

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOI**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**“Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de  
una serie ya comercializada”**

**Autor:**

Gonzalo Madrid del Amo

**Dirigido por:**

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

**Julio 2018**



# RESUMEN

**“Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada”.**

En el presente Trabajo de Final de Grado se pretende elaborar un estudio tanto técnico como económico sobre una gama de envolventes metálicos comercializada, destinada a la protección de aparataje eléctrica con el fin de evitar el contacto directo, tanto de personal no cualificado como de factores ambientales a la instalación, reduciendo al máximo los riesgos que conllevan este tipo de construcciones.

La realización de este proyecto tiene como finalidad la adaptación de la gama a las necesidades actuales del mercado, buscando en todo momento mantener la esencia de la misma y modernizando las áreas donde el producto se haya quedado obsoleto. El estudio se desarrolla con el objetivo de emplearse como base real para concebir un producto comercial mejorado, por lo que se hará hincapié en el apartado económico y se tendrán en cuenta las limitaciones de diseño y fabricación debido a la maquinaria actual presente en la fábrica donde se elabora, así como las restricciones impuestas por el mercado.

En primer lugar, se elaborará una introducción donde se definirán las partes que conforman una caja eléctrica además de agrupar la tipología empleada en el mercado introduciendo, además, la normativa aplicable a este producto. Se realizará un breve estudio de la gama actual en donde se expondrá las zonas claves a mejorar de la envolvente y posteriormente se establecerán las bases de la nueva gama en función de las decisiones tomadas realizando, a su vez, una reconstrucción 3D de un modelo fabricado según las especificaciones de ambas gamas.

Se establecerán las bases que han de cumplir los diferentes elementos de la caja, elaborando una búsqueda de los materiales tanto de la envolvente como de las juntas que mejor se adapten a las necesidades del producto. Posteriormente, se llevará a cabo los estudios estáticos y de impacto mediante el Análisis de elementos finitos del software SolidWorks para determinar si los cambios realizados representan una mejora de las propiedades de la caja.

Finalmente, se evaluarán todos los procesos de fabricación necesarios para conformar la pieza y se realizará un estudio económico del conjunto de ellas dando una estimación final de los costes de producción del producto y realizando una comparativa frente a la gama antigua y al mercado.



# SUMMARY

## **"Development of a new range of metallic enclosures from previously commercialized series"**

The current thesis is intended to develop a technical and economic study on metal enclosures, meant for the electrical switchgear protection in order to avoid direct contact by non-qualified personnel, considering the environmental factors to the installation, and way of reducing to the maximum the risks that exist in this type of constructions.

The purpose of this project is to adapt the enclosure range to the current needs of the market, seeking at all times to maintain the essence of it and modernizing the areas where the product has become obsolete. The study is developed with the objective of being used as a real basis to conceive an improved commercial product, so the emphasis will be placed on the economic section and will take into account the design and manufacturing limitations due to the current machinery available in the factory where it is made, as well as the market restrictions.

First, an introduction will be exposed where the parts that make up an electrical box will be defined as well as grouping the different types that exist in the market; in addition, introducing the regulations applicable to this product. A brief survey of the current range will be given including the key areas of the envelope to be improved. Then the bases of the new range will be established according to the decisions made by, in turn, a 3D reconstruction of a manufactured model according to the specifications of both ranges.

The bases that must be fulfilled by the different elements of the box will be established, developing a search for the materials both of the envelope and of the joints that best adapt to the needs of the product. Subsequently, static and impact studies will be carried out using the Finite Element Method of SolidWorks software to determine if the changes made represent an improvement of the enclosure's properties.

Finally, all the manufacturing processes necessary to form the piece will be evaluated and an economic study of all of them will be carried out giving a final estimate of the production costs of the new range and making a comparison to the ones which are currently used in the market.



# RESUM

**“Desenvolupament d'una nova gamma d'envolupants metàl·lics a partir d'una sèrie ja comercialitzada”.**

En el present Treball de fi de Grau es pretén elaborar un estudi tant tècnic com econòmic sobre una gamma d'envolupants metàl·lics comercialitzada, destinada a la protecció d'aparaments elèctrics per tal d'evitar el contacte directe, tant de personal no qualificat com de factors ambientals a la instal·lació, reduint al màxim els riscos que comporten aquest tipus de construccions.

La realització d'aquest projecte té com a finalitat l'adaptació de la gamma a les necessitats actuals del mercat, cercant en tot moment mantenir la seua 'essència i modernitzant les àrees on el producte s'haja quedat obsolet. L'estudi es desenvolupa amb l'objectiu d'emprar-se com a base real per a concebre un producte comercial millorat, de manera que es posarà èmfasis en l'apartat econòmic i es tindran en compte les limitacions de disseny i fabricació a causa de la maquinària actual present en la fàbrica on s'elabora, així com les restriccions imposades pel mercat.

En primer lloc, s'elaborarà una introducció on es definiran les parts que conformen una caixa elèctrica a més d'agrupar la tipologia emprada en el mercat introduït, a més, la normativa aplicable a aquest producte. Es realitzarà un breu estudi de la gamma actual on s'exposarà les zones claus a millorar de l'envolupant i posteriorment s'establiran les bases de la nova gamma en funció de les decisions preses realitzant, al seu torn, una reconstrucció 3D d'un model fabricat segons les especificacions d'ambdues gammes.

S'establiran les bases que han de complir els diferents elements de la caixa, elaborant una cerca dels materials tant de l'envolupant com de les juntes que millor s'adapten a les necessitats del producte. Posteriorment, es durà a terme els estudis estàtics i d'impacte mitjançant l'Anàlisi d'elements finits del programari SolidWorks per a determinar si els canvis realitzats representen una millora de les propietats de la caixa.

Finalment, s'avaluaran tots els processos de fabricació necessaris per a conformar la peça i es realitzarà un estudi econòmic del conjunt d'elles donant una estimació final dels costos de producció del producte i realitzant una comparativa enfront de la gamma antiga i al mercat.





# Tabla de Contenidos

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>RESUM</b> .....	<b>7</b>
<b>ABREVIATURAS</b> .....	<b>14</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	<b>19</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>25</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>27</b>
<b>I.1. DEFINICIÓN</b> .....	<b>29</b>
<b>I.2. PARTES.</b> .....	<b>31</b>
I.2.1. Cubierta.....	31
I.2.2. Puerta. ....	33
I.2.3. Placa pasacables.....	36
I.2.4. Placa de montaje. ....	39
I.2.5. Conexiones a tomatierra.....	41
<b>I.3. CLASIFICACIÓN</b> .....	<b>42</b>
I.3.1. Funcionalidad.....	42
I.3.2. Tipo de material. ....	42
<i>I.3.2.1. Aislante.</i> .....	<i>42</i>
<i>I.3.2.2. Metal.</i> .....	<i>43</i>
I.3.3. Modo de fijación.....	44
<i>I.3.3.1. Sobre suelo o autoportantes.</i> .....	<i>44</i>
<i>I.3.3.2. Sobre pared o de fijación mural.</i> .....	<i>46</i>
<i>I.3.3.3. Montaje empotrado.</i> .....	<i>47</i>
<i>I.3.3.4. Sobre poste.</i> .....	<i>48</i>

I.3.4. Lugar previsto de utilización.....	48
<i>I.3.4.1. Cuadro para instalación en interior.</i> .....	48
<i>I.3.4.2. Cuadro para instalación en exterior.</i> .....	49
I.3.5. Diseño externo. ....	49
<i>I.3.5.1. Tipo armario (columna).</i> .....	49
<i>I.3.5.2. Tipo pupitre.</i> .....	50
<i>I.3.5.3. Tipo caja.</i> .....	50
<i>I.3.5.4. Tipo multicaja.</i> .....	51
I.3.6. Diseño constructivo.....	52
<i>I.3.6.1. Armario Compacto</i> .....	52
<i>I.3.6.2. Armario Modular.</i> .....	52
I.3.7. Grado de protección. ....	53
<i>I.3.7.1. Código IP.</i> .....	53
<i>I.3.7.2. Grado IK.</i> .....	55
<i>I.3.7.3. NEMA 250.</i> .....	55
<i>I.3.7.4. Grado protección IP vs. Grado protección NEMA.</i> .....	58
I.3.8. Otras clasificaciones. ....	59
<i>I.3.8.1. Armario Rack.</i> .....	59
<i>I.3.8.2. Caja de bornes.</i> .....	60
<i>I.3.8.3. Cuadro de mando.</i> .....	61
<b>I.4. ACCESORIOS.....</b>	<b>62</b>
I.4.1 Accesorios para la gestión térmica de los armarios. ....	62
I.4.2 Puerta transparente. ....	62
I.4.3. Tejadillo. ....	63
I.4.4. Branquias de ventilación. ....	64
I.4.5. Bastidor pivotante. ....	64
I.4.6. Chasis modular.....	65
I.4.7. Perfiles y guías. ....	65

