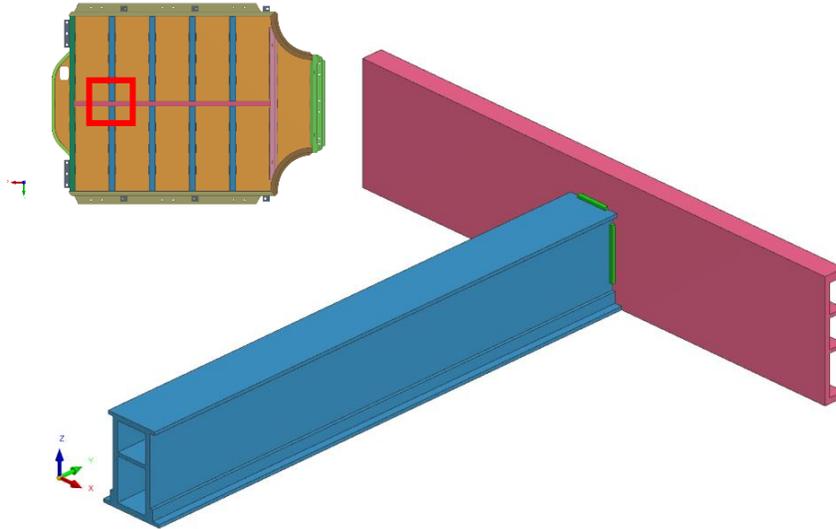


Ilustración 102. Unión entre perfiles interiores

- Unión entre perfil interior y el cover. Tipo de unión en T
Unión entre *PR6_BEAM2* y *PR7_COVER*. Sobre esta unión se realizará una simplificación. Los modos de distorsión que se esperan visualizar estarán mejor acentuados si en lugar de considerar los cordones envueltos en la soldadura como intermitentes, se simplifica en un cordón continuo. La validación del cordón se realizará de la misma manera por lo que la unión quedará de igual manera validada
Al igual que en la unión anterior las características de esta viga se verán reducida hasta los 500mm y aplicando una condición de simetría podremos realizar la calibración de esta unión de una forma más sencilla

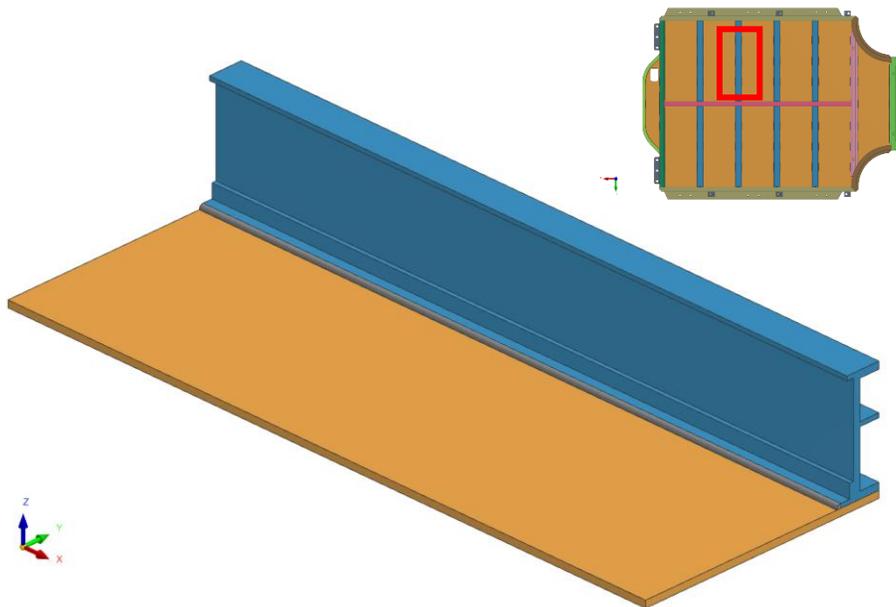


Ilustración 103. Unión entre perfil interior y cover



- Unión entre perfil exterior y el cover. Tipo de unión a solape
Unión entre PR1_BEAM2 y PR7_COVER. Esta unión se analizará dentro del método transitorio como una soldadura Fast-Transient. Este método que permite la simplificación del cálculo de las uniones con cordones de soldadura de una longitud considerable. Se dividirá el cordón en 3 partes diferentes: la inicial, la transitoria y la final. La simplificación ocurre en la zona transitoria, donde se observará que la soldadura avanza con mayor rapidez debido a dicha simplificación

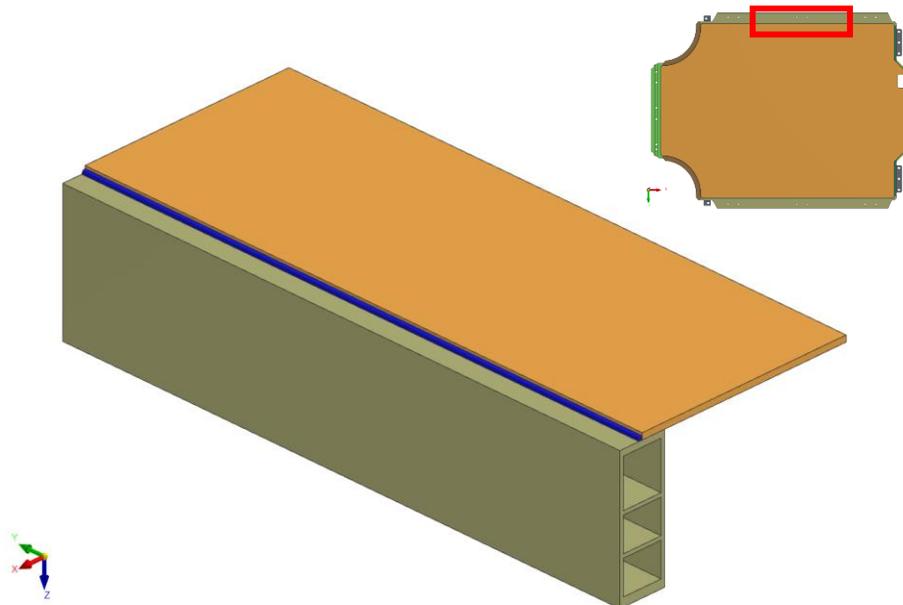


Ilustración 104. Unión entre perfil exterior y cover

4.7.1. Benchmark vs Industrial

Una vez extraídas las superficies de los modelos representativos se comenzará propiamente con la fase de calibración. Para esto se deberán realizar una serie de modelos:

- Malla Benchmark
Este tipo de malla contará con un número de mayor de elementos. Esto proporcionará un mayor número de puntos de cálculo en todas las regiones, por lo que los resultados obtenidos serán los que cuenten con una mayor resolución. Esta malla se puede realizar tanto para la comprobación de la malla tetraédrica como de la hexaédrica.
- Malla Industrial
La malla industrial, a su vez, tendrá la cantidad mínima de elementos posible sin que esto requiera que se pierda precisión en los resultados obtenidos. Para dar por buena esta malla los resultados comparados con los obtenidos en la malla tipo benchmark no deben diferir en más de un 10%. En caso de no cumplir este requisito será necesario volver a realizar otra malla industrial con mayor detalle hasta cumplir con los resultados esperados.



Una vez se dé por validada la malla industrial, esta se aplicará sobre el modelo completo (industrial).

4.7.1.1. Mallado Hexaédrico

La realización de cada tipo de malla requiere de una serie diferente de pasos. En este apartado se verán los pasos correspondientes a la de la malla hexaédrica:

- Extracción de la sección 2D.
Al tratarse de perfiles de extrusión la extracción de la sección se realizará de forma sencilla. Basta con seleccionar únicamente la superficie de cierre o abertura de los perfiles que se pretenden mallar. Sobre esta sección no solamente se deben seleccionar las superficies de los componentes, sino que también se seleccionarán las superficies de abertura o cierre de los cordones de soldadura.

- Realizar una malla 2D de la sección.
Sobre las secciones seleccionadas se realizará el mallado en 2D. En primer lugar, para realizar la malla se debe considerar si se realizará el modelo de malla Benchmark o Industrial. Se debe tener en cuenta que la malla 2D que se realice determinará prácticamente la malla completa a falta de la definición de la longitud de los elementos.

En las siguientes imágenes se puede observar como a diferente tamaño de elemento se obtendrán mallas con mayor o menor detalle. En la *Ilustración 102. Malla Quad de tipo Benchmark*, se muestra la representación de una malla Benchmark, mientras que en la imagen *Ilustración 103. Malla Quad de tipo Industrial*, se muestra la malla Industrial.

Parámetros para tener en cuenta para la realización de la malla Benchmark:

- Tamaño de elemento de inferior tamaño en la zona afectada térmicamente y de mayor tamaño en la zona alejada del cordón, de esa manera se verá con mejor resolución la afección de la zona de calor y la huella de fundido que deja tras su paso. En este caso tamaño de elemento en HAZ es de 1mm y en la zona más alejada es de 2.5mm, aunque puede ir variando a medida que se aleja de la zona afectada térmicamente. En función de la geometría que se disponga el tamaño puede variar, el tamaño se debe adecuar a la topología.
- Para malla Benchmark el número de elementos en el espesor de los perfiles será superior a 2, normalmente 4. En el caso mostrado, los espesores cuentan con 3 y 4 elementos respectivamente.
- Tras realización de la malla 2D se deben de realizar una serie de comprobaciones de la calidad de los elementos. Este paso se debe hacer previo a la realización de la malla 3D, ya que es mucho más sencillo realizar correcciones en esta etapa.

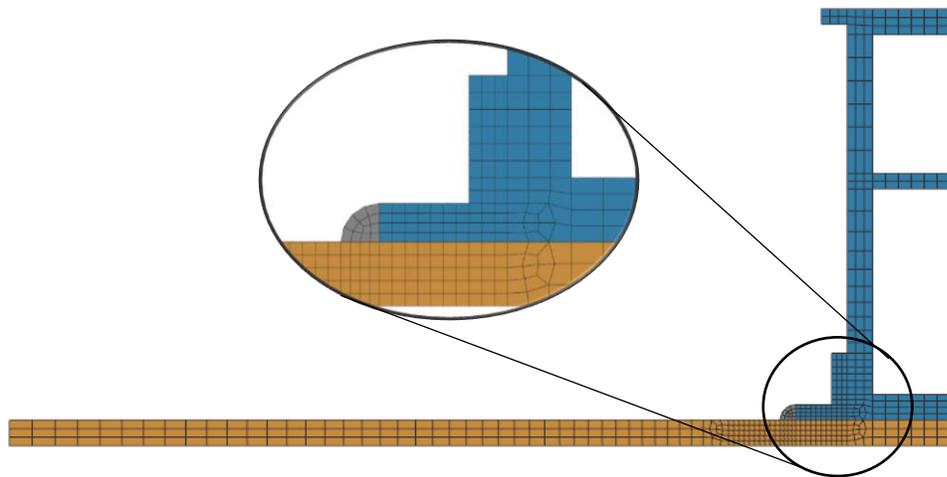


Ilustración 105. Malla Quad de tipo Benchmark

Parámetros para tener en cuenta para la realización de la malla Industrial:

- De igual manera que en la malla Benchmark el tamaño de elemento aumentará a medida que se aleja de la zona fundida o afectada térmicamente. En este caso, la malla en HAZ es de 2.5mm y la malla en la región más alejada llega a 6.5mm. En función de la geometría el tamaño de elemento puede variar.
- El número de elementos en el espesor es 2 o 3, generalmente 2. Si, existe alguna zona que no se vea afectada térmicamente o que no tenga ningún cordón próximo se puede reducir a 1 único elemento. En este caso, al no obtener resultados aproximados cuando se han utilizado 2 elementos en el componente del Cover se han utilizado 3 en el espesor. Mientras que en el perfil vertical el número de elementos se reduce de 2 en la zona afectada térmicamente a 1 en la zona más alejada gracias al rebaje del propio perfil.
- Tras realización de la malla 2D se deben de realizar una serie de comprobaciones de la calidad de los elementos.

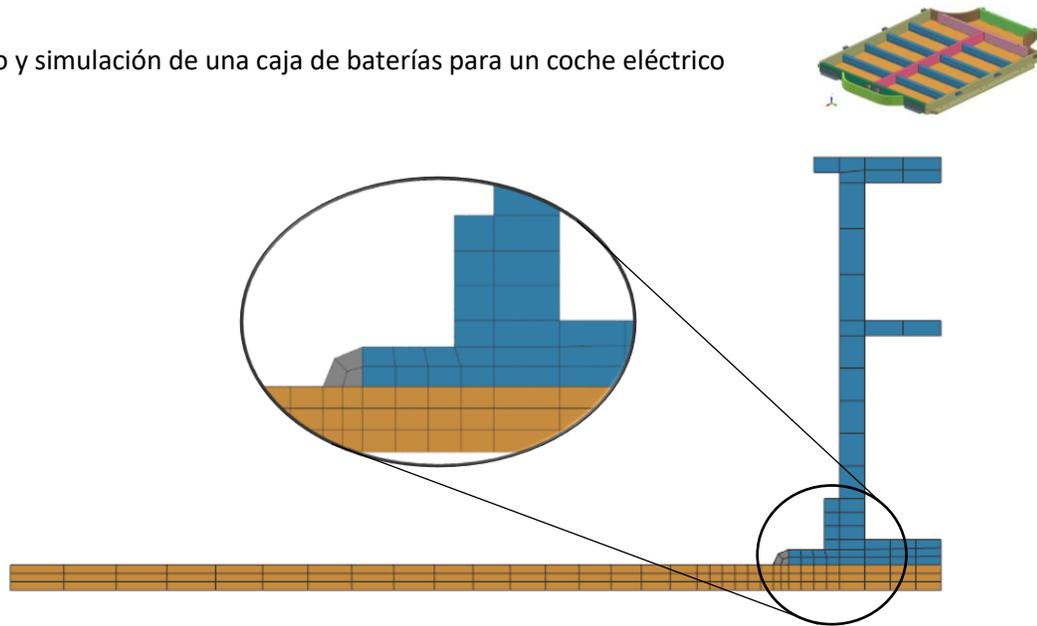


Ilustración 106. Malla Quad de tipo Industrial

- Realizar la malla 3D a través de una operación de extrusión
A través de la operación Sweep (Drag) se hará una extrusión de los elementos 2D previamente generados. En este caso el único parámetro para tener en cuenta es el de la longitud de los elementos que se van a configurar. Se debe mencionar que para obtener una buena definición de la afección que supone la fuente de calor respecto a la longitud esta debe abarcar entre 2 y 4 elementos. En el caso extremo de realizar un modelo industrial de grandes dimensiones puede configurarse para un único elemento aunque la visualización térmica de los resultados puede ofrecernos defectos, como no ser capaces de visualizar ninguna zona fundida en el cordón ni en los alrededores en algunos de los pasos, por lo que se debe tener especial cuidado en este ámbito. Con la generación de la malla 3D al igual que en el anterior caso, se deben de realizar una serie de comprobaciones de la calidad de los elementos empleados

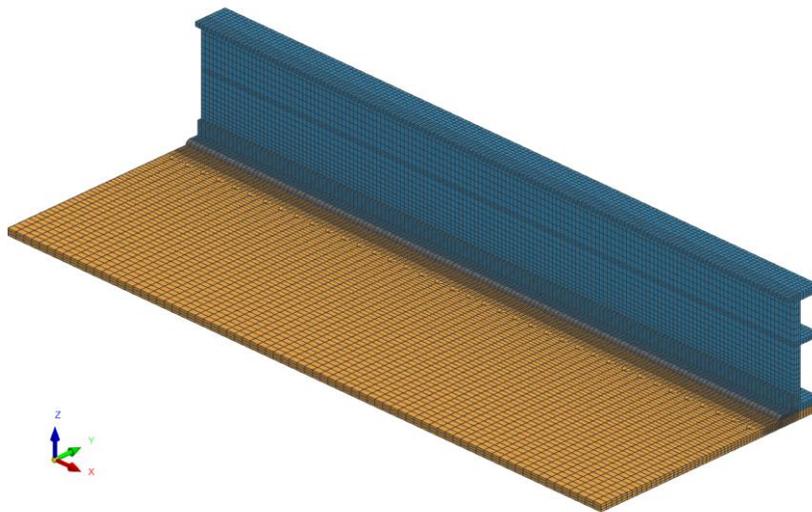


Ilustración 107. Malla hexaédrica-Benchmark

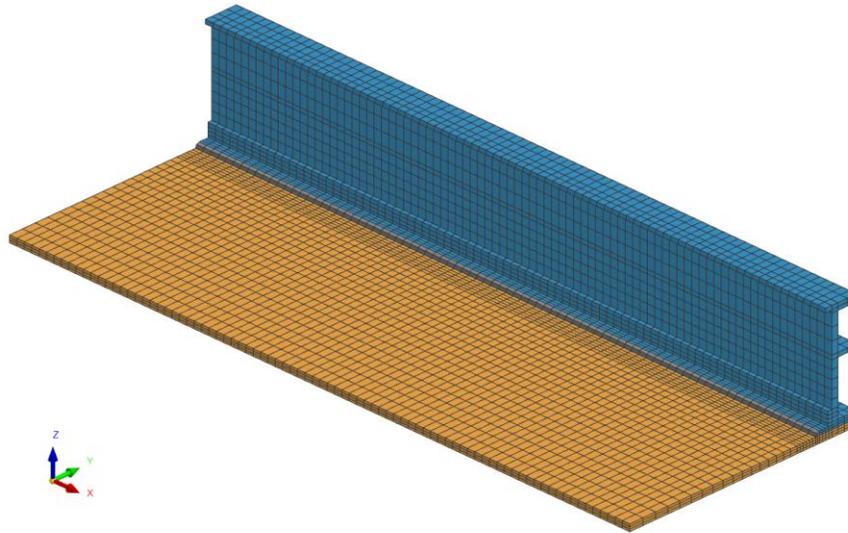


Ilustración 108. Malla hexaédrica-Industrial

4.7.1.2. Mallado Tetraédrico Cuadrático o QTetra

A continuación se muestran las pautas a seguir para la realización de un mallado Tetraédrico Cuadrático:

- Ensamblado

En primer lugar, tras la extracción de la unión representativa se realiza un ensamblado de todos los componentes. El ensamblado elimina las superficies que dos o más componentes tienen en común. Si dos superficies tienen solamente parte de la región compartida, una de las superficies, la de mayor tamaño será dividida en diferentes partes, mientras que la superficie de menor tamaño será eliminada. Este paso se hará de forma automática al seleccionar la herramienta Volume/Assembly.

La eliminación de las superficies comunes supone una ventaja a la hora de la realización de mallas conectadas. En caso de tener dos superficies cada una puede ser automáticamente mallada con nodos que no coincidan entre las dos, lo que supondría tener que hacer un ajuste manual de los nodos para que coincidieran.

En caso de querer realizar una simulación con mallas no coincidentes y desconectadas, no sería necesario realizar este paso. Aunque otra buena opción sería la de realizar las mallas de forma conectada y desconectarlas posteriormente, lo que haría que fueran mallas desconectadas con nodos coincidentes. Tener nodos coincidentes entre dos componentes en contacto puede ser beneficioso para generar un contacto entre ambas partes.

- Realización de la malla 2D.

En este caso la realización de la malla 2D es prácticamente automática. Se seleccionan las superficies a mallar y se selecciona el tamaño de elemento, el número de nodos en cada arista



puede ser modificado de forma individual o generar grupos por regiones para poder realizar diferentes tamaños de elementos sobre la misma superficie.

Es de mucha importancia en esta simulación de factibilidad que en la zona afectada térmicamente se utilice el mayor número de nodos posible, por lo que, las superficies cercanas al cordón de soldadura deben tener un tamaño de elemento menor que en las zonas alejadas. Otra mejora que se realizará en el último paso de la realización de la malla es la generación de los nodos Cuadráticos, estos harán que la densidad de nodos en la región HAZ aumente sustancialmente.

Una vez se ha generado la malla se deben realizar, de nuevo, una serie de comprobaciones para obtener una calidad de elementos aceptable y para asegurarse de que la malla generada no tiene ningún contorno abierto. En caso de no cumplir esta última condición, es decir, si se dispone de una abertura en los elementos generados que no formen un volumen cerrado, no se podrá continuar con el siguiente paso.

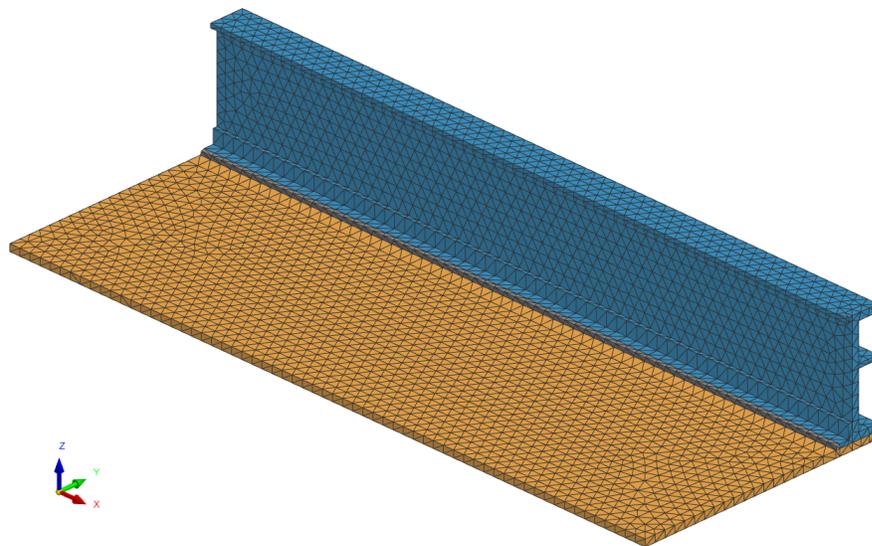


Ilustración 109. Malla Tria de tipo Benchmark

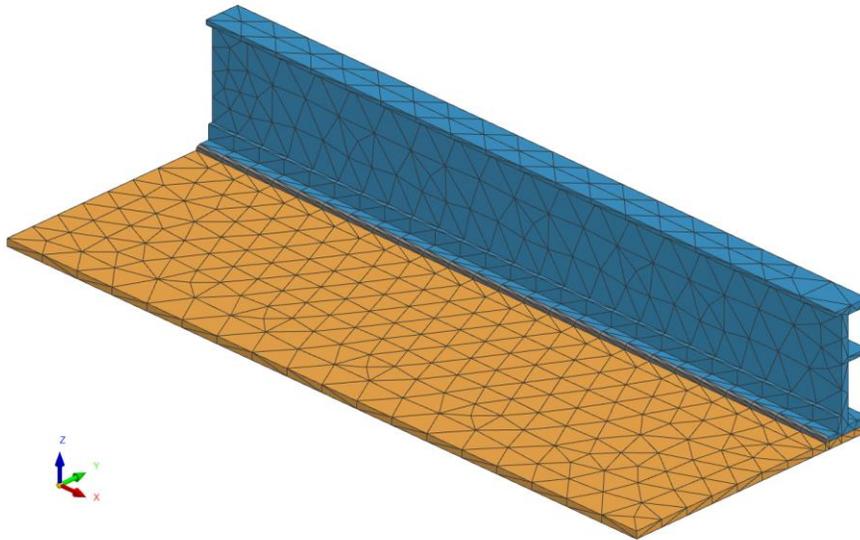


Ilustración 110. Malla Tria de tipo Industrial

- Realización de la malla 3D.
Una vez la malla forme uno o varios volúmenes cerrados, se procederá a la extrusión de la malla. Este es un paso automático que se realiza a través del procesador. La malla 3D, a través de los algoritmos de Sysweld, se forma de forma automática.
Una vez más, se comprobará la malla 3D. En este caso se debe tener especial cuidado con los elementos denominados 'Tetra Colapse', estos elementos surgen por tener superficies de pequeño tamaño o espesores muy estrechos. Se pueden llegar a formar elementos de muy pequeñas dimensiones con un volumen ínfimo que deben ser corregidos para poder realizar un buen post-procesado.
- Convertir la malla a Cuadrática.
Este último paso, también automático, solo requiere la conversión de la malla lineal a cuadrática. Aumentará el número de nodos insertando un nuevo nodo equidistante entre los que ya existían en los vértices.

4.7.1.3. Comprobación Calidad de los elementos

Como se ha mencionado en la explicación de la generación de la malla se deben realizar una serie de comprobaciones sobre los elementos generados.

- Malla 2D.
Cabe mencionar que todos los parámetros son editables, por lo que, se requiere de experiencia y conocimiento de mallado para hallar unos parámetros que aseguren la calidad de los elementos y no interfieran en el cálculo de la simulación.

Para la comprobación de los elementos 2D se revisará para ambos casos, malla hexaédrica y tetraédrica, el tamaño de elemento. Al haber empleado un tamaño mínimo de 1mm, se ha



seleccionado un criterio de 0.5mm. Todos los elementos por debajo de ese valor serán marcados como elementos erróneos o fallidos y deberán ser corregidos.

Otro de los parámetros principales a comprobar es el ángulo de las caras del elemento, para elementos Tria como 'Max. y Min. Tria Internal Angle', mientras que para Quads, 'Max. y Min. Quad Internal Angle'. Este parámetro mide el ángulo que forman las aristas de los elementos y serán seleccionados como fallidos si no entran dentro de los márgenes establecidos: entre 45 y 135 grados para Quads y entre 20 y 120 grados para Trias.

De igual manera se comprobará si el elemento 2D en cuestión este girado en torno a su plano principal. Esa comprobación se realizará a través del cálculo de la ecuación de la *Ilustración 108*.

Mesh Quality	On/Off	Value	No. Failed (3)	Min Val	Max Val
Min Side Length	ON	0.5	Not Checked	-	-
Max Side Length	OFF	10	Not Checked	-	-
Min Tria/Quad Height	OFF	1	Not Checked	-	-
Max Aspect Ratio	ON	5	Not Checked	-	-
Min Quad Internal Angle	ON	45	Not Checked	-	-
Max Quad Internal Angle	ON	135	Not Checked	-	-
Min Tria Internal Angle	ON	20	Not Checked	-	-
Max Tria Internal Angle	ON	120	Not Checked	-	-
Max Warp Angle	ON	15	Not Checked	-	-
Min Taper	OFF	0.7	Not Checked	-	-
Max Skew	ON	60	Not Checked	-	-
Min Jacobian	OFF	0.7	Not Checked	-	-
Min Time Step	OFF	0.001	Not Checked	-	-
Total Failed	-	-	-	-	-

$Aspect\ Ratio = \frac{1}{\max\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{l_2}{l_1}\right)}$

$Aspect\ Ratio = \min\left(\frac{l_1}{l_2}\right)$

$Skew\ Angle = 1 - \max\left(\frac{90^\circ - \alpha_1}{90^\circ}\right)$

$Skew\ Angle = 1 - \left(\frac{90^\circ - \alpha}{90^\circ}\right)$

Ilustración 111. Calidad elementos 2D

- Malla 3D zona fundida y afectada térmicamente

En cuanto a las comprobaciones de los elementos 3D sí se han cumplido todos los requisitos en la malla 2D solamente habrá que comprobar el 'Aspect Ratio' para los elementos Hexaédricos. El parámetro aspecto ratio marca cuantas veces mayor es la arista de una cara respecto al resto de un mismo elemento. Por lo general en la zona afectada térmicamente no debe superar el valor 8 además, para las mallas Tetraédricas se debe seguir comprobando los ángulos internos de los elementos, ya que la malla 3D se ha generado automáticamente.

Como se ha mencionado en el paso anterior, es conveniente comprobar el parámetro de 'Tetra Colapse' para evitar tener elementos tipo aguja.



Element Type	Mesh Quality	On/Off	Value	No. Failed (%)	Min Val	Max Val
3D Element	Min Edge Length	ON	0.2	Not Checked	-	-
	Max Edge Length	OFF	30	Not Checked	-	-
	Min Tetra Height	OFF	8	Not Checked	-	-
	Max Aspect Ratio	ON	8	Not Checked	-	-
	Min Hexa Face Angle	ON	45	Not Checked	-	-
	Max Hexa Face Angle	ON	135	Not Checked	-	-
	Min Tetra/Penta Face Angle	ON	30	Not Checked	-	-
	Max Tetra/Penta Face Angle	ON	120	Not Checked	-	-
	Max Face Warp	ON	15	Not Checked	-	-
	Min Face Taper	OFF	0.7	Not Checked	-	-
	Max Face Skew	OFF	45	Not Checked	-	-
	Min Jacobian	OFF	0.7	Not Checked	-	-
	Tetra Collapse	OFF	0.5	Not Checked	-	-
	Tetra Aspect Ratio	OFF	8	Not Checked	-	-

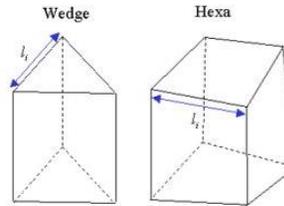
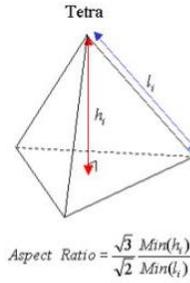


Ilustración 112. Calidad elementos 3D - Zona fundida

- Malla 3D zona alejada del cordón

De igual manera que en caso anterior se comprobará la calidad de los elementos en la zona más alejada de los cordones y zonas afectadas térmicamente. En este caso, los parámetros a comprobar serán un poco más laxos ya que los elementos pueden ser de mayor tamaño.

Element Type	Mesh Quality	On/Off	Value	No. Failed (%)	Min Val	Max Val
3D Element	Min Edge Length	OFF	1	Not Checked	-	-
	Max Edge Length	OFF	2	Not Checked	-	-
	Min Tetra Height	OFF	1	Not Checked	-	-
	Max Aspect Ratio	ON	15	Not Checked	-	-
	Min Hexa Face Angle	ON	45	Not Checked	-	-
	Max Hexa Face Angle	ON	135	Not Checked	-	-
	Min Tetra/Penta Face Angle	ON	30	Not Checked	-	-
	Max Tetra/Penta Face Angle	ON	120	Not Checked	-	-
	Max Face Warp	ON	30	Not Checked	-	-
	Min Face Taper	OFF	0.7	Not Checked	-	-
	Max Face Skew	OFF	45	Not Checked	-	-
	Min Jacobian	OFF	0.7	Not Checked	-	-
	Tetra Collapse	OFF	0.5	Not Checked	-	-
	Tetra Aspect Ratio	OFF	8	Not Checked	-	-
	Tetra Radi Ratio	ON	0.001	Not Checked	-	-
	Total Failed	-	-	-	-	-

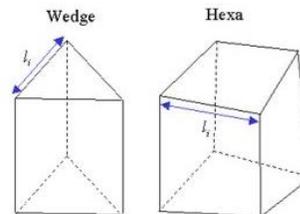
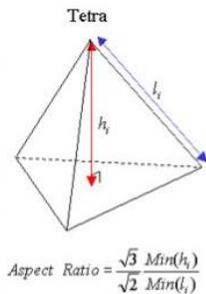


Ilustración 113. Calidad elementos 3D - Zona alejada del cordón



4.7.2. Calibración de la fuente de calor

Una vez se han generado las mallas de los diferentes modelos, se realizará una primera simulación térmica por el método de validación para definir correctamente los parámetros de la fuente de calor. Recordar, que este paso no sería necesario si se dispusiera de una macrografía de la unión, ya que de esa manera ya se conocerían los parámetros empleados sobre el experimento o, en el caso más desfavorable se tendría que realizar la calibración comparando la zona fundida y afectada térmicamente con la macrografía.

La preparación de la simulación se realizará a través del ‘Welding Advisor’. El advisor es una interfaz que servirá de guía para preparar las simulaciones. Está formado por 9 pasos, por lo que, si se rellenan todos los pasos de una forma adecuada se podrá lanzar el cálculo.



Ilustración 114. Workflow Welding Advisor

Esta primera simulación se centrará en la parte térmica, por lo que no será necesario definir todos los parámetros de los diferentes pasos. Este estudio se centrará, por ahora y entre otras cosas, en la correcta definición de la fuente de calor y todos sus parámetros y en el comportamiento de las propiedades térmicas del material establecido.

- **Material**
En cuanto al material se refiere se asignará el material establecido. Se empleará el W_S355J2 para todos los componentes de esta simulación.

Component/Joint	Material	Thickness
BEAM	S355J2G3	NA
COVER	S355J2G3	NA

Ilustración 115. Asignación material sobre los componentes



- Parámetros de la fuente de calor.

Al tratar de realizar una soldadura por arco convencional se empleará la fuente de calor conocida como 'Goldak', recordar que esta fuente de calor sigue las ecuaciones matemáticas de una doble elipse.

Previo a la definición de la fuente de calor se seleccionan los elementos entre los cuales se dividirá en mayor medida la energía que se va a aportar al sistema. En una soldadura convencional lo ideal es seleccionar no solamente el cordón de soldadura, sino que también la previsión de la zona afectada térmicamente de forma orientativa. A pesar de que se trata de un modelo reducido, la fuente de calor se calibrará para ser empleada sobre el modelo industrial, es por eso, que al tratarse de una característica orientativa se seleccionará únicamente los elementos que forman el cordón de soldadura, los elementos seleccionados en rojo en la siguiente imagen.

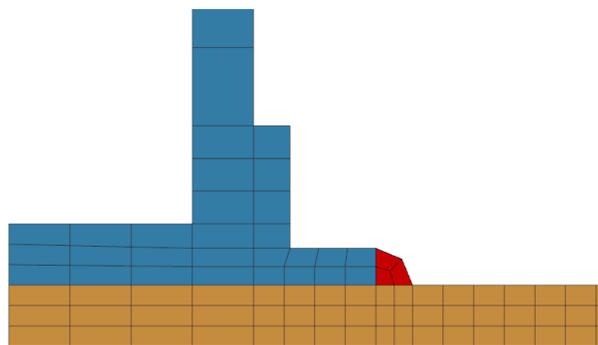


Ilustración 116. Definición de la Load

Una vez, se ha definido y asignado la Load que se va a emplear en el proceso de soldadura se definirán los diferentes parámetros de la fuente de calor:

- Velocidad: 10 mm/s
- Dimensiones de la fuente de calor: Length: 8mm, Width: 4mm y Penetration: 2.5mm.

Los valores de estos parámetros, aunque puedan verse modificados en función de los resultados obtenidos, vienen determinados por las dimensiones del cordón. Se tratará de realizar una fuente de calor del tamaño aproximado al cordón de soldadura.

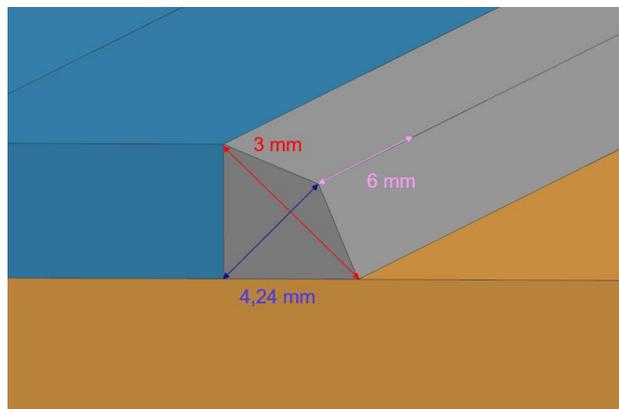


Ilustración 117. Dimensiones del cordón



Previsualizando la fuente de calor con los parámetros definidos se obtienen las siguientes dimensiones:

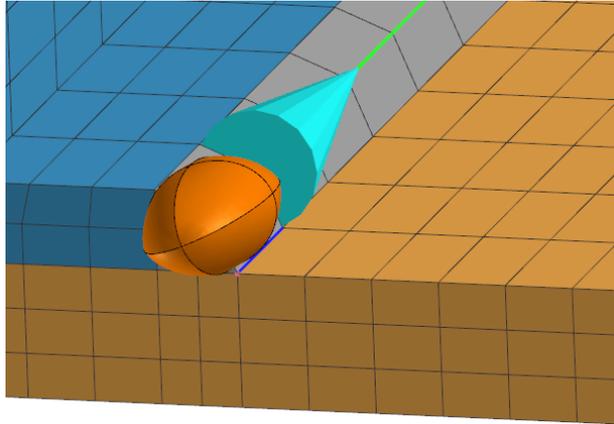


Ilustración 118. Previsualización de la fuente de calor

- Energía por unidad de longitud: 325 J/mm
La energía a aplicar puede definirse a través de la tensión, intensidad y la velocidad, en caso de disponer de una antorcha:

$$Energy/UnitLength = \frac{V * I}{v}$$

- Eficiencia del proceso: 90%
- Rampa de entrada y salida. Factor de energía rampa de entrada de 0.7, Factor de energía de rampa de salida de 0.5.

Las rampas de entrada y salida suponen un aumento o descenso de la energía aportado al sistema. Es un factor que aproxima la simulación a la realidad ya que cuando se pone la antorcha la energía va aumentando gradualmente y cuando se quita la antorcha esa energía debe ir disminuyendo de igual forma.

4.7.2.1. Resultados térmicos

Tras los diferentes parámetros definidos para la fuente de calor se han obtenido los siguientes resultados. Cabe mencionar que los parámetros explicados en el apartado anterior son fruto de diferentes simulaciones llevadas a cabo en un proceso iterativo. Se ha seleccionado la fuente de calor que mejores resultados ofrece en cuanto a ajuste de la zona fundida sobre el cordón de soldadura.

En primer lugar, se realizará un corte en la sección central para equiparar los resultados obtenidos a una macrografía y comprobar si la zona fundida es la adecuada.

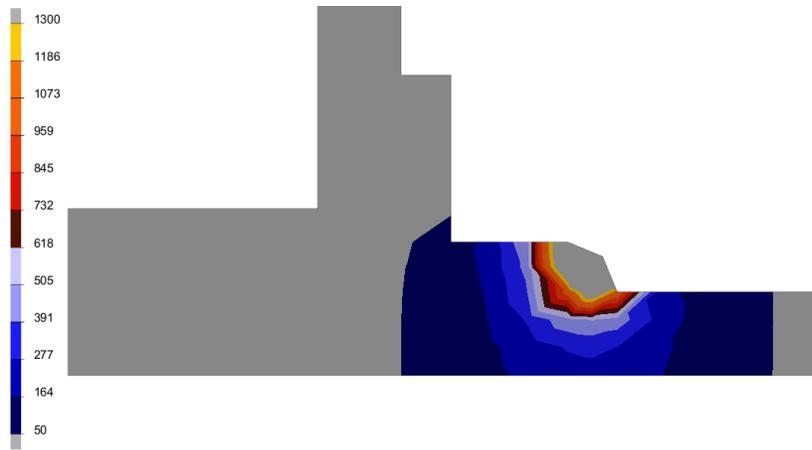


Ilustración 119. Resultados térmicos - Vista de corte en sección

Además, se puede observar el comportamiento de la fuente de calor a lo largo del proceso a medida que avanza sobre la trayectoria definida, pudiendo observar el efecto de la disipación térmica. Para ello, a través de la ayuda de una gráfica se observa uno de los nodos adyacentes al cordón. De esa manera, se puede observar como el extremo del cordón llega a la temperatura de fusión del acero seleccionado, a 1300C y cuál es la curva de calentamiento/enfriamiento antes y después del paso de la fuente de calor.

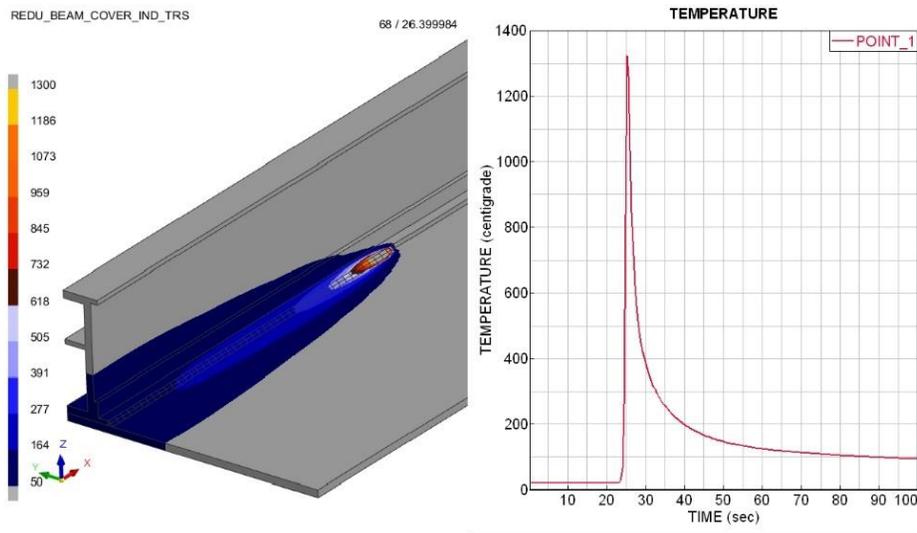


Ilustración 120. Progresión fuente de calor y grafica de temperaturas



4.7.3. Validación vs Factibilidad

Tras la obtención de una fuente de calor apropiada se comenzará con la correlación de las simulaciones de factibilidad y validación. Además, se aprovechará para definir las diferentes condiciones de contorno, restricciones de movimiento y parámetros de resolución para cada caso.

4.7.3.1. Validación

El cálculo de validación proporcionará una medida precisa de la distorsión y de las deformaciones plásticas en el proceso de soldeo. Para llevar a cabo esta simulación se deben completar los diferentes pasos que conforman el ‘Welding Advisor’:

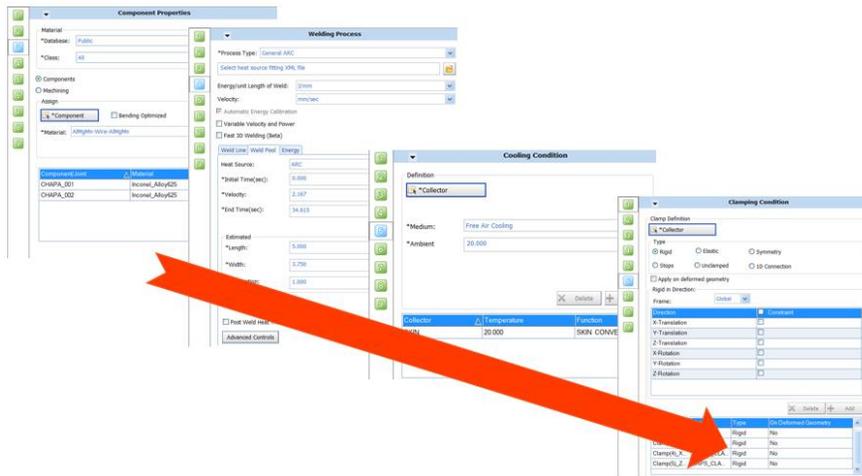


Ilustración 121. Guía de Interfaz de Usuario de VisualWeld

1. Project Description.

La descripción del proyecto sirve para definir cuál será nuestra carpeta de trabajo. Además, ofrece la posibilidad de realizar algún comentario adicional sobre las características de la simulación que se va a llevar a cabo.

2. Global Parameter.

En esta área únicamente se seleccionará el tipo de simulación a realizar: simulación Shell (elemento 2D), simulación Solid (elementos 3D), simulación Shell-Solid (elementos 2D y 3D), etc. Por defecto la propia interfaz leerá el tipo de elementos que se han diseñado y seleccionará la opción de forma automática.

3. Component Properties.

En el tercer paso se debe asignar un material a los componentes que se deseen simular. Además, se tiene la posibilidad de realizar procesos de Machining (eliminación de elementos) o añadir una secuencia de activación y desactivación de componentes según vayan entrando en juego a lo largo del proceso.



En el caso que se ocupa, se realizará la selección y asignación del material S355J2 de entre toda la base de datos de materiales. Tener en cuenta que se debe seleccionar el material comenzado por W_, ya que estará relacionado con el proceso de soldadura.

4. Welding Process.

En el siguiente paso se definirán todos los parámetros relacionados con la fuente de calor: la trayectoria que debe seguir, los parámetros dimensionales y energéticos de esta y la secuencia en caso de disponer de más de un único cordón de soldadura.

Para la definición de la trayectoria se debe seleccionar los nodos inicial y final, la propia interfaz se encargará de definir el camino que unirá esos dos puntos.

Los parámetros relacionados con la fuente de calor serán los mismos que los obtenidos en el apartado anterior. Indicando el comienzo del primer cordón en el segundo 0.

De forma adicional, y para la obtención de mejores resultados, se puede modificar el Time Step de la fuente de calor. Este parámetro define cuan grande será el salto que realice la fuente de calor entre cada carta de resultados que muestra. Un Time Step menor implicará que la fuente de calor dará saltos más pequeños y los resultados térmicos tendrán una mayor continuidad. En el caso opuesto, si se define un Time Step grande, los resultados pueden llegar a carecer de continuidad y se podrán observar incongruencias térmicas con respecto a lo esperado. Para ello se definirá un User Length Step similar a la Length definida en la fuente de calor (8mm) y se dividirá por los pasos que se quieran dar por cada 8mm. En caso de dividirlo por 1/4 se podrán observar prácticamente 4 elementos fundidos por cada resultado.

5. Cooling Condition.

Esta condición se emplea para definir la temperatura ambiente de la sala donde se realiza el proceso. En caso de que algún grupo de elementos no esté en contacto con la temperatura ambiente o se quiera definir una curva de temperatura especifica se definirá en este paso.

6. Clamping Condition.

En cuanto a las condiciones de restricción se definirán las apropiadas para restringir ciertos grados de libertad y, de esa manera, ser capaces de contemplar la distorsión angular y la flexión o curvado. Para definir las diferentes condiciones se seleccionarán directamente los nodos que se quieren restringir y se definirá sobre qué dirección se evitará el movimiento.

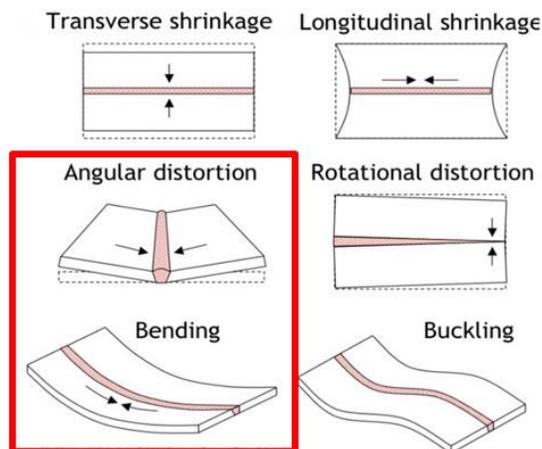


Ilustración 122. Modos de distorsión de interés



Además, se deben recordar dos condiciones particulares:

- Dos de las uniones representativas a calibrar son de carácter simétrico. Por lo que se debe generar una condición en el plano de simetría para reflejar esta condición.

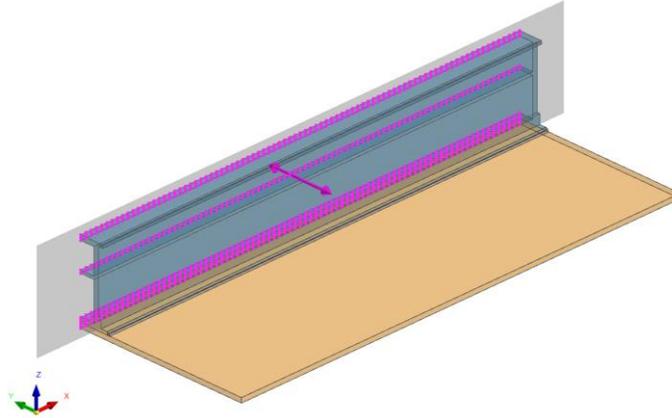


Ilustración 123. Definición de condición de simetría

- Tras el proceso de soldeo los componentes se enfrían, normalmente, aun, con las restricciones definidas. Tras el proceso de enfriamiento se realiza un 'unclamping', proceso en el cual las piezas quedan en completa libertad. En un proceso de simulación como estos, matemáticamente sería muy difícil de realizar un unclamping y dejar las piezas sin ninguna restricción, por lo que, se define un clamping isostático que restringirá los mínimos grados de libertad posibles para no forzar ningún componente. El clamp isostático debe restringir 6 grados de libertad, 3 lineales (X, Y, Z) y tres rotacionales (rotación en X, rotación en Y, rotación en Z). Al tener una condición de simetría durante todo el proceso, ciertos grados de libertad quedarán restringidos en esa condición, únicamente habrá que añadir condiciones en las direcciones de X y Z.

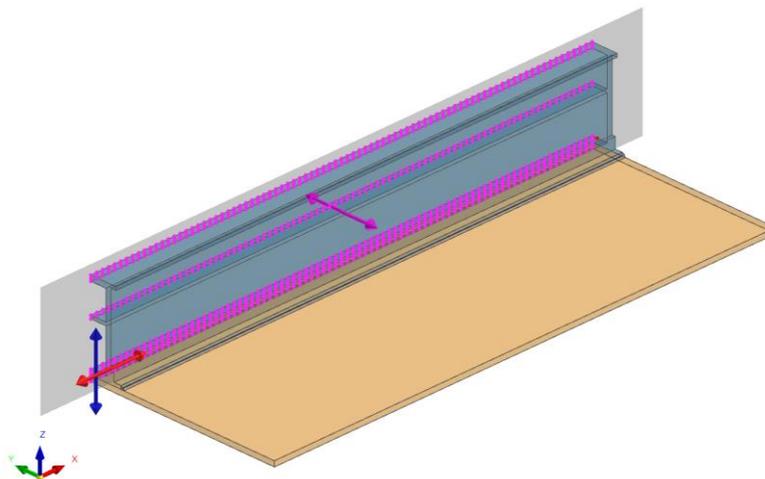


Ilustración 124. Definición de clamps tras el proceso



Durante el proceso de soldeo además de las condiciones previamente vistas se añadirá una sujeción sobre la placa horizontal en la dirección Z, únicamente en la región que está debajo del perfil vertical, de esta manera se fomentará el movimiento libre de la parte derecha del Cover.

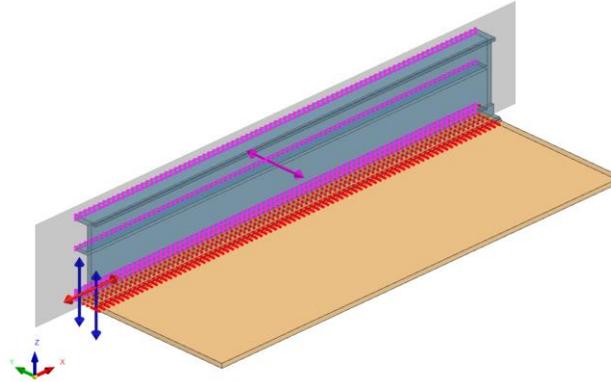


Ilustración 125. Definición de clamps durante el proceso

7. Loads and Deformations

Se podrá definir cualquier fuerza externa al proceso, como, por ejemplo, un desplazamiento impuesto, una fuerza, presión o la gravedad.

Por defecto a no ser que se realicen procesos en los que la gravedad pueda tener una gran influencia en los resultados no se definirá ninguna condición

8. Contact Definition

En caso de tener mallas desconectadas se deben definir las regiones de las piezas entre las que se producirá en contacto. En la primera fase de calibración no será necesario definir esta condición

9. Solution Parameter

Los parámetros de resolución pueden mejorar el tiempo de postproceso, se debe definir un buen Time Step para la fuente de calor. Además, se puede seleccionar entre diferentes algoritmos de resolución (BFGS, Newton-Rapshon, Newton+LSearch, ...), número máximo y mínimo de iteraciones por cada incremento, paso máximo y mínimo, que valores de precisión se desean obtener para los desplazamientos o fuerzas internas.

Además, en la definición de los parámetros de soldadura se diferencian en tres etapas: etapa de inicio de soldadura, etapa de soldadura y etapa de enfriamiento. Por norma general, durante el proceso de enfriamiento no será necesario obtener tantos resultados como en las etapas anteriores, por lo que se puede incrementar en gran medida el Time Step.



Parameter	Welding_Start	Welding	Cooling
ALGORITHM	2 - BFGS	2 - BFGS	2 - BFGS
OPTIMISE	2 - ITERATIONS(V1=2)	2 - ITERATIONS(V1=2)	2 - ITERATIONS(V1=2)
EVERY n ITERATIONS OR CARDS	32	32	32
BETWEEN ITERATION	0	0	0
AND ITERATION	31	31	31
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS	30	30	30
REFORMULATION			
RELAXATION COEFFICIENT			
RELATIVE FORCE PRECISION			
OTHERS			
PRECISION			
VALUES	2 - ABSOLUTES	2 - ABSOLUTES	2 - ABSOLUTES
FORCE	0.01	0.01	0.01
STRESS			
LARG	1E06	1E06	1E06
ZFOR			
MAXF			
DISPLACEMENT	1.0	1.0	1.0
ZDISP			
LARD			
ENERGY	10E-20	10E-20	10E-20
AUTOMATIC TIME STEP ADJUSTMENT			
MINIMUM TIME STEP AUTHORIZED DTMINI	0.0001	0.0001	0.0001
THE MAXIMUM TIME STEP	1.0	1.0	10000
EPSILON F	10E-20	10E-20	10E-20
EPSILON D	1000.0	1000.0	1000.0

Ilustración 126. Definición de parámetros de cálculo

4.7.3.2. Factibilidad

Para que la simulación de factibilidad y validación sean comparables las condiciones que se definan en ambos procesos deberán ser los mismos o lo más parecidos posibles. Por lo tanto, los procesos de selección de material, restricciones no se deberían diferenciar y secuencia no deberían variar. Como la definición del proceso de soldadura es diferente al de la simulación de validación, es el único paso que se debe ajustar y calibrar.



Ilustración 127. Workflow Joining Advisor

En el caso de realizar una simulación de validación este se hará a través del 'Joining Advisor'. Este nuevo advisor consta de 11 pasos, entre los cuales se encuentran pasos relacionados con el posicionado de piezas previo en caso de ser necesario. Al igual que en el caso anterior, estos pasos servirán de guía para la preparación de una simulación de Shrinkage.



1. Project Description.

Definición de la carpeta de trabajo y de las propiedades de material de cada componente. Mismo material que en la simulación de validación, a pesar de que las propiedades definidas dentro del material sean menos.

2. Mapping.

Si se parte de una información de piezas escaneada previamente, se podrá visualizar e importar el mapeados con las tensiones y distorsiones acumuladas en caso de haberlas.

No es necesario realizar ninguna definición en este paso.

3. Guide and Locator.

Generación de restricciones físicas. En este módulo (Assembly) es habitual trabajar con modelado 2D, por lo que, pueden ser de utilidad.

4. Joining Tool.

Restricciones físicas de movimiento. Sirven para colocación de los diferentes componentes y se puede indicar un desplazamiento sobre estas restricciones físicas que harán que empujen a los materiales a la posición indicada.

5. Clamps.

Restricciones que se definirán de igual manera que en la simulación de validación. En este caso, no se puede definir un tiempo de inicio o final, ya que estas simulaciones no dependen del tiempo. Las restricciones se definirán sobre el Paso 9, el paso de secuencia, donde se indicará la secuencia de soldeo o que acciones se quieren llevar a cabo en que paso.

6. Seam and Spot Weld.

En este paso se deberá realizar la definición del proceso de soldadura. Es el único paso que difiere con el de validación, por lo que, es el único paso que debe de ser ajustado hasta tener resultados similares.

Para la definición del proceso de soldadura únicamente se debe indicar:

- Elementos 3D del cordón de soldadura.
- Región que se desea contraer. La definición de esta región se realizará a través de la selección de nodos que se considere oportuna. La definición de este parámetro viene definido a través de la región de plasticidad de la simulación de validación. Alla donde se produzcan deformaciones plásticas sustanciales se deberá definir como zona de contracción. Posteriormente, esta zona se puede ajustar aumentando o disminuyendo la región de nodos seleccionados.

La selección de la zona de contracción puede realizarse de diferentes maneras: seleccionando en primer lugar una línea de nodos equivalente a la trayectoria y definiendo un radio de búsqueda de X mm, donde todos los nodos a esa distancia o menos quedarán seleccionados como área de contracción; seleccionando los nodos del cordón de soldadura y ampliando la región con el radio de búsqueda; o seleccionando manualmente los nodos de la zona de contracción y definir como 0 el radio de búsqueda. Para modelos industriales con una gran cantidad de cordones se opta por la segunda opción, seleccionando los nodos del cordón en cuestión y ampliando el radio de búsqueda en caso de ser necesario. Como cabe esperar la densidad de nodos en la malla es de vital importancia para ser capaz de reflejar la región más exacta posible. En la calibración pertinente se ha utilizado un radio de 7.5 mm.



- Factor de contracción o Stretch Factor. Es el factor del coeficiente de la expansión térmica en la siguiente expresión, por lo que a través de él se definirá el grado de contracción que se obtendrá. Es el segundo parámetro a calibrar:

$$Thermal\ shrinkage = Thermal\ Expansion\ Coefficient * Temperature\ Change$$

El coeficiente de expansión térmica empleado en la calibración ha sido de 0.25mm

7. Force and Pressure

Se definen fuerzas y presiones externas al proceso de soldeo.

8. Gravity Direction

Se define la gravedad en el proceso en caso de contemplarse.

9. Sequence

La definición de la secuencia. Es un paso de vital importancia, se define el orden que se llevará a cabo en cuanto a las soldaduras y cualquier otra acción definida en el proceso, en este caso, en que pasos se activan o desactivan los clamps definidos.

Esta simulación constará de 2 pasos. En el primero se realizará la propia soldadura (casilla verde) con las restricciones de simetría (azul) y sujeciones rígidas que forman el isostático (rosa). Mientras que en el segundo paso se liberarán las piezas dejando únicamente las sujeciones necesarias para realizar el isostático.

Stages:		1	2	3
Result Storage:				
CATGEN Storage:				
	#	5	3	0
	'J01_WIRE'	1		
	CLAMP_X1_CLAMP	2		
	CLAMP_Z1_CLAMP	1		
	CLAMP_Z2_CLAMP	2		
	CLAMP_SYM_CLAMP	2		

Ilustración 128. Definición de la secuencia de soldadura

10. Contact and Mesh Management.

En caso de tener mallas desconectadas se deben definir las regiones de las piezas entre las que se producirá en contacto. En esta primera fase de calibración no será necesario definir esta condición.

11. Export/Launch.

Definición de los parámetros de soldadura.

Tras realizar la definición, se realizan una serie de iteraciones ajustando los parámetros del Paso 6, Seam and Spot Weld, hasta obtener las mismas distorsiones que en los resultados de la simulación de validación. En caso de no llegar a unos buenos resultados se deberá refinar la malla para tener la posibilidad de coger la región lo más exacta posible a la zona plástica.



Como forma alternativa y para una mejor calibración es posible realizar la simulación del método Shrinkage con la malla hexaédrica. De esta manera quedará doblemente comprobada que si se producen grandes diferencias en las distorsiones a causa de la malla.

4.7.3.3. *Comparativa resultados mecánicos*

De nuevo los parámetros definidos durante la preparación de las simulaciones son los obtenidos tras realizar diferentes iteraciones.

Sobre la imagen de resultados mostrada a continuación se pueden observar las deformaciones obtenidas desde una vista de planta, donde el Cover se puede visualizar en verdadera magnitud de no ser por la deformación angular que sufre durante el proceso.

En la parte superior se encuentran los resultados, una vez realizado el unclamping, en el segundo 1800, de la simulación de validación. Una vez se ha calibrado la fuente de calor estos son los resultados contra los que se van a contrastar el resto de las simulaciones que se quieran realizar. La deformación máxima obtenida es de 1.1007 mm.

En el centro, se encuentra la simulación por el método de Shrinkage, también tras realizar el unclamping, Stage 2, con la malla hexaédrica. La deformación en este caso, con los mismos parámetros de coeficiente de contracción y área de contracción los más similar posible a la zona de deformación plástica, es de 1.1440 mm.

Por último, en la zona inferior se encuentra simulación realizada por el método de Shrinkage, esta vez con la malla Tetraédrica cuadrática. La deformación máxima en este caso es de 1.1075mm.

La comparativa de las deformaciones destacan por la exactitud de los resultados obtenidos después de realizar la calibración, con un error del 3.6% y una desviación de 0.04mm entre distorsiones máximas. Sin embargo, la simulación Shrinkage Hexaédrica se ha realizado a modo de doble comprobación, la malla y parámetros a emplear serán los del modelo Shrinkage Tetraédrico Cuadrático, con un error de 0.6% (desviación de 0.0069mm) respecto a los resultados de la simulación Transitoria.

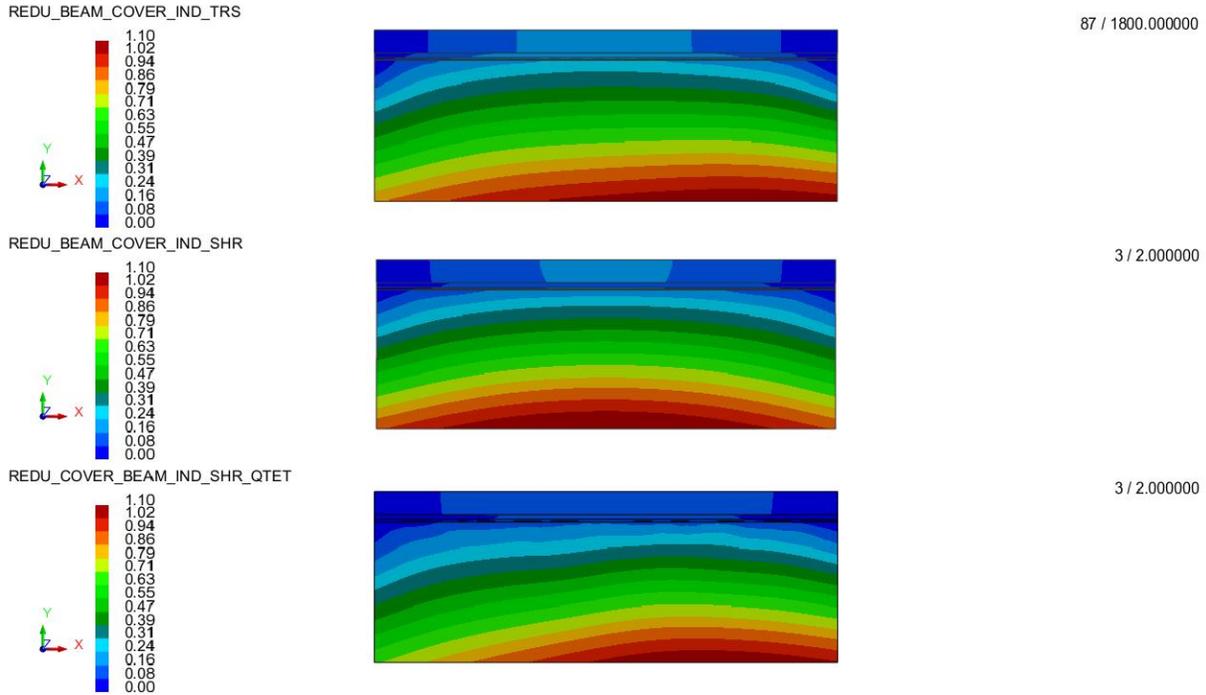


Ilustración 129. Comparación de distorsiones - Vista en Planta, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

En el entorno de soldadura, al tratarse de magnitudes de distorsiones muy pequeñas, del orden de 5 – 6 mm como máximo, las deformaciones se podrán amplificar, de esa manera, se visualizará mejor cual es la tendencia de los componentes unidos. Además, en todo momento se podrá visualizar la geometría nominal, sin ningún tipo de desplazamiento, lo que facilitará observar mejor la magnitud de los desplazamientos y tendencias obtenidas.

Posicionando los modelos estudiados sobre la vista lateral, añadiendo la geometría inicial (vista de contorno con borde negro) y multiplicando las distorsiones x10 se podrá observar que la gran mayoría de los desplazamientos obtenidos vienen dados por la distorsión angular que se produce. Cuando se realiza una soldadura las caras de los componentes donde se deposita el cordón tienden a cerrar el ángulo, como queda demostrado según las simulaciones realizadas.

Sumando a la distorsión angular obtenida, puede observarse en una pequeña magnitud, mucho menor si se compara con la distorsión angular, la flexión o el curvado en la dirección longitudinal.

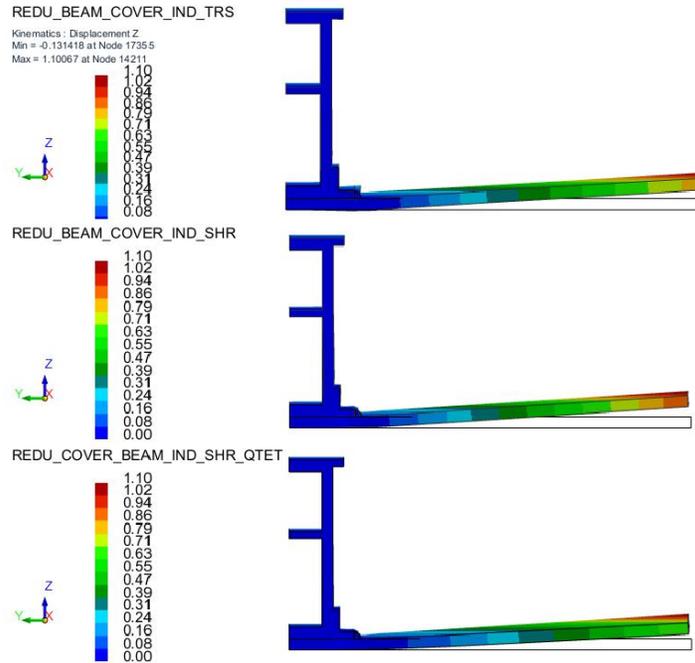


Ilustración 130. Comparación de distorsiones vs malla inicial - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

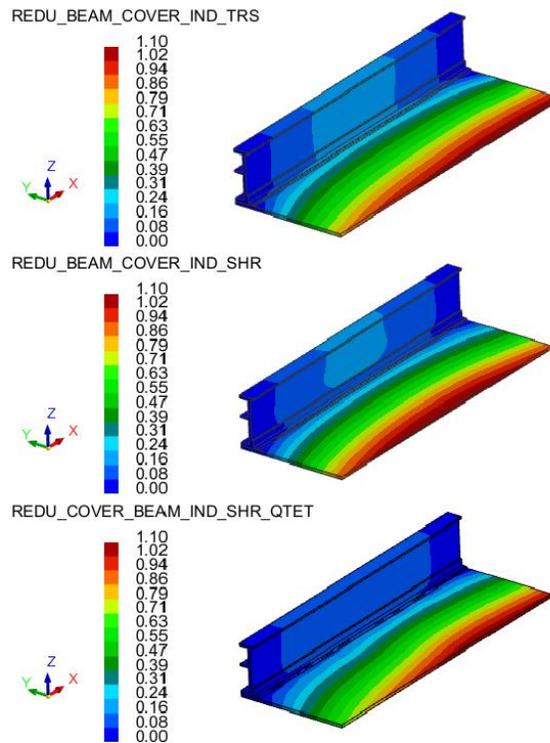


Ilustración 131. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra



4.7.3.4. *Comparativa resultados mecánicos del resto de uniones*

El proceso descrito anteriormente debe realizarse nuevamente para el resto de las uniones representativas seleccionadas.

- Unión entre perfiles

Sobre esta unión no solamente se ha tratado de realizar la calibración, siguiendo la estrategia anteriormente descrita, sino que también se ha comprobado cual es la mejor secuencia de soldeo, ya que existen 3 cordones para esta unión.

Una vez definida la secuencia más favorecedora en términos de distorsión, se ha procedido a la calibración de los parámetros de coeficiente de expansión térmica y la región de contracción. En este caso esos valores serán de: Coef. 0.3 y radio de 2.5 mm

En este caso se puede observar una diferencia mayor en el mapa de colores debido a la reducida escala de resultados con una distorsión máxima de 0.27mm. Aun, así las simulaciones Transitoria y Shrinkage de Tetraedros presentan una deformación máxima similar

En este caso se ha dejado la malla vista para que se pueda observar la diferencia de mallado entre los 3 casos de estudio. El orden de las simulaciones en la imagen es el mismo que en la unión anterior.

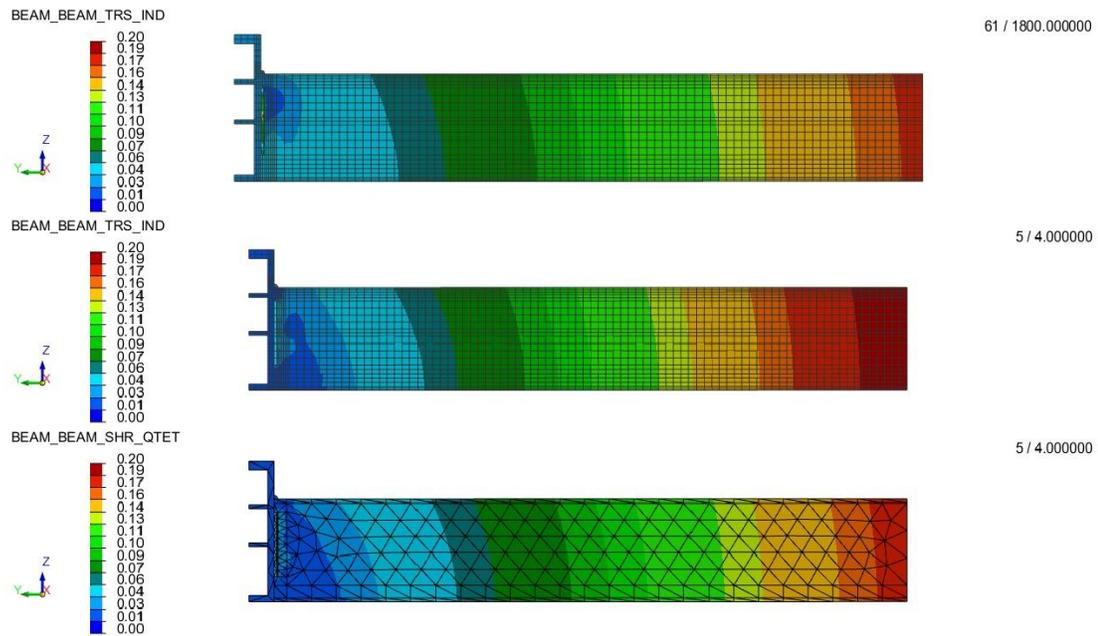


Ilustración 132. Comparación de distorsiones - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

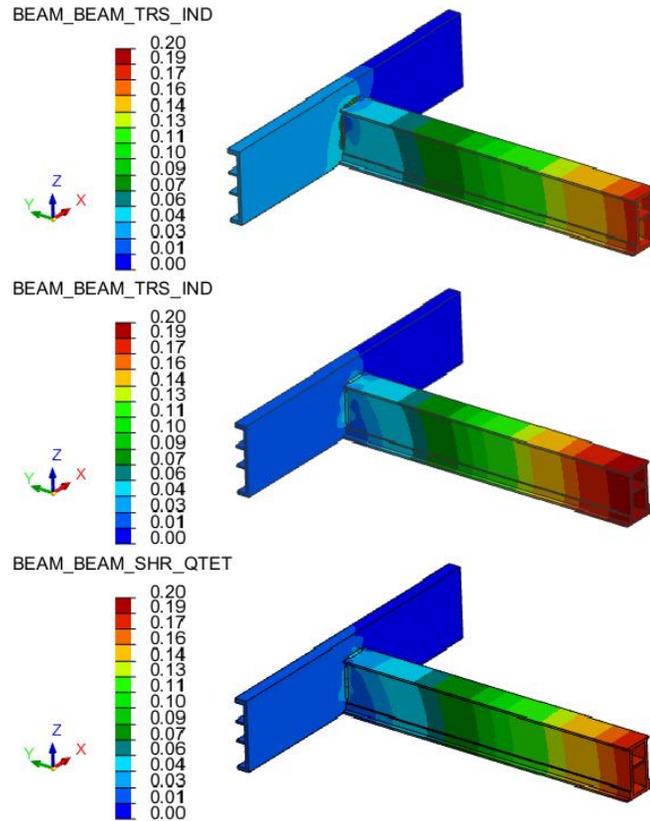


Ilustración 133. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

- Unión entre perfil y cover

La unión entre perfil y Cover parece ser muy similar a la primera calibración realiza. Sin embargo, en este caso se estudia el cordón de soldadura en la parte inferior de los perfiles. Como en cualquier proceso de soldadura sobre la cara sobre la que se deposita el cordón el ángulo tiende a cerrarse. Además, sobre esta unión, para la simulación Transitoria se ha empleado el método Fast Transient, un método empleado en cordones de extensión considerables. Como se muestra en la comparación de las diferentes simulaciones no habrá una gran diferencia entre las deformaciones máximas.

Se ha empleado un coeficiente de expansión térmica de 0.5 y una expansión del radio sobre el área de contracción de 6mm.

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico

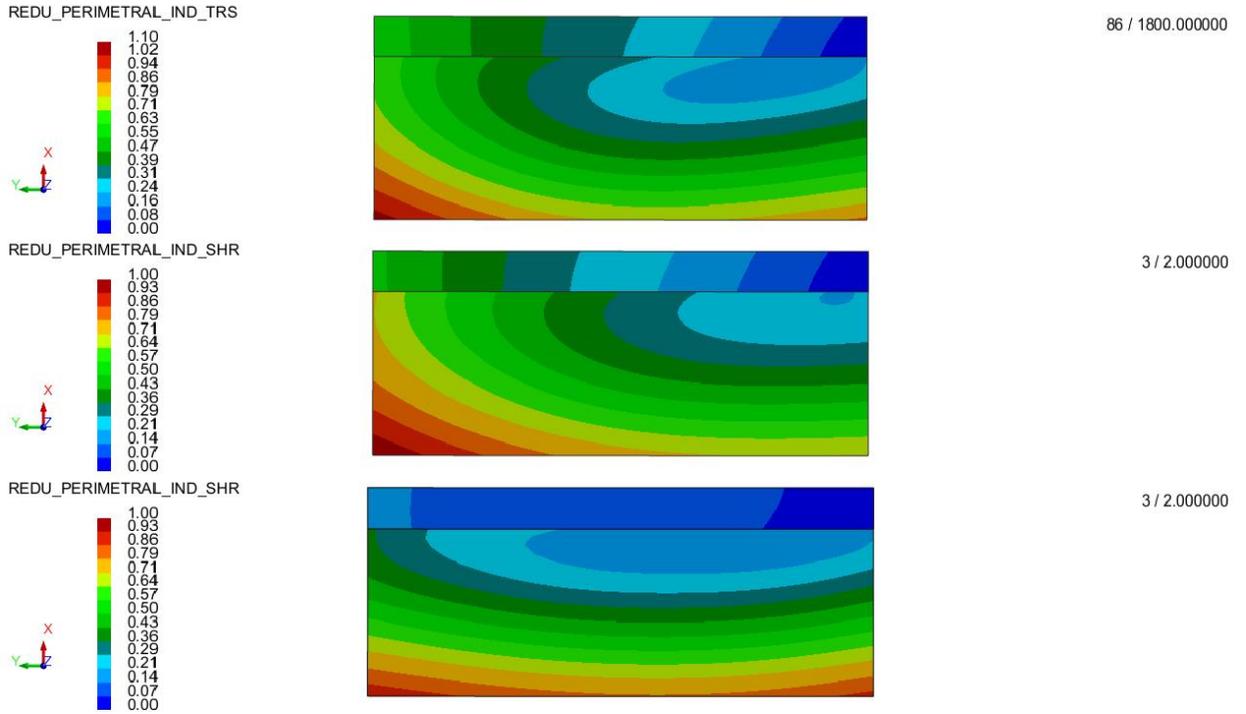


Ilustración 134. Comparación de distorsiones - Vista en Planta, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

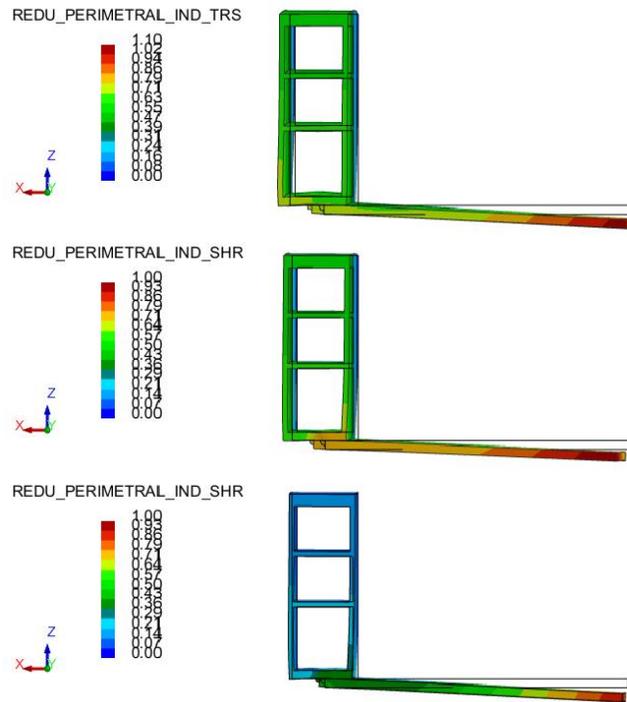


Ilustración 135. Comparación de distorsiones vs malla inicial - Vista Lateral, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

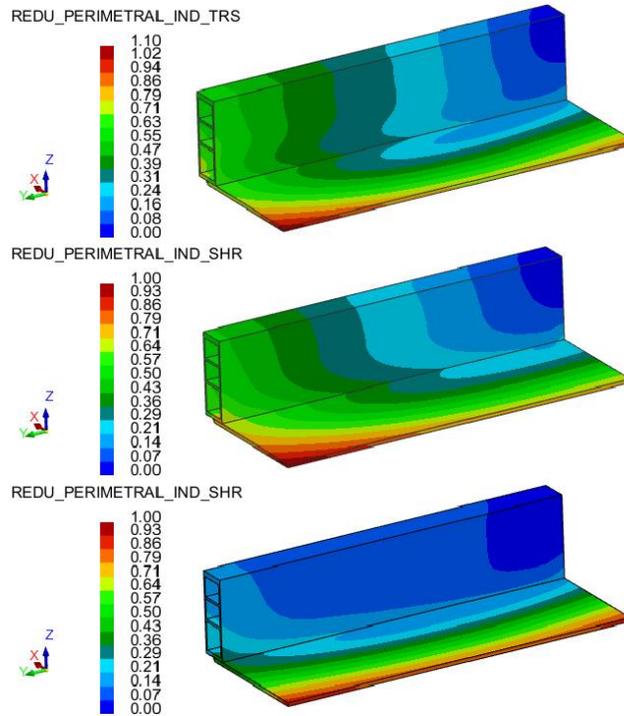


Ilustración 136. Comparación de distorsiones - Perspectiva, 1) Sim. Transitoria Hexa, 2) Sim. Shrinkage Hexa, 3) Sim. Shrinkage QTetra

4.8. Simulación Industrial

Una vez, se han realizado la calibración de las diferentes uniones representativas se realizará el mismo proceso descrito para el modelo industrial completo. La calibración de los diferentes métodos de simulación ha servido para validar las uniones, por lo tanto, al tratarse de todas las uniones extraídas de la geometría del modelo industrial, si se emplean los mismos valores para los coeficientes de expansión y de radio de afección para la región de contracción el modelo industrial puede darse por validado también.

La realización de este proceso previo, de calibración, se basa en la necesidad de la obtención de resultados fiables y verídicos en tiempos industriales, es decir, ser capaces de realizar este proceso sin la necesidad de la realización de simulaciones de largos periodos de tiempo. El método de factibilidad ofrece esa prontitud en la obtención de resultados, pero al no tratarse de un proceso físico deben realizarse las diferentes evaluaciones. Mientras que, con el método de validación obtendríamos resultados fiables al contemplarse la gran mayoría de fenómenos que ocurren en la soldadura, pero aumenta en gran medida el costo computacional y de preparación.

A continuación, se darán detalles del proceso de preparación de los modelos industriales:



4.8.1. Malla

Para que el conjunto global alcance un mayor grado de realismo se realizará el proceso a través de mallas desconectadas, a diferencia de las calibraciones que se han realizado con mallas completamente conectadas. De esta manera se podrá observar la formación de pequeñas separaciones entre componentes durante el proceso y de contactos entre ellos con el correspondiente aumento de presión y tensión, en caso de producirse. En cuanto al resto de parámetros acerca de la malla tratarán de seguirse lo máximo posible a las mallas realizadas sobre los modelos de calibración, aunque al tratarse de un modelo industrial se priorizará el ahorro de elementos allá donde no sea necesario tener mucha precisión.

4.8.1.1. Validación

Se van a tratar de seguir las siguientes características:

- Tamaño de malla general de 6.5 mm de longitud.
- Perfiles o regiones donde no se realice ninguna soldadura se mantendrán con un elemento en el espesor.
- Perfiles donde se realicen las soldaduras se realizarán con dos elementos en el espesor.
- Se tratará de refinar la malla en las regiones cercanas a los cordones de forma longitudinal. El refinamiento consistirá en dividir el elemento de 6.5 mm de longitud por la mitad las veces que se crea necesario. Se tratará de conseguir que cada cordón pase por lo menos por dos elementos del componente opuesto.

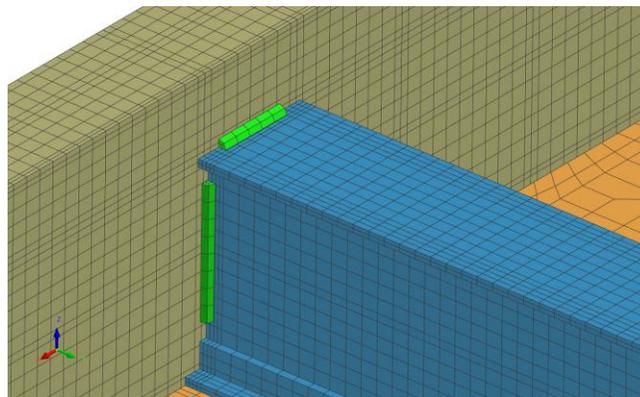


Ilustración 137. Detalle de refinado de malla cerca de los cordones de soldadura

- Las zonas alejadas de los cordones de soldadura tendrán un tamaño de malla mayor. El paso de malla fina a malla gruesa se hará a través de una transición. Generalmente las transiciones se hacen con relación de 3 a 1 o 2 a 1.
- Se evitará tener elementos pentaédricos o tetraédricos dentro de la zona afectada térmicamente, aunque fuera de esta zona tampoco es recomendable tenerlos. Las transiciones se realizarán a mano para asegurarse los elementos hexaédricos.

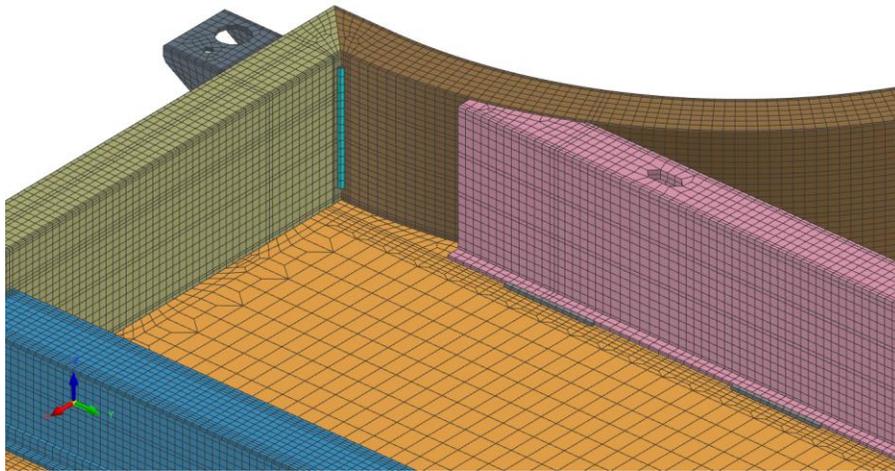


Ilustración 138. Detalle de transición (Cover)

- Los cordones de soldadura, aunque, también tienen mallas desconectadas generalmente se mallarán con el mismo tamaño de longitud de elemento.

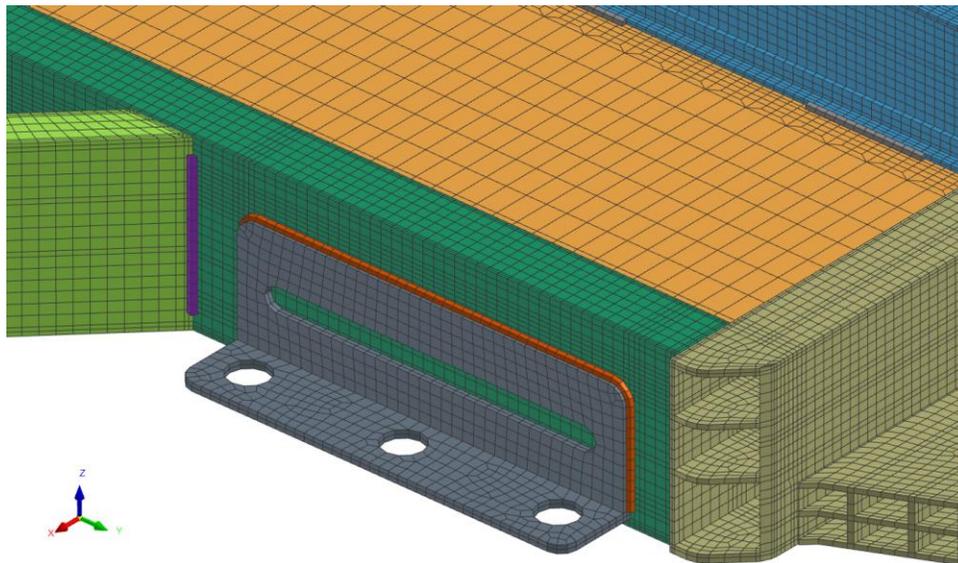


Ilustración 139. Detalle malla cordón

- Al formar la malla 3D a través de extrusiones y al tener mallas desconectadas cada componente deberá ser mallado individualmente, por lo que es recomendable tener conocimientos previos de generación de mallas y tener una familiaridad con el software.



El resultado final de la malla se muestra en la imagen a continuación. En total se han empleado alrededor de 510,000 elementos 3D y 790,000 nodos para formar el conjunto completo.

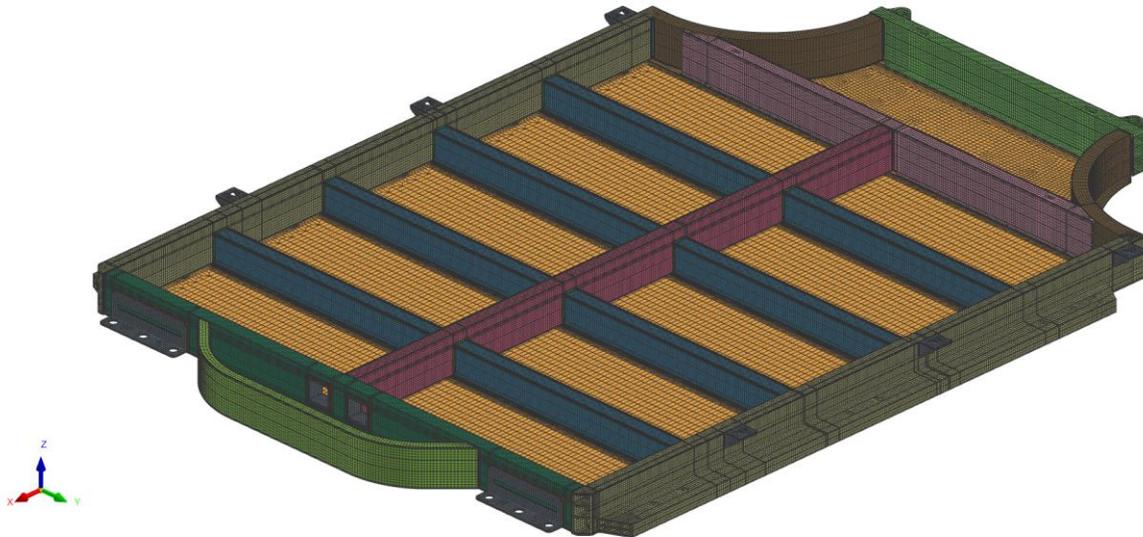


Ilustración 140. Resultado final mallado Hexaédrico

4.8.1.2. Factibilidad

Para la malla de factibilidad se recomienda seguir las mismas pautas que en las uniones representativas:

- Para mayor facilidad a la hora de hacer la malla se genera la malla 2D de todos los componentes, posteriormente se genera la malla tetraédrica, se desconectan los nodos de cada pieza respecto al resto y, finalmente, se transforma a una malla cuadrática.
- Tamaño de malla empleado 8 a 10 mm.
- Tamaño de malla menor en las zonas afectadas térmicamente.

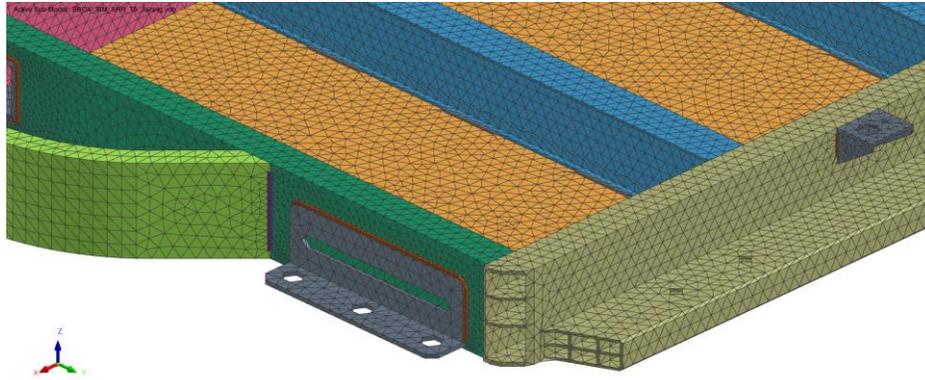


Ilustración 141. Detalle tamaño malla

- No se requiere hacer transiciones.
- Todos los componentes se mullan en una misma operación. Se dividen las superficies para poder controlar el número de elementos en la HAZ.
- Comprobación de la calidad de los elementos, se requieren varias operaciones de corrección de elementos.

El resultado final de la malla se muestra en la imagen a continuación. En total se han empleado alrededor de 400,000 elementos 3D y 1,230,000 nodos para formar el conjunto completo.