<b>I.5. FASE DE MONTAJE.</b> .....	<b>67</b>
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	<b>69</b>
<b>II.1. OBJETIVO GENERAL.</b> .....	<b>71</b>
<b>II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.</b> .....	<b>71</b>
<b>III. DESARROLLO PROYECTO</b> .....	<b>73</b>
<b>III.1. ANÁLISIS DE LA GAMA.</b> .....	<b>75</b>
III.1.1. Gama Caja fijación mural inicial.....	75
III.1.2. Comparativa con el mercado. ....	79
<b>III.2. PREDISEÑO DE LA NUEVA GAMA.</b> .....	<b>80</b>
III.2.1. Elección de bisagra comercial. ....	80
III.2.2. Elección de cierre. ....	82
III.2.3. Rediseño entrada pasacables. ....	84
III.2.4. Familia Cajas de fijación mural de doble puerta. ....	84
III.2.5. Características finales de la nueva gama. ....	86
<b>III.3. DISEÑO DE LA PIEZA.</b> .....	<b>88</b>
III.3.1. Diseño inicial.....	89
III.3.2. Pieza rediseñada. ....	96
<b>III.4. NORMATIVA APLICABLE.</b> .....	<b>102</b>
<b>III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.</b> .....	<b>103</b>
III.5.1. Cálculos estáticos. ....	103
III.5.2. Cálculos impacto. ....	104
<b>III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.</b> .....	<b>107</b>
III.6.1. Material de la caja. ....	107
III.6.2. Material de las juntas.....	114
<i>III.6.2.1. Junta para la tapa pasacables y las bisagras.</i> .....	<i>114</i>
<i>III.6.2.2. Junta para la puerta.</i> .....	<i>116</i>

<b>III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.</b>	<b>119</b>
.....	
<b>III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.</b>	<b>120</b>
III.8.1. Simulación estática	120
<i>III.8.1.1. Resultado estados tensionales.</i>	<i>125</i>
<i>III.8.1.2. Resultado deformación unitaria.</i>	<i>127</i>
III.8.1. Simulación de impacto.	129
<i>III.8.2.1. Resultado estados tensionales.</i>	<i>132</i>
<i>III.8.2.2. Resultado deformación unitaria.</i>	<i>133</i>
<i>III.8.2.3. Resultado factor de seguridad.</i>	<i>134</i>
<b>III.9. FABRICACIÓN.</b>	<b>136</b>
III.9.1. Procesos de conformado.	136
<i>III.9.1.1. Procesos de mecanizado.</i>	<i>137</i>
<i>III.9.1.2. Procesos de deformación.</i>	<i>139</i>
III.9.2. Procesos de unión.	142
<i>III.9.2.1. Soldadura fuerte y blanda.</i>	<i>143</i>
<i>III.9.2.2. Soldadura TIG.</i>	<i>143</i>
<i>III.9.2.3. Soldadura MIG.</i>	<i>144</i>
<i>III.9.2.4. Elección proceso de soldadura</i>	<i>146</i>
III.9.3. Procesos de acabado superficial.	146
III.9.4. Proceso de fabricación e implementación de la junta de estanqueidad.	148
<b>III.10. ESTUDIO ECONÓMICO.</b>	<b>150</b>
III.10.1. Coste material base ( $C_{MB}$ ).	150
III.10.2. Coste de fabricación de la caja ( $C_{FAB}$ ).	152
III.10.3. Coste elementos externos ( $C_{EXT}$ ).	157
<b>III.11. CONCLUSIÓN.</b>	<b>160</b>
<b>IV. APÉNDICES</b>	<b>163</b>

<b>IV.1. REFERENCIAS.....</b>	<b>165</b>
<b>IV.2. PLANOS ACOTADOS. ....</b>	<b>167</b>
<b>IV.3. NORMATIVA.....</b>	<b>168</b>

# ABREVIATURAS

A80	Alargamiento de rotura para L=80
C <sub>Ar</sub>	Coste del Argón
C <sub>BIS</sub>	Coste de la bisagra
C <sub>chapa</sub>	Coste chapa
C <sub>chapa/caja</sub>	Coste chapa por caja
C <sub>CIE</sub>	Coste del sistema de cierre
C <sub>CIZ</sub>	Coste cizallado
C <sub>ELECTRODO</sub>	Coste del electrodo
C <sub>EMB</sub>	Coste embutición
C <sub>EN</sub>	Coste energético
C <sub>EXT</sub>	Costes externos
C <sub>FAB</sub>	Coste de fabricación de la caja
C <sub>GAS</sub>	Coste del gas de protección
C <sub>INYR</sub>	Coste inyección reactiva
C <sub>JUN</sub>	Coste de la junta
C <sub>MAT.APORTE</sub>	Coste material de aporte en la soldadura
C <sub>MB</sub>	Coste material base
C <sub>MB/caja</sub>	Coste material base por caja
C <sub>MO</sub>	Coste mano de obra
C <sub>MON</sub>	Coste de montaje
C <sub>MSOLD</sub>	Coste del material empleado en la soldadura

$C_{PIN}$	Coste pintura
$C_{PLE}$	Coste plegado
$C_{PLM}$	Coste de la placa de montaje
$C_{PUN}$	Coste punzonado
$C_{PUR}$	Coste de poliuretano
$C_{PUR/caja}$	Coste de poliuretano por caja
$C_{SOLTIG}$	Coste soldeo por TIG
$C_{Sp=1.2mm}$	Coste chapa de espesor 1.2 mm
$C_{Sp=1.5mm}$	Coste chapa de espesor 1.5 mm
$C_{TOR}$	Coste de la tornillería
$E_c$	Energía cinética
$E_F$	Eficiencia energética de la fuente
$E_m$	Energía total o mecánica
$E_p$	Energía potencial
EPDM	Polietileno Propileno Dieno Monómero
$F_{Op}$	Factor de operación
$G_{PUR}$	Flujo del material poliuretano
$h$	Altura de caída
$H$	Altura caja
HDPE	Polietileno de alta densidad
$I$	Intensidad de corriente
IEC	International Electrotechnical Commission

L	Ancho caja
LDPE	Poliétileno de baja densidad
$L_{\text{varillas}}$	Longitud varillas
$m_{\text{accesorios}}$	Masa de los accesorios
$m_{\text{carriles DIN}}$	Masa de los carriles DIN
$m_{\text{cierre}}$	Masa del sistema de cierre
MIG	Metal Inert Gas
$m_{\text{junta}}$	Masa de la junta
$m_m$	Masa del martillo de ensayo
$m_{\text{parte móvil bisagra}}$	Masa parte móvil bisagra
$m_{\text{puerta}}$	Masa de la puerta
$m_T$	Masa total
n90	Coficiente de acritud
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
P	Peso
$P_{\text{INY}}$	Perímetro a inyectar
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
PUR	Poliuretano
Pr	Profundidad caja
PVC	Policloruro de vinilo
PVP	Precio de Venta al Público



$Q_{Ar}$	Caudal de Argón empleado
$r_{90}$	Coefficiente de anisotropía plástica
$Re$	Límite elástico
$Rm$	Resistencia a la tracción
$S$	Largo entrada pasacables
$T$	Ancho entrada pasacables
$T_{aEL}$	Tarifa eléctrica
$T_{aSOLD}$	Tarifa soldador
$TIG$	Tungsten Inert Gas
$T_{INY}$	Tiempo que tarda en inyectar la junta
$V$	Voltaje
$V_e$	Velocidad que posee el objeto en el momento del impacto
$V_{eINY}$	Velocidad de inyección
$V_{eREC}$	Velocidad de soldeo o de recorrido
$V_{Sp=1.2mm}$	Volumen chapa de espesor 1.2 mm
$V_{Sp=1.5mm}$	Volumen chapa de espesor 1.5 mm
$\rho_a$	Densidad del acero



# LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Vierteaguas (Izquierda) y mecanizado tapa pasacables (derecha).....	31
Figura 2 Disposición bisagra Fija y Reversible.....	32
Figura 3 Refuerzos perfiles DIN en puerta .....	33
Figura 4 Cuarto de vuelta con inserto y Cuartos de vuelta con palomilla.....	34
Figura 5 Cierre de tres puntos .....	34
Figura 6 Cabezales de Insertos.....	35
Figura 7 Retenedor de puertas.....	35
Figura 8 Inyección de junta líquida.....	36
Figura 9 Tapa pasacables .....	37
Figura 10 Junta troquelada en EPDM .....	38
Figura 11 Membrana pasacables .....	39
Figura 12 Tapa pasacables corredera .....	39
Figura 13 Placa de montaje .....	40
Figura 14 Tapa de montaje perforada (Izquierda) y ciega (Derecha) .....	40
Figura 15 Trenza de cobre estañado (Izquierda) y cable de cobre con terminales (derecha).....	41
Figura 16 Disposición del zócalo .....	45
Figura 17 Kit montaje zócalo .....	45
Figura 18 Métodos de transporte: Cáncamo (Izquierda), escuadras (centro) y barras (derecha)	46
Figura 19 Armarios de fijación mural .....	46
Figura 20 Kit de fijación mural .....	47
Figura 21 Armario empotrado.....	47
Figura 22 Armario fijado sobre poste .....	48
Figura 23 Armario tipo columna.....	50
Figura 24 Armario tipo pupitre .....	50

Figura 25 Armario tipo caja .....	51
Figura 26 Armario tipo multicaja.....	51
Figura 27 Armario modular tipo sobresuelo (Izquierda) y mural (Derecha) .....	53
Figura 28 Disposición del Código IP .....	54
Figura 29 Armario Rack 19" 27U .....	60
Figura 30 Caja de Bornes .....	61
Figura 31 Cuadro de mando .....	61
Figura 32 Tapa ventilador (Izquierda) y ventilador (Derecha) .....	62
Figura 33 Armario de fijación mural con puerta transparente .....	63
Figura 34 Tejadillo para armario.....	63
Figura 35 Branquias de ventilación para armario .....	64
Figura 36 Armario autoportante con Bastidor pivotante.....	64
Figura 37 Chasis modular .....	65
Figura 38 Perfiles en caja mural.....	65
Figura 39 De Izquierda a derecha: Perfil Simétrico Liso, Perfil en G troquelado y Perfil en C troquelado.....	66
Figura 40 Perfil tipo Rack .....	66
Figura 41 Tapón de estanqueidad en ABS transparente.....	75
Figura 42 Construcción de la caja.....	76
Figura 43 Bisagra inicial .....	77
Figura 44 Cierre de cuarto de vuelta inicial .....	77
Figura 45 Bisagra modelo atornillable al lateral del vierteaguas .....	81
Figura 46 Bisagra seleccionada.....	81
Figura 47 Junta de estanqueidad para nueva bisagra .....	82
Figura 48 Nuevo sistema de cierre seleccionado .....	82
Figura 49 Nuevo sistema de cierre de tres puntos.....	83

Figura 50 Pieza de poliéster para realizar un cierre hermético en la parte media de la caja .....	85
Figura 51 Medida y extrusión de la plancha posterior .....	89
Figura 52 Elaboración de la envuelta mediante la herramienta Pliegue Recubierto .....	90
Figura 53 Elaboración pliegue interior.....	90
Figura 54 Elaboración de los pliegues frontales y posteriores .....	91
Figura 55 Elaboración de los pliegues del vierteaguas y cierre de esquinas .....	91
Figura 56 Elaboración mecanizados para bisagras.....	92
Figura 57 Elaboración de matriz de embutición y embutición de la envuelta .....	92
Figura 58 Soldadura sobre la cara interna de la envuelta.....	93
Figura 59 Ensamblaje plancha posterior y envuelta.....	94
Figura 60 Medida y elaboración de la puerta .....	94
Figura 61 Medidas mecanizado para cierre cuarto de vuelta .....	95
Figura 62 Esquina de la puerta soldada.....	95
Figura 63 Medida y elaboración envuelta caja rediseñada.....	96
Figura 64 Elaboración de los diferentes pliegues y cierre de esquinas para la nueva caja .....	97
Figura 65 Medidas de los mecanizados para la nueva caja .....	98
Figura 66 Elaboración de matriz de embutición y embutición de la nueva envuelta.....	98
Figura 67 Soldaduras sobre las diferentes zonas de la nueva envuelta .....	99
Figura 68 Puerta con guías de varillas .....	100
Figura 69 Mecanizado del vierteaguas para pieza de estanqueidad en cajas de dos puertas ....	100
Figura 70 Medidas del troquel y pliegue para puertas .....	101
Figura 71 Medidas del martillo y representación gráfica del ensayo IK.....	105
Figura 72 Introducción del material base para filtrado de materiales .....	108
Figura 73 Introducción de la elongación mínima para filtrado de material .....	108
Figura 74 Introducción del precio máximo para filtrado de material.....	108
Figura 75 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material .....	109

Figura 76 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado .....	109
Figura 77 Nomenclaturas del acero AISI 1010.....	110
Figura 78 Nomenclaturas del acero AISI 1015 .....	111
Figura 79 Comparativa de precios entre los diferentes materiales a determinar.....	113
Figura 80 Introducción del material base para filtrado de materiales .....	114
Figura 81 Introducción de los precios máximos para filtrado de materiales.....	114
Figura 82 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material .....	115
Figura 83 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado .....	115
Figura 84 Comparativa de precios entre los diferentes materiales a determinar.....	116
Figura 85 Introducción forma y material para filtrado de materiales.....	117
Figura 86 Introducción de los precios máximos para filtrado de materiales.....	117
Figura 87 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material .....	117
Figura 88 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado .....	118
Figura 89 Garra de fijación mural .....	119
Figura 90 Ensamblaje parte fija-vástago bisagra inicial (izquierda) y bisagra comercial (derecha) .....	120
Figura 91 Selección del tipo de estudio .....	121
Figura 92 Parámetro de estudio: piezas.....	121
Figura 93 Parámetro de estudio: elección del material .....	122
Figura 94 Parámetro de estudio: contacto entre componentes .....	122
Figura 95 Parámetro de estudio: sujeciones .....	123
Figura 96 Parámetro de estudio: Cargas externas .....	124
Figura 97 Parámetro de estudio: mallado.....	124
Figura 98 Vista de los ensamblajes una vez creado el mallado .....	125
Figura 99 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la bisagra inicial .....	125
Figura 100 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la bisagra comercial .....	126

Figura 101 Resultado de la deformación unitaria en el análisis estático sobre la bisagra inicial .....	127
Figura 102 Resultado de la deformación unitaria en el análisis estático sobre la bisagra comercial .....	128
Figura 103 Croquis de la cabeza del martillo sobre la cara posterior de la envuelta rediseñada .....	129
Figura 104 Parámetro de estudio: elección del material .....	130
Figura 105 Parámetro de estudio: contacto entre componentes .....	130
Figura 106 Parámetro de estudio: sujeciones .....	131
Figura 107 Parámetro de estudio: Cargas externas .....	131
Figura 108 Vista de las envueltas una vez creado el mallado .....	132
Figura 109 Resultados de las tensiones en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial.....	132
Figura 110 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la envuelta rediseñada ....	133
Figura 111 Resultado de la deformación unitaria en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial .....	133
Figura 112 Resultado de la deformación unitaria en el análisis a impacto sobre la envuelta rediseñada.....	134
Figura 113 Resultado del factor de seguridad en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial .....	135
Figura 114 Resultado del factor de seguridad en el análisis a impacto sobre la envuelta rediseñada .....	135
Figura 115 Procesos destinados al conformado de chapas metálicas.....	137
Figura 116 Proceso de cizallado/guillotinado .....	138
Figura 117 Proceso de Punzonado .....	139
Figura 118 Proceso de embutición .....	141
Figura 119 Proceso de conformado en prensa.....	141
Figura 120 Procesos destinados a la unión de chapas .....	142
Figura 121 Proceso de soldadura fuerte/débil .....	143