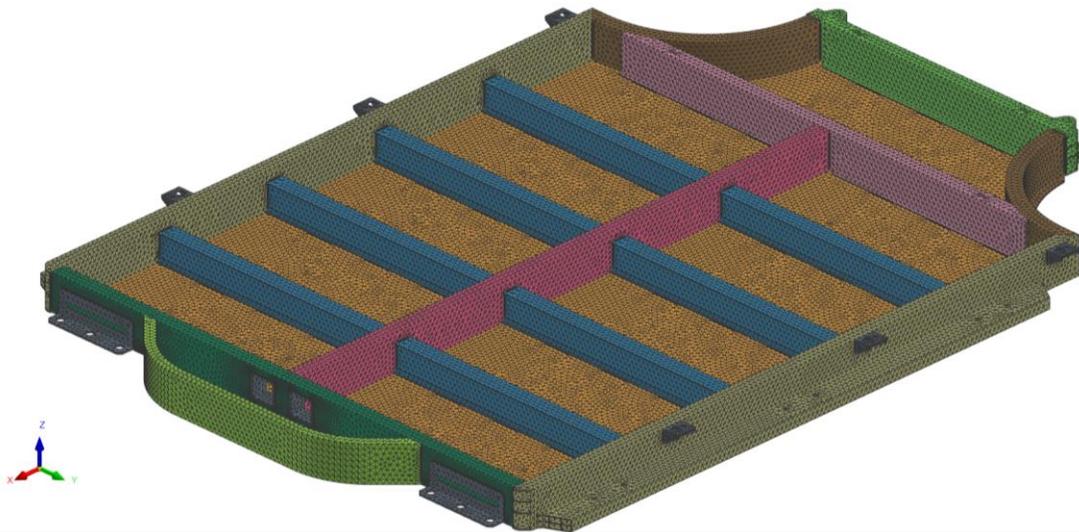


Ilustración 142. Resultado final mallado Cuadrático Tetraédrico



4.8.2. Materiales

En cuanto a la definición de materiales, el proceso se hará de la misma manera que en los casos anteriores. Se seleccionan los componentes y se asigna el material a cada una de ellas.

Component/Joint	Material
PR1_BEAM1	S355J2G3
PR1_BEAM2	S355J2G3
PR2_BEAM1	S355J2G3
PR2_BEAM2	S355J2G3
PR3_BEAM1	S355J2G3
PR3_BEAM2	S355J2G3
PR3_BEAM3	S355J2G3
PR4_PIN1	S355J2G3
PR4_PINP1	S355J2G3
PR4_PIN2	S355J2G3
PR4_PINP2	S355J2G3
PR4_PIN3	S355J2G3
PR4_PINP3	S355J2G3
PR4_CONNECTOR1	S355J2G3
PR4_CONNECTORC1	S355J2G3
PR4_PLATE1	S355J2G3
PR4_PLATE2	S355J2G3
PR5_BEAM1	S355J2G3
PR5_BEAM2	S355J2G3
PR6_BEAM1	S355J2G3
PR6_BEAMB1	S355J2G3
PR6_BEAM2	S355J2G3
PR6_BEAMB2	S355J2G3
PR6_BEAM3	S355J2G3
PR6_BEAMB3	S355J2G3
PR6_BEAM4	S355J2G3
PR6_BEAMB4	S355J2G3
PR7_COVER	S355J2G3

Ilustración 143. Asignación de los materiales

4.8.3. Contactos

La necesidad de generar los contactos viene determinada por la generación de la malla. En el caso del modelo con elementos hexaédricos la malla se ha realizado desconectada entre componentes y no coincidente, por lo que los nodos entre componentes no tienen por qué estar en el mismo lugar, aunque pertenezcan a partes diferentes. Mientras, para la malla con elementos tetraédricos se ha generado de



forma coincidente, pero de forma desconectada. En este último caso, los habrá dos nodos en el mismo lugar, pero cada nodo pertenecerá a una parte diferente.

De una u otra manera para ver la influencia que tiene un componente sobre otro cuando se deforman por el proceso que se lleve a cabo se requerirá la generación de esos contactos.

4.8.3.1. Validación

Para la generación de contactos por este método se debe generar una capa de elementos 2D sobre la superficie que se espere entre en contacto con el otro componente. De igual manera se debe generar con la otra parte. Por lo tanto, por cada contacto se generará un par de colectores, cada uno siguiendo la malla 3D de su parte, esas mallas quedarán superpuestas como se puede comprobar en el ejemplo del contacto entre un Perfil Interior Lateral (*PR6_BEAM1*) y el Cover (*PR7_COVER*)

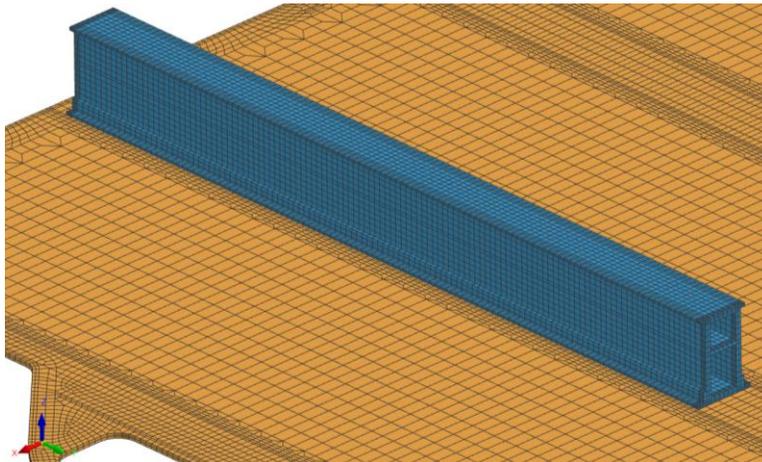


Ilustración 144. Ejemplo de contacto entre componentes

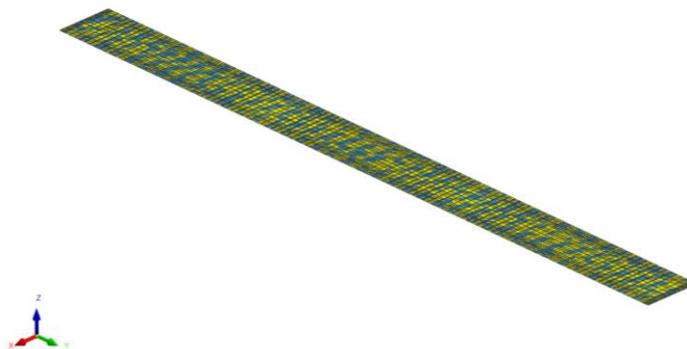


Ilustración 145. Ejemplo de mallas 2D de contacto entre componentes



Ademas, se podrán diferenciar entre dos maneras diferentes de resolver un contacto:

- Nitsche Sticking
Estos contactos mantienen desde el principio del proceso al para de componentes pegados. Se utilizan para evitar un movimiento previo a que entren en juego. Se definen todos los contactos entre cordón-componente de esta manera
- Nitsche Sliding
Este tipo de contacto permite el deslizamiento entre ello. Se puede añadir una temperatura de sticking, es decir, mientras los nodos de los contactos sean inferiores a esa temperatura se podrán deslizar, una vez sobrepasan la temperatura definida se mantendrán como si de un contacto Sticking se tratara.
Se ha definido una temperatura de sticking de 1000C.

Se han registrado 440 contactos sobre todo el modelo, teniendo en cuenta contactos parte-parte y contactos parte-cordón.

Para que ocurra una transferencia térmica entre componentes, ya que las mallas están desconectadas, se deben definir los mismos pares de contactos obtenidos. De esta forma, sobre las superficies de elementos se podrá trasladar la temperatura de un componente a otro.

Name	Master	Slave	Type
Contact_375	BEAM_013_5_BEAM_001_1	BEAM_013_5_BEAM_001_1...	Nitsche
Contact_376	BEAM_014_6_BEAM_001_1	BEAM_014_6_BEAM_001_1...	Nitsche
Contact_377	BEAM_021_11_BEAM_001_1	BEAM_021_11_BEAM_001_...	Nitsche
Contact_378	BEAM_022_12_BEAM_001_1	BEAM_022_12_BEAM_001_...	Nitsche
Contact_379	BEAM_023_13_BEAM_001_1	BEAM_023_13_BEAM_001_...	Nitsche
Contact_380	BEAM_024_14_BEAM_001_1	BEAM_024_14_BEAM_001_...	Nitsche

Ilustración 146. Definición de contactos tipo Nitsche

4.8.3.2. Factibilidad

Para este método la generación de los contactos se hará de forma sencilla. Basta con indicar las partes que se espera que entren en contacto, que parte contactará con cual (Máster y Slave) el tipo de contacto que se producirá: estándar, por gravedad, tipo T, por penetración.



No.	Normal Flip	Master	Flip	Slave	Sliding	Type
1	<input type="checkbox"/>	PR1_BEAM1	↕	PR1_BEAM2	Small	S:Standard
2	<input type="checkbox"/>	PR2_BEAM1	↕	PR2_BEAM2	Small	S:Standard
3	<input type="checkbox"/>	PR3_BEAM1	↕	PR1_BEAM1	Small	S:Standard
4	<input type="checkbox"/>	PR3_BEAM1	↕	PR2_BEAM1	Small	S:Standard
5	<input type="checkbox"/>	PR3_BEAM2	↕	PR1_BEAM2	Small	S:Standard
6	<input type="checkbox"/>	PR3_BEAM2	↕	PR2_BEAM2	Small	S:Standard
7	<input type="checkbox"/>	PR3_BEAM2	↕	PR3_BEAM3	Small	S:Standard
8	<input type="checkbox"/>	PR1_BEAM2	↕	PR4_PIN1	Small	S:Standard
9	<input type="checkbox"/>	PR1_BEAM2	↕	PR4_PIN2	Small	S:Standard
10	<input type="checkbox"/>	PR1_BEAM2	↕	PR4_PIN3	Small	S:Standard
11	<input type="checkbox"/>	PR2_BEAM2	↕	PR4_PINP1	Small	S:Standard
12	<input type="checkbox"/>	PR2_BEAM2	↕	PR4_PINP2	Small	S:Standard

Ilustración 147. Definición de contactos Standard

Por otro lado, se deben definir las uniones entre los componentes y los cordones. En lugar de realizar contactos se debe ‘conectar’ la malla. Se indicará que cordones están en contacto con cada componente y el software generará automáticamente elementos 1D que mantendrá el cordón unido a esos componentes.

No	Master	Slave	Tolerance
1	PR1_BEAM1	PR1A2_WIRE;PR5J2_WIRE;PR3B3_...	0.100
2	PR1_BEAM2	PR1A2_WIRE;PR3C3_WIRE;PR3C1_...	0.100
3	PR2_BEAM1	PR5JJ2_WIRE;PR2A2_WIRE;PR3BB1...	0.100
4	PR2_BEAM2	PR4GG2_WIRE;PR4GG3_WIRE;PR4...	0.100
5	PR3_BEAM1	PR3B1_WIRE;PR3B3_WIRE;PR7W66...	0.100
6	PR3_BEAM2	PR4H1_WIRE;PR4H2_WIRE;PR4HH1...	0.100
7	PR3_BEAM3	PR3D3_WIRE;PR3D1_WIRE;PR3DD1...	0.100
8	PR4_PIN1	PR4E1_WIRE;PR4E3_WIRE;PR4E2_...	0.100
9	PR4_PINP1	PR4EE1_WIRE;PR4EE2_WIRE;PR4E...	0.100
10	PR4_PIN2	PR4F1_WIRE;PR4F3_WIRE;PR4F2_...	0.100
11	PR4_PINP2	PR4FF1_WIRE;PR4FF3_WIRE;PR4FF...	0.100
12	PR4_PIN3	PR4G1_WIRE;PR4G3_WIRE;PR4G2_...	0.100
13	PR4_PINP3	PR4GG2_WIRE;PR4GG3_WIRE;PR4...	0.100
14	PR4_CONNECTOR1	PR4I1_WIRE;PR4I2_WIRE	0.100
15	PR4_CONNECTORC1	PR4II1_WIRE;PR4II2_WIRE	0.100
16	PR4_PLATE1	PR4H1_WIRE;PR4H2_WIRE	0.100
17	PR4_PLATE2	PR4HH1_WIRE;PR4HH2_WIRE	0.100
18	PR5_BEAM1	PR5K3_WIRE;PR5K1_WIRE;PR7W55...	0.100
19	PR5_BEAM2	PR5L3_WIRE;PR6N1_WIRE;PR6N3_...	0.100

Ilustración 148. Definición de conexión de malla entre componente y cordón



4.8.4. Clampado

En cuanto a la generación de las sujeciones se debe tener en cuenta que al tener mallas desconectadas todos los componentes deben tener al menos sujeciones en los ejes X, Y, y Z para que no se desplacen antes de que se suelden al resto de componentes. Es por eso que, a pesar de realizar el soldeo completo en 7 procesos diferentes, todos se realizarán sobre la misma simulación y no a través de simulaciones concatenadas. Por la definición descrita se comenzará la primera parte del proceso con la mayor parte de las sujeciones activadas y a medida que se vayan realizando etapas se irán eliminando.

Mencionar también, que las sujeciones para los modelos de mallas hexaédrica y tetraédrica deben ser lo más similares posible, por no decir idénticas.

- Clampado Proceso 1 y 2.
Todos los clamps que van a entrar en juego en las diferentes etapas del proceso están activos.

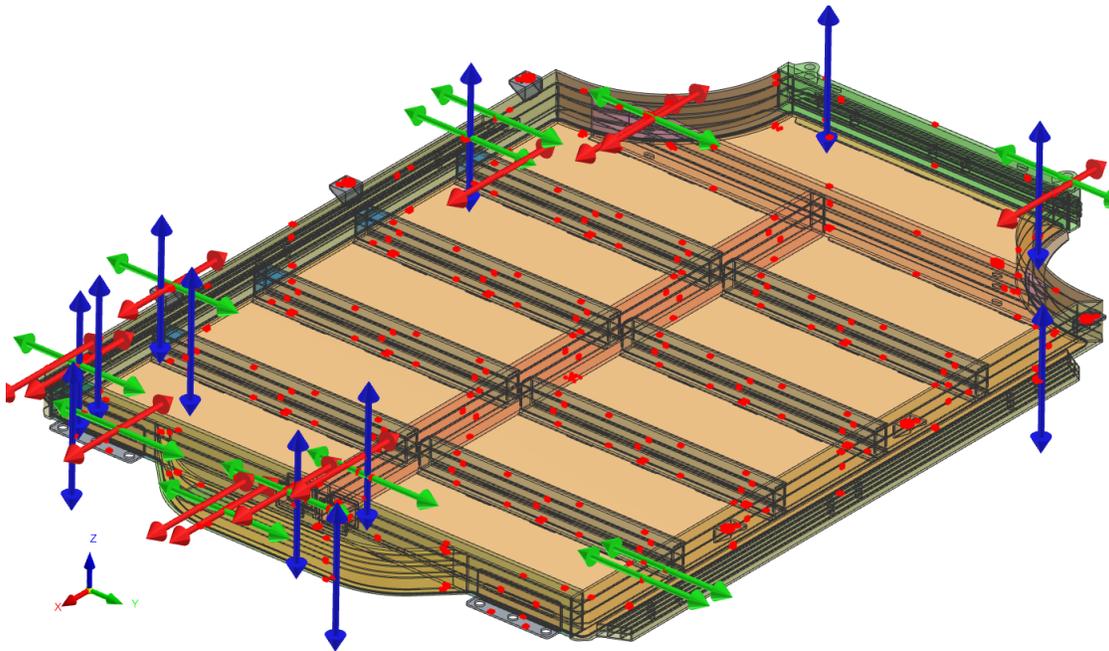


Ilustración 149. Clamp proceso 1 y 2

- Clampado Proceso 3.
Se eliminan las sujeciones sobre los perfiles exteriores laterales, relacionados con la soldadura de los procesos 1 y 2. Aun así, se siguen manteniendo sujeciones en la zona central y lateral de esos perfiles para que no se puedan desplazar libremente cuando se realicen soldaduras sobre ellos de nuevo, como ocurrirá en el proceso 6.

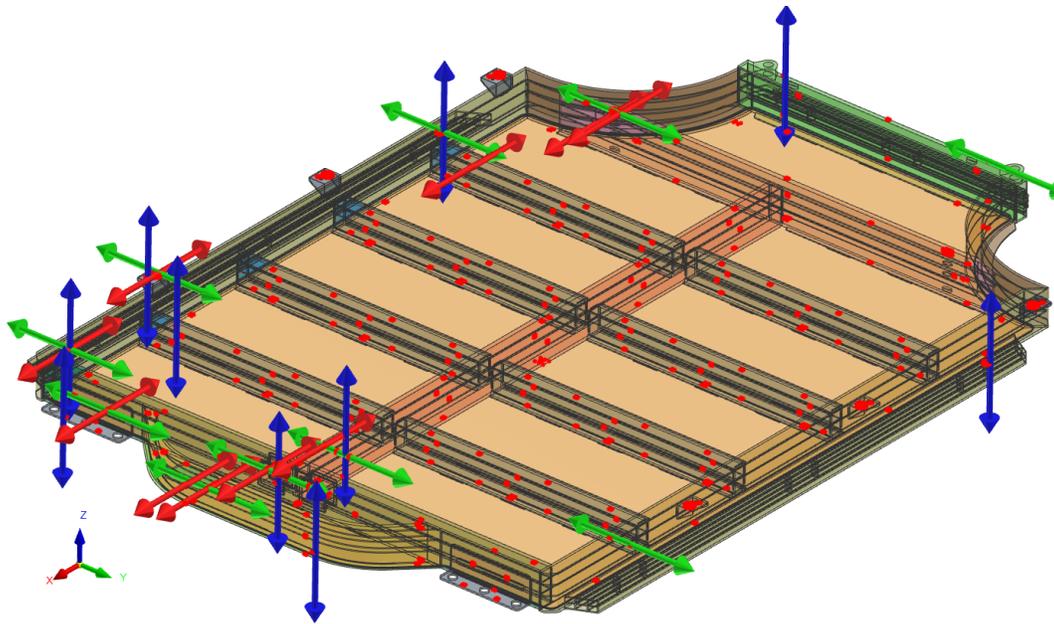


Ilustración 150. Clamp proceso 3

- Clampedo Proceso 4.
Se eliminan las sujeciones sobre los perfiles exteriores restante. Sobre el perfil superior no se realizarán más soldaduras por lo que no se mantienen ningún punto de sujeción, sobre los perfiles inferiores aún se mantienen ciertos puntos para cuando se realicen los proceso 4 y 6 sobre ellos.

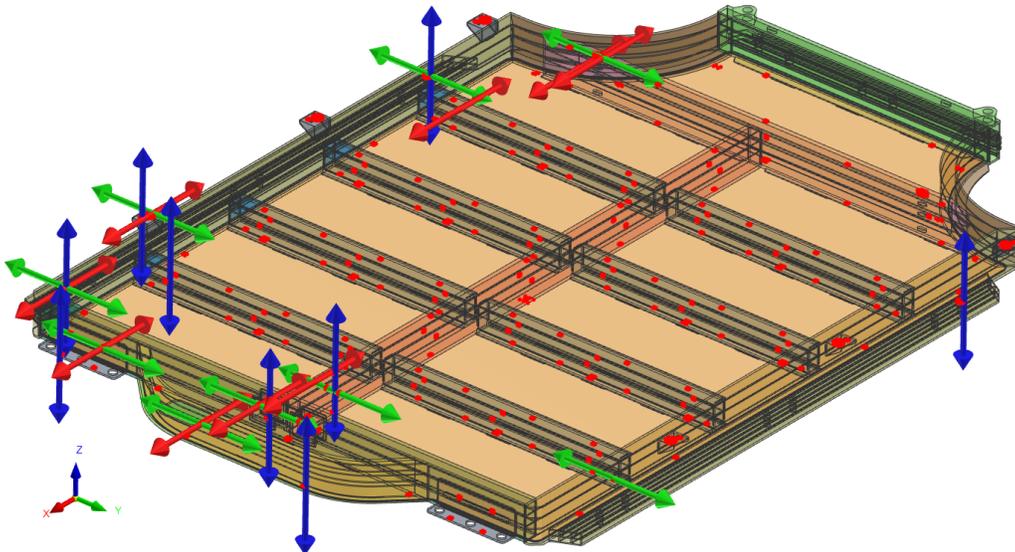


Ilustración 151. Clamp proceso 4



- Clampado Proceso 5.

Se eliminan los clamps relacionados con el proceso 4, por lo tanto, los pequeños componentes como los plates, conectores o pines quedan soldados al conjunto y no se mantiene ningún clamp sobre ellos. Se mantienen sujeciones sobre el proceso actual, los perfiles interiores longitudinal y transversal. Siguen activos los de los procesos 6 y 7, soldeo de los perfiles interiores laterales y cover.

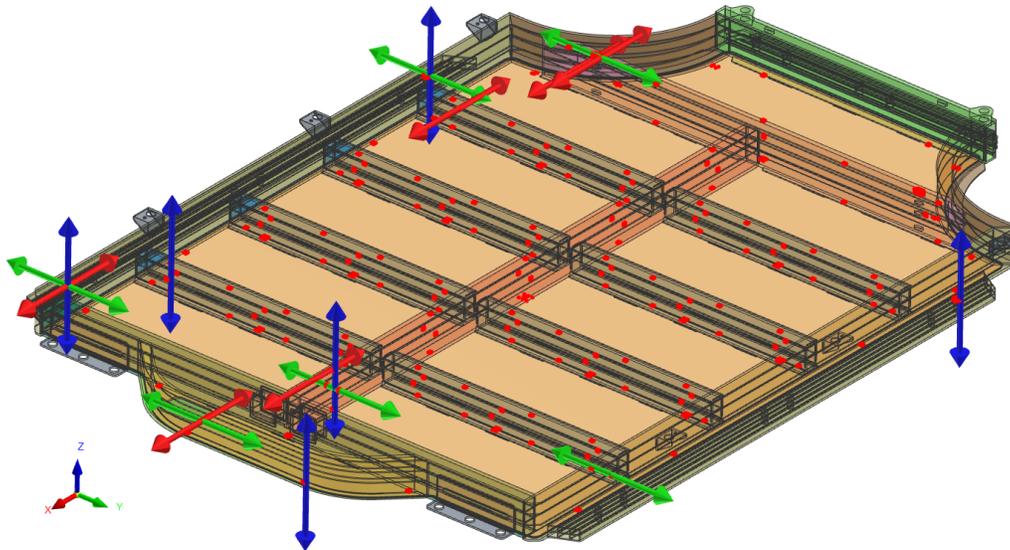


Ilustración 152. Clamp proceso 5

- Clampado Proceso 6.

Se eliminan las sujeciones de los perfiles interiores, aunque por el momento al igual que en los casos anteriores se mantienen puntos de sujeción. Además, se mantienen las sujeciones sobre los perfiles interiores laterales y sobre las partes del cover cercanas a esos perfiles.

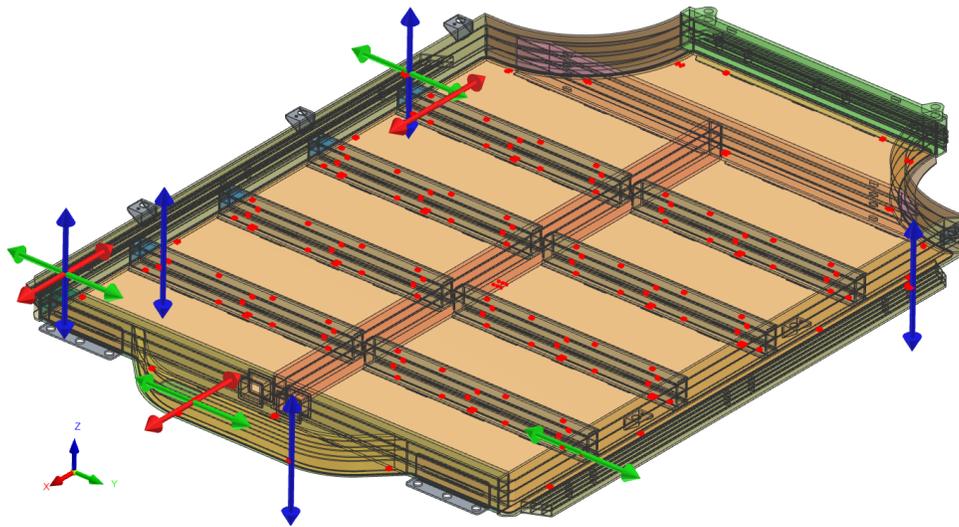


Ilustración 153. Clamp proceso 6

- Clampado Proceso 7.
En el último proceso se añaden unas sujeciones más restrictivas sobre el cover y se mantienen los puntos clave de los perfiles interiores y exteriores y la condición isostática que se mantiene durante todo el proceso.

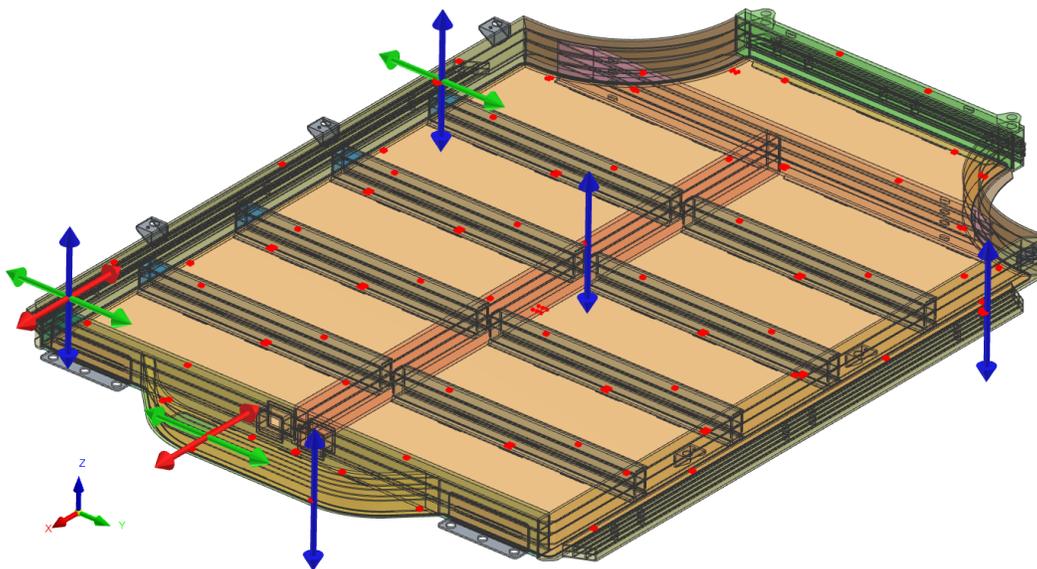


Ilustración 154. Clamp proceso 7



- Clampado Isostático.

El último paso tras realizar el soldeo de todos los cordones y haber dejado enfriar la estructura será la de eliminar todos los clamps y dejar únicamente el sistema sobre una sujeción isostática. En este paso se espera que las tensiones acumuladas se liberen en cierto grado y aumenten las distorsiones.

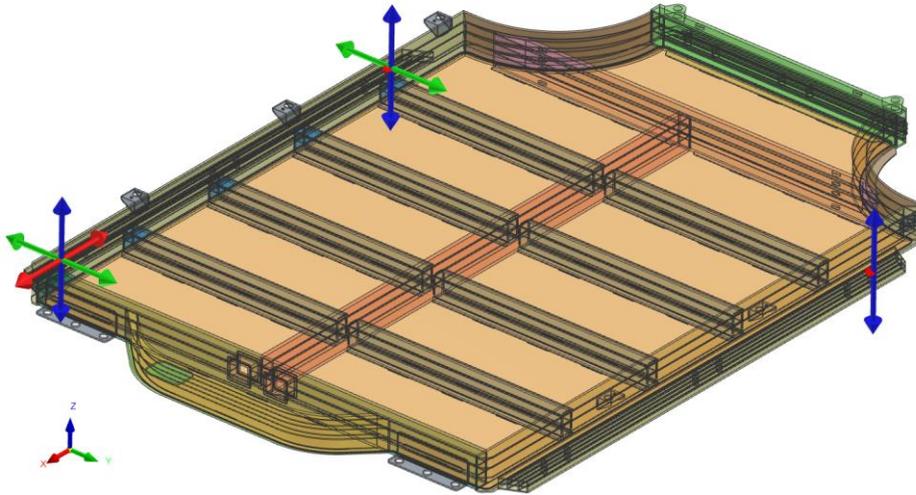


Ilustración 155. Clamp Isostático

- Secuencia del Clampaje en simulación Transitoria.

Nótese que entre proceso y proceso se realiza un Release, es decir se eliminan los clamps correspondientes al proceso que ya ha sido soldado. En lugar de realizar esa libertad de forma repentina, se activa la opción de 'Release Duration' que permitirá al clamp desprenderse paulatinamente. El Release se hace de forma rápida por lo que en cada etapa se define un tiempo de Release de 0.1 segundos.

Por cada proceso se definen dos condiciones de clamp diferente, una con los clamps de la etapa correspondiente y las que faltan y otra condición con las etapas restantes. Por último, cuando ya se han realizado todas las soldaduras, se genera una nueva condición solamente con los clamps para formar un sistema Isostático.



Name	Clamps	Initial Time	End Time	Release Duration
CLAMP_COND_01	Clamp(1)_PR1_Z_C...	0.000	190.000	NA
CLAMP_COND_02	Clamp(2)_PR1_XYZ...	190.000	190.100	0.10000
CLAMP_COND_03	Clamp(2)_PR1_XYZ...	190.100	590.000	NA
CLAMP_COND_04	Clamp(2)_PR1_XYZ...	590.000	590.100	0.10000
CLAMP_COND_05	Clamp(2)_PR1_XYZ...	590.100	990.000	NA
CLAMP_COND_06	Clamp(2)_PR1_XYZ...	990.000	990.100	0.10000
CLAMP_COND_07	Clamp(2)_PR1_XYZ...	990.100	1340.000	NA
CLAMP_COND_08	Clamp(2)_PR1_XYZ...	1340.000	1340.100	0.10000
CLAMP_COND_09	Clamp(2)_PR1_XYZ...	1340.100	1790.000	NA
CLAMP_COND_10	Clamp(2)_PR1_XYZ...	1790.000	1790.100	0.10000
CLAMP_COND_11	Clamp(2)_PR1_XYZ...	1790.100	3599.800	NA
CLAMP_COND_12	Clamp(2)_PR1_XYZ...	3599.800	3599.900	0.10000
CLAMP_COND_13	Clamp(2)_PR1_XYZ...	3599.900	3600.000	NA

Tabla 17. Secuencia de clampado transitorio

4.8.5. Secuencia de soldeo

La secuencia de soldeo se refiere al orden y la forma en la que se realizan las soldaduras en un proceso específico. En la soldadura, especialmente en aplicaciones donde se requiere unir múltiples piezas o estructuras, la definición de una buena secuencia es crucial para garantizar la integridad y la calidad de la unión. Es importante por varias razones:

- Control de la deformación.
Algunos materiales son susceptibles a la deformación térmica durante el proceso. Planificar la secuencia de manera adecuada puede ayudar a minimizar la acumulación de calor en ciertas áreas y reducir deformaciones no deseadas.
- Distribución de tensiones.
La secuencia de soldeo puede influir en la distribución de las tensiones en la junta soldada. Una secuencia incorrecta puede ayudar a la formación de estas tensiones en áreas específicas, lo que podría llevar a fallos prematuros.
- Acceso al área de soldadura.
En algunas situaciones, algunas áreas pueden volverse inaccesibles después de unir ciertos componentes. Una buena secuencia deberá tener esto en cuenta garantizando que todas las áreas necesarias se puedan soldar antes de que el acceso sea limitado.
- Eficiencia.
Una buena planificación puede reducir el tiempo total de fabricación, suponiendo un ahorro en los costes asociados.

Además, en las secuencias de soldeo, especialmente en procesos que generan altas temperaturas, es común incluir tiempos de enfriamiento entre las diferentes etapas de soldadura. Estos tiempos permiten que la pieza soldada se enfríe gradualmente antes de continuar con la siguiente soldadura o proceso. Los tiempos de enfriamiento son esenciales para evitar deformaciones excesivas, tensiones residuales y otros problemas que pueden surgir debido a los cambios de temperatura. Los tiempos variarían en función de



los procesos de soldeo que se lleven a cabo después, dejando un mínimo entre 200-500 segundos de enfriamiento.

Para la definición de la secuencia y para realizar todo el proceso de una manera más ágil se ha considerado que se dispone de 4 robots. Por lo que, se pueden soldar 4 cordones de forma simultánea, aunque también depende de si el proceso o si la geometría de las uniones lo permite.

Además, como los procesos 1 y 2 son iguales e independientes, no tienen ningún componente que una a ambos procesos, se realizarán de forma simultánea.

4.8.5.1. Validación.

Es por estos motivos por lo que se ha generado esta secuencia sobre el conjunto completo, para el método de Validación.

Cordón	Tiempo Inicio (s)	Tiempo final (s)	Velocidad (mm/s)	Energía (J/mm)	Eficiencia (%)
PR1A1_PATH	0.00	5.94	10.00	325.00	0.90
PR1A2_PATH	7.00	16.00	10.00	325.00	0.90
PR1A3_PATH	17.00	22.94	10.00	325.00	0.90
PR2A1_PATH	0.00	5.94	10.00	325.00	0.90
PR2A2_PATH	7.00	16.00	10.00	325.00	0.90
PR2A3_PATH	17.00	22.94	10.00	325.00	0.90
PR3B1_PATH	200.00	209.00	10.00	325.00	0.90
PR3B2_PATH	210.00	214.20	10.00	325.00	0.90
PR3B3_PATH	215.00	224.00	10.00	325.00	0.90
PR3B4_PATH	225.00	229.20	10.00	325.00	0.90
PR3BB1_PATH	200.00	209.00	10.00	325.00	0.90
PR3BB2_PATH	210.00	214.20	10.00	325.00	0.90
PR3BB3_PATH	215.00	224.00	10.00	325.00	0.90
PR3BB4_PATH	225.00	229.20	10.00	325.00	0.90
PR3C1_PATH	200.00	209.00	10.00	325.00	0.90
PR3C2_PATH	210.00	214.00	10.00	325.00	0.90
PR3C3_PATH	215.00	224.00	10.00	325.00	0.90
PR3C4_PATH	225.00	230.00	10.00	325.00	0.90
PR3CC1_PATH	200.00	209.00	10.00	325.00	0.90
PR3CC2_PATH	210.00	214.00	10.00	325.00	0.90
PR3CC3_PATH	215.00	224.00	10.00	325.00	0.90
PR3CC4_PATH	225.00	230.00	10.00	325.00	0.90
PR3D1_PATH	231.00	240.00	10.00	325.00	0.90
PR3D2_PATH	241.00	245.00	10.00	325.00	0.90
PR3D3_PATH	231.00	240.00	10.00	325.00	0.90



PR3D4_PATH	241.00	245.00	10.00	325.00	0.90
PR3DD1_PATH	231.00	240.00	10.00	325.00	0.90
PR3DD2_PATH	241.00	245.00	10.00	325.00	0.90
PR3DD3_PATH	231.00	240.00	10.00	325.00	0.90
PR3DD4_PATH	241.00	245.00	10.00	325.00	0.90
PR4E1_PATH	600.00	602.50	10.00	100.00	0.90
PR4E3_PATH	615.00	618.00	10.00	100.00	0.90
PR4E2_PATH	600.00	602.50	10.00	100.00	0.90
PR4F1_PATH	605.00	607.50	10.00	100.00	0.90
PR4F3_PATH	615.00	618.00	10.00	100.00	0.90
PR4F2_PATH	605.00	607.50	10.00	100.00	0.90
PR4G1_PATH	610.00	612.50	10.00	100.00	0.90
PR4G3_PATH	620.00	623.00	10.00	100.00	0.90
PR4G2_PATH	610.00	612.50	10.00	100.00	0.90
PR4EE1_PATH	600.00	602.50	10.00	100.00	0.90
PR4EE3_PATH	615.00	618.00	10.00	100.00	0.90
PR4EE2_PATH	600.00	602.50	10.00	100.00	0.90
PR4FF1_PATH	605.00	607.50	10.00	100.00	0.90
PR4FF3_PATH	615.00	618.00	10.00	100.00	0.90
PR4FF2_PATH	605.00	607.50	10.00	100.00	0.90
PR4GG1_PATH	610.00	612.50	10.00	100.00	0.90
PR4GG3_PATH	620.00	623.00	10.00	100.00	0.90
PR4GG2_PATH	610.00	612.50	10.00	100.00	0.90
PR4H1_PATH	625.00	663.73	10.00	325.00	0.90
PR4HH1_PATH	625.00	663.73	10.00	325.00	0.90
PR4H2_PATH	625.00	648.40	10.00	325.00	0.90
PR4HH2_PATH	625.00	648.40	10.00	325.00	0.90
PR4I1_PATH	665.00	695.02	10.00	325.00	0.90
PR4II1_PATH	665.00	695.02	10.00	325.00	0.90
PR4I2_PATH	665.00	687.30	10.00	325.00	0.90
PR4II2_PATH	665.00	687.30	10.00	325.00	0.90
PR5J1_PATH	1000.00	1008.35	10.00	325.00	0.90
PR5J3_PATH	1020.00	1032.41	10.00	325.00	0.90
PR5J2_PATH	1010.00	1019.00	10.00	325.00	0.90
PR5JJ3_PATH	1020.00	1032.41	10.00	325.00	0.90
PR5JJ1_PATH	1000.00	1008.35	10.00	325.00	0.90
PR5JJ2_PATH	1010.00	1019.00	10.00	325.00	0.90
PR5K1_PATH	1000.00	1009.00	10.00	325.00	0.90
PR5K3_PATH	1015.00	1024.00	10.00	325.00	0.90
PR5K2_PATH	1010.00	1014.00	10.00	325.00	0.90
PR5K4_PATH	1025.00	1029.00	10.00	325.00	0.90
PR5L1_PATH	1000.00	1009.00	10.00	325.00	0.90
PR5L3_PATH	1015.00	1024.00	10.00	325.00	0.90



PR5L2_PATH	1010.00	1014.00	10.00	325.00	0.90
PR5L4_PATH	1025.00	1029.00	10.00	325.00	0.90
PR6M1_PATH	1360.00	1365.00	10.00	325.00	0.90
PR6M3_PATH	1350.00	1353.00	10.00	325.00	0.90
PR6M2_PATH	1354.00	1359.00	10.00	325.00	0.90
PR6O1_PATH	1380.00	1385.00	10.00	325.00	0.90
PR6O3_PATH	1370.00	1373.00	10.00	325.00	0.90
PR6O2_PATH	1374.00	1379.00	10.00	325.00	0.90
PR6Q1_PATH	1400.00	1405.00	10.00	325.00	0.90
PR6Q3_PATH	1390.00	1393.00	10.00	325.00	0.90
PR6Q2_PATH	1394.00	1399.00	10.00	325.00	0.90
PR6S1_PATH	1420.00	1425.00	10.00	325.00	0.90
PR6S3_PATH	1410.00	1413.00	10.00	325.00	0.90
PR6S2_PATH	1414.00	1419.00	10.00	325.00	0.90
PR6MM1_PATH	1360.00	1365.00	10.00	325.00	0.90
PR6MM3_PATH	1350.00	1353.00	10.00	325.00	0.90
PR6MM2_PATH	1354.00	1359.00	10.00	325.00	0.90
PR6OO1_PATH	1380.00	1385.00	10.00	325.00	0.90
PR6OO3_PATH	1370.00	1373.00	10.00	325.00	0.90
PR6OO2_PATH	1374.00	1379.00	10.00	325.00	0.90
PR6QQ1_PATH	1400.00	1405.00	10.00	325.00	0.90
PR6QQ3_PATH	1390.00	1393.00	10.00	325.00	0.90
PR6QQ2_PATH	1394.00	1399.00	10.00	325.00	0.90
PR6SS1_PATH	1420.00	1425.00	10.00	325.00	0.90
PR6SS3_PATH	1410.00	1413.00	10.00	325.00	0.90
PR6SS2_PATH	1414.00	1419.00	10.00	325.00	0.90
PR6N1_PATH	1360.00	1365.00	10.00	325.00	0.90
PR6N3_PATH	1350.00	1353.00	10.00	325.00	0.90
PR6N2_PATH	1354.00	1359.00	10.00	325.00	0.90
PR6P1_PATH	1380.00	1385.00	10.00	325.00	0.90
PR6P3_PATH	1370.00	1373.00	10.00	325.00	0.90
PR6P2_PATH	1374.00	1379.00	10.00	325.00	0.90
PR6R1_PATH	1400.00	1405.00	10.00	325.00	0.90
PR6R3_PATH	1390.00	1393.00	10.00	325.00	0.90
PR6R2_PATH	1394.00	1399.00	10.00	325.00	0.90
PR6T1_PATH	1420.00	1425.00	10.00	325.00	0.90
PR6T3_PATH	1410.00	1413.00	10.00	325.00	0.90
PR6T2_PATH	1414.00	1419.00	10.00	325.00	0.90
PR6NN1_PATH	1360.00	1365.00	10.00	325.00	0.90
PR6NN3_PATH	1350.00	1353.00	10.00	325.00	0.90
PR6NN2_PATH	1354.00	1359.00	10.00	325.00	0.90
PR6PP1_PATH	1380.00	1385.00	10.00	325.00	0.90
PR6PP3_PATH	1370.00	1373.00	10.00	325.00	0.90



PR6PP2_PATH	1374.00	1379.00	10.00	325.00	0.90
PR6RR1_PATH	1400.00	1405.00	10.00	325.00	0.90
PR6RR3_PATH	1390.00	1393.00	10.00	325.00	0.90
PR6RR2_PATH	1394.00	1399.00	10.00	325.00	0.90
PR6TT1_PATH	1420.00	1425.00	10.00	325.00	0.90
PR6TT3_PATH	1410.00	1413.00	10.00	325.00	0.90
PR6TT2_PATH	1414.00	1419.00	10.00	325.00	0.90
PR7W60_PATH	1800.00	1807.50	10.00	325.00	0.90
PR7W59_PATH	1808.00	1815.50	10.00	325.00	0.90
PR7W58_PATH	1816.00	1823.50	10.00	325.00	0.90
PR7W48_PATH	1850.00	1857.50	10.00	325.00	0.90
PR7W47_PATH	1858.00	1865.50	10.00	325.00	0.90
PR7W46_PATH	1866.00	1873.50	10.00	325.00	0.90
PR7W36_PATH	1900.00	1907.50	10.00	325.00	0.90
PR7W35_PATH	1908.00	1915.50	10.00	325.00	0.90
PR7W34_PATH	1916.00	1923.50	10.00	325.00	0.90
PR7W24_PATH	1874.00	1881.50	10.00	325.00	0.90
PR7W23_PATH	1882.00	1889.50	10.00	325.00	0.90
PR7W22_PATH	1890.00	1897.50	10.00	325.00	0.90
PR7W12_PATH	1824.00	1831.50	10.00	325.00	0.90
PR7W11_PATH	1832.00	1839.50	10.00	325.00	0.90
PR7W10_PATH	1840.00	1847.50	10.00	325.00	0.90
PR7W6_PATH	1824.00	1831.50	10.00	325.00	0.90
PR7W5_PATH	1832.00	1839.50	10.00	325.00	0.90
PR7W4_PATH	1840.00	1847.50	10.00	325.00	0.90
PR7W18_PATH	1874.00	1881.50	10.00	325.00	0.90
PR7W17_PATH	1882.00	1889.50	10.00	325.00	0.90
PR7W16_PATH	1890.00	1897.50	10.00	325.00	0.90
PR7W30_PATH	1900.00	1907.50	10.00	325.00	0.90
PR7W29_PATH	1908.00	1915.50	10.00	325.00	0.90
PR7W28_PATH	1916.00	1923.50	10.00	325.00	0.90
PR7W42_PATH	1850.00	1857.50	10.00	325.00	0.90
PR7W41_PATH	1858.00	1865.50	10.00	325.00	0.90
PR7W40_PATH	1866.00	1873.50	10.00	325.00	0.90
PR7W54_PATH	1800.00	1807.50	10.00	325.00	0.90
PR7W53_PATH	1808.00	1815.50	10.00	325.00	0.90
PR7W52_PATH	1816.00	1823.50	10.00	325.00	0.90
PR7W55_PATH	1824.00	1831.50	10.00	325.00	0.90
PR7W56_PATH	1832.00	1839.50	10.00	325.00	0.90
PR7W57_PATH	1840.00	1847.50	10.00	325.00	0.90
PR7W43_PATH	1874.00	1881.50	10.00	325.00	0.90
PR7W44_PATH	1882.00	1889.50	10.00	325.00	0.90
PR7W45_PATH	1890.00	1897.50	10.00	325.00	0.90



PR7W31_PATH	1900.00	1907.50	10.00	325.00	0.90
PR7W32_PATH	1908.00	1915.50	10.00	325.00	0.90
PR7W33_PATH	1916.00	1923.50	10.00	325.00	0.90
PR7W19_PATH	1850.00	1857.50	10.00	325.00	0.90
PR7W20_PATH	1858.00	1865.50	10.00	325.00	0.90
PR7W21_PATH	1866.00	1873.50	10.00	325.00	0.90
PR7W7_PATH	1800.00	1807.50	10.00	325.00	0.90
PR7W8_PATH	1808.00	1815.50	10.00	325.00	0.90
PR7W9_PATH	1816.00	1823.50	10.00	325.00	0.90
PR7W1_PATH	1800.00	1807.50	10.00	325.00	0.90
PR7W2_PATH	1808.00	1815.50	10.00	325.00	0.90
PR7W3_PATH	1816.00	1823.50	10.00	325.00	0.90
PR7W13_PATH	1850.00	1857.50	10.00	325.00	0.90
PR7W14_PATH	1858.00	1865.50	10.00	325.00	0.90
PR7W15_PATH	1866.00	1873.50	10.00	325.00	0.90
PR7W25_PATH	1900.00	1907.50	10.00	325.00	0.90
PR7W26_PATH	1908.00	1915.50	10.00	325.00	0.90
PR7W27_PATH	1916.00	1923.50	10.00	325.00	0.90
PR7W37_PATH	1874.00	1881.50	10.00	325.00	0.90
PR7W38_PATH	1882.00	1889.50	10.00	325.00	0.90
PR7W39_PATH	1890.00	1897.50	10.00	325.00	0.90
PR7W49_PATH	1824.00	1831.50	10.00	325.00	0.90
PR7W50_PATH	1832.00	1839.50	10.00	325.00	0.90
PR7W51_PATH	1840.00	1847.50	10.00	325.00	0.90
PR7W61_PATH	1925.00	1932.50	10.00	325.00	0.90
PR7W62_PATH	1933.00	1940.50	10.00	325.00	0.90
PR7W65_PATH	1925.00	1932.50	10.00	325.00	0.90
PR7W64_PATH	1933.00	1940.50	10.00	325.00	0.90
PR7W66_PATH	1941.00	1948.50	10.00	325.00	0.90
PR7W68_PATH	1941.00	1948.50	10.00	325.00	0.90
PR7W67_PATH	1960.00	1967.50	10.00	325.00	0.90
PR7W63_PATH	1960.00	1967.50	10.00	325.00	0.90
PR7W69_PATH	1925.00	1932.50	10.00	325.00	0.90
PR7W71_PATH	1925.00	1932.50	10.00	325.00	0.90
PR7W70_PATH	1952.00	1959.50	10.00	325.00	0.90
PR7W73_PATH	1933.00	1951.40	10.00	325.00	0.90
PR7W74_PATH	1933.00	1951.39	10.00	325.00	0.90
PR7W72_PATH	1952.00	1959.50	10.00	325.00	0.90
PR7WW1_PATH	1960.00	2137.60	10.00	325.00	0.90
PR7WW2_PATH	2013.50	2073.90	10.00	325.00	0.90
PR7WW3_PATH	2032.00	2120.42	10.00	325.00	0.90
PR7WW4_PATH	2059.00	2119.40	10.00	325.00	0.90
PR7WW5_PATH	1960.00	2137.60	10.00	325.00	0.90



PR7WW6_PATH	2013.50	2051.17	10.00	325.00	0.90
PR7WW7_PATH	2025.00	2075.55	10.00	325.00	0.90
PR7WW8_PATH	2040.50	2091.05	10.00	325.00	0.90
PR7WW9_PATH	2056.00	2093.67	10.00	325.00	0.90

Tabla 18. Secuencia de la soldadura método Transitorio

4.8.5.2. Factibilidad

A diferencia del método de validación, la secuencia no se definirá en función del tiempo de inicio y fin del soldeo, sino que se divide cada soldadura por Stages o Pasos:

5. Resultados

En este apartado se observarán los resultados obtenidos a raíz de la simulación realizada. El enfoque principal de la investigación se centra en la validación del diseño conceptual. De esta forma, se confirmará que el diseño conceptual propuesto es efectivo, seguro y que cumple con los requisitos y objetivos previamente establecidos. Este proceso requiere de la recopilación y evaluación de datos y análisis para asegurarse de que el diseño propuesto es viable y funcional antes de pasar a etapas posteriores del proceso de diseño y desarrollo.

El análisis se realizará a través de la interfaz especializada de Visual para la visualización de resultados, VisualViewer, una interfaz equipada con las herramientas necesarias para realizar el postproceso de la manera más sencilla posible.

Los principales resultados sobre los que se realizará el análisis son:

- **Temperaturas.**

Las temperaturas simuladas son un aspecto crítico en el estudio de la caja de baterías de un coche eléctrico. Durante el proceso de soldeo se generan temperaturas elevadas debido al calor proporcionado por la fuente de calor. Los cambios de temperaturas llevarán consigo cambios en la microestructura que producirán la consecuente expansión o contracción de los aceros, provocando así las distorsiones. Es por eso por lo que se debe asegurar la buena realización de todos los cordones, especialmente se observarán:

 - **Temperaturas en la zona de la soldadura.**

Las temperaturas locales en las áreas cercanas a las soldaduras son críticas para comprender como el calor afecta a la estructura y los materiales.
 - **Gradiente de temperaturas.**

Las diferencias en las temperaturas dentro de la caja de batería durante y después del proceso de soldadura. El gradiente de temperaturas ayudará a indicar cuales son las zonas críticas de calor y permitirá evaluar la expansión y contracción de los materiales.
 - **Temperatura máxima alcanzada en cada cordón.**

El conocer la temperatura máxima ayuda para evitar daños en los componentes y mantener la integridad de la caja durante la soldadura.
- **Distorsiones.**

Las distorsiones hacen referencia a los cambios en la forma o la geometría de los componentes unidos. Estas distorsiones se deberán principalmente a los grandes cambios de temperatura que se obtienen en estos procesos, además de en tensiones mecánicas u otros factores. Los aspectos clave de las distorsiones a revisar son:

 - **Deformaciones y desplazamientos.**

Se observarán los cambios en la forma y la posición de los componentes individualmente o de la caja en su conjunto.
 - **Evaluación de la integridad estructural.**

Se evaluará si la estructura resulta estar comprometida tras la realización de todo el proceso. Para ello, se deberán también evaluar las tensiones y esfuerzos y se verificarán las tolerancias de alineamiento entre los diferentes perfiles.



- **Análisis de tensiones.**
Las distorsiones obtenidas en los resultados siempre irán de una u otra manera ligada a las tensiones obtenidas. Se debe realizar un análisis conjunto de ambas, este análisis ayudará a identificar las zonas críticas, las regiones donde las tensiones son más significativas debido a las deformaciones.
- **Unclamping.**
Se verificará el efecto que tiene la realización del Unclamping. Tras el proceso y su posterior enfriamiento se eliminan las sujeciones, donde parte de las tensiones acumuladas se liberarán aumentando así las distorsiones.
- **Tensiones acumuladas.**
Las tensiones acumuladas se refieren a las tensiones internas o mecánicas que pueden acumularse en los componentes de la caja de baterías debido a temperaturas, condiciones de carga y operación. Las tensiones pueden influir en la integridad estructural y el rendimiento de la caja de baterías. Algunos aspectos que se observarán son los siguientes.
 - **Tensiones internas.**
Son las tensiones que se generan dentro de la estructura de la caja de baterías debido a factores como la expansión térmica o la presión interna de los componentes generan sobre otros.
 - **Efectos de fatiga.**
Se debe visualizar sobre que componentes recaen la mayor parte de las tensiones durante la vida útil para así minimizar las tensiones internas sobre aquellos componentes durante la soldadura. Además, todos los componentes deben mantenerse dentro de los márgenes de la capacidad de las propiedades del material durante el proceso de la soldadura.

Por lo tanto, en primer lugar, a pesar de que todas las uniones estén previamente calibradas y con un tamaño de fuente de calor y parámetros adecuados para tener una soldadura de calidad, se observarán en detalle las características térmicas que presentan los resultados durante las soldaduras.

Para poder observar la soldadura sobre la estructura completa se ha modificado, en ciertos casos, la vista del conjunto. Añadiendo la transparencia se puede asegurar de que la secuencia diseñada se ha llevado a cabo de forma correcta.

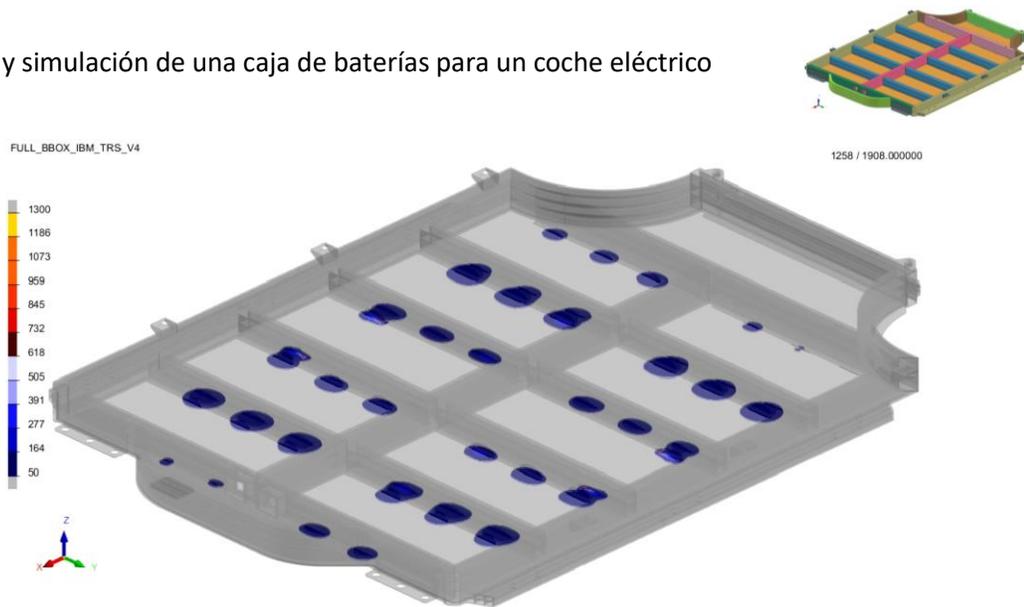


Ilustración 156. Visualización térmica del proceso de soldadura

Temperaturas zona de soldadura. Se analiza, de forma local, la temperaturas alcanzadas en los diferentes cordones y cuál ha sido la zona afectada térmicamente. Además, se observa la sección de dichos cordones para asegurar una correcta ejecución del proceso previamente definido.

Temperatura máxima alcanzada en el cada cordón. En última instancia, se visualiza la temperatura máxima alcanzada en todo el conjunto durante el proceso. Esta es una manera sencilla de visualizar si las temperaturas máximas alcanzadas se corresponden con las esperadas.

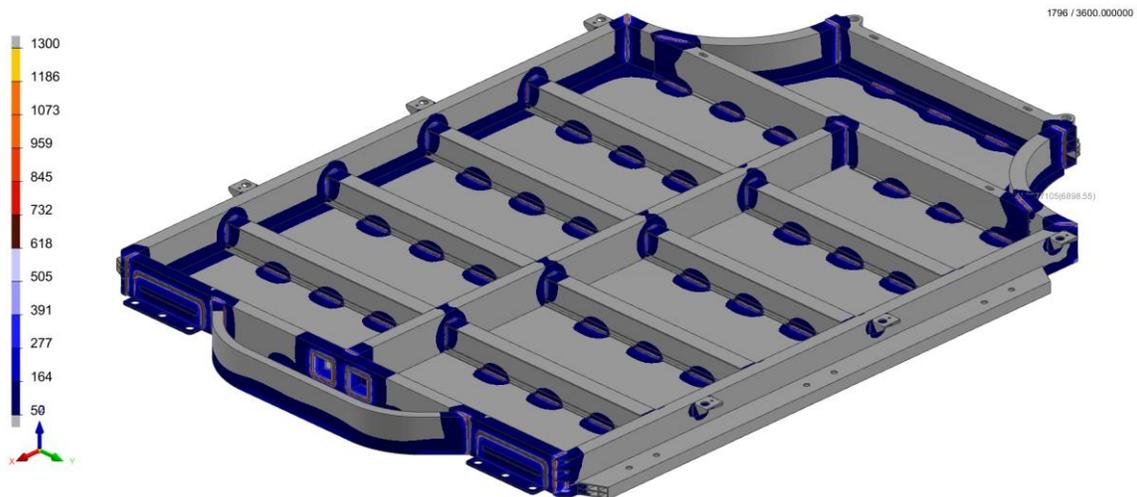


Ilustración 157. Temperatura máxima alcanzada durante el proceso

Además, se puede observar la composición microestructural previo, durante y tras el proceso. Esto puede ayudarnos a comprender las tendencias o distorsiones que se producen. Durante el enfriamiento la estructura atómica cambia ocupando un menor espacio, es por eso, que una vez se ha realizado la soldadura el conjunto tiende a contraerse. Por lo tanto, temperatura y distorsión guardan una cierta relación. Además, se puede intuir que la mayor zona afectada, el cordón, producirá la mayor parte de la



contracción, de esta manera, se puede decir que la tendencia de todos los cordones será la de cerrar el ángulo de los componentes que se pretenden unir.

Gracias a esta conclusión y previo a la visualización de resultados se puede intuir de qué manera se distorsionará el conjunto, aunque no se pueda predecir el valor en términos exactos. Las soldaduras de los perfiles entre los perfiles estructurales pueden hacer pensar que sobre el conjunto se produce un abombamiento cóncavo, donde la zona central se hunde. Pero, tras el procesos de soldeo 7, donde se producen las soldaduras entre los perfiles interno y el cover, harán que este componente tenga una deformación convexa y arrastre a los perfiles unidos a él hacia esa tendencia final.

Como comprobación ante esta hipótesis inicial, se ha seleccionado el perfil interior longitudinal, *PR5_BEAM2*, donde se puede ver representado el comportamiento descrito en el estado final. Se contrasta contra la malla inicial, como punto de referencia y se observa que la flecha máxima obtenido, en torno a 1.3milímetros se produce, no en el centro, sino que unos milímetros hacia la izquierda, entre los perfiles *PR6_BEAM2* y *PR6_BEAM3*. (Amplificación de la distorsión x25).

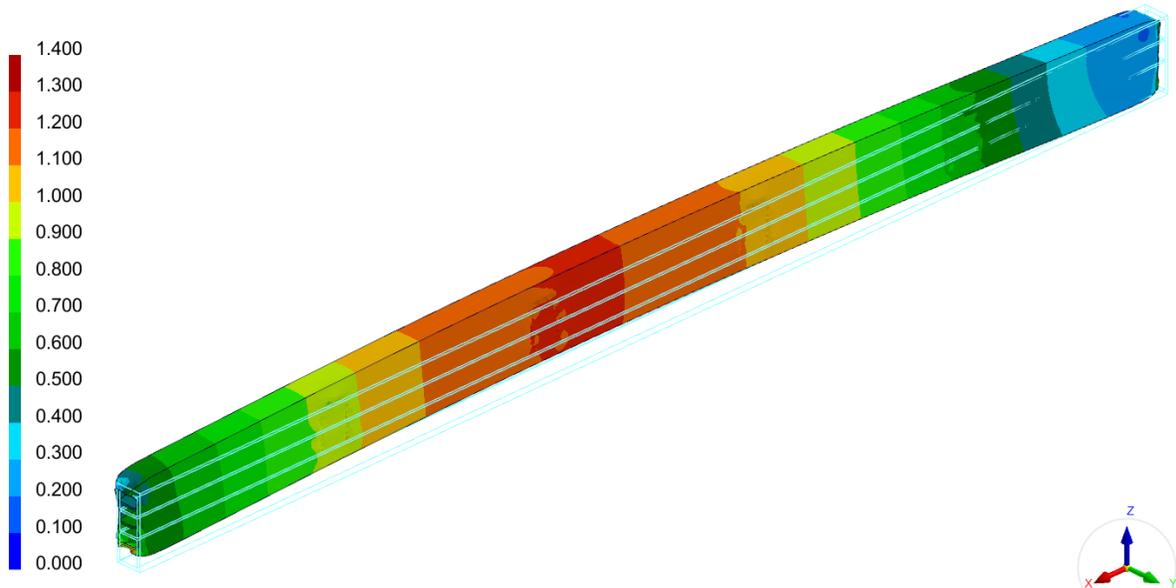


Ilustración 158. Distorsión y ejemplo de tendencia del perfil PR5_BEAM2

A continuación, se observan las diferentes características en cuanto a distorsiones se refiere a nivel general. Cabe mencionar, que los últimos instantes de los resultados obtenidos durante la simulación proporcionan la información de como concluirá el proceso, sin embargo, también es necesario mirar los resultados obtenidos, por ejemplo, tras cada etapa, idealmente tras cada cordón soldado, para revisar posibles fallos o incongruencias puntuales que pueden ocurrir para así subsanarlas.

Los resultados obtenidos tras cada etapa proporcionarán una información local de las distorsiones obtenidas, sobre todo en las primeras etapas del proceso completo, ya que el resto de los componentes ni siquiera estarán unidos a ellos. Por ejemplo, a continuación, se pueden observar las distorsiones obtenidas tras realizar las 3 primeras etapas del proceso, las uniones de los perfiles exteriores. Se han observado deformaciones máximas de 1mm.

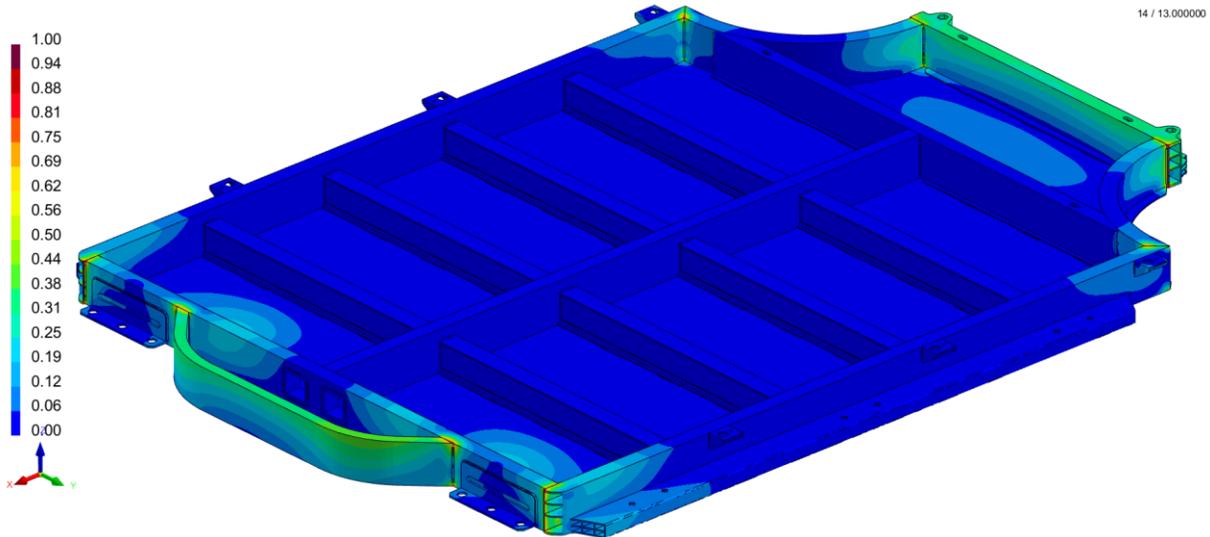


Ilustración 159. Distorsiones Proceso 3

Tanto los desplazamientos finales como la etapa de unclamping se muestran a continuación. Se puede observar el efecto de relajar todas las restricciones salvo el clampado isostático una vez toda la estructura está a temperatura ambiente de nuevo.

Se ha tenido que modificar la escala para cada caso, ya que las distorsiones obtenidas durante el proceso alcanzaban una distorsión máxima, sobre el perfil exterior superior de 1.85 milímetros. Una vez, se han soltado los amarres, se puede observar como la relajación de los clamps sobre el cover han tenido mayor efecto, registrando en las casillas centrales las mayores distorsiones de 2.3 milímetros.

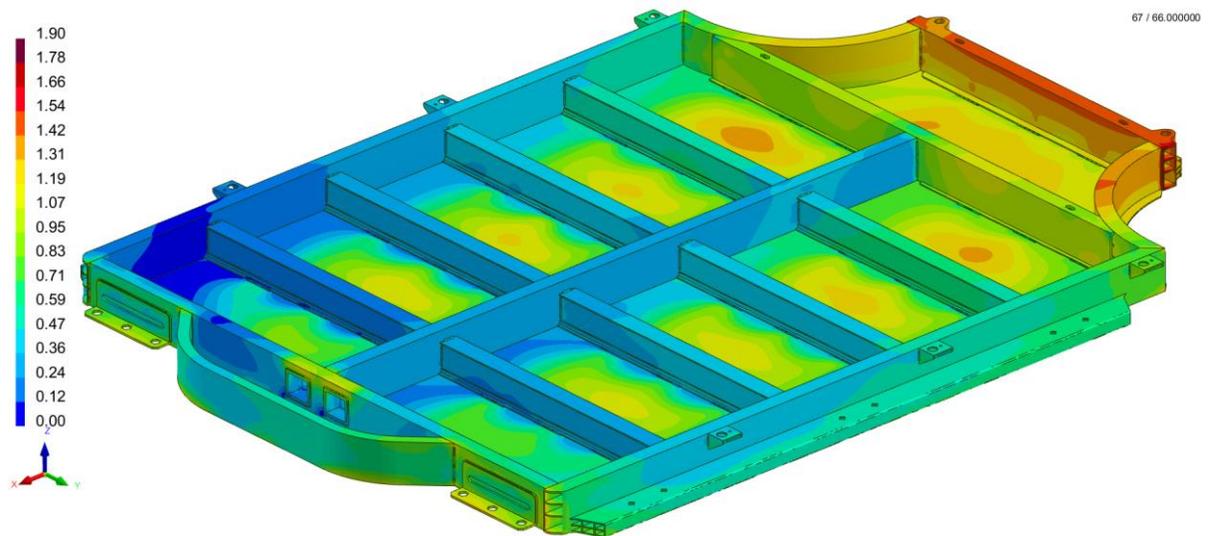


Ilustración 160. Distorsiones previas al unclamping

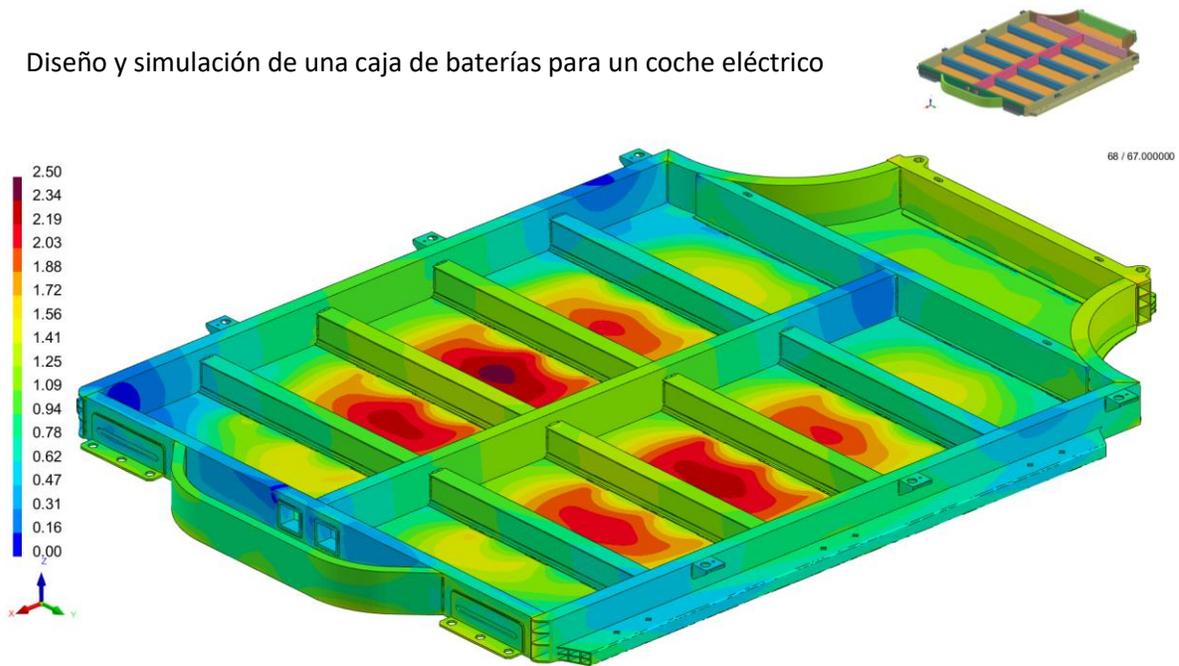


Ilustración 161. Distorsiones tras el unclamping

Además, sobre las deformaciones máximas se ha realizado un análisis con mayor detalle. Sobre esa región se ha realizado un corte, de esta manera se observará hacia donde se produce el desplazamiento, se añadirá la malla inicial tener un punto de referencia con el que comparar la distorsión, además, de ampliar las distorsiones x5. Se puede observar cómo se cierra el ángulo a través de la unión de los perfiles laterales con el cover. Esto hace que la parte central de la chapa, entre ambos perfiles, se eleve. En cuanto a porque se consiguen mayores deformaciones sobre la parte central viene determinado por la secuencia, donde, en primer lugar se han soldado los extremos para terminar sobre el centro.

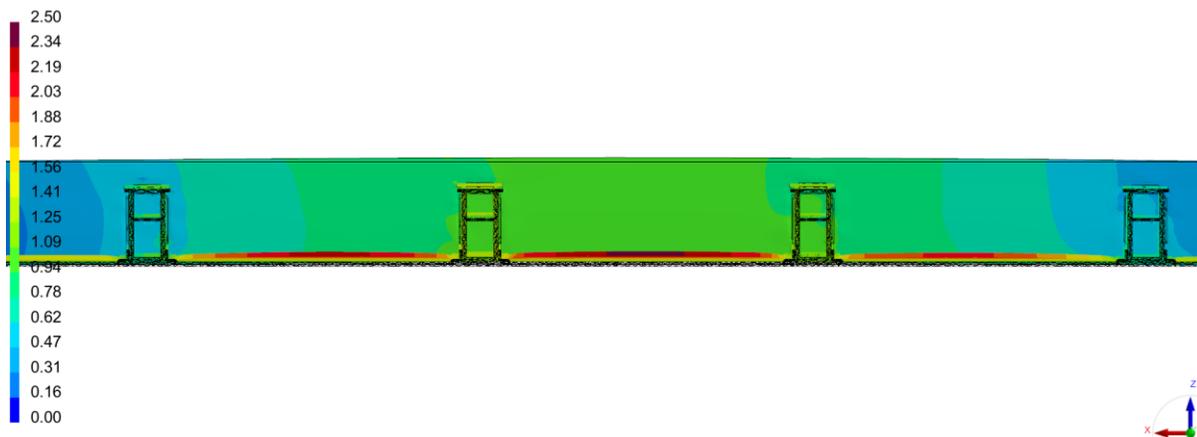


Ilustración 162. Efecto de las distorsiones sobre el Cover (sección del conjunto)

En cuanto a la evaluación de la integridad estructural se puede concluir que las distorsiones máximas obtenidas durante el proceso y tras este entran dentro de los márgenes de seguridad. La estructura interna y externa muestra un comportamiento robusto, mientras que el cover, donde se observan las distorsiones de mayor envergadura, se deforma hacia la parte superior. La restricción dimensional definida por los estándares hace esperar una distorsión típica de entre 1 y 3 milímetros, siendo más laxos con los elementos no estructurales como el cover.



A pesar de cumplir con las distorsiones típicas se deben revisar las tensiones obtenidas en el transcurso del proceso y tras este. De igual manera que en caso de las distorsiones se observará la conclusión de estos a través de 2 imágenes, una previa al unclamping y otra posterior a este. Como se puede observar, aunque la diferencia no es muy notable se reduce en un pequeño grado la tensión máxima alcanzada.

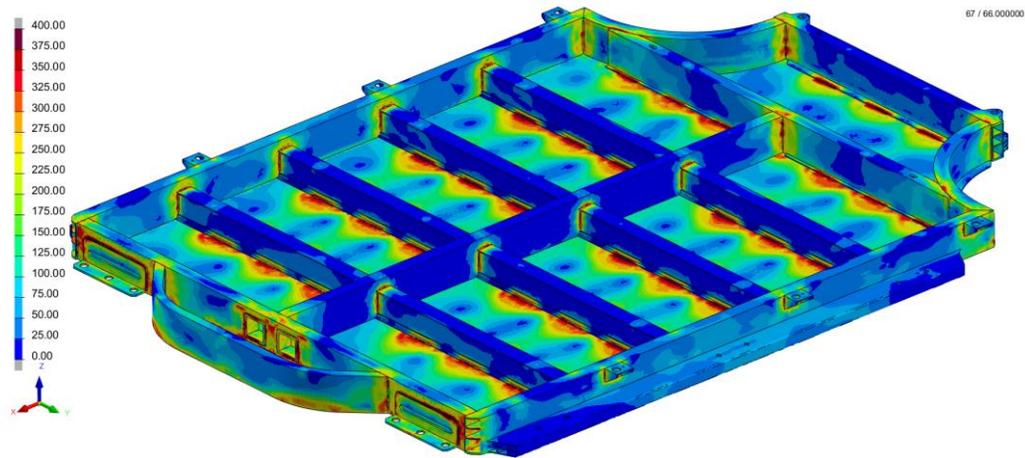


Ilustración 163. Tensiones previo a unclamping

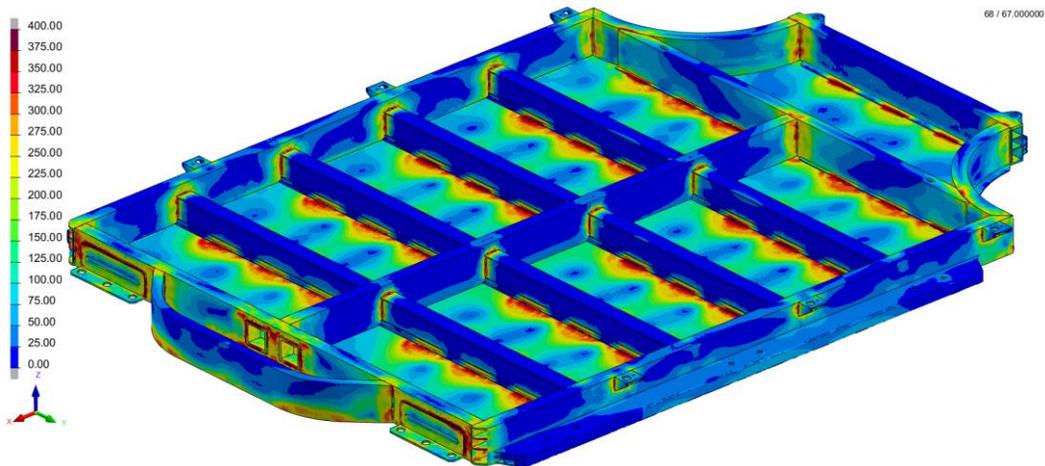


Ilustración 164. Tensiones tras el unclamping

Además, se realizarán corte longitudinal sobre el conjunto para visibilizar las tensiones internas obtenidas, el corte seleccionado es propicio para observar las tensiones entre perfiles interiores con cover, perfiles exteriores con cover, plate con perfil exterior y la unión entre perfiles. Sobre la sección se observa la acumulación de las tensiones en los cordones y en las zonas aldañas, se pueden marcar las zonas conflictivas con un máximo de 13milímetros de amplitud. A partir de la distancia marcada las distorsiones disminuirán en gran medida. Se puede observar también una cierta similitud entre los resultados tensiones y térmicos, la zona de mayor afección térmica supone las zonas con tensiones superiores:

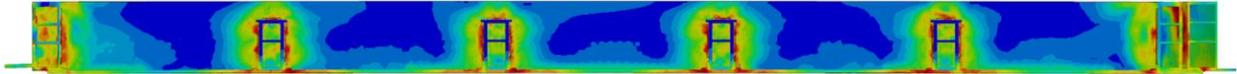


Ilustración 165. Visualización tensión interna

En cuanto a las zonas más solicitadas y por lo tanto que observarán una mayor fatiga son claramente las uniones entre cover y los perfiles internos laterales. Aun así, la tensión máxima registrada ronda los 400 MPa, cuando el acero empleado tiene una resistencia a tracción máxima de 600MPa, lo suficiente para trabajar en un estado óptimo de seguridad.

Se cumple también el margen de seguridad que supone el factor de seguridad. Este factor es comúnmente aplicado en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería. Este factor establecido por norma o por fabricante puede variar en función del proceso o material empleados. Por norma general se debe trabajar con un factor mínimo de 1.5 en cuestión de tensiones.

6. Conclusiones

Tensiones mecánicas.

Los resultados de tensiones obtenidos en el análisis revelan que la estructura se encuentra sometida a niveles de tensiones mecánicas de alrededor de 400MPa. Es fundamental tener en cuenta que estas tensiones están dentro del rango de resistencia admisible para el material empleado, S355J2, que por lo general tiene límites de resistencia cercano a los 600MPa. Esto sugiere que, desde el punto de vista mecánico, la estructura cumple los requisitos de seguridad.

Temperaturas.

Las temperaturas alcanzadas durante el proceso de soldadura superan los 3000C. Sin embargo, es habitual tener ese tipo de temperaturas en procesos de soldadura por arco. Es fundamental gestionar adecuadamente el control térmico para evitar efectos adversos en la integridad del material y en la formación de tensiones residuales.

Distorsiones.

Las distorsiones máximas registradas en la estructura alcanzan los 2.2 milímetros. Estas distorsiones se deben a la contracción y expansión térmica durante la soldadura. De todas formas, las distorsiones están dentro del margen aceptable de 3 mm establecido.

Seguridad.

La seguridad en la estructura es fundamental. Considerando las tensiones y las deformaciones, es necesario verificar si se cumplen los factores de seguridad.

Mejora continua.

A modo de ejercicio de mejora continua sobre los resultados obtenidos se han observado distorsiones considerables sobre el perfil exterior superior de entorno a 1.2mm durante el proceso de soldadura, a pesar de que sobre esa zona no hay grandes solicitudes tensionales. Debido a esto, se podría tratar de aumentar las restricciones en la dirección X.

En cuanto a las temperaturas, existen, durante el proceso picos de temperaturas. Estos se deben a las dimensiones de los elementos empleados, ya que se producen grandes gradientes cuando las temperaturas cambian de forma brusca. Se podría considerar un refinamiento de malla sobre las zonas cercanas a los cordones, aunque eso supondría un mayor coste computacional.

Líneas futuras.

Para garantizar la precisión y la utilidad práctica de los resultados obtenidos en la simulación es fundamental la realización de pruebas experimentales. Estas pruebas permitirán una validación empírica de las predicciones aportadas y garantizarán la aplicabilidad en entornos reales.

Diseño y simulación de una caja de baterías para un coche eléctrico



Además, se podría considerar la ampliación del estudio incluyendo diferentes tipos de aceros o aleaciones. Permitirá comprender mejor como varían las distorsiones y tensiones en función de los materiales utilizados

Otra posible línea de desarrollo puede consistir en como las variaciones geométricas, como variaciones en el grosor del material, ángulos de unión o configuraciones de juntas, afectan a las distorsiones y tensiones resultantes. Lo que permitirá minimizar los efectos negativos en las uniones soldadas.

7. Presupuesto

En este apartado se observará y tendrán en consideración varios escenarios posibles con una estimación aproximada de todos los gastos que pueden surgir durante la fabricación, el diseño y las simulaciones del Battery Box

Se han tenido en cuenta 2 escenarios a la hora de realizar el presupuesto:

- Escenario 1 – Caso de estudio en este documento.
En este primer escenario se observará el caso de estudio de este documento donde se realiza un estudio sobre la caja de batería y sus componentes, pero, sobre todo, donde se diseña y se simula por computador la caja de baterías, además, de hacer las comprobaciones pertinentes.

El costo de las licencias, con carácter anual, de los softwares empleados durante el trabajo han resultado ser los siguientes:

Licencia de software				
Softwares	Contenido	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
Sysweld – Weld and Heat Treatment & Assembly	1 solver Job a 8 cores y 1 GUI	1	36,000.00	36,000.00
CATIA	Licencia + Mantenimiento obligatorio	1	10,000.00 + 2,000.00	12,000.00
Total (€)				48,000.00

Tabla 22. Presupuesto Licencia Software

Para los gastos por hora de Ingeniero se deben tener en cuenta la localización, la industria y otros factores para determinar el precio/hora. Las horas de ingeniería empleadas, suponiendo la experiencia de un Ingeniero Junior (entre 2 y 5 años de experiencia) con localización en España han sido:

Ingeniería			
Tareas Ingeniero Junior	Cantidad	Precio Unitario (€/h)	Total (€)
Investigación	40	60	2,400.00
Diseño	80	60	4,800.00
Preparación Simulación	100	60	6,000.00
Simulaciones y ajustes	60	60	3,600.00
Documentación	70	60	4,200.00
Total (h)	300	Total (€)	21,000.00

Tabla 23. Presupuesto Ingeniería



- Escenario 2 – Caso de estudio de este documento añadiendo la fabricación del proceso simulado. En este escenario se contempla además de los puntos vistos sobre el Escenario 1 añadiendo las operaciones de fabricación del Battery Box asumiendo un costo por operaciones de fabricación, precio material empleado o precio de la realización de la soldadura y ensamblado de los componentes entre otros.

Para hacer un desglose de los materiales empleados para formar las piezas del Battery Box completo se ha realizado una estimación del precio del material por kilogramo. El precio del material empleado variará en función de la empresa que abastece, la cantidad o el tipo de piezas. De hecho, la estimación del precio del material puede variar entre un factor de 1 €/kg y 1.5 €/kg, como en todo estudio ingenieril, se debe poner en el peor de los casos:

Materiales							
Elemento	Especificación	Nombre Simulación	Cantidad	Masa Pieza Unitaria (kg)	Material	Precio Unitario (€/kg)	Total (€)
Perfiles laterales	Derecho/Izquierdo		2	29.275	S355J2	1.5	87.83
Perfiles exteriores	Superior/Inferior		2	14.959	S355J2	1.5	44.88
	Perfiles Curvos		2	5.908	S355J2	1.5	17.72
	Módulo Inferior		1	8.764	S355J2	1.5	13.15
Estructura interior	Perfil Interior Longitudinal		1	22.982	S355J2	1.5	34.47
	Perfil Interior Transversal		1	17.462	S355J2	1.5	26.19
	Perfiles laterales		8	7.99	S355J2	1.5	95.88
	Plate		2	0.998	S355J2	1.5	2.99
	Pin		6	0.16	S355J2	1.5	1.44
	Conectores		2	0.299	S355J2	1.5	0.90
	Cover		1	134.271	S355J2	1.5	201.41
Total (€)							526.86

Tabla 24. Presupuesto Materiales

Como en el caso anterior donde se veía el precio del material empleado, con las diferentes técnicas de fabricación de caracterización de los componentes, ocurrirá algo similar. En función de la empresa que preste los servicios el precio puede fluctuar en un rango determinado, por ejemplo, el mm de soldadura puede variar entre 0.1 €/mm y 0.9 €/mm o la operación de mecanizado entre 50 €/h y 100 €/h. De los casos más desfavorables observados se tiene la siguiente estimación:



Procesos de fabricación			
Operación	Cantidad aprox. (h)	Precio Unitario(€/h)	Total (€)
Corte láser	6	130	780.00
Doblado y Conformado	3	80	240.00
Mecanizado	4	100	400.00
Soldadura	201 (unidades)	0.9 (€/mm)	19,031.562
Programación robot soldadura	4	750	3,000.00
Costo operación robot	25	150	3,750.00
Ensamblaje	25	30	750.00
Total (€)			27,951.562

Tabla 25. Presupuesto Procesos de fabricación

Además, se realiza un desglose por cada proceso de soldadura realizado:

Fabricación – Soldadura					
Operación	Proceso	Cantidad	Milímetro de soldadura por etapa	Precio Unitario (€/mm)	Total (€)
Soldadura	Proceso 1	3	208.8	0.9	187.92
	Proceso 2	3	208.8	0.9	187.92
	Proceso 3	24	1,588	0.9	1,429.2
	Proceso 4	26	2,768.92	0.9	2,492.028
	Proceso 5	14	1,151.1	0.9	1,003.59
	Proceso 6	48	2,080	0.9	1,872
	Proceso 7 – Parte 1	74	5,767.9	0.9	5,191.11
	Proceso 7 – Parte 2	9	7,408.66	0.9	6,667.794
Número total de soldaduras		201	Total (€)		19,031.562

Tabla 26. Presupuesto Procesos de fabricación - Soldadura

Teóricamente, para llevar a cabo la fabricación de un Battery ox se requerirá la siguiente mano de obra. Como en el Escenario se debe tener en cuenta la localización, experiencia e industria del personal. La estimación queda de la siguiente manera:



Mano de Obra Fabricación				
Mano de obra	Cantidad Personal	Precio Unitario (€/h)	Horas Unitarias (€/Persona)	Total (€)
Personal de Diseño	3	100	80	24,000.00
Operarios Fabricación	10	40	80	32,000.00
Operarios Ensamblaje	5	30	40	6,000.00
Personal Control de Calidad	3	50	40	6,000.00
Personal Logística	2	30	40	2,400.00
Total (€)				70,400.00

Tabla 27. Presupuesto Mano de obra fabricación

Por último, existen una serie de gastos indirectos que también deben de ser asumidos. Una vez realizada la fabricación del producto se debe emplear una parte del presupuesto a los gastos administrativos además de realizar las pruebas necesarias para comprobar que se ha alcanzado la calidad necesaria y poder obtener las homologaciones y certificaciones pertinentes. También se deben disponer de una serie de instalaciones donde llevar a cabo todos los procesos, así como los equipos necesarios, se ha estimado el precio de la compra de un robot de soldadura industrial, necesario para la producción en masa de este tipo de productos:

Gastos Indirectos	
Elementos	Total (€)
Instalaciones y equipos – Robot de soldadura	100,000.00
Gastos Administrativos	10,000.00
Control y Calidad	5,000.00
Certificaciones y Homologaciones	5,000.00
Total (€)	120,000.00

Tabla 28. Presupuesto Gastos Indirectos

Además, de los diferentes costos destacados, para los proyectos ingenieriles es comúnmente insertado entre un 10% y un 20% extra sobre el presupuesto obtenido en concepto de reserva de contingencia. Este fondo se emplea en caso de que surja cualquier problema no esperado, ni contemplado en el presupuesto. De esta manera, se puede asumir un sobrecosto del proyecto en caso de ser necesario.