Figura 122 Proceso de soldadura TIG.....	144
Figura 123 Proceso de soldadura MIG.....	145
Figura 124 Comparativa costes Proceso de soldadura MIG vs TIG .....	146
Figura 125 Proceso de pintura electroestática.....	147
Figura 126 Proceso de inyección reactiva.....	149
Figura 127 Especificaciones para soldar Esquinas y cantos en acero con un espesor máximo de 1.6 mm.....	154
Figura 128 Factor de operación según el método de fabricación .....	155
Figura 129 Factor de operación en función del proceso de soldadura .....	155



# LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones para cuadros instalados en interior .....	49
Tabla 2 Condiciones para cuadros instalados en exterior .....	49
Tabla 3 Letra suplementaria Grado de Protección IP.....	55
Tabla 4 Clasificación zonas peligrosas según NEMA 250 .....	56
Tabla 5 Comparación de aplicaciones de envolventes de uso interior .....	57
Tabla 6 Comparación de aplicaciones de envolventes de uso exterior .....	58
Tabla 7 Comparativa Grado protección IP vs Grado de protección NEMA.....	58
Tabla 8 Dimensiones de la gama de caja eléctricas actual.....	79
Tabla 9 Dimensiones de la nueva familia de cajas de dos puertas.....	85
Tabla 10 Dimensiones de la nueva gama de cajas eléctricas .....	87
Tabla 11 Datos para realizar los ensayos IK .....	105
Tabla 12 Composición química del acero AISI 1010 en forma de chapa según norma UNE-EN 10130:2008.....	110
Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero AISI 1010 en forma de chapa según norma UNE-EN 10130:2008.....	111
Tabla 14 Comparativa de la composición química entre los aceros AISI 1010 y AISI 1015 ...	111
Tabla 15 Comparativa de las propiedades mecánicas entre los aceros AISI 1010 y AISI 1015	112
Tabla 16 Composición química del acero HC260Y.....	112
Tabla 17 Propiedades mecánicas del acero HC260Y.....	112
Tabla 18 Costes de producción .....	153
Tabla 19 Costes de soldadura TIG .....	156
Tabla 20 Coste de tornillería .....	158
Tabla 21 Comparativa tiempos de fabricación.....	160
Tabla 22 PVP de una caja eléctrica de dimensiones 800x800x300 .....	161



# **I. INTRODUCCIÓN**



## I.1. DEFINICIÓN.

El cuadro es un elemento importante de la seguridad de una instalación eléctrica. Se compone de varias partes: bornes, embarrado, apartamentas, conexionado, soportes, etc. Cada parte agrupa a todos los elementos mecánicos y eléctricos que concurren en su función. Es un eslabón importante de la cadena de seguridad de una instalación; en consecuencia, el tipo de cuadro a instalar estará perfectamente adaptado a la aplicación para la cual ha sido elaborada. Su diseño y su realización debe estar conforme a la Directiva y el Reglamento de Baja Tensión. Por ser un punto vital de la instalación, es de las partes en que incide más la normativa y las reglas del arte del buen hacer.

La envolvente de los cuadros ofrece una doble protección:

- La protección de la apartamentas<sup>1</sup> contra las vibraciones, choques mecánicos, la polución y diversas agresiones externas.
- La protección de las personas contra los contactos eléctricos.

Este sistema debe ser montado de manera que cumpla los requisitos de seguridad y realice de forma óptima las funciones para las cuales ha sido diseñado.

En un cuadro es posible distinguir las siguientes partes: una caja, denominada envolvente conforme a las normas (y cuya función es el soporte y la protección mecánica de los componentes que alberga), y el equipo eléctrico, formado por los aparatos, las conexiones internas y los terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación.

Una envolvente (vacío), también llamado caja eléctrica o armario eléctrico se define, en relación a terminología eléctrica, como una cubierta prevista para el soporte e instalación de apartamentas eléctrica en su espacio interno y que procura en este espacio interior un grado de protección adecuado contra las influencias externas y un grado de protección específico frente al acercamiento o el contacto con las partes activas y contra el contacto con partes en movimiento. El diseño se adecúa a criterios constructivos y maniobrabilidad, pero también se ha de tener en cuenta la parte estética ya que la envolvente es la única parte del equipo eléctrico que puede ver por el usuario.

---

<sup>1</sup> conjunto de aparatos de maniobra, de regulación y control, de medida, incluidos los accesorios de las canalizaciones eléctricas, utilizados en las instalaciones eléctricas, cualquiera que sea su tensión.

## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Las envolventes de los equipos eléctricos constituyen preventiva y funcionalmente un elemento importante por cuanto deben garantizar una protección contra contactos eléctricos directos de las personas y, a su vez, una protección del propio equipo contra penetración de agentes ambientales sólidos y líquidos (código IP) y contra los impactos mecánicos externos (código IK), evitando deterioros que puedan afectar a la seguridad de los usuarios o al funcionamiento y longevidad del aparato. El grado de protección, queda regido en función de la reglamentación del organismo IEC (International Electrotechnical Commission) y bajo las normas:

- Código IP: IEC EN 60529, que es equivalente a la norma europea *UNE-EN 20324 2014: Grados de protección proporcionados por las envolventes.*
- Código IK: *UNE-EN 50102 2002: Grado de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK).*

Otro organismo competente para la calificación del grado de protección de las envolventes es NEMA (National Electrical Manufacturers Association) que promueve la competitividad de todos los productos de la industria eléctrica de los EE.UU. a través del desarrollo, la defensa en las legislaturas federal y estatal y las agencias ejecutivas, y la recolección y el análisis de datos económicos. Dentro de esta institución es la Norma 250 la que hace referencia a la protección de las envolventes.

## I.2. PARTES.

El sistema queda conformado principalmente por cuatro elementos: cubierta, puerta, placa pasacables y placa de montaje. A continuación, se detallarán las partes que componen un envolvente eléctrico.

### **I.2.1. Cubierta.**

Parte exterior de la envolvente que proporciona el grado de protección. Se integra en el mismo los siguientes componentes: el registro para paso de cables, los diferentes troqueles para colocar la placa de montaje, así como los sistemas de fijación tanto para los elementos de fijación mural, como para los de fijación a suelo; además de cualquier mecanizado para accesorios opcionales. También se encuentra en la parte frontal el vierteaguas<sup>2</sup>.



*Figura 1 Vierteaguas (Izquierda) y mecanizado tapa pasacables (derecha)*

Como componente externo a la envuelta encontramos el juego de bisagras [1]. Una bisagra es un herraje compuesto de dos piezas unidas entre sí por un eje o un mecanismo de forma que, fijadas a dos elementos, permiten el giro de uno respecto al otro. Lo usado generalmente para fijar la puerta a la envolvente son las bisagras desmontables, que permiten desmontar la unión sin quitar los tornillos con un grado máximo de apertura de 120° o 135° como máximo. Tienen un

---

<sup>2</sup> Resguardo, formando plano inclinado para escurrir las aguas llovedizas, que se sitúa en puertas y ventanas.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

pasador que al quitarlo desmonta la bisagra. Se pueden desmontar y montar cuantas veces se desee.

La disposición constructiva aplicable a un armario eléctrico, puede ser de dos tipos: fija o reversible.

- Fija: la bisagra se ubica en un lado del armario (por lo general el derecho), sin poder variar su posición. En esta distribución, la bisagra quedará tanto soldada a la envolvente como soldada a la puerta.
- Reversible: la envuelta tiene el mecanizado para atornillar las bisagras en ambos lados del marco por lo que permite ensamblar la puerta para que abra tanto de izquierda a derecha como viceversa (de derecha a izquierda), cambiando la unión de la puerta. En este tipo de distribución, la parte fijada a la envuelta será atornillada; mientras que la parte fijada a la puerta quedará soldada.

Si bien, el número de bisagras no queda definido en ninguna norma (si lo hace en diferentes organismos de certificación), por lo general, se emplean dos bisagras hasta que el armario supere los 800 mm donde se emplean tres bisagras. Las dimensiones, el grado de apertura, así como el material, varían en función de las necesidades constructivas del fabricante o del comprador.



*Figura 2 Disposición bisagra Fija y Reversible*



## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

### **I.2.2. Puerta.**

Cubierta de cierre de la envolvente. En la puerta, al igual que en la envolvente, podemos encontrar mecanizados para los accesorios, así como los troqueles para la tornillería de las bisagras (si fueran necesarios). A nivel constructivo, cuando un armario tiene dos puertas, la puerta donde se ubica el cierre (puerta derecha) se llama puerta normal, mientras que la puerta donde cae y cierra (puerta izquierda) se denomina puerta invertida. En el conjunto de la puerta, podemos encontrar: perfiles o marco de refuerzo si son necesarios, el sistema de cierre y la junta de estanqueidad.

El uso de un marco de refuerzo, otorga más seguridad y consistencia, sobre todo en armarios de gran envergadura; permitiendo, además, la instalación de componentes en la misma.



*Figura 3 Refuerzos perfiles DIN en puerta*

Por lo que respecta a los mecanismos de cierre, los fabricantes de armarios emplean dos tipos de cierre: el cierre de cuarto de vuelta y el cierre de tres puntos. [2]

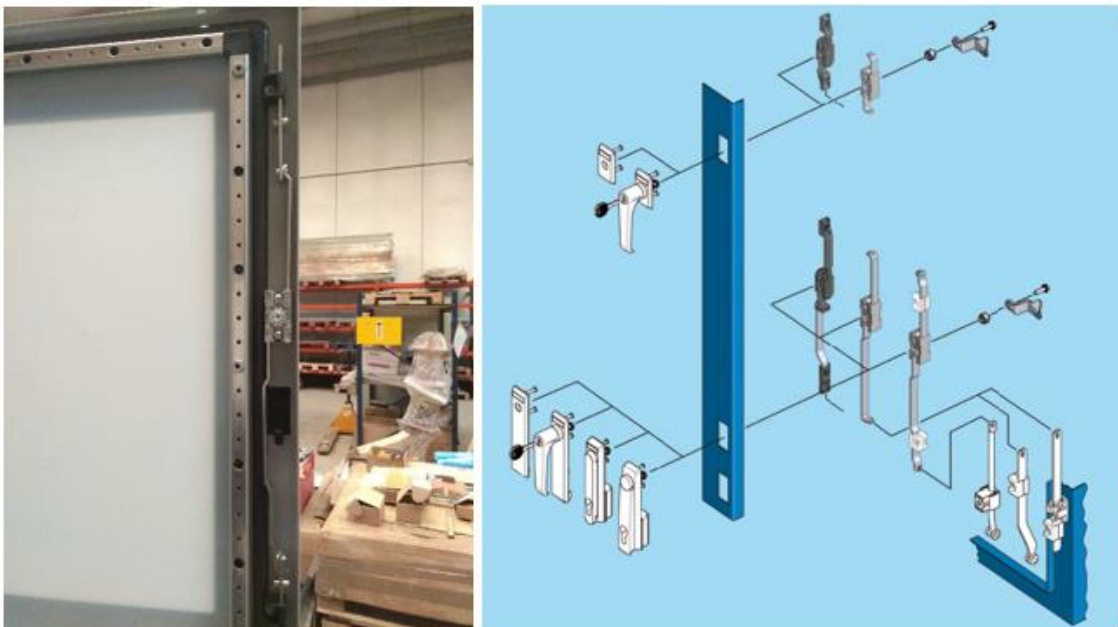
Los cierres de cuarto de vuelta, permiten el cierre rápido, estanco y seguro incluso en entornos con fuertes vibraciones. Este tipo de cierre se suministra, generalmente, en armarios de dimensiones media-pequeñas y con una sola puerta. A pesar de que el número de cierres no queda definido en ninguna norma, generalmente se añade un segundo cuando la puerta excede los 500 mm de altura.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 4 Cuarto de vuelta con inserto y Cuartos de vuelta con palomilla*

Los cierres de 3 puntos o Control de Varillas proporcionan una mayor resistencia al controlar múltiples puntos de cierre desde un único punto de accionamiento. Al instalarse en un armario, los puntos de cierre añadidos en los extremos de los paneles de puerta proporcionan una mayor resistencia y seguridad, eliminando puntos para forzar, posibles pandeos y vibraciones. El cierre de varillas se emplea principalmente en armarios altos (a partir de 1000 mm) o en armarios con dos puertas.

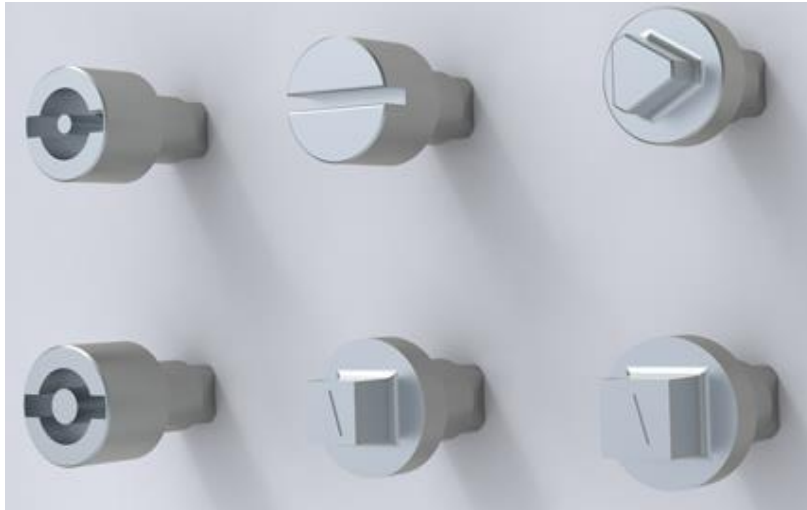


*Figura 5 Cierre de tres puntos*

En ambos cierres, los diferentes componentes que conforman el cierre, así como sus materiales, pueden variar para adaptarse a las necesidades tanto constructivas como demandadas

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

por el comprador. Entre estos componentes destaca la cerradura ya que puede ser con llave o con inserto, lo que ofrece un amplio abanico de cierres.



*Figura 6 Cabezales de Insertos*

Aparte del mecanismo de cierre, en lo referente a sistemas de cierre, los fabricantes suelen ofertar como accesorio opcional los retenedores de puertas. El retén, impide que la puerta se cierre de forma inesperada, lo que aumenta la seguridad en el trabajo. Se emplea para asegurar la puerta en una posición abierta a los grados que el usuario requiera. Se puede montar en la parte superior o inferior del armario. Requiere de mecanizado tanto en la puerta como en la envuelta para poder ser atornillado.



*Figura 7 Retenedor de puertas*

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

La junta de estanqueidad de elevada calidad queda directamente aplicada sobre los componentes a sellar mediante inyección, se procesan gracias a los equipos dosificadores-mezcladores de dos componentes y a baja presión. Los fabricantes de envoltentes emplean dos polímeros para realizar sus juntas en armarios eléctricos:

- Silicona: La silicona es un polímero inorgánico derivado del polisiloxano. Destaca por su capacidad para crear juntas de estanqueidad. El material no se decolora (o se amarillenta) con el tiempo y tiene alta resistencia al oxígeno, ozono y a la luz ultravioleta (UV). Otras propiedades de la silicona que hacen que sea una opción popular son su capacidad de adhesión y de flexión, haciéndola un material de larga duración y resistente al moho. Al ser un material inorgánico es el material empleado cuando el armario sea destinado al sector alimentario o farmacéutico.
- Poliuretano: El poliuretano (PU) es un polímero que ofrecen una excelente adherencia sobre todo tipo de materiales, se pueden pintar, duran más y resisten a la intemperie con lo que sus resistencias a tracción, abrasión, ozono y temperaturas extremas es elevada. Cumple con aspectos tales como estanqueidad, resistencia a la fisuración, adherencia, permeabilidad y estabilidad física y química por lo que es el más empleado para elaborar juntas de estanqueidad. Se caracteriza por:



*Figura 8 Inyección de junta líquida*

### **I.2.3. Placa pasacables.**

Elemento desmontable de la envoltente destinado a asegurar la colocación y la estanqueidad de los cables, de los conductores o de los conductos en los puntos de entrada. Esta tapa puede estar embutida y atornillada (quedando a ras con el resto de la envoltente) o no

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

(sobresaliendo de la envolvente). Dependiendo de las medidas de anchura del armario se realizan una o dos tapas, permaneciendo su estanqueidad gracias a la junta de estanqueidad. La tapa queda fijada mediante tornillos.