Por lo tanto, el balance total quedaría de la siguiente manera:

Área	Precio total
Licencia de software	48,000.00
Materiales	526.86
Fabricación	27,951.562
Mano de Obra Fabricación	70,400.00
Gastos Indirectos	120,000.00
Total (€)	266,878.42
Reserva contingencia	26,687.84
Total (contingencia incluida) (€)	293,566.26
Total (IVA incluido) (€)	355,215.18

Tabla 29. Presupuesto Total



8. Diagrama de Gantt

Tareas/Subtareas	Semana																																															
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	Abril					Mayo					Junio					Julio					Agosto				
0 Definición Diagrama Gantt	[Gantt bar: April 14-15]																																															
1 Recopilación de Información	[Gantt bar: April 14-18]																																															
1.1 Diseños CAD BatteryBox	[Gantt bar: April 14-16]																																															
1.2 Diseño modulo de baterías	[Gantt bar: April 15-17]																																															
1.3 Información relacionada con los BatteryBox	[Gantt bar: April 16-18]																																															
2 Diseño CAD BatteryBox	[Gantt bar: April 18-22]																																															
2.1 Diseño de los modulos de baterías	[Gantt bar: April 18-20]																																															
2.2 Cálculo de capacidad de modulos de bateria	[Gantt bar: April 19-21]																																															
2.3 Diseño perfiles y cover	[Gantt bar: April 20-22]																																															
2.4 Revisión de diseño	[Gantt bar: April 21-23]																																															
2.5 Corrección de errores	[Gantt bar: April 22-24]																																															
3 Calibración uniones	[Gantt bar: May 20-26]																																															
3.1 Mallado unión Tetrahedros	[Gantt bar: May 20-21]																																															
3.2 Preparación modelo Tetrahedros	[Gantt bar: May 21-22]																																															
3.3 Preparacion modelo Tetrahedros en Assembly	[Gantt bar: May 22-23]																																															
3.4 Mallado unión Hexahedros	[Gantt bar: May 23-24]																																															
3.5 Preparación modelo Hexahedros	[Gantt bar: May 24-25]																																															
3.6 Comparación de resultados	[Gantt bar: May 25-26]																																															
3.7 Calibración	[Gantt bar: May 26-27]																																															
3.8 Calibración resto de uniones	[Gantt bar: May 27-28]																																															
4 Mallado BatteryBox Hexahedros	[Gantt bar: June 23-27]																																															
4.1 Mallado Perfiles	[Gantt bar: June 23-24]																																															
4.2 Mallado Cover	[Gantt bar: June 24-25]																																															
4.3 Correcciones	[Gantt bar: June 25-26]																																															
5 Mallado BatteryBox Tetrahedros	[Gantt bar: June 27-31]																																															
5.1 Mallado Perfiles	[Gantt bar: June 27-28]																																															
5.2 Mallado Cover	[Gantt bar: June 28-29]																																															
5.3 Correcciones	[Gantt bar: June 29-30]																																															
6 Preparación modelo Tetrahedros	[Gantt bar: July 27-31]																																															
6.1 Preparación de cordones de soldadura	[Gantt bar: July 27-28]																																															
6.2 Creación grupos radio de afección	[Gantt bar: July 28-29]																																															
6.3 Creación clampado	[Gantt bar: July 29-30]																																															
6.4 Preparación secuencia	[Gantt bar: July 30-31]																																															
6.5 Definir contactos	[Gantt bar: July 31-Aug 1]																																															
6.6 Lanzar modelo preliminar	[Gantt bar: Aug 1-2]																																															
6.7 Lanzar modelo con secuencia optimizada	[Gantt bar: Aug 2-3]																																															
6.8 Revisión resultados	[Gantt bar: Aug 3-4]																																															
6.9 Corrección posibles errores de proceso	[Gantt bar: Aug 4-5]																																															
7 Preparación Modelo Hexahedros	[Gantt bar: July 27-31]																																															
7.1 Creación de Contactos	[Gantt bar: July 27-28]																																															
7.2 Preparación de cordones de soldadura	[Gantt bar: July 28-29]																																															
7.3 Creación fuentes de calor	[Gantt bar: July 29-30]																																															
7.4 Definición clampado	[Gantt bar: July 30-31]																																															
7.5 Lanzar cálculo	[Gantt bar: Aug 1-2]																																															
7.6 Revisión resultados	[Gantt bar: Aug 2-3]																																															
8 Comparación de resultados	[Gantt bar: Aug 3-4]																																															
Comparación resultados Hexahedros vs Tetrahedros	[Gantt bar: Aug 4-5]																																															
Correlación resultados	[Gantt bar: Aug 5-6]																																															
9 Redacción TFG	[Gantt bar: June 27-31]																																															
9.1 Marco teórico	[Gantt bar: June 27-28]																																															
9.2 Etapa de diseño	[Gantt bar: June 28-29]																																															
9.3 Calibración uniones + preparación y lanzamiento modelos	[Gantt bar: June 29-30]																																															
9.4 Conclusiones + Presupuesto	[Gantt bar: June 30-31]																																															

Tabla 30. Diagrama de Gantt



9. Anexo

9.1. Normas y estándares adicionales

Estándar	Resumen del alcance
<p>ATIS 06000330:2008 Baterías de plomo ácido reguladas por válvula (VRLA) utilizadas en el entorno de las telecomunicaciones</p>	<p>Cubre las baterías VRLA, utilizadas como fuente de energía de reserva que admite equipos de carga de telecomunicaciones alimentados por CC. Define el uso operativo adecuado, las condiciones de almacenamiento y los criterios de prueba inicial y de vida útil para las celdas VRLA (módulos). Destinado a ser utilizado para establecer las características físicas y de rendimiento iniciales de las células o módulos VRLA, las expectativas de rendimiento a lo largo de su vida útil y las condiciones de funcionamiento para el uso apropiado y guía para diseñadores de estas celdas o módulos.</p>
<p>Acuerdo de Taller CENELEC (CWA) 50611. Baterías de flujo – Guía sobre la especificación, instalación y funcionamiento, abril de 2013</p>	<p>El CWA proporciona orientación sobre la especificación, instalación y funcionamiento de las baterías de flujo. Facilita la fase pre comercial cuando las baterías de flujo deben compararse con otras baterías de flujo u otros dispositivos de almacenamiento eléctrico. Proporciona orientación a la evaluación de la conformidad augurios para la conformidad de la batería de flujo de referencia con las directivas existentes y otras regulaciones.</p>
<p>EN 50272-2. Requisitos de seguridad para baterías secundarias e instalaciones de baterías – Parte 2 baterías estacionarias</p>	<p>La norma se aplica a un límite de 1500 VCC, protección contra electricidad, emisión de gases y electrolitos. Se limita a las tecnologías de plomo-ácido y níquel en aplicaciones de telecomunicaciones, fotovoltaica (PV), suministro de energía ininterrumpida (UPS), iluminación de emergencia, central eléctrica, motor estacionario. incipiente.</p>
<p>FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 5-31. Cables y barras colectoras, diciembre de 2004</p>	<p>Esta hoja de datos cubre la protección eléctrica y la protección contra incendios para cables y barras colectoras y analiza los conductores de aluminio, describiendo los métodos de conexión, empalme y terminación para evitar el calentamiento excesivo que podría resultar en arco y fuego.</p>
<p>IEC 60622. Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos – Pilas individuales recargables prismáticas selladas de níquel-cadmio</p>	<p>La norma especifica el marcado, las pruebas y los requisitos para las células secundarias prismáticas selladas de níquel-cadmio.</p>
<p>IEC 60623. Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos – Pilas individuales recargables prismáticas de níquel-cadmio ventiladas</p>	<p>La norma especifica el marcado, la designación, las dimensiones, las pruebas y los requisitos para las células individuales prismáticas ventiladas de níquel-cadmio.</p>



<p>IEC 60896-11. Baterías fijas de plomo-ácido, Parte 11: Tipos ventilados – Requisitos generales y métodos de ensayo</p>	<p>Esta parte de IEC 60896 es aplicable a las celdas y baterías de plomo-ácido que están diseñadas para el servicio en ubicaciones fijas y que están permanentemente conectadas a la carga y a la fuente de alimentación de CC. La Parte 11 de la norma es aplicable solo a los tipos ventilados. El objeto de esta norma es especificar los requisitos generales y las características principales con los métodos de ensayo correspondientes asociados con todos los tipos y modos de construcción de baterías estacionarias de plomo-ácido, excluyendo los tipos regulados por válvula.</p>
<p>IEC 60896-21. Baterías fijas de plomo-ácido, Parte 21: Tipos regulados por válvulas – Métodos de ensayo</p>	<p>Se aplica a todas las celdas estacionarias de plomo-ácido y baterías monobloque del tipo regulado por válvula para aplicaciones de carga de flotador (es decir, conectadas permanentemente a una carga y a una fuente de alimentación de CC), en una ubicación estática e incorporadas en equipos estacionarios o instaladas en salas de baterías para su uso en telecomunicaciones, UPS, conmutación de servicios públicos, energía de emergencia o aplicaciones similares. El objetivo es especificar métodos de prueba para todos los tipos y la construcción de celdas estacionarias de plomo-ácido reguladas por válvula y baterías monobloque utilizadas en aplicaciones de energía de reserva. Esta parte de IEC 60896 no se aplica a las celdas de plomo-ácido y las baterías monobloque utilizadas para aplicaciones de arranque de motores de vehículos (serie IEC 60095), sistemas de energía solar fotovoltaica (IEC 61427) o aplicaciones de uso general (IEC610serie 56).</p>
<p>IEC 60896-22. Baterías fijas de plomo-ácido, Parte 22: Tipos regulados por válvula – Requisitos</p>	<p>Se aplica a todas las celdas estacionarias de plomo-ácido y baterías monobloque de tipo regulado por válvula para aplicaciones de carga flotante, (es decir, conectadas permanentemente a la carga y la fuente de alimentación de CC), en una ubicación estática e incorporadas en equipos estacionarios o instaladas en salas de baterías para su uso en telecomunicaciones, UPS, conmutación de servicios públicos, energía de emergencia o similar. El objetivo de esta parte de IEC 60896 es ayudar a comprender el propósito de cada prueba contenida en IEC 60896-21 y proporcionar orientación sobre un requisito adecuado en la batería que satisfaga las necesidades de una aplicación industrial particular y una condición operativa. Este estándar se utiliza junto con los métodos de prueba comunes descritos en IEC 60896-21 y está asociado con todos los tipos y la construcción de celdas estacionarias de plomo-ácido reguladas por válvula y monobloques utilizados en aplicaciones de energía de reserva. Esta parte de IEC 60896 no se aplica a las celdas y baterías de plomo-ácido utilizadas para aplicaciones de arranque de motores de vehículos (serie IEC 60095), aplicaciones de energía solar fotovoltaica (IEC 61427) o en general</p>



	aplicaciones de propósito (serie IEC 61056).
IEC 61427-1. Pilas secundarias y baterías para sistemas de energía fotovoltaica (PVES) – Requisitos generales y métodos de ensayo	Esta norma internacional proporciona información general sobre las baterías secundarias utilizadas en PVES y los métodos típicos de prueba utilizados para la verificación del rendimiento de la batería. Esta norma no incluye información específica relacionada con el tamaño de la batería, el método de carga o el diseño PVES. NOTA: Esta norma es aplicable a las pilas y baterías de plomo-ácido y níquel-cadmio. Esta norma se modificará para incluir otros sistemas electroquímicos, cuando estén disponibles.
IEC 61951-1 Ed 4. Células individuales recargables selladas portátiles – Parte 1: Níquel-cadmio	Especifica el marcado, la designación, las dimensiones, las pruebas y los requisitos de rendimiento para el níquel-cadmio pequeño y cilíndrico y botón sellado portátil. Celdas individuales recargables, adecuadas para su uso en cualquier orientación.
IEC 61951-2 Ed 3. Células individuales recargables selladas portátiles - Parte 2: Hidruro de níquel-metal	Especifica el marcado, la designación, las dimensiones, las pruebas y los requisitos de rendimiento para hidruro metálico de níquel-metal sellado portátil, pequeños prismáticos, cilíndricos y recargables de botón, adecuados para su uso en cualquier orientación. Esta tercera edición anula y sustituye a la segunda edición publicada en 2003 de la que constituye una revisión.
IEC 61960 Ed 3. Pilas de litio secundarias y baterías para aplicaciones portátiles	Especifica pruebas de rendimiento, designaciones, marcas, dimensiones y otros requisitos para celdas individuales de litio secundarias y baterías para aplicaciones portátiles. El objetivo de estos estándares proporcionar a los compradores y usuarios de pilas y baterías de litio secundarias un conjunto de criterios con los que puedan juzgar el rendimiento de las pilas y baterías de litio secundarias ofrecidas por varios fabricantes.
IEC 62133-1 Ed 2. Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos y otros electrolitos no ácidos - Requisitos de seguridad para las pilas secundarias selladas portátiles, y para las baterías fabricadas a partir de ellas, para su uso en aplicaciones portátiles - Parte 1: Sistemas de níquel	Esta norma y la norma 62133-2 a continuación están en desarrollo y se clasifican en: Equipos y sistemas eléctricos aeroespaciales, Equipos eléctricos y electrónicos. Estas normas abordan la seguridad de las respectivas químicas de la batería para aplicaciones portátiles.
IEC 62259 Pilas secundarias y baterías que contengan electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos – Pilas individuales prismáticas de níquel-cadmio con recombinación parcial de gases	La norma específica el marcado, la designación, las dimensiones, las pruebas y los requisitos para las células individuales prismáticas de níquel-cadmio ventiladas cuando se han tomado disposiciones especiales para tener condiciones, recombinación de gas completo.
IEC 62485-2 Requisitos de seguridad para baterías secundarias e instalaciones de baterías – Parte 2: Baterías estacionarias	Esta parte de la IEC 62485 se aplica a las baterías secundarias fijas y a las instalaciones de baterías con una tensión máxima de 1 500 V CC (nominal) y describe las principales medidas de protección contra los peligros generados por la electricidad, las emisiones de gases y los electrolitos.



<p>IEC CD 62619. Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos. Requisitos de seguridad para pilas y baterías de litio secundarias, para su uso en aplicaciones industriales.</p>	<p>La norma proporciona requisitos sobre aspectos de seguridad asociados con el montaje, uso, inspección, mantenimiento y eliminación de celdas y baterías para aplicaciones estacionarias y motivaciones (que no sean vehículos de carretera). Incluye requisitos de seguridad para celdas de iones de litio para aplicaciones motrices estacionarias y todoterreno y algunos requisitos de batería (evaluación de la combinación de batería y sistema de administración de batería [BMS]). No es un estándar del sistema, ya que cubre solo la interacción de la batería y BMS. Regulaciones regionales como directivas de la UE (vehículos ligeros, compatibilidad electromagnética [EMC]) Marca S de Japón (SBA) S1101).</p>
<p>IEC CDV 62620. Pilas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos: pilas y baterías de litio secundarias para uso en aplicaciones industriales</p>	<p>La norma especifica el marcado, la designación, las dimensiones, las pruebas y los requisitos para las celdas individuales secundarias de iones de litio de gran formato y las baterías utilizadas en aplicaciones industriales, incluidas las aplicaciones estacionarias.</p>
<p>IEC 62620 Ed 1. Baterías y pilas de litio secundario de gran formato para uso en aplicaciones industriales</p>	<p>La norma cubre las especificaciones de producto y prueba pilas secundarias y baterías de diseños sellados y ventilados que contengan electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos.</p>
<p>IEC 62675 Ed 1. Celdas individuales recargables prismáticas Ni-MH selladas para aplicaciones industriales</p>	<p>La norma cubre celdas secundarias y baterías que contienen electrolitos alcalinos u otros electrolitos no ácidos - Celdas individuales recargables prismáticas selladas de hidruro metálico de níquel para aplicaciones industriales.</p>
<p>IEC/TR 62914 Ed 1. Procedimiento experimental para el ensayo de cortocircuito interno forzado (Información complementaria a IEC 62133 Ed 2.0)</p>	<p>Este informe técnico está en desarrollo se clasifica en: Ácido secundario, Alcalino secundario, Celdas y baterías, productos de cobre.</p>
<p>IEEE C37.90.1-2002. Pruebas estándar de capacidad de resistencia a sobretensiones para relés y sistemas de relés asociados con aparatos de energía eléctrica</p>	<p>La norma cubre dos tipos de pruebas de diseño para relés y sistemas de relés que se relacionan con la inmunidad de este equipo a transitorios eléctricos repetitivos. Se describen las características del generador de prueba, las formas de onda de prueba, la selección de terminales de equipo en los que se realizarán las pruebas, los procedimientos de prueba, los criterios de aceptación y la documentación de los resultados de las pruebas. Esta norma se ha armonizado con las normas CEI, donde podría haber consenso alcanzado.</p>



<p>Norma IEEE C57.12.00-2010 para requisitos generales para transformadores de distribución, potencia y regulación sumergidos en líquido</p>	<p>La norma establece los requisitos eléctricos y mecánicos para transformadores de distribución y potencia sumergidos en líquido, y autotransformadores y transformadores de regulación; se establecen monofásicos y polifásicos, con voltajes de 601 V o más en el devanado de voltaje más alto. Es la base para el establecimiento del rendimiento, y se describen los requisitos limitados de intercambiabilidad eléctrica y mecánica de los equipos, así como para la asistencia en la selección adecuada de dichos equipos. Los requisitos de la norma se aplican a todos los transformadores de distribución, potencia y regulación sumergidos en líquido, excepto los siguientes: transformadores de instrumentos, reguladores de voltaje escalonado y voltaje de inducción, transformadores de horno de arco, transformadores rectificadores, transformadores especiales, transformadores de puesta a tierra, móviles transformadores, y transformadores de minas.</p>
<p>IEEE C57.13-1993. Requisitos estándar para transformadores de medida</p>	<p>La norma cubre características eléctricas, dimensionales y mecánicas, teniendo en cuenta ciertas características de seguridad, para transformadores de corriente y voltaje acoplado inductivamente de tipos generalmente utilizados en la medición de electricidad y el control de equipos asociados con la generación, transmisión y distribución de corriente alterna. El objetivo es proporcionar una base para el rendimiento, la intercambiabilidad y la seguridad de los equipos cubiertos y ayudar en la elección adecuada de dicho equipo. Se proporcionan clases de precisión para el servicio de medición. El código de prueba cubre la medición y el cálculo de radio y ángulo de fase, desmagnetización, mediciones de impedancia y excitación, determinación de polaridad, medidores de resistencia, características de corto tiempo, pruebas de aumento de temperatura, pruebas dieléctricas y medición de circuito abierto, voltaje de los transformadores de corriente.</p>
<p>IEEE C62.22-2009. Guía para la aplicación de supresores de sobretensiones de óxido metálico para sistemas de corriente alterna</p>	<p>La guía cubre la aplicación de descargadores de sobretensiones de óxido metálico para proteger los equipos de energía eléctrica, con un voltaje de funcionamiento nominal de 1000 V y superior, contra las sobretensiones anormalmente altas de diversos orígenes. También proporciona información sobre las características de los descargadores de sobretensión de óxido metálico y la protección de los equipos de subestación, sistemas de distribución, líneas aéreas, y grandes máquinas eléctricas.</p>



<p>IEEE 484. Práctica recomendada para el diseño de la instalación y la instalación de baterías de plomo ácido ventiladas para aplicaciones estacionarias</p>	<p>El documento de práctica recomendada proporciona prácticas y procedimientos de diseño recomendados para el almacenamiento, ubicación, montaje, ventilación, instrumentación, pre-montaje, montaje y carga de baterías de plomo ácido ventiladas. También se incluyen las prácticas de seguridad requeridas. Este documento es aplicable aplicaciones estacionarias de full-float donde un cargador de batería normalmente mantiene las baterías completamente cargadas y proporciona cargas de CC.</p>
<p>IEEE 1361. Guía para la elección, carga, prueba y evaluación de baterías de plomo-ácido utilizadas en sistemas fotovoltaicos independientes</p>	<p>La guía fue escrita para proporcionar un procedimiento de prueba de batería fotovoltaica relevante que se puede utilizar para evaluar el rendimiento de la batería e identificar los requisitos apropiados de carga de la batería fotovoltaica. El documento contiene un tutorial sobre la tecnología de baterías de plomo-ácido, las características de carga de la batería y un procedimiento de prueba de laboratorio para evaluar los parámetros de carga y rendimiento de la batería.</p>
<p>IEEE 1660. Guía para la aplicación y gestión de baterías estacionarias utilizadas en el servicio de ciclismo</p>	<p>La guía está destinada a proporcionar asistencia a los usuarios de sistemas de baterías estacionarias para determinar las estrategias apropiadas de administración de baterías que pueden aplicarse abordando las principales similitudes y diferencias en el diseño y operación de la batería para el modo de espera frente al ciclo.</p>
<p>IEEE 1661. Guía para la prueba y evaluación de baterías de plomo-ácido utilizadas en sistemas de energía híbridos fotovoltaicos</p>	<p>La guía fue escrita para proporcionar un procedimiento de prueba de batería del sistema de energía híbrida fotovoltaica que se puede utilizar para ayudar a evaluar la capacidad de la batería y la batería fotovoltaica adecuada. Requisitos de carga.</p>
<p>Telcordia GR-3020-NÚCLEO. Baterías de níquel-cadmio en la planta exterior</p>	<p>El documento aborda los problemas de seguridad y rendimiento de las baterías de NiCad destinadas a su uso como sistemas de energía de respaldo en telecomunicaciones fuera de la planta. Las baterías de NiCad tienen un servicio y una vida útil más largos que las baterías de plomo-ácido y una resistencia inherente para soportar entornos hostiles. El documento incluye requisitos eléctricos, químicos, ambientales, de diseño físico y de calidad y confiabilidad, así como una sección sobre documentación y requisitos de prueba y dispositivos de carga auxiliares.</p>



<p>Telcordia GR-3150-NÚCLEO. Requisitos genéricos para las baterías secundarias de litio no acuosas</p>	<p>El documento presenta los requisitos generales que Telcordia y los representantes de la industria participantes consideran aplicables a las baterías de litio recargables no acuosas de gran formato para reemplazar o interoperar con baterías convencionales (es decir, plomo-ácido, basadas en nickel); funcionan a la perfección con las centrales eléctricas de CC; y proporcionan energía de respaldo confiable para cargar equipos en un entorno de red de un proveedor de servicios de telecomunicaciones típico. Se recomienda el despliegue de baterías de litio que cumplan con los criterios de este documento fuera de la planta en lugares tales como bóvedas ambientales controladas, recintos de equipos electrónicos, cabañas y en estructuras no controladas como gabinetes. Esta norma aborda las baterías de litio compuestas de electrolitos líquidos no acuosos o polimerizados que proporcionan conductividad iónica entre el material activo litiado separado eléctricamente del litio metálico o el material activo negativo litiado. Este documento cubre las baterías de litio enviadas desmontadas (el ensamblaje completo requiere las conexiones en serie o en paralelo de celdas o módulos y una conexión a un BMS externo) o completamente ensambladas (como sistemas de 48 V con un sistema electrónico de gestión).</p>
<p>Telcordia GR-4228-NÚCLEO Niveles de certificación de cadena de batería VRLA basados en los requisitos de seguridad y rendimiento</p>	<p>El documento proporciona un sistema de 3 niveles de criterios de seguridad y rendimiento de cadenas VRLA basados en documentos de requisitos genéricos de Telcordia. Los niveles de criterios de cadena VRLA se definen de la siguiente manera:</p> <p>Nivel 1, Seguridad y operatividad mínima: nivel mínimo aceptable de cumplimiento necesario para evitar peligros y degradación de la instalación de red y peligros para el personal, y necesario para garantizar la operatividad de la batería en el momento de la instalación en entornos controlados.</p> <p>Nivel 2, Operabilidad limitada: nivel mínimo aceptable de cumplimiento necesario para proporcionar una garantía limitada de la operatividad de la batería en condiciones ambientales controladas.</p> <p>Nivel 3, Operabilidad completa: nivel mínimo aceptable de cumplimiento necesario para garantizar el funcionamiento de la batería a lo largo de su vida útil esperada del rango de condiciones ambientales aceptables.</p>



<p>UL 489 Disyuntores de caja moldeada, interruptores de caja moldeada y cajas de disyuntores</p>	<p>1.1 Esta norma cubre disyuntores de caja moldeada, interruptores automáticos e interruptores de circuito de falla a tierra, disyuntores fusionados y protectores accesorios de alta falla. Estos disyuntores están destinados específicamente a proporcionar protección de entrada de servicio, alimentador y circuito de derivación de acuerdo con los códigos de instalación nacional en el Anexo B, Ref. 1. Esta norma cubre los disyuntores de disparo instantáneo (interruptores de circuito) diseñados específicamente como parte de un controlador de motor combinado de acuerdo con los códigos nacionales de instalación en el Anexo B, Ref. 1. Esta norma cubre los interruptores de caja moldeada y fundida de caja moldeada.</p>
	<p>1.3 Esta norma cubre dispositivos con una potencia nominal de 600 V o menos y 6000 amperios o menos.</p> <p>1.4 Los dispositivos a los que se hace referencia en los puntos 1.1 y 1.2 están destinados a ser instalados en una carcasa global o como partes de otros dispositivos, como tableros de paneles. La aceptabilidad de la combinación se determinará cuando se investigue el producto completo.</p> <p>1.5 Esta norma cubre las carcasas de disyuntores y los dispositivos accesorios destinados a ser utilizados con los dispositivos descritos en 1.1 y 1.2.</p> <p>1.6 Esta norma no cubre los disyuntores de baja tensión incluidos en el Anexo B, Ref. 3 y Ref. 4 ni los protectores suplementarios cubiertos en el Anexo B, Ref. 5.</p> <p>1.7 Esta norma contiene suplementos que cubren los requisitos para los interruptores automáticos de caja moldeada para: a) Uso marino; b) Uso naval; c) Uso ininterrumpido de la fuente de alimentación; d) Disyuntores Clasificados; y e) Software en Componentes Programables.</p>
<p>UL 810A Condensadores electroquímicos</p>	<p>1.1 Estos requisitos cubren condensadores electroquímicos para uso en equipos tales como productos electrónicos, fuentes de alimentación ininterrumpida, iluminación de emergencia, arranque del motor y equipos de potencia. Estos condensadores de almacenamiento de energía, también conocidos como condensadores eléctricos de doble capa, ultra condensadores, condensadores de doble capa o supercondensadores, consisten en condensadores individuales o condensadores conectados en serie múltiple y / o paralelo con o sin circuitos asociados.</p> <p>1.2 Estos requisitos no cubren los condensadores electroquímicos para su uso en ubicaciones peligrosas (clasificadas).</p>



<p>UL 1642 Baterías de litio</p>	<p>1.1 Estos requisitos cubren baterías de litio primarias (no recargables) y secundarias (recargables) para su uso como fuentes de energía en productos. Estas baterías contienen litio metálico, aleación de litio o iones de litio y pueden consistir en una sola celda electroquímica o dos o más celdas conectadas en serie, paralelas o ambas que convierten la energía química en energía eléctrica por una reacción química irreversible o reversible.</p> <p>1.2 Estos requisitos cubren las baterías de litio destinadas a su uso en aplicaciones reemplazables por técnicos o reemplazables por el usuario.</p> <p>1.3 Estos requisitos están destinados a reducir el riesgo de incendio o explosión cuando se utilizan baterías de litio en un producto. La aceptabilidad final de estas baterías depende de su uso en un producto completo que cumpla con los requisitos aplicables a dicho producto.</p> <p>1.4 Estos requisitos también están destinados a reducir el riesgo de lesiones a las personas debido a un incendio o explosión cuando las baterías de litio reemplazables por el usuario se retiran de un producto y se desechan.</p> <p>1.5 Estos requisitos cubren las baterías de litio reemplazables por técnicos que contienen 5.0 g (0.18 oz.) o menos de litio metálico. Una batería que contiene más de 5,0 g</p>
<p>1973 UL Baterías para uso en rieles eléctricos ligeros y aplicaciones estacionarias</p>	<p>Estándar de seguridad para baterías estacionarias para aplicaciones de almacenamiento de energía, no específicas de química e incluye sistemas de condensadores electroquímicos o condensadores electroquímicos híbridos y sistemas de baterías. Incluye requisitos para tecnologías únicas como baterías de flujo y beta de sodio (es decir, azufre de sodio y cloruro de níquel de sodio). Incluye requisitos de construcción, pruebas y pruebas de producción. También incluye requisitos para las celdas utilizadas en estos sistemas, como iones de litio, níquel, plomo-ácido e incluye beta de sodio y requisitos de batería de flujo.</p>



<p>UL 2580-ULC S8250 Baterías para uso en vehículos eléctricos</p>	<p>1.1 Estos requisitos cubren los conjuntos de almacenamiento de energía eléctrica, como los paquetes de baterías y los conjuntos y módulos de condensadores electroquímicos combinados que componen estos conjuntos para su uso en vehículos eléctricos según se define en esta norma.</p> <p>1.2 Este estándar evalúa la capacidad del conjunto de almacenamiento de energía eléctrica para soportar de manera segura las condiciones de abuso simuladas y evita cualquier exposición de las personas a los peligros del abuso. Esta norma evalúa el conjunto y los módulos de almacenamiento de energía eléctrica en función de los parámetros de carga y descarga especificados de manufactura a temperaturas especificadas. No evalúa la interacción del ensamblaje con otros sistemas de control dentro del vehículo.</p> <p>1.3 Este estándar no evalúa el rendimiento o la fiabilidad de los dispositivos.</p> <p>1.4 Esta norma no incluye requisitos para la evaluación de baterías para vehículos eléctricos ligeros, como bicicletas de asistencia eléctrica, sillas de ruedas, Scooter eléctricos y servicios similares como se define en la Norma para baterías para uso en aplicaciones de vehículos eléctricos ligeros, UL 2271 / ULC-S2271.</p>
--	---



Normas relacionadas con todo el sistema de almacenamiento de energía

Estándar	Resumen del alcance
<p>ANSI C84.1 Sistemas y equipos de energía eléctrica: clasificaciones de voltaje (60 Hertz)</p>	<p>Esta norma establece clasificaciones de voltaje nominal y tolerancias de funcionamiento para sistemas de energía eléctrica de 60 hercios por encima de 100 voltios. También hace recomendaciones a otros grupos de normalización con respecto a las clasificaciones de tensión para los equipos utilizados en los sistemas de energía y para los dispositivos de utilización conectados a dichos sistemas.</p> <p>Esta norma incluye clasificaciones de voltaje preferidas hasta e incluyendo voltaje máximo del sistema de 1200 kV, como se define en el estándar.</p> <p>Al definir el voltaje máximo del sistema, se excluyen los transitorios de voltaje y las sobretensiones temporales causadas por condiciones anormales del sistema, como fallas, rechazo de carga y similares. Sin embargo, los transitorios de voltaje y las sobretensiones temporales pueden afectar el rendimiento de operación del equipo y se consideran en la aplicación del equipo.</p> <p>Los propósitos de esta norma son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Promover una mejor comprensión de los voltajes asociados con los sistemas de energía y el equipo de utilización para lograr una distribución y operación práctica y económica general; 2) Establecer una nomenclatura uniforme en el campo de los voltajes; 3) Promover la estandarización de los voltajes nominales del sistema y los rangos de variaciones de voltaje para los sistemas operativos; 4) Promover la estandarización de las clasificaciones de voltaje de los equipos y Tolerancias; 5) Promover la coordinación de las relaciones entre las clasificaciones y tolerancias de tensión del sistema y del equipo; 6) Proporcionar una guía para el desarrollo futuro y la definición de equipos para lograr la mejor conformidad posible con las necesidades de los usuarios; 7) Proporcionar una guía, con respecto a la elección de voltajes, para las nuevas empresas del sistema de energía y para los cambios en Mayores.
<p>Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) TES-1 - Guía de seguridad para sistemas de almacenamiento de energía térmica en sales fundidas</p>	<p>En junio de 2015, el Consejo de Normas y Certificación de ASME aprobó la creación de un nuevo Comité de Normas sobre Normas de Seguridad para Sistemas de Almacenamiento de Energía Térmica (TES). El Comité de Normas TES, que informará a la Junta sobre Códigos y Normas de Seguridad, está previsto para desarrollar y mantener directrices y normas de seguridad que cubran el diseño, construcción, prueba, mantenimiento y operación de sistemas de almacenamiento de energía térmica para el ciclo de vida del equipo. La norma inicial propuesta que se desarrollará proporcionará requisitos y recomendaciones para abordar las consideraciones de seguridad del proceso para los sistemas de sales fundidas de nitrato de las plantas</p>



	<p>de energía solar concentrada. ASME solicita regularmente expertos en la materia y partes interesadas afectadas para ayudar a apoyar estos esfuerzos. Se ha completado un primer borrador de la norma que está siendo revisado y perfeccionado por el TESSC.</p>
<p>AWEA 9.1-2009 Estándar de rendimiento y seguridad de las turbinas eólicas pequeñas</p>	<p>Este estándar fue creado por la industria de turbinas eólicas pequeñas, científicos, funcionarios estatales y consumidores para proporcionar a los consumidores calificaciones de rendimiento realistas y comparables y garantizar que los productos de turbinas eólicas pequeñas certificados según este estándar estén diseñados para cumplir con los estándares de seguridad y operación. El objetivo es proporcionar a los consumidores confianza en la calidad de los productos de turbinas eólicas pequeñas que cumplen con este estándar y una base mejorada para comparar el rendimiento de los productos de la competencia. Esta norma de rendimiento y seguridad proporciona un método para la evaluación de los sistemas de turbulencia eólica en términos de seguridad, fiabilidad, rendimiento de potencia y características acústicas. Este estándar para turbinas eólicas pequeñas se deriva en gran medida de los estándares internacionales existentes de turbinas eólicas desarrollados bajo los auspicios de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Se proporcionan desviaciones específicas de las normas IEC para tener en cuenta las diferencias técnicas entre las turbinas eólicas grandes y pequeñas, para agilizar su uso y presentar sus resultados de una manera más amigable para el consumidor.</p>
<p>Regla Arancelaria 21 de la PUC de CA</p>	<p>Los terceros deben utilizar equipos certificados (tanto detrás del medidor como en la red de distribución) cuando intenten interconectar nuevos componentes a la red. El equipo certificado es un equipo que ha pasado por rigurosos procedimientos de prueba de certificación realizados por laboratorios de pruebas reconocidos a nivel nacional (NRTL); UL es un ejemplo de este tipo. Los NRTL crean procedimientos de prueba para equipos que verifican la funcionalidad y seguridad del equipo según los estándares de prueba preestablecidos creados por grupos de ingeniería reconocidos a nivel nacional, como IEEE. Los equipos certificados se prueban según los estándares establecidos para que el rendimiento del componente en diversas condiciones sea predecible y seguro. La previsibilidad y la certeza en relación con las reacciones de los componentes de la red a diversos eventos de la red permiten respuestas a estos eventos, por parte de los primeros en responder y otras partes interesadas, rutinarias, predecibles y seguras. Por lo tanto, al requerir equipos certificados en el proceso de interconexión, se espera que los nuevos equipos funcionen de manera cierta y predecible bajo diversas condiciones y eventos de la red. La previsibilidad permite crear y ejecutar medidas y rutinas de seguridad.</p>



<p>Regla 21 de la Regla Arancelaria 21 de la PUC de la CA, Sección L</p>	<p>Se proporcionan procedimientos de prueba y criterios para "certificar" generadores o inversores. Los procedimientos de prueba enumerados en la regla se basan en gran medida en los descritos en los documentos UL, IEEE y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), en particular, los procedimientos de prueba UL 1741 y el estándar IEEE 1547 para recursos de distribución de interconexión con sistemas de energía eléctrica. En la sección L se describen los procedimientos de ensayo y los requisitos para los equipos utilizados para la interconexión de las instalaciones generadoras con la red de distribución o transmisión del proveedor de distribución. Se incluyen pruebas de tipo, pruebas de producción, pruebas de puesta en marcha y pruebas periódicas.</p> <p>El equipo probado y aprobado (es decir, "Listado") por un NRTL acreditado cumple con los requisitos de Pruebas de Tipo y Pruebas de Producción descritos en la Regla 21 y se considera equipo certificado a los efectos de interconectarse con el sistema de distribución o transmisión. Los equipos no certificados se le exigirá que proporcione información sobre algunas o todas las pruebas descritas en la regla e incluso entonces no hay garantía de que una empresa de servicios públicos apruebe el equipo no certificado para su uso en el rejilla.</p>
<p>ICC IBC - Código Internacional de Construcción</p>	<p>El <i>Código Internacional</i> (IBC) es la base de toda la familia de códigos® internacionales. Es una herramienta esencial para preservar la salud pública y la seguridad que proporciona salvaguardas contra los peligros asociados con el entorno construido. Aborda el diseño y la instalación de materiales innovadores que cumplen o superan los objetivos de salud pública y seguridad.</p> <p>A nivel internacional, los funcionarios del código reconocen la necesidad de un código de incendios moderno y actualizado que aborde las condiciones peligrosas para la vida y la propiedad por incendio, explosión, manipulación o uso de materiales peligrosos y el uso y ocupación de edificios y locales.</p>
<p>ICC IFC - Código Internacional de Incendios</p>	<p>El Código Internacional de Incendios, en esta edición 2015, está diseñado para satisfacer estas necesidades a través de regulaciones de códigos modelo que salvaguardan la salud pública y la seguridad en todas las comunidades, grandes y pequeñas. Este código integral contra incendios establece regulaciones mínimas para la prevención de incendios y los sistemas de protección contra incendios utilizando disposiciones prescriptivas y relacionadas con el rendimiento. Se basa en principios de base amplia que hacen posible el uso de nuevos materiales y diseños de sistemas. Esta edición 2015 es totalmente compatible con el Familia de códigos internacionales.</p>



<p>ICC IMC - Código Mecánico Internacional</p>	<p>ICC utiliza el acrónimo para referirse a los códigos modelo, estándares, servicios y recursos de ICC relacionados con temas de plomería, mecánica, gas combustible y piscinas / spas. Originalmente, PMG significaba Plumbing Mechanical and Fuel Gas. Pero con el lanzamiento del Código Internacional de Piscinas y Spas (ISPSC) en 2012, se ha expandido para incluir piscinas y spas. Los códigos modelo PMG de ICC incluyen el IPC, IMC, IFGC y ISPSC.</p>
<p>ICC IRC - Código Residencial Internacional</p>	<p>A nivel internacional, los funcionarios del código reconocen la necesidad de un código residencial moderno y actualizado que aborde el diseño y la construcción de viviendas unifamiliares y bifamiliares y casas adosadas de no más de tres pisos por encima del nivel. El Código Internacional de Residencia está diseñado para satisfacer estas necesidades a través de regulaciones de códigos modelo que salvaguardan la salud pública y la seguridad en todas las comunidades, grandes y pequeñas. Este código residencial integral e independiente establece regulaciones mínimas para viviendas unifamiliares y bifamiliares y casas adosadas utilizando disposiciones prescriptivas. Se basa en principios de base amplia que hacen posible el uso de nuevos materiales y diseños de edificios. Esta edición 2015 es totalmente compatible con la Familia de Códigos Internacionales.</p>
<p>IEC 60812 Técnicas de análisis de fiabilidad del sistema - Procedimiento de análisis de modos de fallo y efectos (FE/ULMA)</p>	<p>La norma describe FMEA y el modo de falla, los efectos y el análisis de criticidad (FMECA), y brinda orientación sobre cómo se pueden aplicar para lograr diversos objetivos al proporcionar los pasos de procedimiento necesarios para realizar un análisis; identificar términos, suposiciones, medidas de criticidad, modos de falla apropiados; definir principios básicos; y proporcionar ejemplos de hojas de trabajo necesarias u otros tabulares. Formas. Todo el general las consideraciones cualitativas presentadas para FMEA se aplicarán al FMECA, ya que este último es una extensión del otro.</p>
<p>IEC 60950-1 (2013) Equipos de tecnología de la información - Seguridad - Parte 1: Requisitos generales</p>	<p>La norma es aplicable a los equipos de tecnología de la información alimentados por la red eléctrica o por batería, incluidos los equipos eléctricos comerciales y los equipos asociados, con un VOLTAJE NOMINAL que no exceda los 600 V. También son aplicables los componentes y subconjuntos destinados a ser incorporados en equipos de tecnología de la información. No se espera que dichos componentes y subconjuntos cumplan con todos los aspectos de la norma, siempre que el equipo completo de tecnología de la información, que incorpore dichos componentes y subconjuntos, sí cumpla.</p>



<p>IEC 61025 Análisis de árbol de fallos (FTA)</p>	<p>La norma describe el análisis del árbol de fallos y proporciona orientación sobre su aplicación de la siguiente manera: definición de principios básicos; describir y explicar los modelos matemáticos asociados y explicar las relaciones de FTA con otras técnicas de modelado de confiabilidad; descripción de los pasos involucrados en la realización del TLC; identificación de supuestos, eventos y modos de falla apropiados; identificación y descripción de los símbolos de uso común.</p>
<p>IEC 61508 Seguridad funcional de la seguridad eléctrica/electrónica/ electrónica programable relacionada con la seguridad</p>	<p>La norma pretende ser una norma básica de seguridad funcional aplicable a todo tipo de industria. Define la seguridad funcional como: "parte de la seguridad general relacionada con el equipo bajo control y su sistema de control, que depende del correcto funcionamiento de los sistemas relacionados con la seguridad E / E / PE, otros sistemas relacionados con la seguridad tecnológica e instalaciones externas de reducción de riesgos".</p>
<p>IEC 62040-1 Ed1 Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) – Parte 1: Requisitos generales y de seguridad para UPS utilizados en áreas de acceso del operador</p>	<p>Esta norma se aplica específicamente a UPS con un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica en el enlace de CC. Se utiliza con IEC 60950-1, referido en esta norma como documento de referencia (RD). Es aplicable a los SAI móviles, estacionarios, fijos o para edificios, para su uso en sistemas de distribución de baja tensión y destinados a ser instalados en cualquier área accesible para el operador o en ubicaciones de acceso restringido, según corresponda. Especifica los requisitos para garantizar la seguridad del operador y del profano que puedan entrar en contacto con el equipo y, cuando se indique específicamente, de la persona de servicio.</p>
<p>IEC 62040-1 Ed2 Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) – Parte 2: Requisitos generales y de seguridad para UPS instalados en ubicaciones de acceso restringido</p>	<p>La norma aborda la evaluación de la conformidad EMC de los productos de las categorías C1, C2 y C3 tal como se definen en esta parte de IEC 62040, antes de comercializarlos. Los requerimientos han sido seleccionados para asegurar un nivel adecuado de EMC para UPS en ubicaciones públicas e industriales.</p>
<p>IEC 62257-9-5 Recomendaciones para pequeñas energías renovables y sistemas híbridos para la electrificación rural – Protección contra los riesgos eléctricos</p>	<p>El documento se aplica a los aparatos o kits de iluminación eléctrica recargables independientes que pueden ser instalados por un usuario típico sin emplear a un técnico. Esta especificación técnica presenta un marco de garantía de calidad que incluye especificaciones de productos, un marco para interpretar los métodos de prueba de los resultados de las pruebas y plantillas de hojas de especificaciones estandarizadas para comunicar los resultados de las pruebas.</p>
<p>IEC 62257-9-1 Recomendaciones para pequeñas energías renovables y sistemas híbridos para la electrificación rural – Micropower systems</p>	<p>La norma se aplica a una planta de micro energía que es el subsistema de generación de energía eléctrica asociado con un sistema de electrificación rural descentralizado. Establece requisitos generales para el diseño, montaje y funcionamiento de micro centrales eléctricas y requisitos genéticos para garantizar la seguridad de las personas y los bienes. Las plantas cubiertas por esta especificación son de CA de baja tensión, trifásicas o monofásicas, con una</p>



	capacidad nominal inferior o igual a 100 kVA.
IEC 62257-9-2 Recomendaciones para pequeñas energías renovables y sistemas híbridos para la electrificación rural – Microrredes	La norma específica los requisitos generales para el diseño y la implementación de microrredes utilizadas en la electrificación rural descentralizada para garantizar la seguridad de las personas y la propiedad. su funcionamiento satisfactorio de acuerdo con el uso programado.
IEC 62897 Sistemas estacionarios de almacenamiento de energía con baterías de litio: requisitos de seguridad (en desarrollo)	Esta parte de la norma específica los requisitos generales de seguridad para los almacenamientos de energía estacionarios con baterías de litio. El propósito de los requisitos de esta norma es garantizar que los peligros para el operador / usuario y el área circundante se reduzcan a un nivel tolerable. Requisitos para la protección contra tipos particulares de peligros: descargas eléctricas o quemaduras, riesgos mecánicos, propagación del fuego desde el equipo, temperatura excesiva, efectos de los fluidos y la presión del fluido, gases liberados, explosión, riesgos químicos (por ejemplo, electrolitos).
IEC 62932-2-1 Sistemas de baterías de flujo para aplicaciones estacionarias – Parte 2-1: Rendimiento, requisitos generales y métodos de prueba	Esta parte de la serie IEC 62932 especifica información general relacionada con los requisitos y métodos típicos de prueba para el sistema de batería de flujo.
IEC 62932-2-2 Sistemas de baterías de flujo para aplicaciones estacionarias – Parte 2-2: Requisitos de seguridad	Esta parte de IEC 62932-2-2 se aplica a los sistemas de baterías de flujo para uso estacionario y sus instalaciones con una tensión máxima de CC 1 500 V (nominal) de conformidad con IEC 62932-1.
IEC 62933 Sistemas EES – Terminología	Este reglamento definirá los términos aplicables a los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica
IEC 62934 Parámetros unitarios y métodos de ensayo de los sistemas SES	El alcance es definir los parámetros unitarios y los métodos de prueba para garantizar la capacidad del sistema y el rendimiento del ESS eléctrico.
IEC 62936 Cuestiones medioambientales de los sistemas EEE	Esta nueva propuesta de punto de trabajo trata de los requisitos medioambientales generales, los requisitos medioambientales específicos de los sistemas SES. Los requisitos medioambientales generales incluyen los documentos normativos para el material necesario del sistema, el reciclaje del sistema y los efectos invernaderos. Los requisitos ambientales específicos de los sistemas EES solo necesitan los documentos normativos de varios aspectos, como las condiciones eléctricas, mecánicas, ambientales, etc. IEC CDV 62619 (seguridad de celdas industriales y baterías de iones de litio) - CDV para revisión y realizado por SC 21A IEC NP 62485-5 (Seguridad del sistema de batería estacionaria de iones de litio) - NWIP para revisión y realizado por TC 21 IEC FDIS 61427-2: Celdas secundarias y baterías fotovoltaicas conectadas a la red (solicitudes) - FDIS votó



	<p>IEC CD 62932-1, (terminología de la batería de flujo) - CD estará disponible para su revisión en 2015 y será realizado por TC21/JWG7 de TC s21 y 105</p> <p>IEC CD 62932-2-1 (Requisitos generales de la batería de flujo y método de prueba) - CD estará disponible para su revisión en 2015 y será realizado por TC21/JWG7 de TC s21 y 105</p> <p>IEC CD 62932-2-2 (Seguridad de la batería de flujo) - El CD estará disponible para su revisión en 2015 y será realizado por TC21/JWG7 de TC s21 y 105 CDs en desarrollo y que saldrán Q4 de 2015</p> <p>IEC 62933 (Estándar de terminología EESS) – 9/15 IEC 62934 (Estándar de rendimiento EESS) – 12/15 IEC 62935 (Estándar de instalación EESS) – 10/15</p> <p>IEC 62936 (Especificación técnica del entorno EESS) – 12/15 IEC 62937 (Especificación técnica de seguridad EESS) – 12/15</p> <p>Nota: Estas actividades se realizan a través de IEC TC 120 y la entrada de EE. UU. a ese proceso es a través de un EE. UU. Grupo Asesor Técnico de TC 120 que se organiza bajo los auspicios de NEMA.</p>
<p>IEEE C2 - Código Nacional de Seguridad Eléctrica</p>	<p>Este Código cubre las disposiciones básicas para la protección de las personas contra los peligros derivados de la instalación, operación o mantenimiento de 1) conductores y equipos en estaciones de suministro eléctrico, y 2) líneas aéreas y subterráneas de suministro eléctrico y comunicación. También incluye reglas de trabajo para la construcción, mantenimiento y operación de líneas y equipos de suministro y comunicación eléctrica. La norma es aplicable a los sistemas y equipos operados por servicios públicos, o sistemas y equipos similares, de un establecimiento industrial o complejo bajo el control de personas calificadas. Esta norma consiste en la introducción, definiciones, reglas de puesta a tierra, lista de documentos referenciados y bibliográficos, y las Partes 1, 2, 3 y 4 de la Edición 2012 del Código Nacional de Seguridad Eléctrica.</p>
<p>IEC NP 62937 Consideraciones de seguridad relacionadas con la instalación de sistemas EES integrados en la red</p>	<p>El alcance de este NWIP es preparar documentos normativos sobre seguridad que traten de: 1) los principales riesgos relacionados con la pareja de casos de uso y las tecnologías asociadas; 2) los contenidos técnicos y los resultados que se incluirán en el informe de seguridad y el marco de auditoría; 3) la cantidad de características principales que se validarán mediante pruebas; 4) la escala a la que se debe probar el sistema de almacenamiento; y 5) las recomendaciones para prevenir o mitigar Efecto accidental.</p>
<p>IEEE 485 Baterías de plomo-ácido para aplicaciones estacionarias</p>	<p>Esta norma detalla métodos para definir las cargas de CC y para dimensionar una batería de plomo-ácido para suministrar esas cargas en funcionamiento de flotación completa.</p>