*Figura 9 Tapa pasacables*

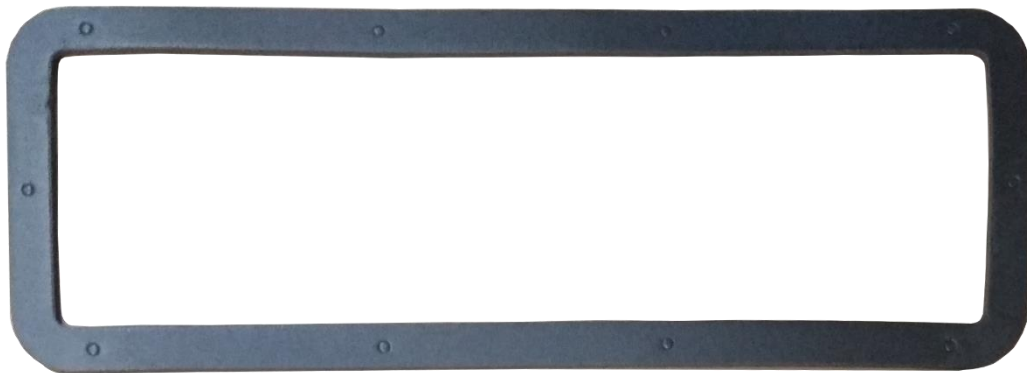
En cuanto a las características constructivas, puede ser ciega o puede quedar troquelada para permitir el paso de diferentes elementos en función de la necesidad del comprador. El material de la misma suele ser el mismo del que se ha fabricado el envolvente.

En lo referente a la junta de estanqueidad, en el mercado podemos encontrar dos propuestas: junta inyectada de poliuretano (del mismo modo que la junta de las puertas) o añadiendo una junta troquelada de acuerdo con las medidas de la tapa y el troquel al que vaya atornillada. Si bien no hay un estándar en cuanto al material de este tipo de juntas, los más usuales son:

- Caucho de Polietileno Propileno Dieno Monómero (EPDM): El EPDM es un elastómero. Las juntas fabricadas en este compuesto, tienen una resistencia muy buena a los agentes atmosféricos, ácidos y álcalis, y a los productos químicos en general, manteniendo sus propiedades en un rango de temperatura de entre  $-40$  y  $150^{\circ}$  C. Sin embargo, son susceptibles al ataque por aceites o petróleos. Además, son buenos aislantes eléctricos. Los elementos fabricados con EPDM ofrecen una excelente resistencia al calor, al agua, al vapor, al ozono y a los rayos UV y buenas propiedades de flexibilidad incluso con bajas temperaturas.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- El polietileno de baja densidad (PEBD): El polietileno de baja densidad (LDPE) es un polímero que pertenece a la familia de los polímeros olefínicos, es decir que se deriva de la polimerización de las olefinas<sup>3</sup>. El polietileno de baja densidad se caracteriza por presentar una elevada resistencia térmica, química y frente a impacto además de poseer una mayor flexibilidad en comparación con el polietileno de alta densidad.
- El polietileno de alta densidad (PEAD): El HDPE toma su denominación de sus siglas en inglés (High Density Polyethylene) y a veces también es llamado PEAD (Polietileno de Alta Densidad). Entre sus características están su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos. Los productos y agentes químicos, así como los ácidos, no le provocan daño, y también soporta temperaturas del agua por encima del centenar de grados.



*Figura 10 Junta troquelada en EPDM*

Otro tipo de placas pasacables son las membranas para entrada de cables o las tapas pasacables correderas.

- Membranas para entrada de cables: fabricadas en ETP (elastómero termoplástico) garantizando una muy buena estanqueidad (hasta un IP66) y una gran resistencia al fuego. Permite introducir los cables y tuberías en ángulo de manera sencilla sin herramientas, lo que ayuda a mantener el índice de protección del armario.

---

<sup>3</sup>Compuestos químicos que contienen por lo menos un doble enlace carbono – carbono. Sin embargo, el término olefinas está siendo reemplazado por el término alquenos.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 11 Membrana pasacables*

- Tapas pasacables correderas: empleadas principalmente en armarios modulares o de grandes alturas, permite la entrada de cables entre ellas y son fácilmente desplazables.



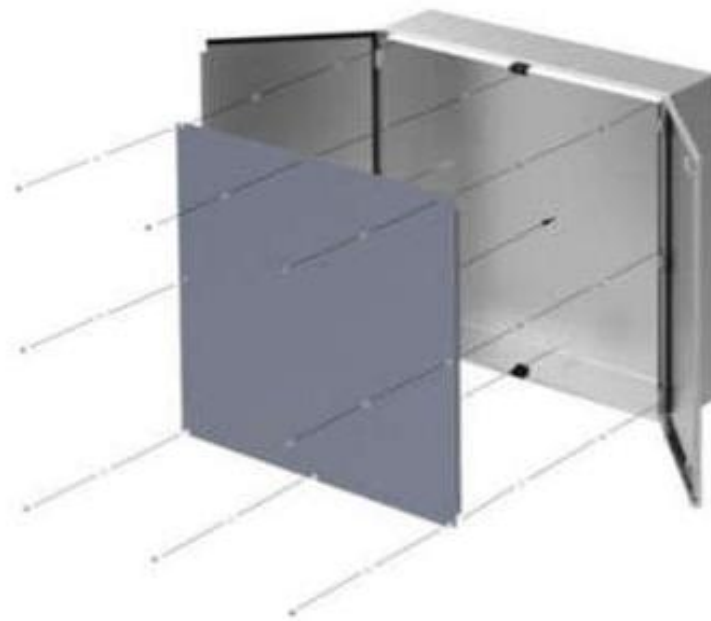
*Figura 12 Tapa pasacables corredera*

#### **I.2.4. Placa de montaje.**

Acceso interior separable de la envolvente destinado al montaje de los componentes eléctricos. La placa quedará atornillada en la zona deseada por el comprador y quedará regulada y separada de la envolvente mediante distanciadores.



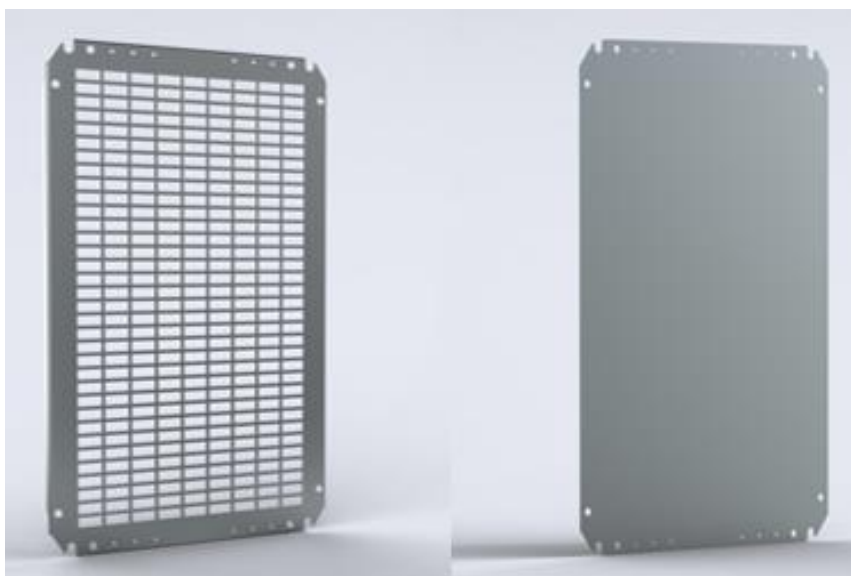
Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 13 Placa de montaje*

Con el fin de adaptarse de la mejor manera posible a las necesidades del cliente, podemos encontrar dos disposiciones contractivas: ciega o perforada.

- Placa de montaje ciega: se puede mecanizar con facilidad y equiparse con los componentes antes de montarla.
- Placa de montaje perforada: la bandeja queda servida totalmente troquelada, lo que facilita el montaje de los componentes empleando tuercas enjauladas.



*Figura 14 Tapa de montaje perforada (Izquierda) y ciega (Derecha)*



## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

En cuanto a las características constructivas cabe destacar que, si bien no está establecido por norma, los puntos de anclaje de la placa con el envolvente serán cuatro mientras no supere los 700 mm en donde pasarán a ser seis. Normalmente los cantos están redondeados o matados (biselados) para evitar cortes o lesiones a la hora de ser manipulado. Los materiales de fabricación son:

- Acero inoxidable: se emplea para tapar y proteger los componentes electrónicos y evitar su manipulación.
- Acero galvanizado: es el más común. Con un baño de zinc, está protegido contra corrosión y es de fácil mecanizado. Es el material utilizado generalmente para este tipo de placas
- Baquelita: se utiliza para aislar los diferentes componentes sujetos en la placa. Empleado únicamente si el envoltorio es plástico.

### **I.2.5. Conexiones a tomatierra.**

Tanto las tapas pasacables como las puertas deberán tener una conexión a la toma tierra del armario según la norma UNE EN 62208 “*Envolventes vacías destinadas a los conjuntos de aparata de baja tensión*”. La conexión se realiza por medio de pernos soldados a los diferentes elementos externos a la envolvente y unidos mediante un cable de conexión. El material del perno será de acero inoxidable o de cobre; sin embargo, este último no se suele usar en armarios pintados ya que al realizarse el secado en hornos de la pintura alcanza temperaturas de entre 180 °C y 200°C produciendo la aparición de óxido en el mismo. Para el conexionado se emplea o un cable de cobre con terminales; o bien, mediante una trenza de cobre electrolítico estañado.



*Figura 15 Trenza de cobre estañado (Izquierda) y cable de cobre con terminales (derecha)*

## I.3. CLASIFICACIÓN.

Las envolventes se clasifican según la Norma UNE EN 62208 “*Envolventes vacías destinadas a los conjuntos de aparamenta de baja tensión*” y la Norma IEC 61439-1:2011 “*Conjuntos de aparamenta de baja tensión*” según:

### **I.3.1. Funcionalidad.**

Si bien la funcionalidad [3] del armario viene dada más bien por los accesorios que por el diseño de la envolvente, podemos encontrar la siguiente división:

Armarios de distribución: su principal misión es la distribución de energía hacia diferentes circuitos. Realizan también la función de protección de instalaciones.

Armarios de automatismo y control: su función es la de realizar las maniobras de un determinado proceso. Realizan la conexión y desconexión de motores (cambiando de estrella a triángulo mediante contactores), de condensadores (para mejorar el factor de potencia cuando sea necesario), etc.

Armarios de Instalaciones de Telecomunicaciones: su función es la de alojar sistemas informáticos y redes de telecomunicaciones manteniendo los diferentes dispositivos en sus temperaturas óptimas de funcionamiento.

### **I.3.2. Tipo de material.**

#### **I.3.2.1. Aislante.**

Se emplean para cajas de pequeña y media dimensiones. Están fabricados en su mayoría de poliéster prensado en caliente, reforzado con fibra de vidrio, aunque también se pueden encontrar armarios fabricados en policarbonato y poliestireno.

- Policarbonato y poliestireno: son objeto de formulaciones químicas específicas (coadyuvantes anti UV, retardantes al fuego, plastificantes anti choques...) además de estar libres de halógenos. Estos materiales son resistentes a temperaturas de -35°C hasta +120°C en el caso del policarbonato, y las cajas de poliestireno de -10°C hasta +70°C. Su elevada resistencia frente a agentes externos permite emplearse en medios húmedos, químicos y/o agresivos. Las cajas de policarbonato presentan una mayor resistencia frente a impacto que la de poliestireno.

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- Poliéster: El poliéster reforzado de fibras de vidrio presenta, además de sus calidades de aislamiento eléctrico, una elevada resistencia a los agentes químicos y corrosivos, combinada a excelentes resultados mecánicos. Sus calidades de resistencia al fuego y su temperatura máxima de utilización sin interrupción (85°C) le permiten numerosos usos además de permitir su instalación en ambiente interior o exterior, para los medios industriales más agresivos (químicos, petróleo, siderurgias...) y también, para las aplicaciones marinas (borde de mar, plataformas...). Las cajas de poliéster pueden soportar temperaturas desde -50°C hasta +150°C.

#### **I.3.2.2. Metal.**

Empleado para cualquier tipo y dimensión de cuadro. Estos armarios pueden subdividirse en aceros al carbono no aleados y aceros inoxidables.

El primero de ellos se caracteriza por ser un material barato y fácil de manipular, además de presentar generalmente buenas resistencias frente a impacto. Los materiales más empleados dentro de la familia de aceros al carbono no aleados son:

- Chapa Fría laminada: también llamada Blanca, es la chapa laminada en caliente previamente a la cual se la somete a un proceso de reducción de espesor, teniendo más aptitud a ser conformada y un mejor aspecto en su superficie. Esta clase de chapas son utilizadas en sectores como la automoción, cartelería, embalajes metálicos, carpintería metálica...
- Chapa Negra: chapa de acero producida mediante laminación en caliente sin tratamiento alguno.
- Chapa Galvanizada: elaborada como resultado del recubrimiento con una película de zinc en la chapa negra, protegiéndola así de la oxidación y dotándola de gran adherencia y espesor homogéneo, además de mejorar su resistencia frente a elementos externos. Se emplean por ejemplo en la fabricación de cubiertas metálicas, conductos de refrigeración, electrodomésticos, silos, estanterías...
- Chapa Decapada: lamina resultante de someter a la chapa negra a un proceso de limpieza superficial dejándola libre de incrustaciones y óxido. Tanto la chapa negra como decapada en sus diferentes calidades, es la considerada de mayor uso y consumo, siendo la materia prima del resto de ellas y la que más aplicaciones tiene en la industria en general.

## Desarrollo de una nueva gama de envolvertes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Tanto las chapas Negras como Decapadas podemos encontrarlas en los almacenes de distribución en formatos estándar que suelen ser 2000x1000, 2500x1250, 3000x1500, 6000x1500, 3000x2000 y 6000x2000 mm. Espesores superiores desde 1.5 mm hasta 12 y 15 mm.

Las galvanizadas y las laminadas en frío suelen comercializarse en formatos 2000x1000, 3000x1250 y 3000x1500 mm. En cuanto a espesores de galvanizadas encontraremos 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.5, 2 y 3 mm. Para las blancas o frías suelen empezar en 0.8 hasta los 3 mm.

Independientemente de los formatos comerciales, todas ellas pueden suministrarse en largos y anchos específicos en función de las necesidades del cliente.

Además, las chapas de acero, se suelen recubrir de una pintura en base poliéster o epoxi. El acero revestido de poliéster permite múltiples empleos en ambientes interiores secos o húmedos o en exteriores además de permitir en ambientes más agresivos. Presenta una excelente resistencia a los choques, a las rayas y al desgaste mecánico en general. La gama de utilización térmica es muy amplia y va de - 40°C a + 100°C. El comportamiento ante la corrosión de los recubrimientos de poliéster es excelente.

En cuanto a los aceros inoxidable, tienen también una resistencia excepcional a las bacterias y a los microorganismos (mohos, setas) que lo hace estar presente en todas actividades agroalimentarias, farmacéuticas, hospitalarias o de laboratorios. Cabe destacar que, al contrariamente al acero, no presenta debilitamiento a baja temperatura. Generalmente los aceros inoxidable más empelados son:

- AISI 304: buena resistencia ante los medios naturales y moderadamente agresivos, en presencia moderada de cloruros o ácidos (límites en el sector agroalimentario: vinos, mostaza...).
- AISI 316 L: excelente resistencia en los medios químicos ácidos y clorados.

### **I.3.3. Modo de fijación.**

Como modo de fijación, son aquellas disposiciones en las que se puede encontrar un armario o caja. Cada una de estos sistemas tendrán sus modos de anclaje a su respectiva superficie.

#### **I.3.3.1. Sobre suelo o autoportantes.**

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Armarios fijados a suelo mediante tornillería. Pueden ser móviles o fijos, siendo además el tipo de armario que mayores dimensiones alcanza. Están fabricados principalmente en acero al carbono no aleado.