<p>IEEE 1375 Guía para la protección de sistemas de baterías estacionarias</p>	<p>Esta guía prevé la protección de los sistemas de baterías estacionarias, que incluyen la batería y los componentes de CC e incluyen el primer dispositivo de protección aguas abajo de los terminales de la batería. Las recomendaciones no pretenden establecer requisitos; más bien, presentan opciones al diseñador del sistema de baterías con respecto a los tipos de protección disponibles.</p>
<p>IEEE 1491 Guía para la selección y el uso de BMS en aplicaciones estacionarias</p>	<p>El documento discute los parámetros operativos que pueden ser observados por el equipo de monitoreo de baterías utilizado en aplicaciones estacionarias y el valor relativo de tales observaciones.</p>
<p>IEEE 1679 Práctica recomendada para la caracterización y evaluación de tecnologías emergentes de almacenamiento de energía en aplicaciones estacionarias</p>	<p>La norma cubre la información recomendada para una evaluación objetiva de la tecnología emergente de almacenamiento de energía por parte de un usuario potencial de cualquier aplicación estacionaria. Las tecnologías de almacenamiento son aquellas que proporcionan un medio para el almacenamiento reversible de energía eléctrica (es decir, el dispositivo recibe energía eléctrica y puede descargar energía eléctrica más tarde). El medio de almacenamiento puede ser electroquímico (por ejemplo, baterías), cinético (por ejemplo, volantes de inercia), electrostático (por ejemplo, condensadores eléctricos de doble capa [EDLC]), térmico u otro tipo de medio. Los dispositivos recargados por medios no eléctricos, como las pilas de combustible, están fuera del alcance de este documento.</p>
<p>Gestión de calidad de la serie ISO 9000</p>	<p>La familia ISO 9000 aborda diversos aspectos de la gestión de la calidad y contiene algunas de las normas más conocidas de ISO. Las normas proporcionan orientación y herramientas para las empresas y organizaciones que desean garantizar que sus productos y servicios cumplan constantemente con los requisitos del cliente y que la calidad mejore constantemente.</p> <p>Las normas de la familia ISO 9000 incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ISO 9001:2008 - establece los requisitos de un sistema de gestión de calidad ISO 9000:2005 - cubre conceptos básicos y lenguaje ISO 9004:2009 - se centra en cómo hacer que un sistema de gestión de calidad sea más eficiente y eficaz ISO 19011:2011 - establece directrices sobre aspectos internos y externos
<p>NFPA 1 Código de incendios</p>	<p>El Código de Incendios promueve la seguridad contra incendios y de la vida para el público y los socorristas, así como la protección de la propiedad al proporcionar un enfoque integral e integrado para la regulación del código de incendios y la gestión de riesgos. Aborda todas las bases con extractos y referencias a más de 130 códigos y normas NFPA®, incluidos puntos de referencia de la industria como NFPA 101, NFPA 54, NFPA 58, NFPA 30, NFPA 13, NFPA 25 y NFPA 72.</p>



<p>NFPA 5000 - Código de Construcción y Seguridad de Edificios</p>	<p>Este código establece requisitos para las características de construcción, protección y ocupación necesarias para salvaguardar la vida, la salud, la propiedad y el bienestar público y minimizar las lesiones. Los criterios de diseño regulan y controlan los permisos; diseño; construcción, integración y reparación; calidad de los materiales; equipos y sistemas; uso y ocupación; demolición; ubicación; y mantenimiento de todo tipo de edificios y estructuras. Los capítulos separados abordan cuestiones específicas de los tipos de ocupación individuales, las características estructurales, los materiales de construcción y los sistemas de construcción. También se incluye una opción basada en el rendimiento.</p>
<p>Telcordia GR-63 Número 04</p>	<p>Este documento genérico de requisitos (GR) presenta criterios espaciales y ambientales mínimos para todos los nuevos equipos de telecomunicaciones utilizados en las Oficinas Centrales y otros espacios de equipos telefónicos ambientalmente controlados. Estos criterios fueron desarrollados conjuntamente por Telcordia y representantes de la industria. Son aplicables a sistemas de conmutación y transporte, sistemas de distribución de cables asociados, marcos de distribución e interconexión, equipos de energía, sistemas de soporte de operaciones e instalaciones de entrada de cables. El cumplimiento de estos requisitos puede aumentar la robustez de la red, simplificar la instalación de equipos y promover la planificación económica, la ingeniería y la operación de los espacios de equipos. El número 4 del GR-63 incluye la siguiente información actualizada:</p> <p>Se revisan y aclaran los criterios para las ubicaciones de entrada y escape de aire de refrigeración de equipos.</p> <p>Las condiciones de prueba de temperatura de funcionamiento son ahora una función de la ubicación de entrada de aire de refrigeración del equipo.</p> <p>Se proporciona un procedimiento detallado de cálculo de disipación de calor para equipos a nivel de bastidor y estante.</p> <p>Los métodos de prueba de resistencia al fuego se actualizan para abordar los requisitos específicos del proveedor de servicios.</p> <p>Los niveles de prueba de choque sin empaquetar para unidades reemplazables en el campo y chasis más pequeños están más estrechamente alineados con otros estándares y los niveles esperados encontrados durante la instalación.</p>



<p>UL 924 Iluminación de emergencia y equipos eléctricos</p>	<p>1.1 Esta norma se aplica a los equipos de iluminación y energía de emergencia para uso en ubicaciones no clasificadas y destinados a la conexión a circuitos secundarios de 600 V o menos. Destinado a suministrar iluminación, energía o ambos automáticamente a áreas y equipos críticos en caso de falla del suministro normal de acuerdo con el Artículo 700 o 701 de NEC, NFPA 70, Código de Seguridad Humana, NFPA 10 1, Código de Incendios, NFPA 1, Código Internacional de Construcción (IBC) y Código Internacional de Incendios (IFC).</p> <p>1.2 Ejemplos de equipos de 1.1 incluyen señales de salida, luminarias de emergencia, equipos de unidades, bancos de baterías de la estación central, inversores, equipos automáticos de carga y control de baterías, relés automáticos de control de carga y equipos de señales de trastorno.</p> <p>1.3 Esta Norma también se aplica a los equipos auxiliares de iluminación y energía para su uso en ubicaciones no clasificadas. El equipo auxiliar no ha sido investigado para determinar el cumplimiento de los requisitos de desempeño del Artículo 700 o 701 del NEC, NFPA 70, el Código de Seguridad Humana, NFPA 101 o el IBC. Dichos equipos incluyen luminarias con una fuente de alimentación de respaldo de batería integrada, señales direccionales iluminadas, conjuntos de baterías y dispositivos relacionados.</p> <p>1.4 Esta Norma no incluye requisitos para equipos cubiertos por otras Normas, como Luminarias, UL 1598; Sistemas de alimentación ininterrumpida, UL 1778; Sistemas de marcado de trayectoria de salida luminosa, UL 1994; Equipo de interruptor de transferencia, UL 1008; Señales eléctricas, UL 48</p>
--	--



<p>UL 1741 Inversores, convertidores, controladores y equipos del sistema de interconexión para uso con recursos energéticos distribuidos</p>	<p>1.1 Estos requisitos cubren inversores, convertidores, controladores de carga y equipos de sistemas de interconexión (ISE) destinados a ser utilizados en sistemas de energía independientes (no conectados a la red) o interactivos (conectados a la red). Los inversores, convertidores e ISE interactivos de servicios públicos están diseñados para funcionar en paralelo con un sistema de energía eléctrica (EPS) para suministrar energía a cargas comunes.</p> <p>1.2 Para equipos interactivos de servicios públicos, estos requisitos están destinados a complementar y usarse junto con el Estándar para Interconectar Recursos Distribuidos con Sistemas de Energía Eléctrica, IEEE 1547, y el Estándar para Procedimientos de Prueba de Conformidad para Equipos que Interconectan Recursos Distribuidos con Sistemas de Energía Eléctrica, IEEE 1547.1.</p> <p>1.3 Estos requisitos cubren los módulos de CA que combinan módulos fotovoltaicos de placa plana e inversores para proporcionar potencia de salida de CA para uso independiente o interacción con servicios públicos, y sistemas de energía que combinan otras fuentes de energía alternativas con inversores, convertidores, controladores de carga e ISE en combinaciones específicas del sistema.</p> <p>1.4 Estos requisitos también cubren los sistemas de potencia que combinan fuentes de navegación independientes con inversores, convertidores, controladores de carga e ISE en combinaciones específicas del sistema.</p> <p>1.5 Los productos cubiertos por estos requisitos están destinados a ser instalados de acuerdo con el NEC, NFPA 70.</p>
<p>UL 1778 Fuentes de alimentación ininterrumpida</p>	<p>1.1 Alcance Sustitúyase esta cláusula del RD por la siguiente:</p> <p>1.1.1 Equipos cubiertos por esta norma Esta Norma se aplica a UPS, cuya función principal para esta Norma es garantizar la continuidad de una fuente de alimentación alterna. El UPS también puede servir para mejorar la calidad de la fuente de energía manteniéndola dentro de las características especificadas. Esta norma es aplicable a UPS móviles, estacionarios, fijos e integrados para sistemas de distribución de hasta 600 V CA. Este equipo está diseñado para ser instalado de acuerdo con el Código Eléctrico Canadiense, Parte I, Asociación Canadiense de Estándares (CSA) C22.1, o el Código Eléctrico Nacional, ANSI/NFPA 70, y, a menos que se identifique lo contrario, el Estándar para la Protección de E Equipo de procesamiento de datos informáticos electrónicos, ANSI/NFPA 75.</p> <p>Esta Norma especifica los requisitos destinados a garantizar la seguridad del operador y, cuando se indique específicamente, para el personal de servicio.</p> <p>Esta Norma está destinada a reducir el riesgo de incendio, descarga eléctrica o lesiones a las personas por el equipo instalado, tanto como una sola unidad o como un sistema de unidades interconectadas, sujeto a la instalación, operación y</p>



	<p>mantenimiento del equipo de la manera prescrita por el fabricante.</p> <p>1.1.2 Requisitos adicionales</p> <p>Además de los requisitos de esta Norma, un UPS debe cumplir con los requisitos relevantes para UPS de Seguridad de equipos de tecnología de la información - Parte 1: Requisitos generales, CAN / CSA- C22.2 No. 60950-1 / UL 60950-1, primera edición, (RD), según corresponda para el país donde El producto será utilizado. Siempre que exista un conflicto entre los requisitos de este documento y el RD, prevalecerán los requisitos de esta Norma.</p> <p>Los generadores de CC accionados por motor destinados a proporcionar energía de respaldo para el circuito de suministro de baterías de las unidades UPS se investigan para verificar el cumplimiento de los requisitos de la Norma para Conjuntos Motor-Generador Estacionario, UL 2200 y el CSA. Estándar para motores y generadores, C22.2 No. 100. UPS que emplean componentes de grado hospitalario identificados por las marcas "Solo hospital", "Grado hospitalario" o un punto verde en el cuerpo del componente, o que impliquen idoneidad para uso médico se evalúan según los requisitos de esta Norma y Equipo eléctrico médico, Parte 1: General Requisitos de seguridad, CAN/CSA-C22.2 No. 601.1/UL 60601-1.</p> <p>1.1.3 Exclusiones</p> <p>Estos requisitos no cubren las unidades UPS para su uso como sistemas de emergencia o como sistemas de reserva legalmente requeridos, descritos en los Artículos 700 y 701, respectivamente, del Código Eléctrico Nacional, ANSI/NFPA 70, y la Sección 46 del Código Eléctrico Canadiense, Parte I, CSA C22.1. Cuando se considere apropiado, la revisión de los requisitos ser propuesto y adoptado de conformidad con los métodos empleados para el desarrollo, revisión e implementación de esta Normad. NOTA 1: Para equipos sujetos a sobretensiones transitorias superiores a las de la Categoría II según IEC 60664, podría ser necesaria una protección adicional. Dicha protección adicional podrá estar situada en la red eléctrica del equipo o en el equipo como una característica de diseño integral.</p>
--	---



<p>UL 2021 Calentadores eléctricos fijos y dedicados a la ubicación</p>	<p>la protección adicional es una parte integral de los requisitos de aislamiento del equipo, las DISTANCIAS DE TRANSFERENCIA y las distancias de SEPARACIÓN desde la red eléctrica hasta el lado de carga de la protección adicional pueden juzgarse como Categoría III o IV, según sea necesario.</p> <p>Todos los requisitos de aislamiento, distancia de transferencia de separación en el lado de carga de la protección adicional pueden considerarse como categoría I o II según sea necesario.</p> <p>Esta Norma no cubre todos los tipos de UPS, pero puede ser una guía para dichos equipos. Los requisitos adicionales a los especificados en esta Norma son en algunos casos necesarios para aplicaciones específicas; por ejemplo, equipos destinados a funcionar expuestos a temperaturas extremas; polvo, humedad o vibración excesivos; gases inflamables; atmósferas corrosivas o explosivas; y equipos UPS basados en maquinaria rotativa.</p> <p>I.1 Estos requisitos abarcan los equipos eléctricos de calefacción de salas fijos y dedicados a la ubicación con una potencia nominal de 600 V o menos para ser empleados en ubicaciones ordinarias de conformidad con el NEC, ANSI/NFPA 70.</p> <p>1.2 Estos requisitos no cubren los calentadores móviles, los calentadores suspendidos de pared o techo, los calentadores de zócalo, los calentadores de ductos, los hornos de calefacción central, las unidades de ventilador convectivo, los equipos de calefacción radiante de tipo panel o cable, las calderas eléctricas o cualquier otro equipo o aparato de calefacción eléctrica cubierto en o como parte de requisitos individuales separados.</p>
<p>UL 6141 Convertidores de turbinas eólicas y equipos de sistemas de interconexión</p>	<p>1 Alcance</p> <p>1.1 Estos requisitos cubren los productos y ensamblajes de convertidores de turbinas eólicas (WTC). Algunas de las características y funciones de estos productos incluyen, entre otras, la generación de energía real y reactiva en paralelo con el suministro de energía EPS (red eléctrica) en un modo operativo independiente, operación de modo múltiple y operación de flujo de energía bidireccional con EPS.</p> <p>1.2 Estos requisitos se refieren a los productos y ensamblajes WTC destinados a la instalación de acuerdo con sus clasificaciones, instrucciones de instalación, el NEC, ANSI / NFPA 70 y los códigos de construcción de servicios públicos y modelos aplicables.</p> <p>1.3 Estos requisitos también se refieren a los equipos de sistemas de interconexión de servicios públicos de turbinas eólicas que realizan funciones de protección de interconexión de servicios públicos para paralizar turbinas eólicas con el EPS.</p>



<p>UL 6142 Pequeñas turbinas eólicas</p>	<p>1 Alcance 1.1 Estos requisitos abarcan pequeños sistemas de turbinas eólicas (WT) y subconjuntos eléctricos. Con respecto a esta norma, se consideran pequeñas turbinas eólicas en las que un usuario o persona de servicio no puede o no está destinada a ingresar a la turbina para operarla o realizar mantenimiento. Estas unidades están diseñadas para su uso en aplicaciones independientes (no conectadas a la red) o interactivas con servicios públicos. Los WT interactivos de servicios públicos y conectados a la red funcionan en paralelo con un EPS para suministrar energía a cargas comunes. 1.2 Los sistemas de potencia, control y protección WT se evalúan solo en la medida en que funcionan dentro de la Límites y tiempos de respuesta especificados. Estos controles y protección</p>
<p>UL 9540 Esquema de investigación para la seguridad de los sistemas y equipos de almacenamiento de energía</p>	<p>Estos requisitos cubren los ESS destinados a almacenar energía de la energía u otras fuentes y proporcionar energía eléctrica u otros tipos de energía a cargas o equipos de conversión de energía. El ESS puede incluir equipos para cargar, descargar, controlar, proteger, comunicar, controlar el entorno del sistema, el movimiento y la contención de combustible u otros fluidos, etc. El sistema podrá contener otros equipos auxiliares relacionados con el funcionamiento del SEE. Estos están diseñados para su uso en aplicaciones interactivas de utilidad de conformidad con IEEE 1547 e IEEE 1547.1 u otras aplicaciones destinadas a proporcionar funcionalidad de soporte de red. Estos sistemas pueden ser independientes para proporcionar energía para cargas locales, o en paralelo con un EPS, una red eléctrica.</p>
<p>UL 9741, Esquema de investigación para equipos de sistemas de carga de vehículos eléctricos bidireccionales (EV)</p>	<p>Estos requisitos cubren los equipos de carga bidireccionales de vehículos eléctricos que cargan vehículos eléctricos desde un sistema de energía eléctrica y también incluyen la funcionalidad para exportar energía del vehículo eléctrico a un sistema de energía eléctrica. Cuando se le ordena, el equipo de carga bidireccional exporta energía eléctrica del suministro de energía almacenada EV al EPS para suministrar energía a cargas comunes. Para los equipos interactivos de servicios públicos, estos requisitos están destinados a complementar y utilizarse junto con el Estándar para la Interconexión de Recursos Distribuidos con EPS, IEEE 1547, y el Estándar para Procedimientos de Prueba de Conformidad para Equipos que Interconectan Recursos Distribuidos con Sistemas de Energía Eléctrica, IEEE 1547.1.</p>



<p>UL 62109-2, Seguridad de los convertidores de potencia para nosotros en sistemas de energía fotovoltaica – Parte 2: Requisitos particulares para inversores.</p>	<p>Estos requisitos cubren los equipos de carga bidireccionales de EV que cargan EV desde un sistema de energía eléctrica y también incluyen funcionalidad para exportar energía del EV a un sistema de energía eléctrica. Cuando se le ordena, el equipo de carga bidireccional exporta energía eléctrica del suministro de energía almacenada EV al EPS para suministrar energía a cargas comunes. Para equipos interactivos de servicios públicos, estos requisitos están destinados a complementar y usarse junto con el Estándar para Interconectar Recursos Distribuidos con EPS, IEEE 1547, y el Estándar para Procedimientos de Prueba de Conformidad para Equipos que Interconectan Recursos Distribuidos con Sistemas de Energía Eléctrica, IEEE 1547.1.</p>
---	--



9.2. Datasheet celdas de baterías

Hoja de datos de las celdas de baterías empleadas:

Messrs.:	Specification No. KU*****
<h2 style="margin: 0;">Product Specification</h2> <p style="margin: 5px 0;">Issued Date : Nov. 2019</p> <p style="margin: 10px 0;"><u>Part Description : Cylindrical Lithium-ion Battery US21700VTC6A</u></p> <p style="margin: 5px 0;"><u>Customer Part No. :</u></p> <p style="margin: 5px 0;">MURATA Part No. : US21700VTC6A</p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p style="margin: 0;">Acknowledgement of receipt</p> <p style="margin: 5px 0;">We have accepted and received the attached specification</p> <p style="margin: 5px 0;">Date: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Company: _____</p> <p style="margin: 5px 0;">Dept.: _____</p> </div>	
Representative _____ (Signature) (Type)	Received by _____ (Signature) (Type)
Person responsible _____ (Signature) (Type) Product Engineering Sect. Product Dept.2, Energy Device Div. Tohoku Murata Manufacturing Co., Ltd (Company name/Dept.) (Type)	Technical Dept. Prepared by _____ (Signature) (Type) Representative _____ (Signature) (Type) Product Design Sect.5 Product Dept.2, Energy Device Div. Tohoku Murata Manufacturing Co., Ltd (Company name/Dept.) (Type)
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> <p>CUSTOMER SIGNATURE ON TOP PAGE OF THE OFFICIAL PRODUCT SPECIFICATION IS NECESSARY FOR THE SHIPMENT OF THIS BATTERY PRODUCT. PLEASE NOTE THAT CUSTOMER AGREES BY SUCH SIGNATURE THAT IN NO EVENT SHALL WE BE LIABLE TO CUSTOMER AND ANY THIRD PARTY FOR ANY DAMAGES OR LOSSES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY SPECIAL INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR PUNITIVE DAMAGES OR LOSSES, COMPENSATION, REIMBURSEMENT, WHICH MAY BE CAUSED BY CUSTOMER'S NON-OBSERVANCE HEREOF.</p> </div>	



Lithium-Ion Battery Specifications

1. General

1.1 Scope

This product specification is applied to "Lithium-Ion Rechargeable Batteries" used for "xxxxxxxxxx".

Please contact us when using this product for any other applications than described in the above.

1.2 Product Category

Lithium-Ion Rechargeable Battery

1.3 Cell Type

US21700VTC6A

1.4 Cell Designation based on IEC61960

INR22/70

1.5 Acquired Safety Standard(Registration name : US21700VTC6A)

UL 1642 : File No.MH12566

UL 62133 : File No. MH61347

IEC 62133 2nd Edition

IEC 62133-2 1st Edition

Taiwan Commodity Inspection Act (CNS 15364)

Indian Compulsory Registration Order, IS 16046:2015

Indian Compulsory Registration Order, IS 16046:2018

1.6 Applicable Safety Standard

United Nations, Recommendations on the Transport of Dangerous Goods (UN38.3)

Japan, Electrical Appliance and Material Safety Law

Reference

In case of the energy density is more than 400Wh/l (see 3.4 Energy Density), it is possibility to be subject to regulation by object country. It is recommend to confirm the contents of regulation.

As of April 2018 Japan, Electrical Appliance and Material Safety Law

"<http://www.meti.go.jp/policy/consumer/seian/denan/index.htm>" (Japanese)

"<http://www.meti.go.jp/english/policy/economy/consumer/pse/index.html>" (English)

2. Cell Rating

Item	Rating	Note
2.1 Rated Capacity	4000mAh	Discharge at 0.2ItA, 2.0V cut-off 23±2deg.C, after Standard Charging.
2.2 Maximum Charging Voltage	4.25V	
2.3 Discharging Cut-off Voltage	2.5V	Recommended Voltage
	2.0V	Lower limited Voltage
2.4 Continuous Maximum Charging Current	9.0A	60deg.C temperature cut required
2.5 Continuous Maximum Discharging Current	40A	80deg.C temperature cut required
2.6 Allowable Environment Temperature	Charging	0~+60deg.C
	Discharging	-20~+60deg.C
		Refer to the cell temperature spec of 2.8 for cell surface temperature.
2.7 Weight	68.0 ± 1.5g	With tube

※ Cell condition at shipment SOC (State Of Charge) not exceed 30% of rated capacity.

※ In the case of air transportation, it corresponds to dangerous goods according to IATA's Dangerous Goods Regulations. Depending on the rated value of the products (pack) set by the customer, there would be possibility to interfere with the Air Transport Prohibited items in case of SOC ≥ 30%.



2.8 Cell Temperature Specification

2.8.1 Charging Conditions					
Temperature Range / Cell Surface Temperature Range		Upper Limited Charging Voltage	Maximum Charging Current	Recommended Charging Current	
1	Low Charging Temperature Range	$0\text{deg.C} \leq T < 10\text{deg.C}$	4.25V	6.00A	3.00A
2	Standard Charging Temperature Range	$10\text{deg.C} \leq T \leq 45\text{deg.C}$	4.25V	9.00A	4.50A
3	High Charging Temperature Range	$45\text{deg.C} < T \leq 60\text{deg.C}$	4.00A	9.00A	4.50A

2.8.2 Discharging Conditions					
Discharge at cell surface temperature below 80deg.C.					

3. Cell Nominal Value

Item	Nominal	Note
3.1 Nominal Capacity	4100mAh	Discharge at 0.2ItA, 2.0V cut-off after Standard Charging.
3.2 Nominal Voltage	3.6V	
3.3 Charging Voltage	4.20V	
3.4 Energy Density	578Wh/l	

4. Performance

4.1 Standard Test Conditions

Test condition shall be at $23 \pm 2\text{deg.C}$ and $65\%R.H. \pm 20\%R.H.$ However, temperature range of $15 \sim 30\text{deg.C}$, humidity $25\%RH \sim 85\%RH$ is acceptable as far as the test reliability is assured.

4.2 Testing Instrument or Apparatus

4.2.1 Dimension Measuring Instrument

The dimension measurement shall be implemented by instruments with equal or more precision scale of 0.01mm specified by JIS B 7502(outside micrometer) or JIS B 7503(dial gauge).

4.2.2 Voltmeter and Ammeter

Voltmeters and ammeters shall be equal or more precision instruments specified by JIS C 1102 (Indication Electric Instrument Level 0.5).

4.3 Standard Charging definition

Charge at a constant voltage of 4.20V and a constant current of 4.00A for 2.5 hours in $23 \pm 2\text{deg.C}$ atmosphere.

4.4 Standard Discharging definition

Discharge at a constant current of 4.00A down to 2.5V in $23 \pm 2\text{deg.C}$ atmosphere.



4.5 Electrical Performance

Item	Condition	Specification										
4.5.1 Open-Circuit Voltage	Shipping condition Measuring condition Temperature: 27 ±3deg.C Accuracy: Within ±1mV	3.317V~3.495V and the OCV shall be within 0.100V in the same cell lot.										
4.5.2 AC Impedance	After Standard Charging within 3 days.(1kHz)	5mΩ~15mΩ										
	Shipping Condition.(1kHz)	5mΩ~15mΩ										
4.5.3 Capacity	1 After Standard Charging. Discharge at 0.2ItA(800mA), Cut-off Voltage 2.0V.	4000mAh or more										
	2 After Standard Charging, Standard Discharging.	3800mAh or more										
	3 After Standard Charging. Discharge at 10A(10000mA), Cut-off Voltage 2.5V.	3600mAh or more										
	4 After Standard Charging. Discharge at 20A(20000mA), Cut-off Voltage 2.5V.	3200mAh or more										
4.5.4 Charge/Discharge Cycle	Charge at 4.2V, 4A, Cut-off current 100mA ⇔Discharge at 10A, 2.5V cut-off after 500cycles.	2400mAh or more										
4.5.5 Storage Characteristic	After Standard Charging, Stored at 23deg.C for 28 days. Discharge at 10A, 2.5V Cut-off as Remaining Capacity.	3240mAh or more										
	After above Measurement, Discharge at 10A, 2.5V Cut-off after Standard Charging. Take this value as Recovery Capacity.	3420mAh or more										
	After Standard Charging, Stored at 45deg.C for 28 days. Discharge at 10A, 2.5V Cut-off as Remaining Capacity.	3060mAh or more										
4.5.5 Storage Characteristic	After above Measurement, Discharge at 10A, 2.5V Cut-off after Standard Charging. Take this value as Recovery Capacity.	3240mAh or more										
	After Standard Charging, Store at 23deg.C, 365days. Discharge at 10A, 2.5V Cut-off after Standard Charging. Take this value as Recovery Capacity.	3240mAh or more										
4.5.7 Shipping state Storage Characteristic	After store shipping state sample under the following table conditions, Standard Discharge. And then Discharge at 0.2ItA, 2.0V cut-off, 23±2deg.C, after Standard Charging. Take this value as Recovery Capacity.	3200mAh or more										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Storage Period</th> <th>Storage Temperature</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>365days</td> <td>-20deg.C ≤ T ≤ 25deg.C</td> </tr> <tr> <td>90days</td> <td>-20deg.C ≤ T ≤ 45deg.C</td> </tr> <tr> <td>28days</td> <td>-20deg.C ≤ T ≤ 60deg.C</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">T: ambient temperature</p>		Storage Period	Storage Temperature	365days	-20deg.C ≤ T ≤ 25deg.C	90days	-20deg.C ≤ T ≤ 45deg.C	28days	-20deg.C ≤ T ≤ 60deg.C			
Storage Period	Storage Temperature											
365days	-20deg.C ≤ T ≤ 25deg.C											
90days	-20deg.C ≤ T ≤ 45deg.C											
28days	-20deg.C ≤ T ≤ 60deg.C											
4.5.8 Discharging Temperature Characteristic	Discharge at 10A, 2.5V Cut-off below Temperature after Standard Charging.	Refer to the left table										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Discharging Temperature</th> <th>Capacity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-10deg.C</td> <td>2520mAh or more</td> </tr> <tr> <td>0deg.C</td> <td>2880mAh or more</td> </tr> <tr> <td>23deg.C</td> <td>3600mAh or more</td> </tr> <tr> <td>45deg.C</td> <td>3600mAh or more</td> </tr> </tbody> </table>		Discharging Temperature	Capacity	-10deg.C	2520mAh or more	0deg.C	2880mAh or more	23deg.C	3600mAh or more	45deg.C	3600mAh or more	
Discharging Temperature	Capacity											
-10deg.C	2520mAh or more											
0deg.C	2880mAh or more											
23deg.C	3600mAh or more											
45deg.C	3600mAh or more											
4.5.9 Charging Temperature Characteristic	After Standard Discharge, Charge at 4.20V, 4.0A 2.5h below Temperature, and then Standard Discharging.	Refer to the left table										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Charging Temperature</th> <th>Capacity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0deg.C</td> <td>3230mAh or more</td> </tr> <tr> <td>23deg.C</td> <td>3800mAh or more</td> </tr> <tr> <td>45deg.C</td> <td>3800mAh or more</td> </tr> </tbody> </table>		Charging Temperature	Capacity	0deg.C	3230mAh or more	23deg.C	3800mAh or more	45deg.C	3800mAh or more			
Charging Temperature	Capacity											
0deg.C	3230mAh or more											
23deg.C	3800mAh or more											
45deg.C	3800mAh or more											



4.6 Mechanical Performance

Item	Condition	Specification				
4.6.1 Shock Test	After Standard Charging, P-tile from height of 1.2m. Dropped in Each X, Y and Z for 3 time, with guide like as tube. Discharging 10A, Cut-off Voltage 2.5V Capacity of the 2nd time.	No leakage 3420mAh or more				
4.6.2 Vibration Test	After Standard Charging, Vibration is to be applied. Discharging at 10A, Cut-off Voltage 2.5V Capacity of the 2nd time. Sinusoidal Oscillation	No leakage 3420mAh or more				
	Frequency(Hz)		10~60	60~80	80~100	100~125
	Acceleration(m/s ²)		20.6	13.7	6.9	3.9
5 min. Sweep Each XYZ for 1h.						

5. Identification and Marking (Lot Number Definition : Manufacturing Date of Cells)

The code is printed on a surface of the can, under the tube, at six lines.

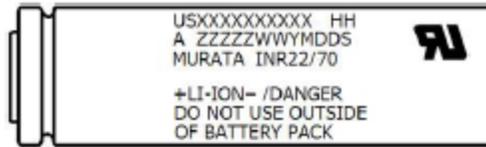


Fig.1

5.1 Manufacturer Name (Trade name for UL standard)

MURATA (Trade name for Tohoku Murata Manufacturing Co., Ltd.)

5.2 Model Name(Fig.1 : USXXXXXXXXXX)

US21700VTC6A

5.3 Factory(Fig.1 : A for factory code)

SG or G : Murata Electronics Singapore (Pte.) Ltd. Tuas Plant.

5.4 Specification(Fig.1 : HH for Cell Type)

AM : US21700VTC6A

5.5 Lot Number(Fig.1 : YMDDS for Manufacturing Date of Cells)

ZZZZZ : Serial No.

Y : Year Supposing the year '15 as X, the year '16 as Y, the year '17 as Z, the year '18 as A, Every next year is counted as B, C, ... (Using an Alphabet letter)

M : Month January as A, the consecutive month as B, C, ... (Using an Alphabet letter)

D : Day 01, 02, ... 29, 30, 31 (Using figures)

S : Identification Code A, B, C, ... (Using an Alphabet letter)

5.6 Warning Message

DANGER DO NOT USE OUTSIDE OF BATTERY PACK

5.7 Cell Designation based on IEC61960

INR22/70

5.8 Battery Type

LI-ION (Lithium-ion Battery)

5.9 Polarity

+, -

5.10 UL Recognition Mark (Fig.2)



Fig.2

5.11 2Dimensional Code (Fig.3)

The code is on the surface of the tube



Fig.3



6. Outline

6.1 Shape/Dimension

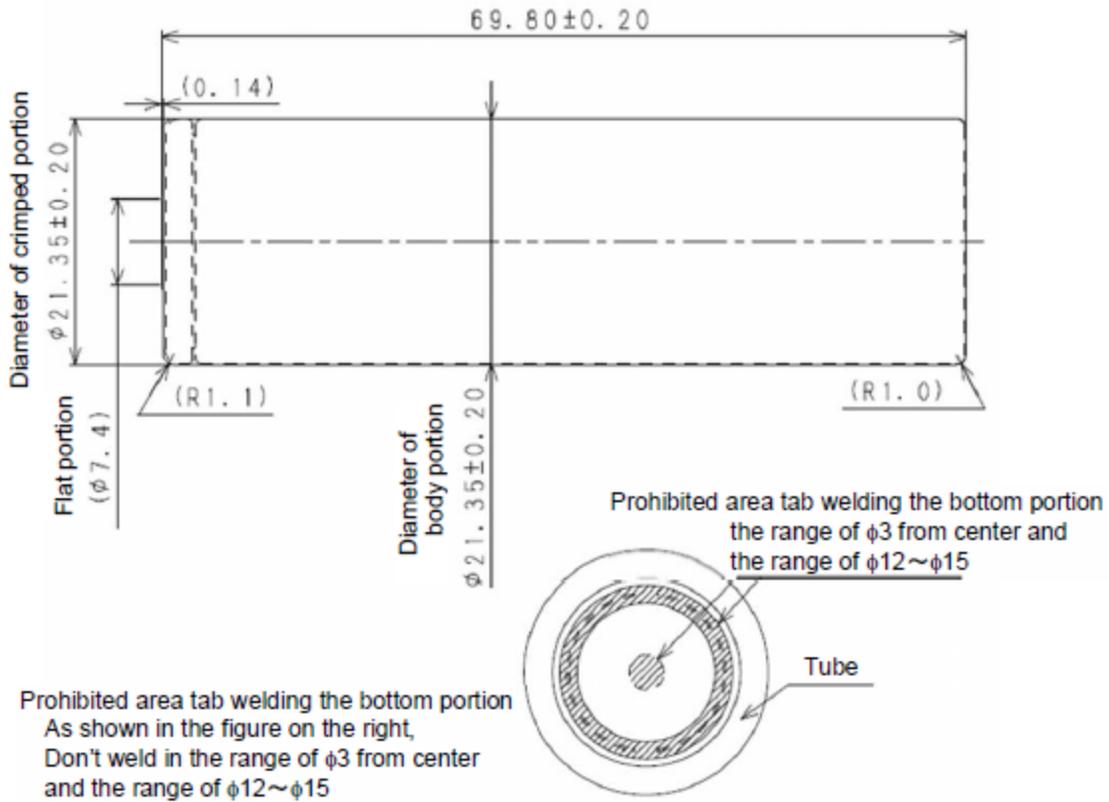
Diameter of crimp : $21.35 \pm 0.20\text{mm}$ (excluding wrinkle on the tube)

Diameter of trunk : $21.35 \pm 0.20\text{mm}$ (excluding wrinkle on the tube)

Total Height : $69.80 \pm 0.20\text{mm}$

6.2 Appearance

It shall be free from any defects such as remarkable scratches, breaks, cracks, discoloration, leakage, or deformation.





7. Caution

Caution on usage of Lithium-Ion Rechargeable Battery

CAUTION

7.1 Caution for installing the battery into the pack

*Do not combine the different Lot Number cell (the Last 5 letters and figure) into the pack.

7.2 Caution for the battery and the pack

7.2.1 Charge

*It should be Constant Current-Constant Voltage (CC-CV) charging method.

7.2.2 Design of battery pack

*It shall be the shape which cannot be connected easily to any charger other than the dedicated charger.

*It shall have the structure which cannot be connected easily for end user to apply for another purpose.

*It shall have terminals or function which cannot easily cause external short circuit. (such as chain short by necklace).

*It shall not short easily by effect of vibration or drop due to contact of internal wiring materials to battery.

*Mounted PWB which is assembled in battery pack shall perform the smoke and fire protection for the electrolyte adhesion.

*It should have the structure which protect electrolyte to outside of battery pack, in case of the electrolyte leakage from battery cell.

7.2.3 Protection Circuit for Safety

*The protection circuit shall be installed in the battery pack or the charger.

*The battery system must possess the following four types of protective circuits;

7.2.3.1 Over charging protective circuit by each block cell voltage monitoring

By each block cell voltage monitoring, the overcharging protective circuit shall operate at less than 4.250V/cell.

7.2.3.2 Over discharging protective circuit by each block cell voltage monitoring

By each block cell voltage monitoring, the over discharging protective circuit shall operate at less than 2.0V/cell.

7.2.3.3 Over current protective circuit

The over current protective circuit shall operate charging at less than 9A .

The over current protective circuit or device shall operate discharging at less than 40A.

If the over 40A discharge occur, the allowable time of operating over current protection comply with the below table.

Discharge current	~50A	~60A	~80A	~100A	~120A	~130A	~150A	~170A	~200A
Time	<67sec	<40sec	<20sec	<10sec	<8sec	<5sec	<3sec	<2sec	<1sec

7.2.3.4 Temperature protective circuit

The over temperature protective circuit at high temperature side shall operate discharging until 80deg.C on the cell surface. (Including overshoot) .

The over temperature protective circuit at high temperature side shall operate charging at until 60deg.C on the cell surface. (Including overshoot) .

The over temperature protective circuit at low temperature side shall operate charging below 0degC on the cell surface.



7.2.4 Prohibition of Charging at over discharged state.

In the situation that the battery becomes over discharged to the point where it becomes less than or equal to 1.0V, it is prohibited to charge such battery.

7.2.5 Cell Configuration

The cell configuration in the battery pack is to 5 parallels 10 series at the maximum.

7.3 Storage

*Keep and Store the same package condition as shipping from Manufacturer.

*The recommendation is SOC 10~50% for long-term storage.

*Recommended condition is temperature 0~25deg.C and Humidity 75%RH or less.

*Do not store the battery near heat sources, nor in a place subject to direct sunlight.

7.4 Prohibition Clause

WARNING

*Do not use the battery for any purpose other than the application and the battery pack specified in the Pack Check Sheet for Li-ion Cell (Category; Power Technology) of such battery.

*Do not resell the battery.

DANGER

*Do not expose the batteries to water or moisture.

*Do not leave the battery in a place of high temperature (60deg.C or more).

*Do not use the battery in a place of high temperature (60deg.C or more).

*Do not throw the battery into fire, nor heat the battery.

*Do not disassemble nor modify the battery.

*Do not add strong shock, nor drop the battery.

*Do not solder leads directly to the battery body.

*Do not short (+) and (-) terminal of the battery with a kind of metal.

*Do not reverse charge the battery.

*Do not penetrate the battery with a nail etc., nor make a hole in the battery.

*Do not put the battery into a microwave oven or high pressure container.

7.5 Note

If any doubt or inconvenience regards this specification arises, modification and revision shall be only made per mutual agreement.

Depending upon circumstances such as E.O.L of raw material for cell component, we may not be able to keep the supply of the cell. In that case, we will notify you of this announcement by more than 6 months before production stop (before discontinuation).

When production location of the cell is planned to be changed or added, we'll inform and provide of necessary evaluation data beforehand to get customer's approval.



8. Packing

8.1 Packing Instruction

LBH, Class9 and CAO marks are printed on the surface on carton.
These marks are compliant with the specified design of ICAO and IATA.

8.2 Parts Name Marking

Part name is marked on the bar code label of master carton.
This bar code label is stuck onto one of the faces of the master carton.

8.3 Packing Instruction for Pallet

LBH, Class9 and CAO labels are affixed on the surface of the stretch film.
These labels are compliant with the specified design of ICAO and IATA.



9.3. Características generales de las baterías

En un contexto de creciente conciencia sobre la sostenibilidad y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, los coches eléctricos representan una solución prometedora para la movilidad del futuro. La caja de baterías, como componente clave en la fabricación de vehículos eléctricos, implica retos y desafíos técnicos, donde la soldadura implica un papel fundamental para la integridad estructural, eficiencia eléctrica y seguridad de la caja de baterías, contribuyendo así al avance de la movilidad eléctrica.

1. Capacidad de la batería

$$Q = I * t$$

Donde:

- *Q: es la capacidad de la batería en Ah (amperios – hora)*
- *I: es la corriente de descarga en A (amperios)*
- *t: es el tiempo de descarga en h (horas)*

2. Energía almacenada

$$E = Q * V$$

Donde:

- *E: es la energía almacenada en Wh (vatios – hora)*
- *Q: es la capacidad de la batería Ah (amperios – hora)*
- *t: es la tensión nominal de la batería en V (voltios)*

3. Potencia

$$P = V * I$$

Donde:

- *P: es la potencia en W (vatios)*
- *V: es la tensión en V (voltios)*
- *I: es la corriente en A (amperios)*

4. Eficiencia

$$Eficiencia = \frac{E_{descarga}}{E_{carga}} * 100\%$$

Donde:

- *E_{descarga}: es la energía entregada durante la descarga en Wh (vatios – hora)*
- *E_{carga}: es la energía suministrada durante la carga en Wh (vatios – hora)*

5. Estado de carga (SoC) aproximado

$$SoC = \frac{E_{actual}}{E_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

- *SoC: es el estado de carga en porcentaje*
- *E_{actual}: es la energía almacenada actual en la batería en Wh (vatios – hora)*



- $E_{nominal}$: es la capacidad nominal de la batería en Wh (vatios – horas)

6. Resistencia interna

$$R_i = \frac{V_{oc} - V_{load}}{I_{load}}$$

Donde:

- R_i : es la resistencia interna en $m\Omega$ (miliohmios)
- V_{oc} : es el voltaje en circuito abierto de la batería en V (voltios)
- V_{load} : es el voltaje cuando se carga la batería en V (voltios)
- I_{load} : es la corriente de carga en A (amperios)

7. Tasa de Descarga máxima

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{Q}$$

Donde:

- C_{max} : es la tasa de carga máxima
- I_{max} : es la corriente máxima de descarga en A (amperios)
- Q : es la capacidad nominal de la batería en Ah (amperios – hora)

8. Densidad de Energía volumétrica

$$EDV = \frac{E}{V}$$

Donde:

- EDV : es la densidad de energía volumétrica en $\frac{Wh}{L}$ (vatios – hora por litro)
- E : es la energía almacenada en la batería en Wh (vatios – hora)
- V : es el volumen de la batería en L (litros)

9. Densidad de Energía Gravimétrica

$$EDG = \frac{E}{m}$$

Donde:

- EDG : es la densidad de energía gravimétrica en $\frac{Wh}{kg}$ (vatios – hora por kilogramo)
- E : es la energía almacenada en la batería en Wh (vatios – hora)
- m : es la masa de la batería en kg (kilogramos)

10. Tiempo de carga o descarga

$$t = \frac{Q}{I}$$

Donde:

- t : es el tiempo de carga o de descarga en h (hora)
- Q : es la capacidad de la batería en Ah (amperios – hora)
- I : es la corriente de carga o descarga en A (amperios)

11. Resistencia de Terminal a Terminal



$$R_{tt} = \frac{V_{oc}}{I_{cortocircuito}}$$

Donde:

- R_{tt} : es la resistencia de terminal a terminal en $m\Omega$ (miliohmios)
- V_{oc} : es el voltaje en circuito abierto de la batería en V (voltios)
- $I_{cortocircuito}$: es la corriente de cortocircuito en A (amperios)

12. Tensión de Carga máxima

La tensión máxima a la que se debe cargar la batería:

$$V_{carga} = V_{nominal} * C_{max}$$

Donde:

- V_{carga} : es la tensión de carga máxima en V (voltios)
- $V_{nominal}$: es la tensión nominal de la batería en V (voltios)
- C_{max} : es la tasa de descarga máxima

13. Profundidad de descarga

La profundidad de descarga se refiere a la cantidad de capacidad de la batería que se ha utilizado en relación con su capacidad total

$$DoD = \frac{Q_{inicial} - Q_{final}}{Q_{inicial}} * 100\%$$

Donde:

- DoD : es la profundidad de descarga en porcentaje
- $Q_{inicial}$: es la capacidad inicial de la batería en Ah (amperios – hora)
- Q_{final} : es la capacidad restante de la batería en Ah (amperios – hora)

14. Pérdida de capacidad a lo largo del tiempo

La pérdida de capacidad de la batería con el tiempo puede ser calculada:

$$Perdida\ de\ capacidad = \frac{Q_{inicial} - Q_{final}}{Q_{inicial}} * 100\%$$

Donde:

- $Q_{inicial}$: es la capacidad inicial de la batería en Ah (amperios – hora)
- Q_{final} : es la capacidad restante de la batería después de un cierto período de uso en Ah (amperios – hora)

15. Eficiencia de carga y descarga

La eficiencia de carga y descarga de una batería se refiere a la cantidad de energía que se puede extraer durante la descarga en comparación con la cantidad de energía utilizada durante la carga

$$Eficiencia = \frac{Energía\ descargada}{Energía\ cargada} * 100\%$$

Donde:

- $Eficiencia$ se mide en Wh (vatios – hora)

16. Perdida de Energía en calor

Durante la carga y descarga, parte de la energía se pierde en forma de calor debido a la resistencia interna y otros factores. La pérdida de energía en calor puede calcularse:



$$\text{Pérdida de energía en calor} = \text{Energía cargada} - \text{Energía descargada}$$

Donde:

- *Energía puede calcularse en Wh (vatios – hora)*

17. Curva de voltaje en función del tiempo

La curva de voltaje de la batería en función del tiempo puede proporcionar información sobre su comportamiento durante la descarga. La variación del voltaje a lo largo del tiempo puede indicar la tasa de descarga y la capacidad restante de la batería

18. Efecto de la temperatura

La temperatura puede influir en la capacidad y eficiencia de la batería. La pérdida de capacidad debido a la temperatura se puede modelar utilizando ecuaciones de degradación térmica y coeficientes de temperatura específicos de la batería

19. Pérdida de capacidad por ciclo

La pérdida de la capacidad por ciclo se puede modelar usando ecuaciones de degradación gradual que estimen cuanto disminuye la capacidad de la batería después de un cierto número de ciclos de carga y descarga

20. Cálculo de la profundidad de descarga en ciclos

$$DoD = \frac{\text{Capacidad descargada}}{\text{Capacidad total}} * 100\%$$

Donde:

- *Capacidad descargada: es la cantidad de capacidad utilizada durante un ciclo*
- *Capacidad total: es la capacidad nominal de la batería*

21. Eficiencia de energía utilizada para carga

$$\text{Eficiencia de carga} = \frac{\text{Energía almacenada durante la descarga}}{\text{Energía suministrada durante la carga}} * 100\%$$

22. Tasa de descarga

$$C = \frac{I_{\text{descarga}}}{Q}$$

Donde:

- *C: es la tasa de descarga*
- *Q_{inicial}: es la corriente de descarga en A (amperios)*
- *Q: es la capacidad nominal de la batería en Ah (amperios – hora)*

23. Capacidad nominal en ciclos

$$Q_{\text{ciclo}} = Q_{\text{inicial}} - \text{Pérdida de capacidad por ciclo} * n$$

Donde:

- *Q_{ciclo}: es la capacidad de la batería en el ciclo en Ah (amperios – hora)*
- *Q_{inicial}: es la capacidad inicial de la batería en Ah (amperios – hora)*
- *n: es el número de ciclos completos*



24. Pérdida de capacidad en función de la temperatura

La pérdida de capacidad de la batería en función de la temperatura puede modelarse mediante el empleo de coeficientes de temperatura

$$\text{Pérdida de capacidad} = \text{Capacidad inicial} * (\alpha * \Delta T)$$

Donde:

- α : es el coeficiente de temperatura en %/C
- ΔT : es el cambio de temperatura en C

25. Corriente de autodescarga

La corriente de autodescarga representa la pérdida de capacidad de la batería mientras está inactiva. Puede calcularse utilizando la tasa de autodescarga y la capacidad nominal:

$$I_{\text{autodescarga}} = Q * \text{Tasa de autodescarga}$$

Donde:

- $I_{\text{autodescarga}}$: es la corriente de autodescarga en A (amperios)
- Q : es la capacidad nominal de la batería en Ah (amperios – hora)

26. Voltaje en función de capacidad restante

El voltaje de la batería en función de su capacidad restante puede modelarse usando ecuaciones empíricas proporcionadas por el fabricante. Toman en cuenta la variación del voltaje durante la descarga

27. Pérdida de capacidad por almacenamiento

La pérdida de capacidad durante el almacenamiento prolongado puede calcularse utilizando la tasa de autodescarga y el tiempo de almacenamiento:

$$\text{Pérdida de capacidad} = Q * \text{Tasa de autodescarga} * \text{Tiempo de almacenamiento}$$

Donde:

- $\text{Tasa de autodescarga}$: es la tasa de autodescarga en %/mes
- $\text{Tiempo de almacenamiento}$: es el tiempo de almacenamiento en meses

28. Carga con corriente y tensión constantes

El proceso de carga de una batería 21700 a menudo sigue una estrategia de carga con corriente constante (CC) seguida de una fase de carga con tensión constante (CV). La corriente y la tensión se mantienen constantes hasta que se alcanza un cierto valor, momento en el que la corriente disminuye gradualmente

29. Descarga con corriente constante

La descarga de la batería puede seguir una estrategia de descarga con corriente constante (CC), donde la corriente se mantiene constante durante la descarga hasta que se alcanza un voltaje mínimo deseado

30. Ciclos de carga y descarga

La vida útil de la batería se mide en ciclos de carga y descarga. Un ciclo completo es un ciclo de carga seguido de un ciclo de descarga. La duración de la batería en términos de ciclos depende de la degradación y el envejecimiento de la batería

31. Consideraciones de seguridad

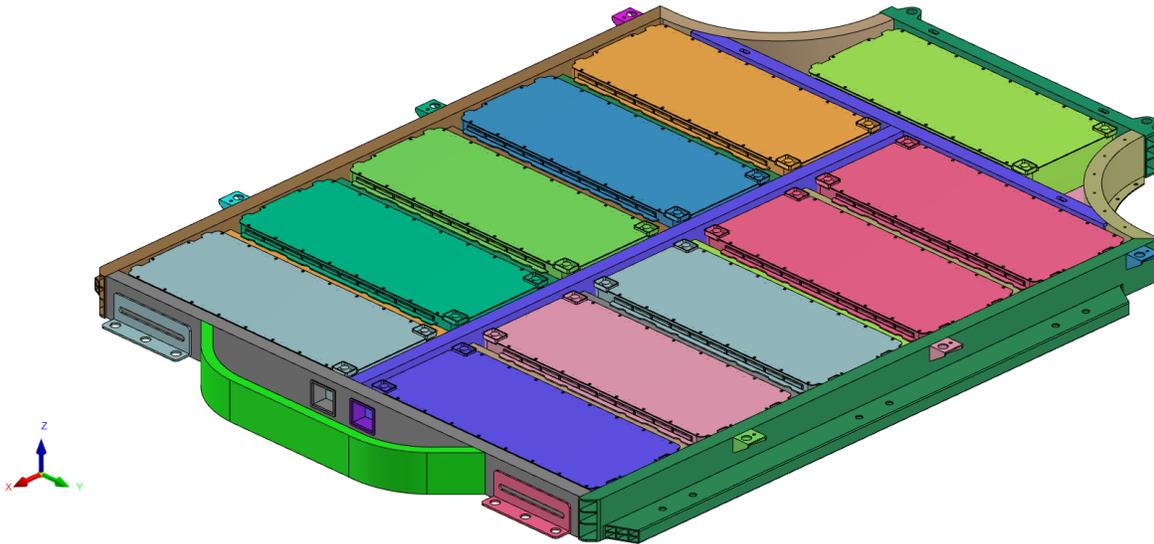


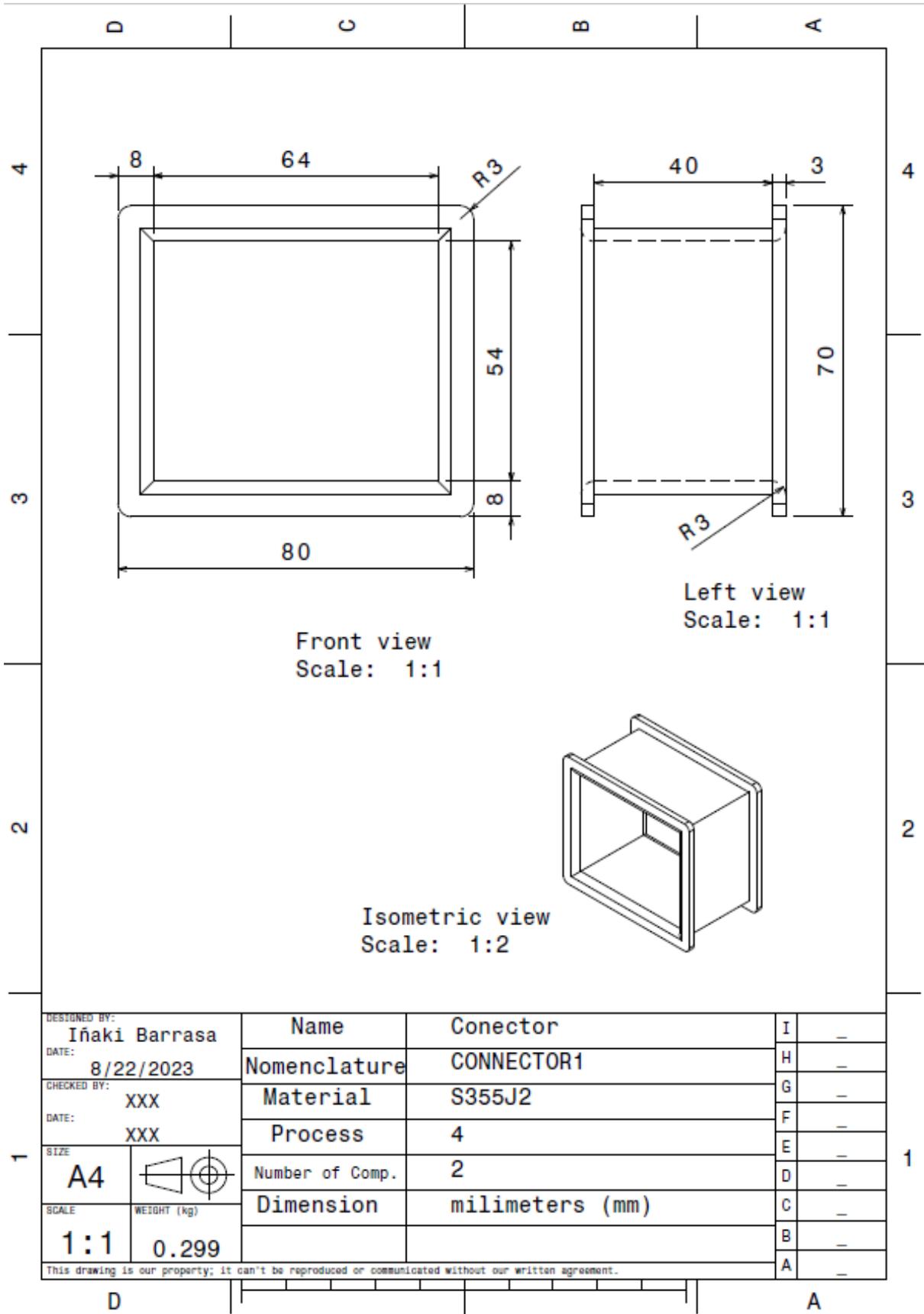
Las ecuaciones y modelos de baterías también deben considerar factores de seguridad, como limitaciones de corriente, umbrales de tensión crítica y reacciones térmicas durante la carga y la descarga

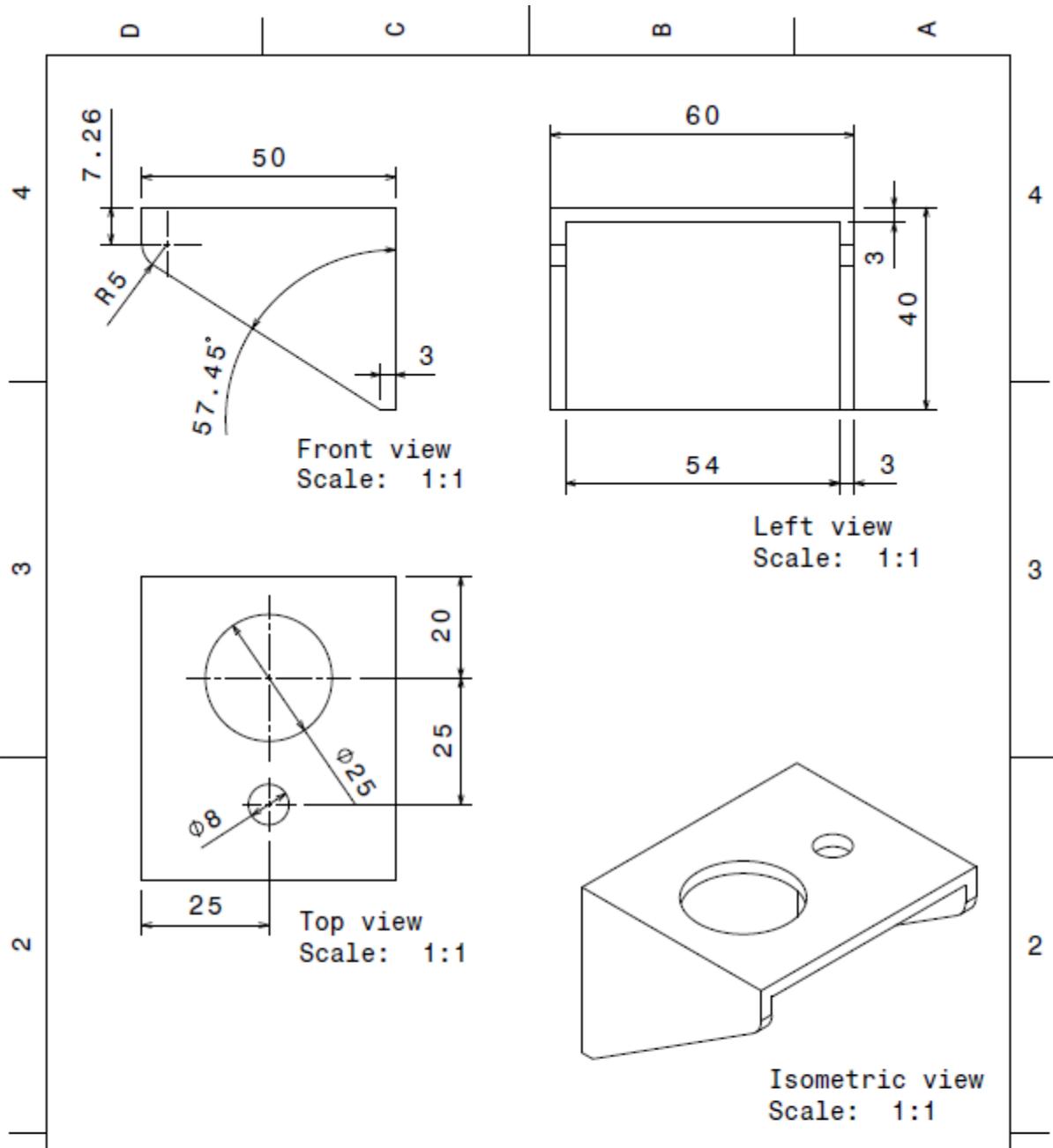
32. Modelos de batería

Existen varios modelos matemáticos para simular el comportamiento de una batería, como el modelo de circuito equivalente de batería (ECM) que considera componentes como la resistencia interna y la capacitancia

9.4. Planos

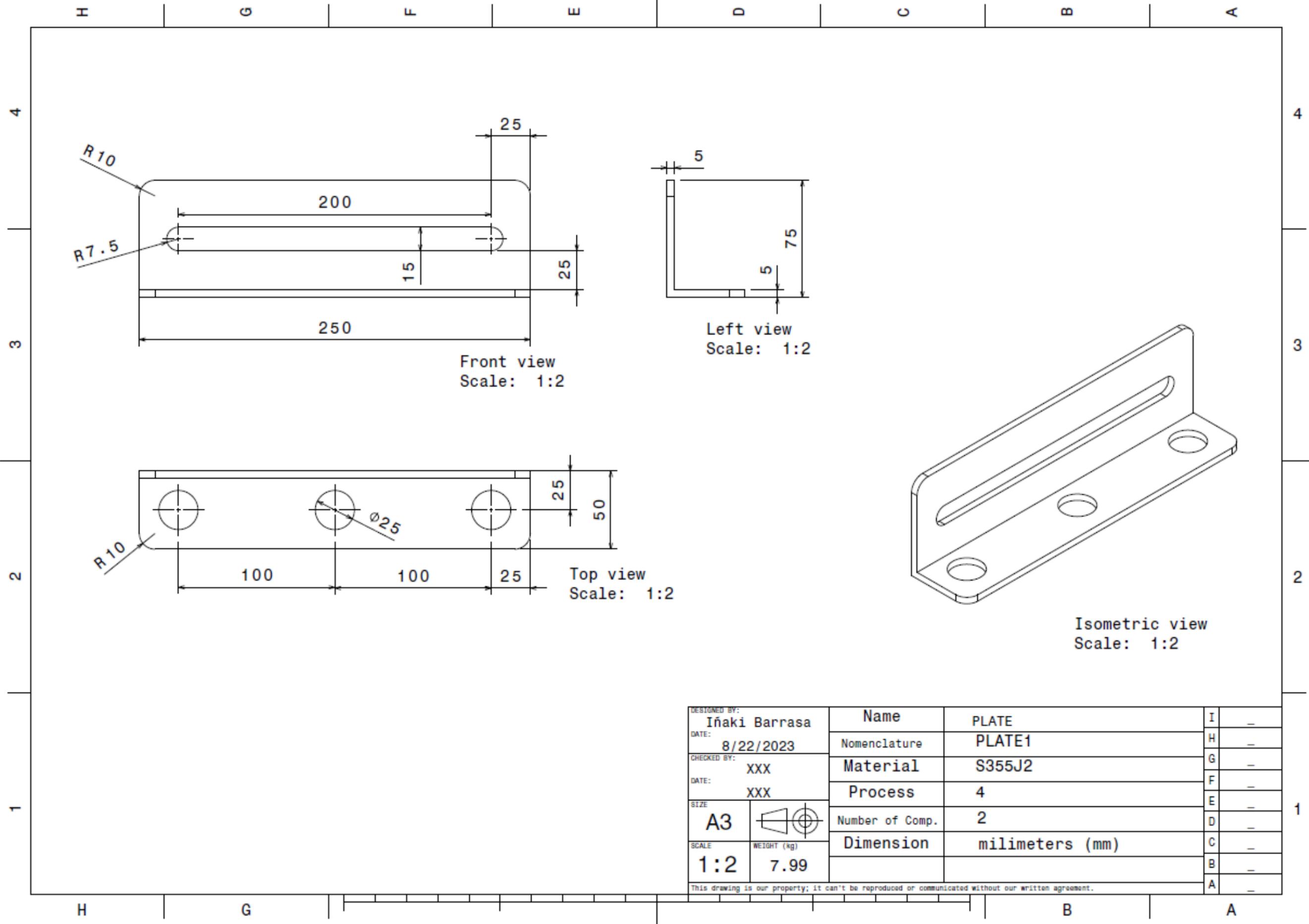






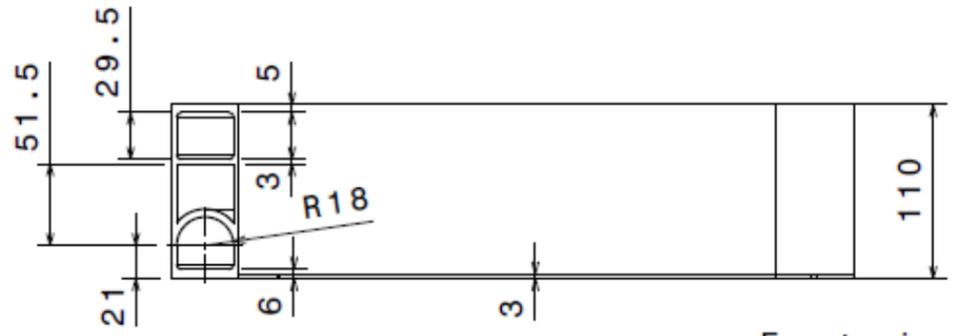
DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Pin	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PIN1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	4	F	-
SIZE A4	Number of Comp.	6	E	-
SCALE 1:1	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg) 0.299			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	PLATE	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PLATE1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	4	F	-
SIZE: A3	Number of Comp.	2	E	-
SCALE: 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg): 7.99			C	-
			B	-
			A	-

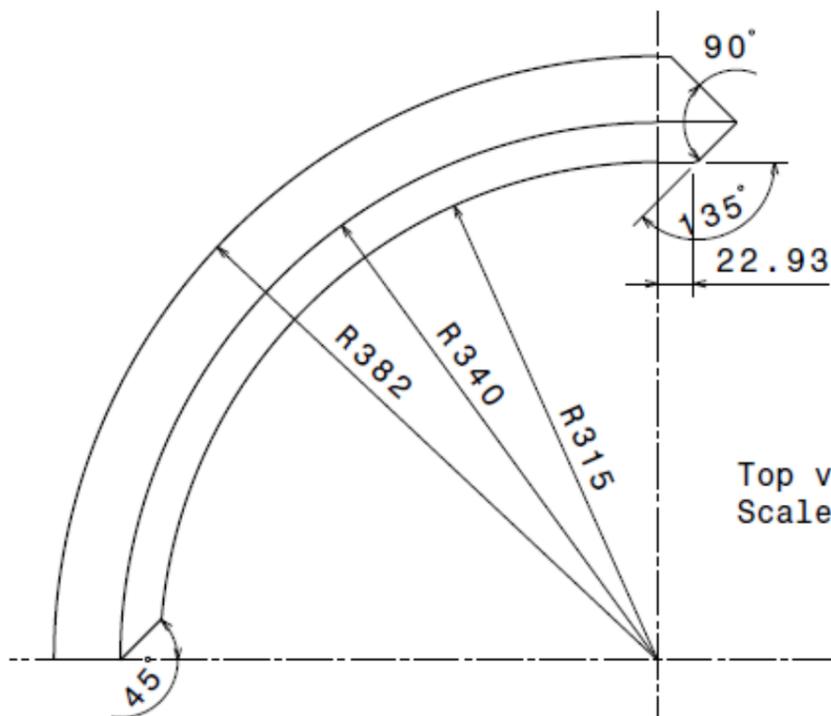
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Front view
Scale: 1:4



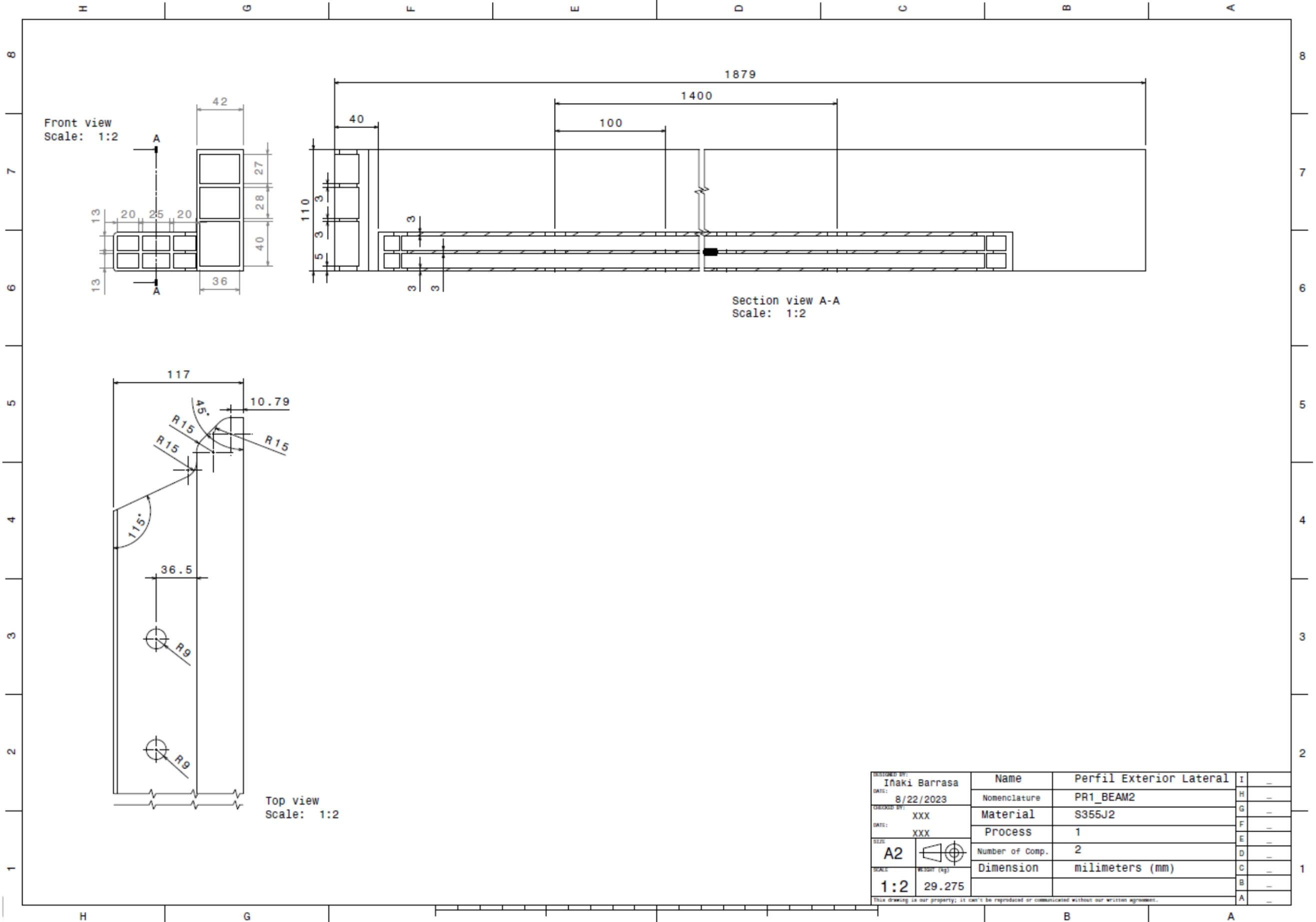
Isometric view
Scale: 1:4



Top view
Scale: 1:4

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Curvo	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR1_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	1	F	-
SIZE: A3	Number of Comp.	2	E	-
SCALE: 1:4	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg): 8.764			C	-
			B	-
			A	-

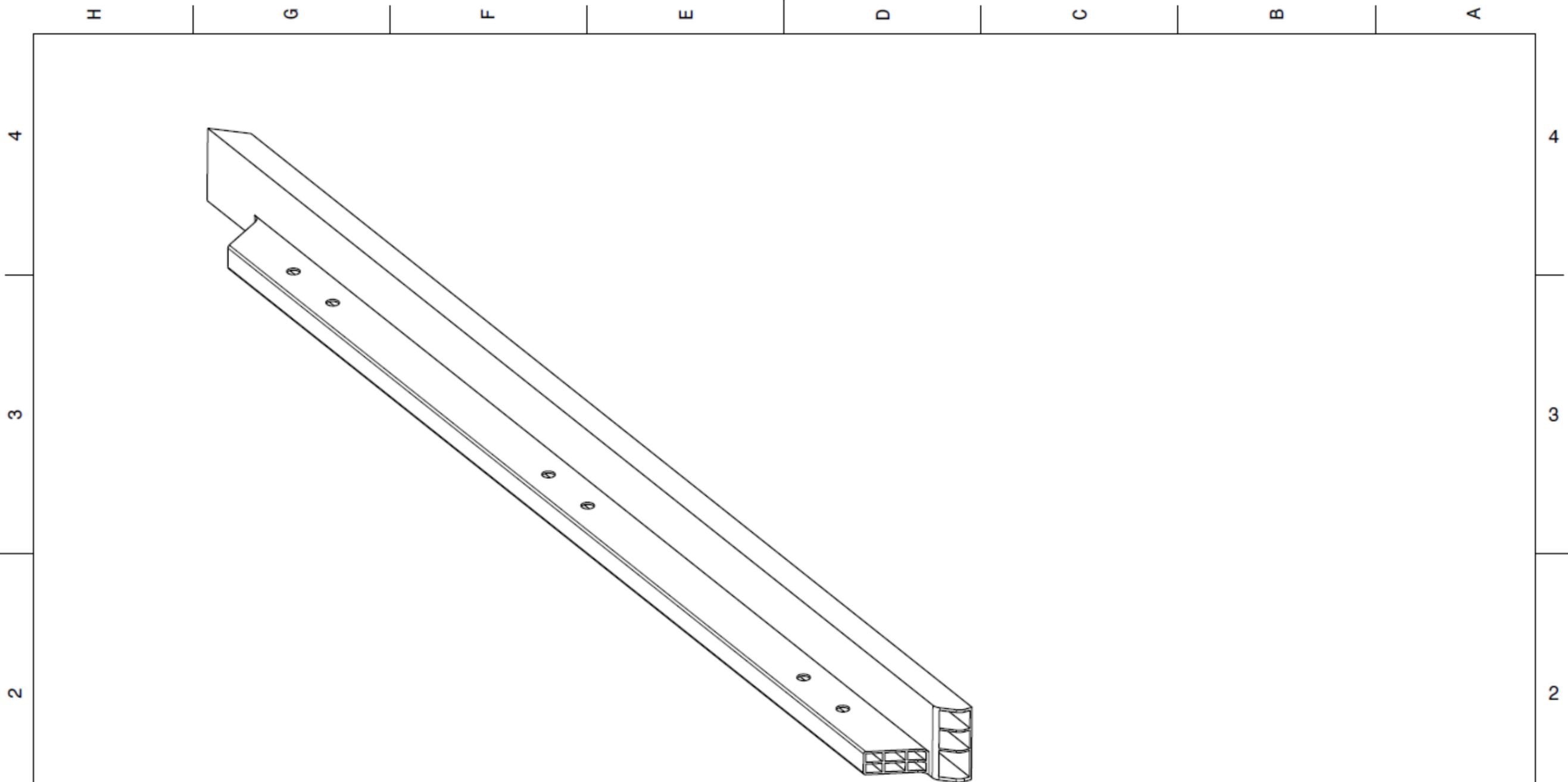
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNER BY:	Inaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Lateral	I	-
DATE:	8/22/2023	Nomenclature	PR1_BEAM2	H	-
DRAWN BY:	XXX	Material	S355J2	G	-
DATE:	XXX	Process	1	F	-
SIZE:	A2	Number of Comp.	2	E	-
SCALE:	1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
				C	-
				B	-
				A	-

W300 (kg)
29.275

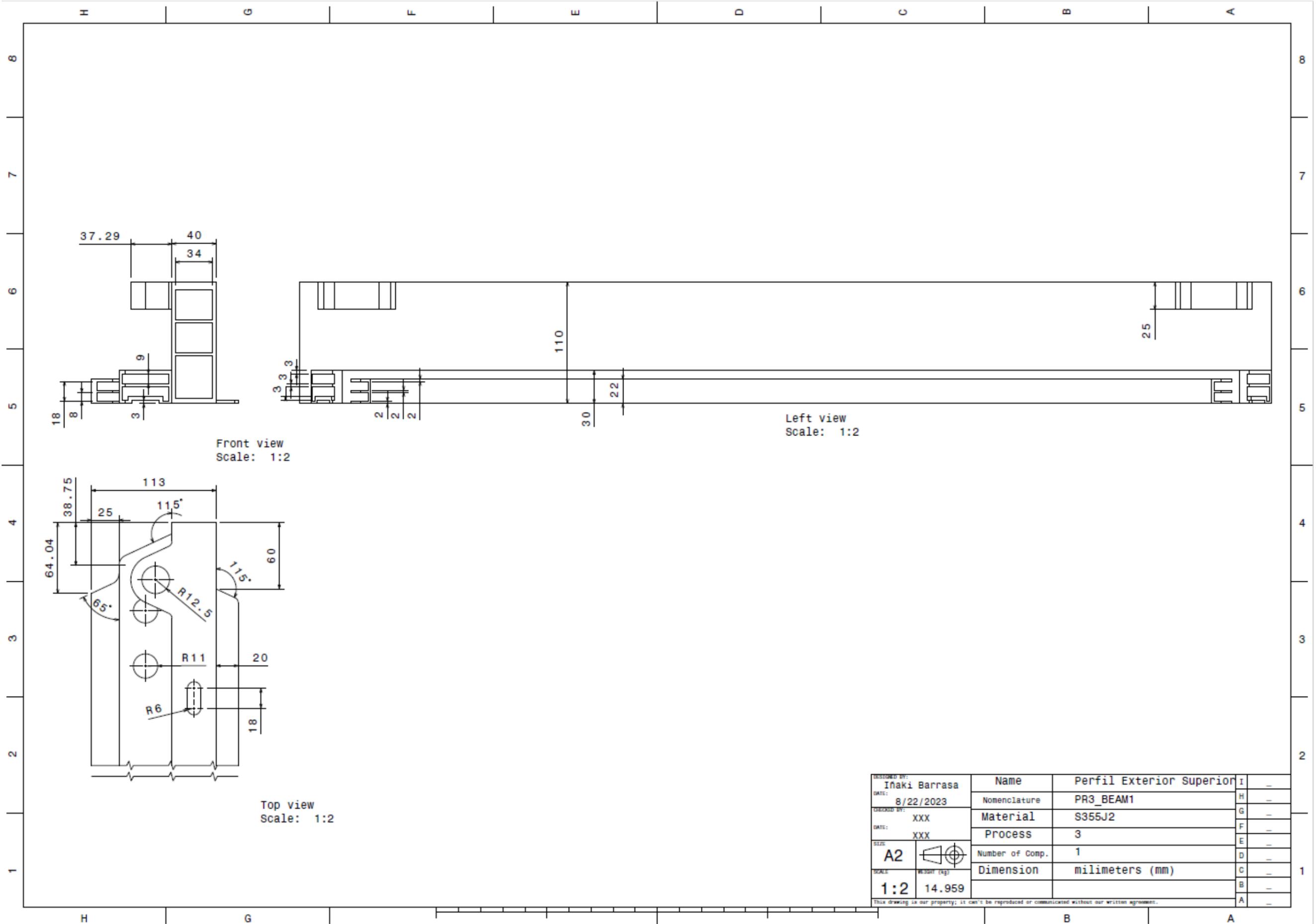
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:5

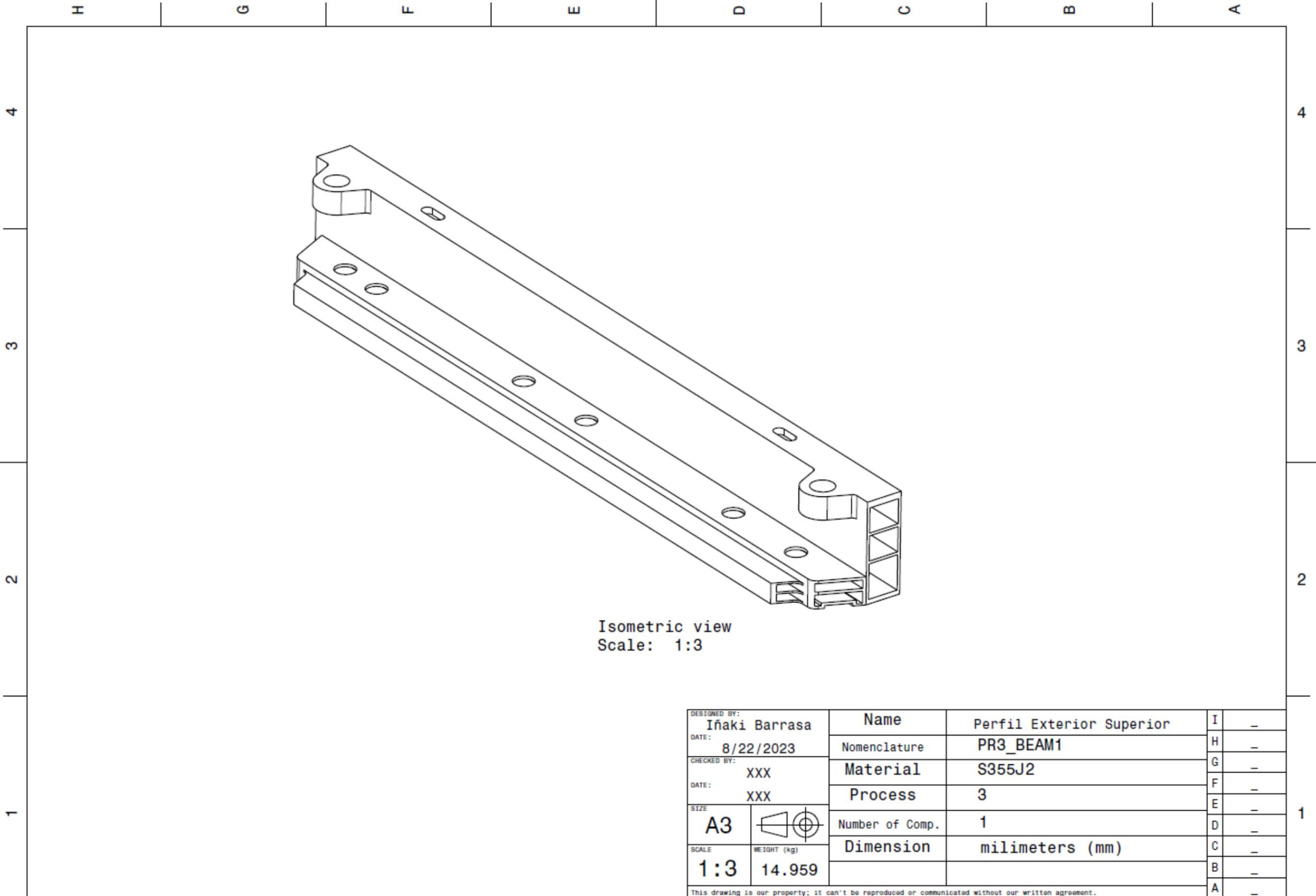
DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Lateral	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR1_BEAM2	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	1	F	-
SIZE A3	Number of Comp.	2	E	-
SCALE 1:5	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg) 29.275			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Superior	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR3_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	3	F	-
SIZE: A2	Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
			C	-
			B	-
			A	-

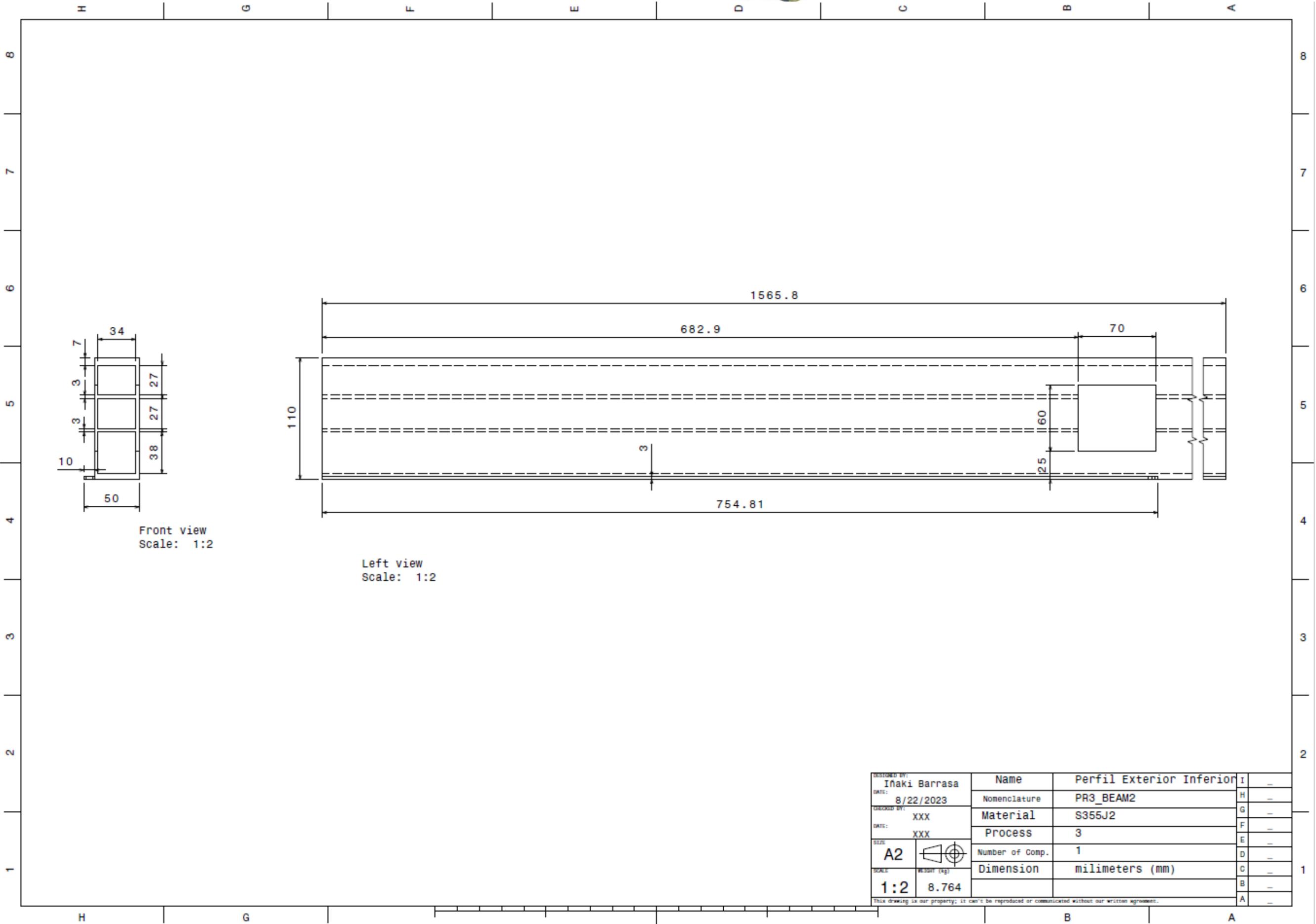
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:3

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Superior	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR3_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	3	F	-
SIZE: A3	Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:3	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg): 14.959			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



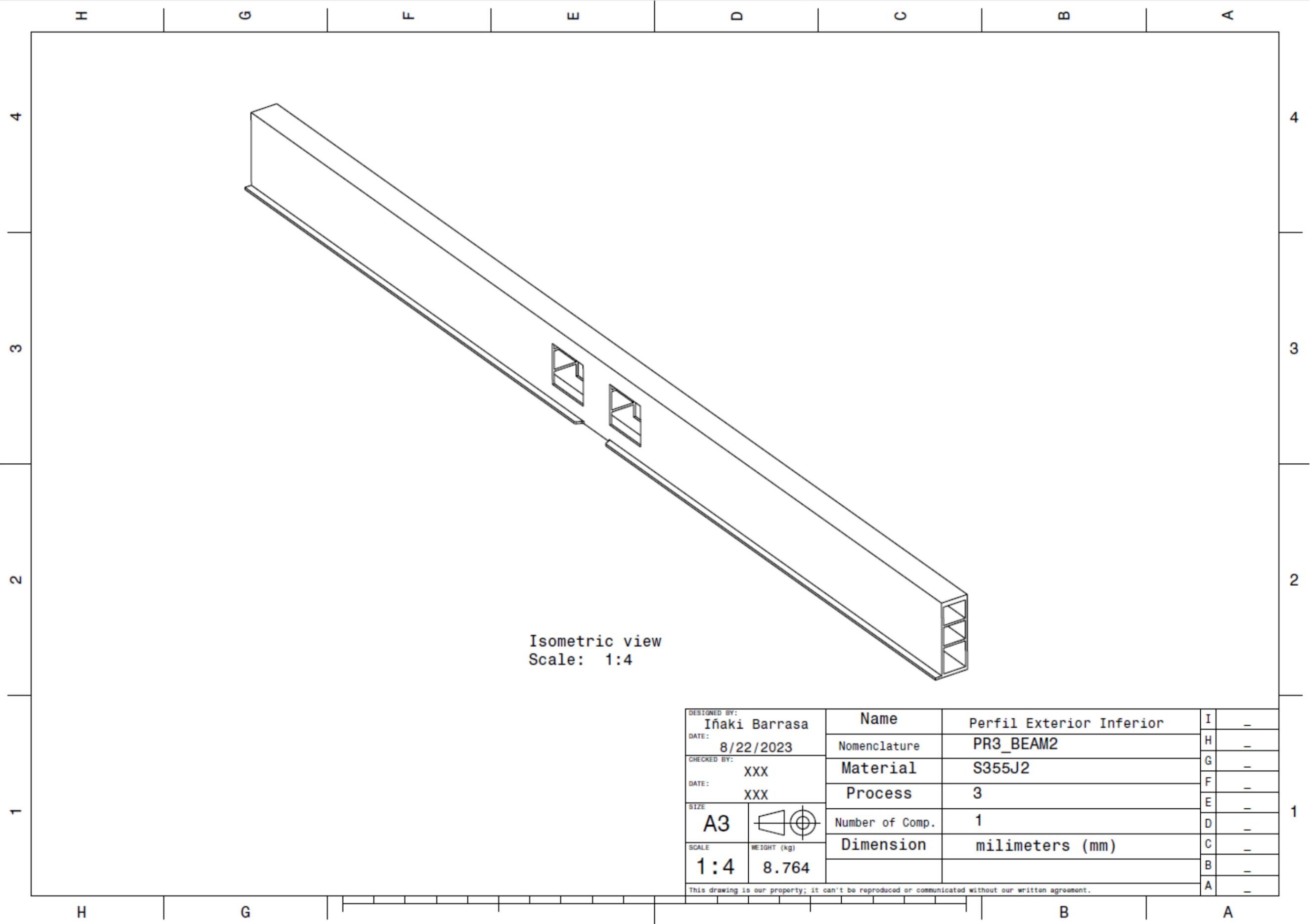
Front view
Scale: 1:2

Left view
Scale: 1:2

DESIGNED BY: Inaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Inferior	I	—
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR3_BEAM2	H	—
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	—
DATE: XXX	Process	3	F	—
SIZE: A2	Number of Comp.	1	E	—
SCALE: 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	—
			C	—
			B	—
			A	—

WORTH (kg) 8.764

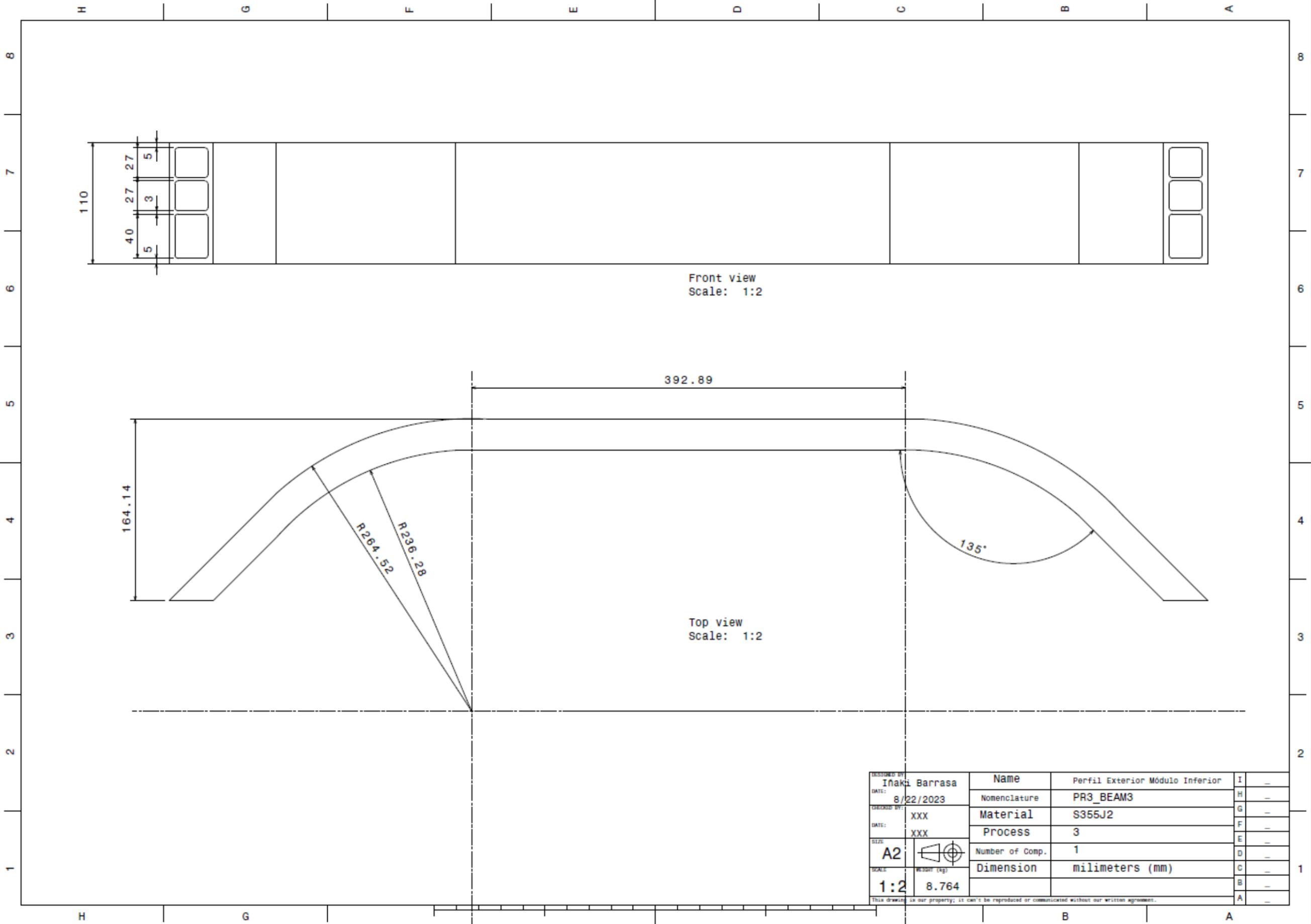
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:4

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa		Name	Perfil Exterior Inferior	I	-
DATE: 8/22/2023		Nomenclature	PR3_BEAM2	H	-
CHECKED BY: XXX		Material	S355J2	G	-
DATE: XXX		Process	3	F	-
SIZE A3		Number of Comp.	1	E	-
SCALE 1:4	WEIGHT (kg) 8.764	Dimension	milimeters (mm)	D	-
				C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

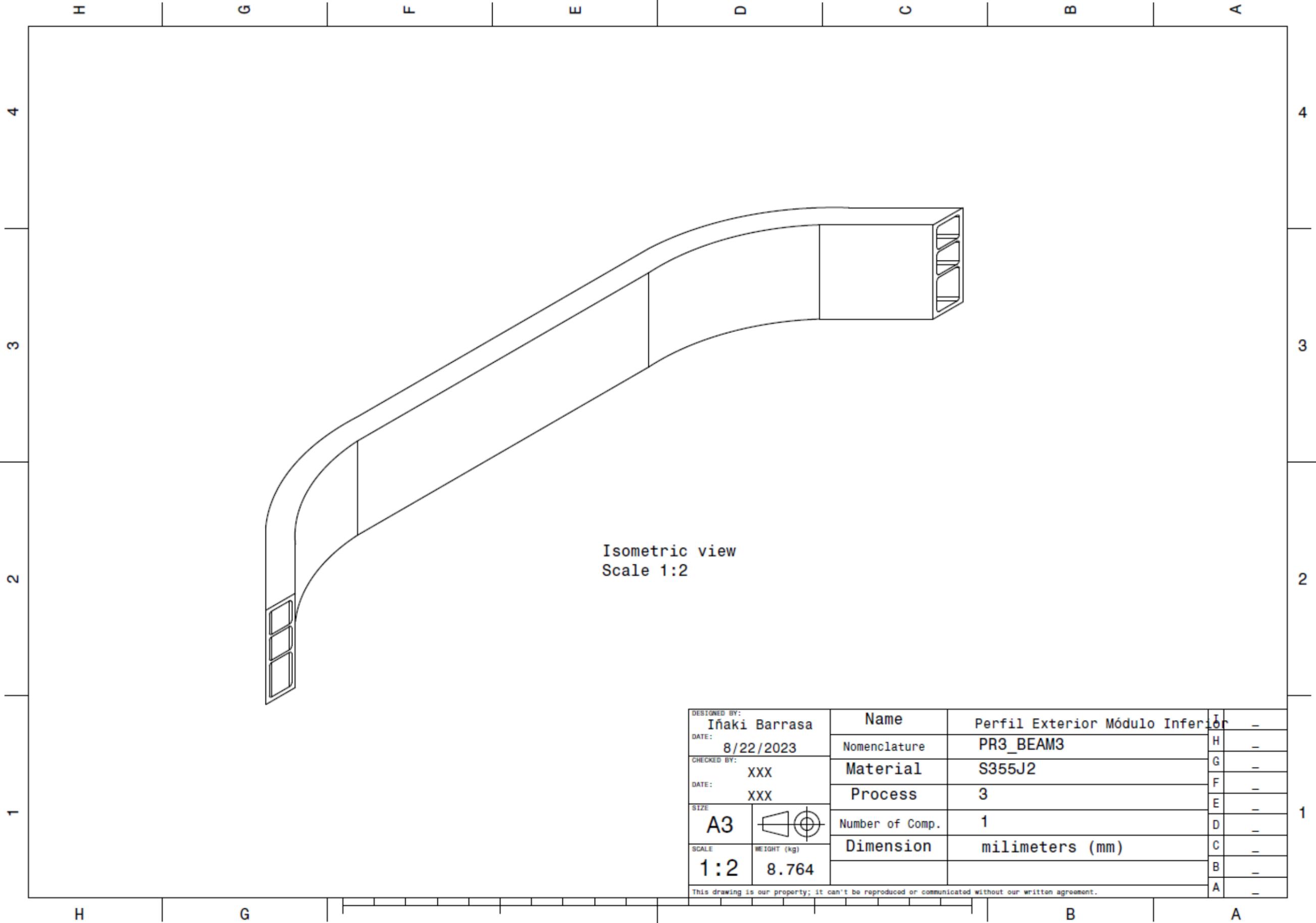


Front view
Scale: 1:2

Top view
Scale: 1:2

DESIGNED BY: Inaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Módulo Inferior	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR3_BEAM3	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	3	F	-
SIZE: A2	Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



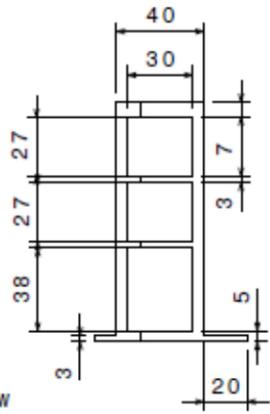
Isometric view
Scale 1:2

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Exterior Módulo Inferior	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR3_BEAM3	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	3	F	-
SIZE A3	Number of Comp.	1	E	-
SCALE 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg) 8.764			C	-
			B	-
			A	-

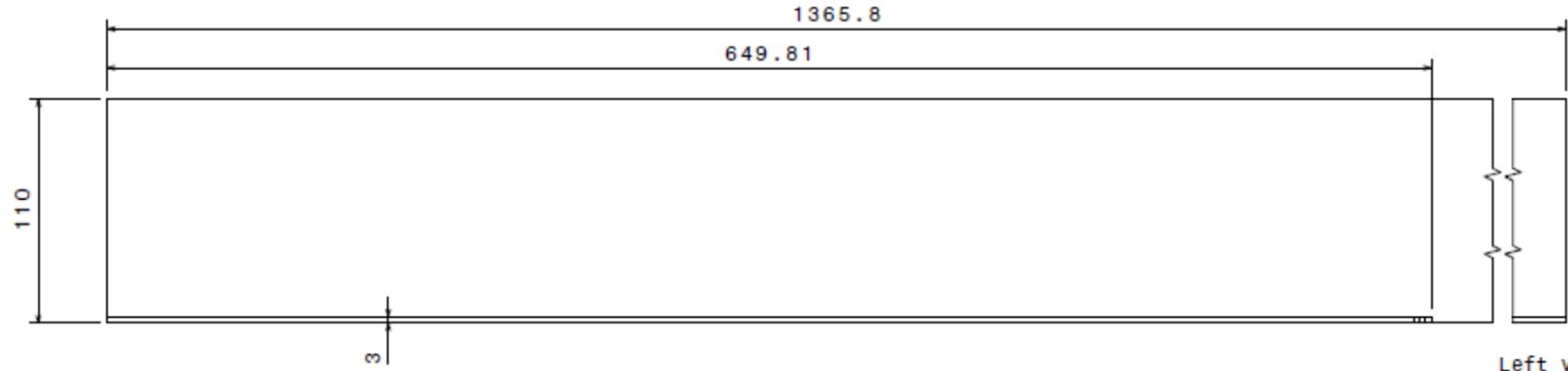
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Front view
Scale: 1:2



Left view
Scale: 1:2

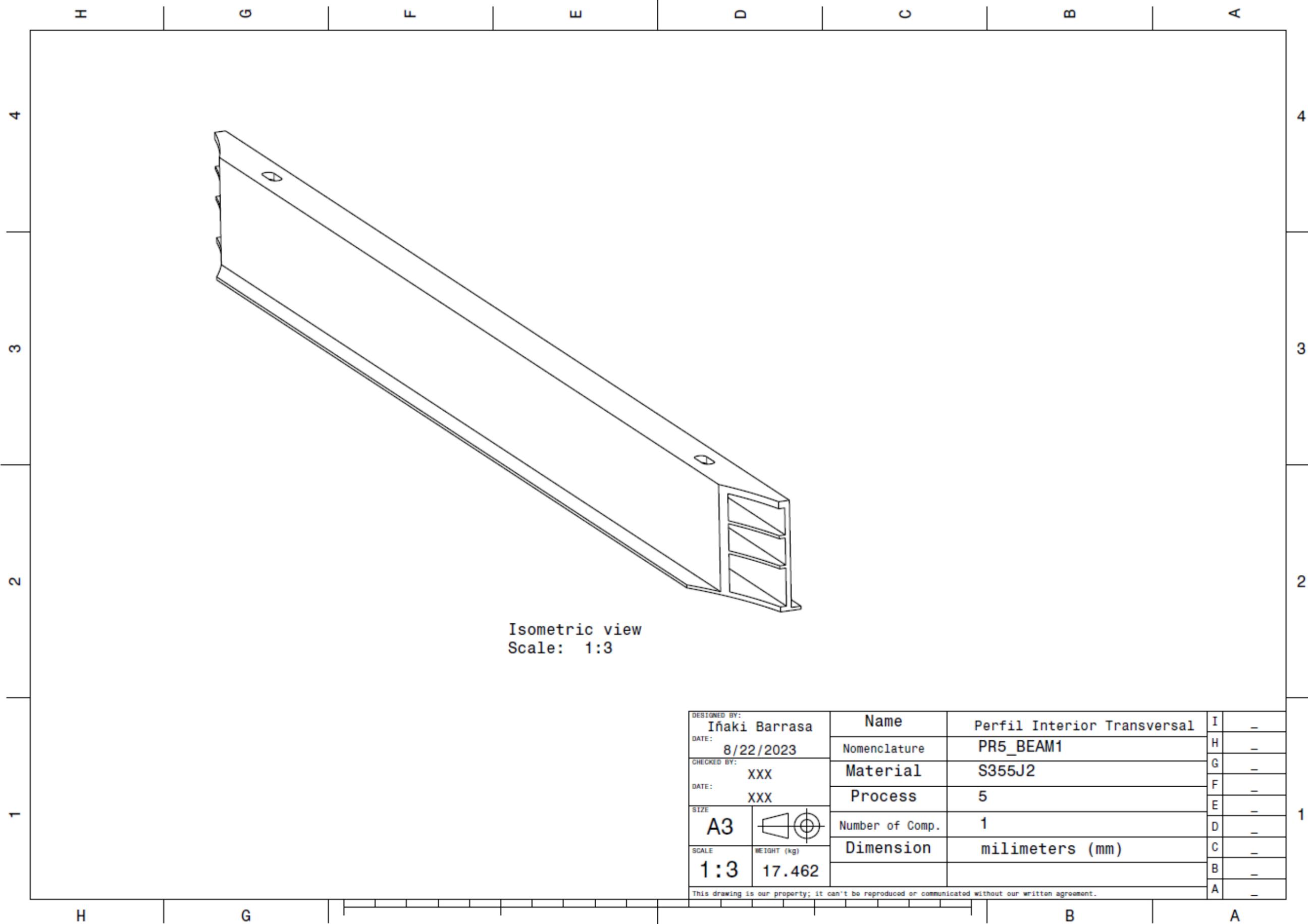


Top view
Scale: 1:2

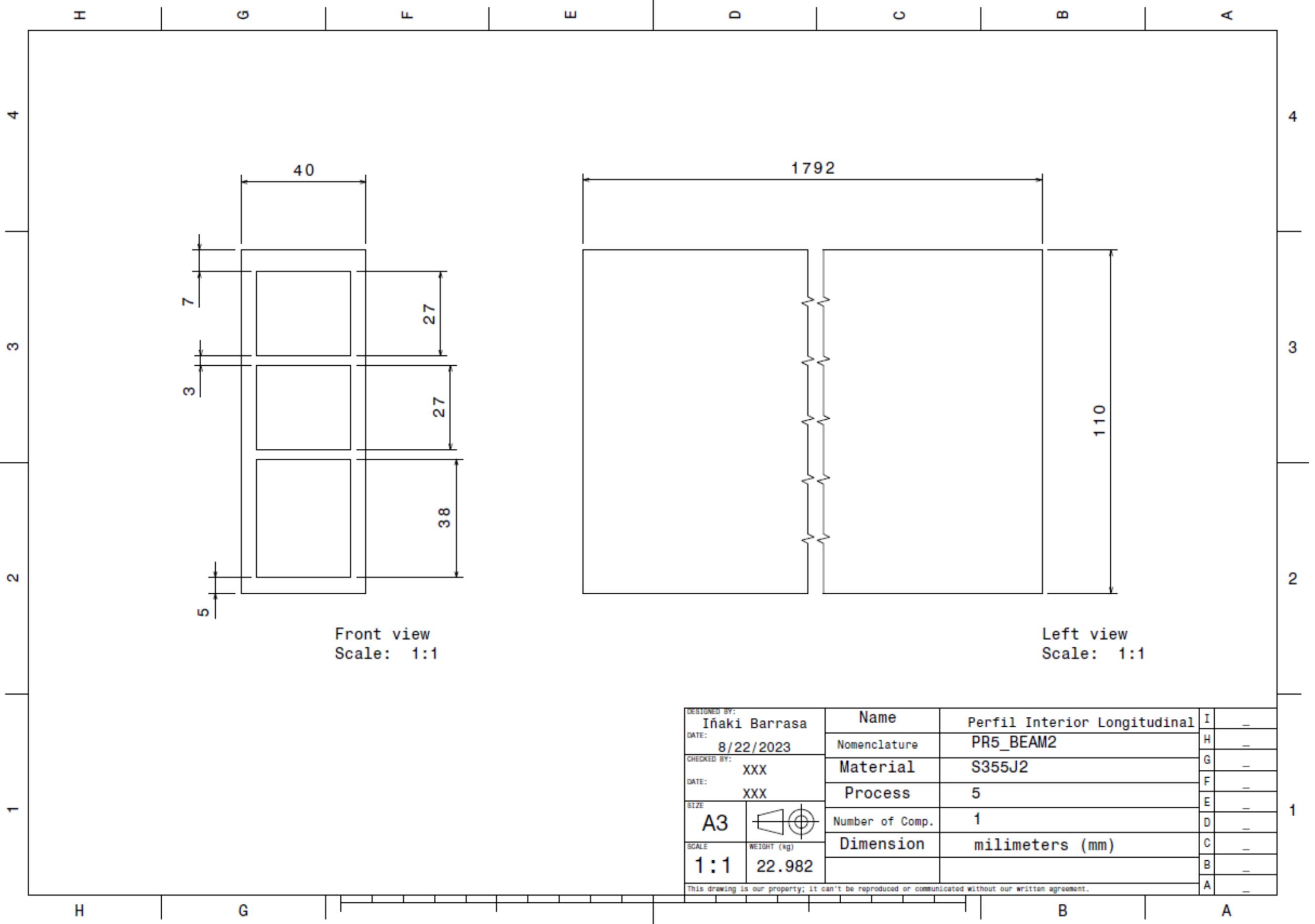


DESIGNER BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Interior Transversal	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR5_BEAM1	H	-
CHECKED BY: xxx	Material	S355J2	G	-
DATE: xxx	Process	5	F	-
SIZE: A2	Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:2	Weight (kg)	17.462	D	-
	Dimension	milimeters (mm)	C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



DESIGNED BY: Iñaki Barrasa		Name	Perfil Interior Transversal	I	-
DATE: 8/22/2023		Nomenclature	PR5_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX		Material	S355J2	G	-
DATE: XXX		Process	5	F	-
SIZE A3		Number of Comp.	1	E	-
SCALE 1:3	WEIGHT (kg) 17.462	Dimension	milimeters (mm)	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

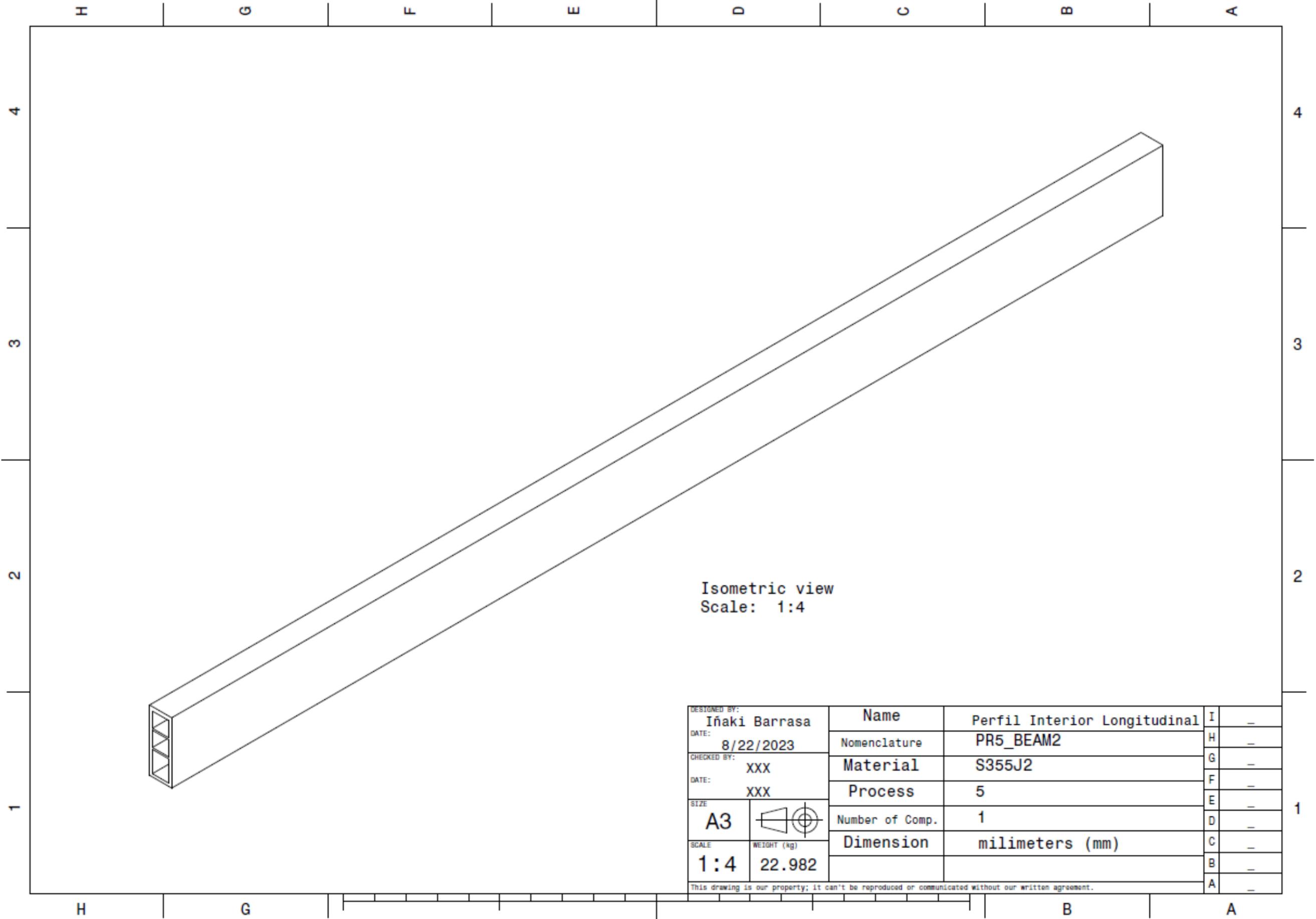


Front view
Scale: 1:1

Left view
Scale: 1:1

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa		Name	Perfil Interior Longitudinal	I	-
DATE: 8/22/2023		Nomenclature	PR5_BEAM2	H	-
CHECKED BY: XXX		Material	S355J2	G	-
DATE: XXX		Process	5	F	-
SIZE: A3		Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:1		Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg): 22.982				C	-
				B	-
				A	-

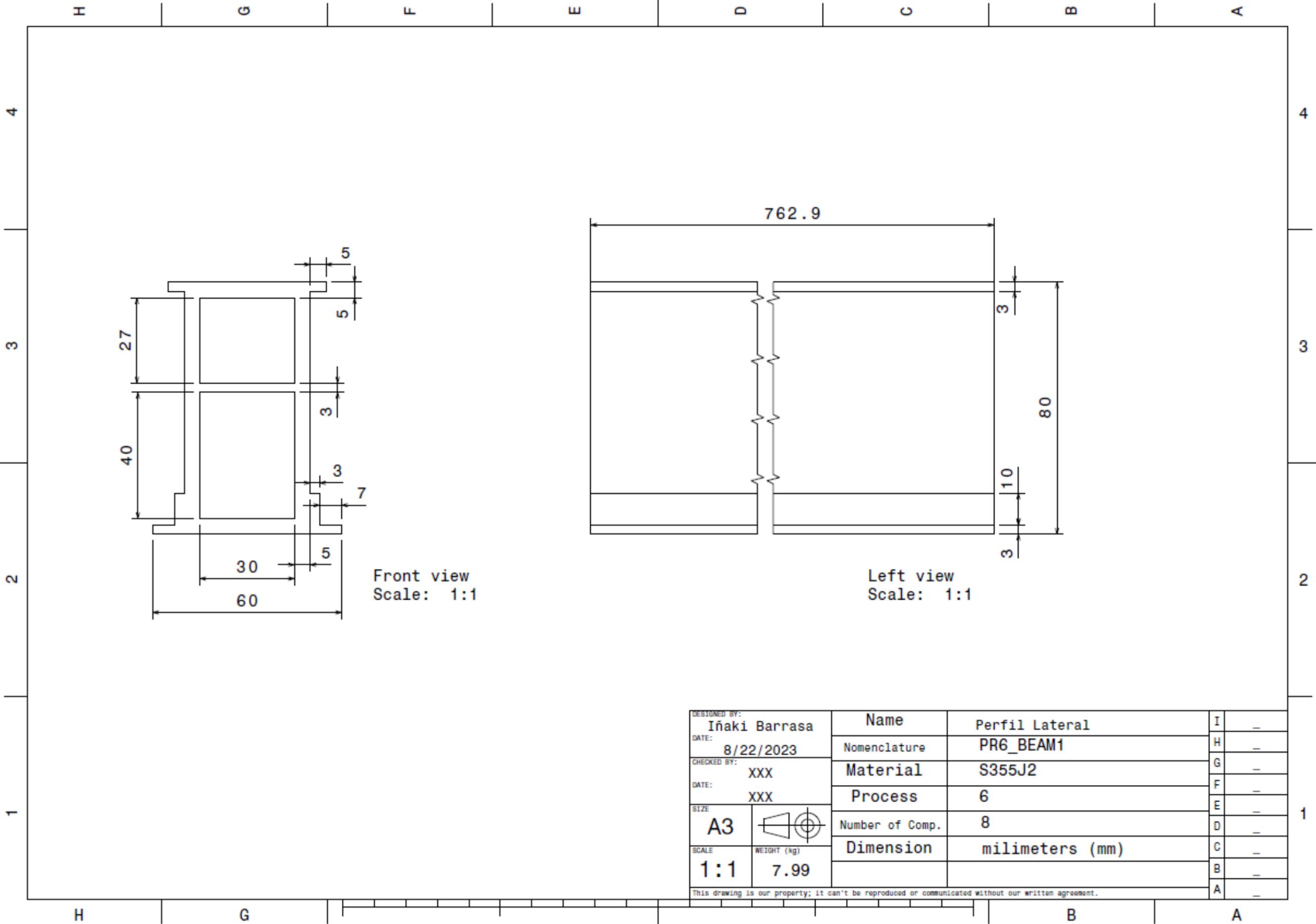
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:4

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa		Name	Perfil Interior Longitudinal	I	-
DATE: 8/22/2023		Nomenclature	PR5_BEAM2	H	-
CHECKED BY: XXX		Material	S355J2	G	-
DATE: XXX		Process	5	F	-
SIZE A3		Number of Comp.	1	E	-
SCALE 1:4	WEIGHT (kg) 22.982	Dimension	milimeters (mm)	D	-
				C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

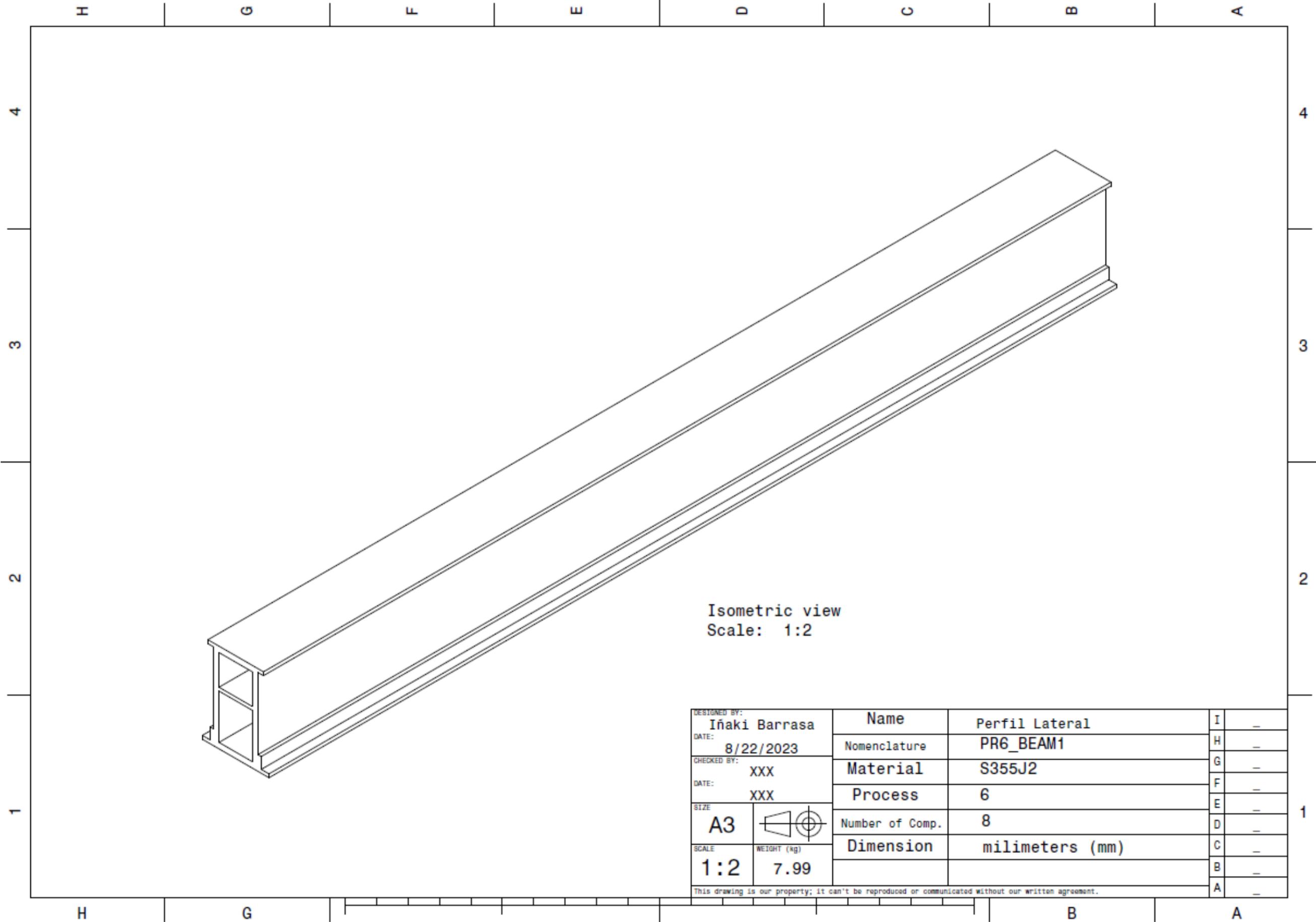


Front view
Scale: 1:1

Left view
Scale: 1:1

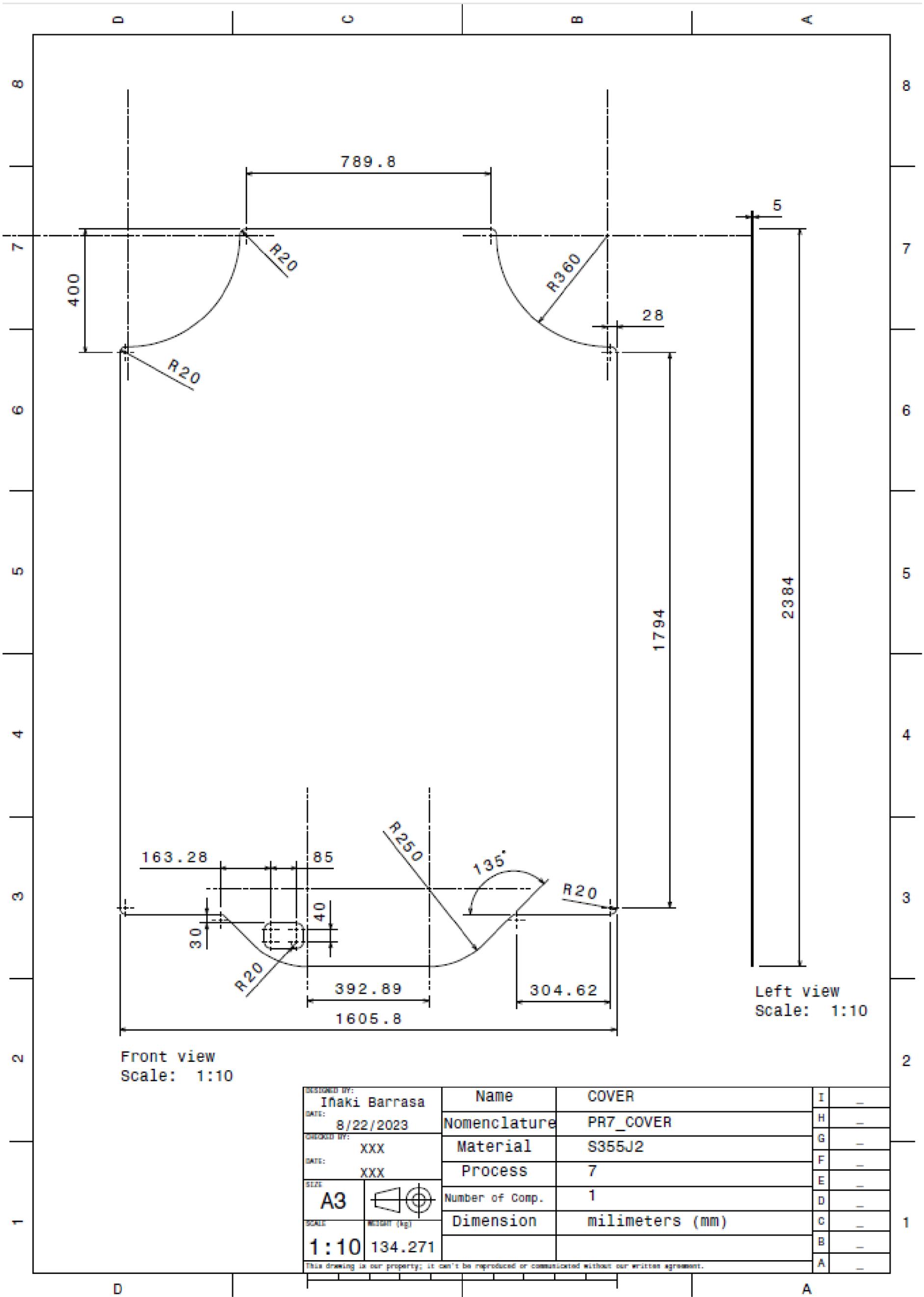
DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	Perfil Lateral	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR6_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	6	F	-
SIZE: A3	Number of Comp.	8	E	-
SCALE: 1:1	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg): 7.99			C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



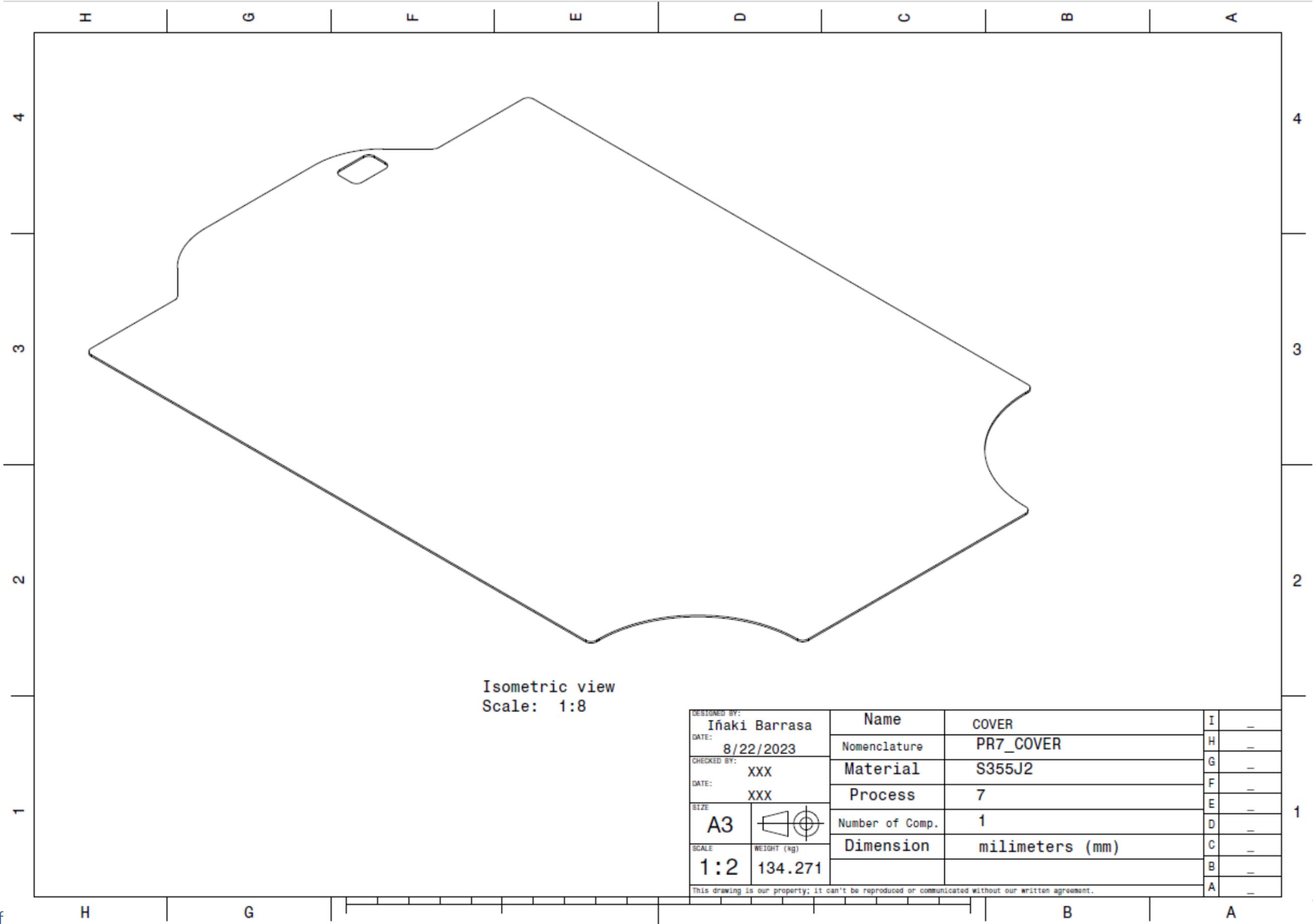
Isometric view
Scale: 1:2

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa		Name	Perfil Lateral	I	-
DATE: 8/22/2023		Nomenclature	PR6_BEAM1	H	-
CHECKED BY: XXX		Material	S355J2	G	-
DATE: XXX		Process	6	F	-
SIZE A3		Number of Comp.	8	E	-
SCALE 1:2		Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg) 7.99				C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				B	-
				A	-



DESIGNED BY: Ifaki Barrasa	Name	COVER	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR7_COVER	H	-
DRAWN BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	7	F	-
SIZE: A3	Number of Comp.	1	E	-
SCALE: 1:10	Weight (kg)	134.271	D	-
		Dimension	C	-
			B	-
			A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:8

DESIGNED BY: Iñaki Barrasa	Name	COVER	I	-
DATE: 8/22/2023	Nomenclature	PR7_COVER	H	-
CHECKED BY: XXX	Material	S355J2	G	-
DATE: XXX	Process	7	F	-
SIZE A3	Number of Comp.	1	E	-
SCALE 1:2	Dimension	milimeters (mm)	D	-
WEIGHT (kg) 134.271			C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			B	-
			A	-



10. Bibliografía

[0] Documentación Interna ESI Group. <https://www.esi-group.com/>

[1] Edited by Bruno Scrosati, Jürgen Garche and Werner Tillmetz. (May 15, 2015). Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles. First Edition. Woodhead Publishing

[2] Paul Flowers(University of North Carolina at Pembroke), Klasu Theopold(University of Delaware), Richard Langley(Stephen Austin State University), William R. Robinson(PhD). Junio 02, 2022. Química 2ed. 17. Electroquímica

[3] Ninshu Ma, Dean Deng, Naoki Osawa, Sherif Rashed, Hidekazu Murakawa, Yukio Ueda. Welding Deformation and Residual Stress Prevention. Second Edition

[4] Mayra Elizabeth Villacís Ramón, Jorge Luis Yaulema Castaneda. (Julio 2022). Mathematical model for the analysis of the thermal behaviour in the welding process of a structural steel using software based on the finite element method. Conciencia Digital, Vol. 5 No 3.1, pp.289-314.

[5] Y.P.Yang, G. Jung. (March 2007). Advancement in Prediction and Control of Welding Residual Stress and Distortion. Material Science Forum

[6] Santiago Stive Cepeda-Camacho, Carlos Fabricio Garzón-Muñoz, Jairo Edison Guasumba-Maila, Diego David Oramas-Proañó. (Abril 2022). Description of the characteristics of the different types of batteries used in electric vehicles. Artículo de Investigación Pol. Con. (Edición núm. 69) Vol.7, No 4, pp. 376-391

[7] Carlos René Gomez Pérez, Eriel Pérez Zapico. (Junio, 2016). Criterios sobre los modelos físicos para la evaluación de los ciclos térmicos durante el depósito metálico mediante soldadura. Conference COMEC 2016. Cuba

[8] BatteryTianshi. (July 11, 2022). Some knowledge You Need to Know About SOC and SIH in Battery



[9] Giovanni Belingardi and Alessandro Scattina. (April 23, 2023). Battery Pack and Underbody: Integration in the Structure Design for Battery Electric Vehicles-Challenges and Solutions. Article from Advanced Storage Systems for Electric Mobility. Italy

[10] KEYENCE. (2023). Tecnología de recubrimiento y dispensación. México

[11] KEYENCE. (2023). Baterías, Métodos y tecnologías de inspección. México

[12] Abhishek Bala, Meher Chaitanya Kamaraju. (2020). Design and Optimization of Battery Housing in Electric Cars. Master Thesis in Product Development. Chalmers University of Technology

[13] Gonzalo García. Baterías modulares e intercambiables: la solución a los inconvenientes de los coches eléctricos. Hibridosyelectricos, Artículo

[14] Wayken. (October 14, 2022). EV Battery Box Design: How to Make it a Reality. China

[15] Amairany Katuska Francisco Lucena. (Marzo, 2021). Diseño de la batería de un vehículo eléctrico para Formula Student ULL. Trabajo Fin de Grado Ingeniería electrónica Industrial y Automática. Tenerife

[16] Ester Rovira Reverer. (Noviembre 09, 2020). Diseño de una caja de baterías para un coche eléctrico. Ingeniería de diseño industrial y desarrollo de producto. Universidad Politécnica de Catalunya

[17] Jaume Marínez Bertran. (Abril, 2007). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

[18] Diego Quintana Bea. (2019-2020). Diseño de celdas y BMS para una batería de Ion-Litio integrada en un prototipo de moto de competición totalmente eléctrica. Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales. Universidad Politécnica de Valencia

[19] Autor y fecha de publicación desconocidos. Inspección y Control de Calidad, en la Aplicación de soldadura de Elementos Estructurales



[20] D. Javier Fernando Rivera Hoyos. Análisis del Comportamiento Mecánico de un Rack de Baterías Frente a Eventos de Choque. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación

[21] Tomás Montes Torre. (Julio, 2020). Diseño Multiobjetivo de un paquete de baterías modular para vehículo eléctrico. Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Industrial. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón

Páginas web:

<https://forococheselectricos.com/2019/12/asi-son-las-baterias-utilizadas-por-volkswagen-en-los-coches-electricos-basados-en-la-plataforma-meb.html>

<https://importartesla.com/una-mirada-al-paquete-de-baterias-del-model-s-y-el-model-x/>

https://www.hibridosyelectricos.com/coches/todo-quieras-saber-baterias-coches-electricos-tesla_17420_102.html

<https://www.sgicarbon.com/en/markets-solutions/applications/battery-cases/#>

https://057tech.com/products/battery_modules

<https://altertecnica.com/ingenieria-cajas-para-baterias-de-coches-electricos/>

https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-automovil-electrico/amp/?gclid=CjwKCAjwue6hBhBVEiwA9YTx8FaV3jN0zDTh5t_MRdkEfncIFMImsDUV3iV55SeUckqBEmf6qRirx0CaAQQAvD_BwE

<https://www.ssab.com/en/brands-and-products/docol/recommended-ahss-steels-for-car-applications/ev-design-concept>

<https://es.manly-battery.com/info/analysis-of-the-four-major-advantages-of-59186282.html>