Figura 16 Disposición del zócalo

Este tipo de armarios tiene como accesorio opcional y particular el zócalo. Éste, eleva el armario del suelo y consigue un alojamiento extra para la entrada de cables, aumentando, además, la separación entre el suelo y la puerta. Son fácilmente desmontables en frontal y laterales



Figura 17 Kit montaje zócalo

Para mejorar el traslado y la maniobrabilidad de los armarios de grandes dimensiones, se añade como accesorio un juego de cáncamos. Estos quedan regulados por el DIN 580, y quedan directamente atornillados en los ejes verticales del montante contribuyendo enormemente a la robustez durante el transporte. Generalmente la métrica empleada es M12 y soporta una carga máxima de 1000 kg (entre los 4); para mayores cargas o armarios multicajas, se emplean escuadras de elevación (con una carga máxima de 2400 kg) o barras de elevación (con una carga máxima de 7200 kg)

Desarrollo de una nueva gama de envoltorios metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 18 Métodos de transporte: Cáncamo (Izquierda), escuadras (centro) y barras (derecha)*

**I.3.3.2. Sobre pared o de fijación mural.**

[4] Destinada fundamentalmente a instalaciones eléctricas industriales, como envoltorio de los equipos de medición, transmisión, señalización y control de la instalación o como envoltorio de todos aquellos equipos necesarios para la coordinación de las diferentes corrientes eléctricas. El diseño y la fabricación de esta línea de productos es lo suficientemente flexible como para adaptarse a ejecuciones especiales que requieran dimensiones concretas de acuerdo a los requisitos del usuario y de las instalaciones.



*Figura 19 Armarios de fijación mural*

El sistema de fijación del armario o la caja a muro se realiza, generalmente, de dos maneras distintas:

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- Directamente a través de las cuatro esquinas de la caja mediante un kit de fijación mural. Las cajas montadas en la pared se pueden instalar fácilmente en el campo sin necesidad de acceso interno.
- Directamente en el fondo del armario con tornillos y capuchón aislante de protección



Figura 20 Kit de fijación mural

**I.3.3.3. Montaje empotrado.**

Caja destinada a ubicarse en el interior de muros, máquinas o dispositivos de protección. Estos armarios están diseñados para su aplicación en el sector doméstico y comercial; principalmente para ubicar los fusibles y diferenciales de un hogar. Las dimensiones de estas cajas son reducidas (menores al medio metro) y ofrecen un grado de protección medio frente a caída agua IP30-IP40 y un grado de protección frente a impacto elevado. En cuanto al material de fabricación, el más usado por los fabricantes es el ABS. Los rangos de temperatura que soporta sin perder su estructura funcional son desde  $-25^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .



Figura 21 Armario empotrado

## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

En estos armarios el diseño y la estética tienen un gran peso en su producción ya que son los empleados en los cuadros de luces de una vivienda y se diseña para ser visible.

### **I.3.3.4. Sobre poste.**

En ocasiones la colocación del armario no es habitual teniéndose que adaptar al entorno o a ciertas necesidades arquitectónicas. El armario queda fijado por un kit de fijación a poste formado por dos perfiles y dos flejes. Las cajas se pueden instalar en aplicaciones donde no hay superficies planas de montaje y se pueden montar más arriba en un poste que considere el panel inaccesible, para minimizar los posibles problemas de seguridad.



*Figura 22 Armario fijado sobre poste*

### **I.3.4. Lugar previsto de utilización.**

En lo referente a la ubicación del armario, la norma establece dos diferenciaciones: cuadros o armarios destinados a instalarse en una zona de interior (como son viviendas o fábricas) o cuadros o armarios destinados a instalarse en el exterior (como son las cajas de alumbrado público)

#### **I.3.4.1. Cuadro para instalación en interior.**

Se trata de cuadros diseñados para su uso en lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales en este tipo de ambiente especificadas en la norma. Estas quedan resumidas en la tabla mostrada a continuación.



Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
50% /a una temperatura máxima de 40 °C)  90% (a una temperatura máxima de 20°C)	Temperatura máxima $\leq 40$ °C	2000 m como máximo
	Medida de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35$ °C	
	Temperatura mínima $\geq -5$ °C	

*Tabla 1 Condiciones para cuadros instalados en interior*

### I.3.4.2. Cuadro para instalación en exterior.

Cuadro diseñado para usar en lugares donde se cumplen las condiciones de servicio normales para uso en exterior especificados en la norma. Estos son:

Humedad relativa	Temperatura ambiente del aire	Altitud
100% temporalmente (a una temperatura máxima de 25 °C)	Temperatura máxima $\leq 40$ °C	2000 m como máximo
	Medida de temperatura máxima durante un periodo de 24 h $\leq 35$ °C	
	Temperatura mínima $\geq -25$ °C clima templado	
	Temperatura mínima $\geq -50$ °C clima ártico	

*Tabla 2 Condiciones para cuadros instalados en exterior*

### I.3.5. Diseño externo.

A nivel externo, los sistemas de protección de aparata eléctrica se dividen y nombra de diferente forma en función de su diseño exterior. La subdivisión encontrada en norma y la más generalizada por los fabricantes de armarios eléctricos son:

#### I.3.5.1. Tipo armario (columna).

Se utilizan para grandes equipos de distribución y control. Estos, son los de mayor envergadura.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 23 Armario tipo columna*

**I.3.5.2. Tipo pupitre.**

Se utilizan para controlar maquinas o instalaciones complejas en la industria mecánica, siderometalúrgica o química.



*Figura 24 Armario tipo pupitre*

**I.3.5.3. Tipo caja.**

Destinados a su instalación en un plano vertical (pared), sea sobresaliendo o empotrado; estos cuadros se utilizan principalmente para la distribución en departamentos o áreas en entornos industriales o del sector servicios.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 25 Armario tipo caja*

**I.3.5.4. Tipo multicaja.**

Se trata de la combinación de cajas, generalmente del tipo protegido y con bridas de sujeción, que se atornillan entre sí para formar un envolvente mayor. Cada una de las cuales alberga una unidad funcional que puede ser un interruptor automático, un arrancador o un conector acompañado de un interruptor automático de bloqueo o protección. De este modo se crea una serie de compartimentos, unidos mecánicamente entre sí con o sin una estructura de soporte común.



*Figura 26 Armario tipo multicaja*

### **I.3.6. Diseño constructivo.**

Diseño constructivo se alude al modo en el que está ideada la producción y elaboración de una cubierta protectora de aparatación eléctrica o armario eléctrico, refiriéndose siempre al diseño externo de la envuelta. Encontramos las siguientes disposiciones:

#### **I.3.6.1. Armario Compacto.**

Desde cajas de dimensiones reducidas a grandes armarios de fijación al suelo, un armario compacto [5], también conocido como armario monobloc, se caracteriza por estar conformado por una sola pieza; es decir, la envolvente se elabora en una sola pieza con un mecanizado para la entrada pasacables y una abertura frontal para el acceso al interior protegida por la puerta.

Con este tipo de composición se consigue una gran robustez además de proporcionar los grados de protección IK e IP (frente a impacto y frente a estanqueidad) más elevados; lo que lo hace ideal para instalarse tanto en zonas interiores como exteriores y en entornos frente a cualquier agente externo (elevado porcentaje de salinidad, elevado porcentaje de humedad, suciedad, polvo, etc.).

A nivel constructivo, los armarios producidos en materiales metálicos están fabricados sobre una chapa la cual queda plegada y soldada conforme al diseño deseado; mientras que, en los materiales aislantes, se fabrica directamente sobre un molde inyectado.

#### **I.3.6.2. Armario Modular.**

Un armario modular, también llamado armario combinable, es un mueble de fácil manejo, que se puede mover con facilidad y puede ser reutilizado en numerosas combinaciones cambiando de forma rápida y sencilla los componentes de su interior gracias a que se pueden desmontar prácticamente todas las caras del mismo siendo las tapas laterales atornillables a la estructura. Además, queda conformado por una estructura de perfiles DIN o Rack que permite la instalación de todos los componentes y la puerta frontal suele ser reversible.

Tras la construcción de la estructura se acoplan los módulos solicitados. Esto da al armario mayor consistencia y facilita el montaje del resto de los componentes de la envolvente, que se realiza atornillada. Pero la gran ventaja de este armario es la versatilidad que proporciona respecto a los usos, además de la gran cantidad de accesorios adaptados.

## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Las dimensiones de este tipo de armarios son muy amplias y pueden ser tanto de fijación a suelo como de fijación mural.

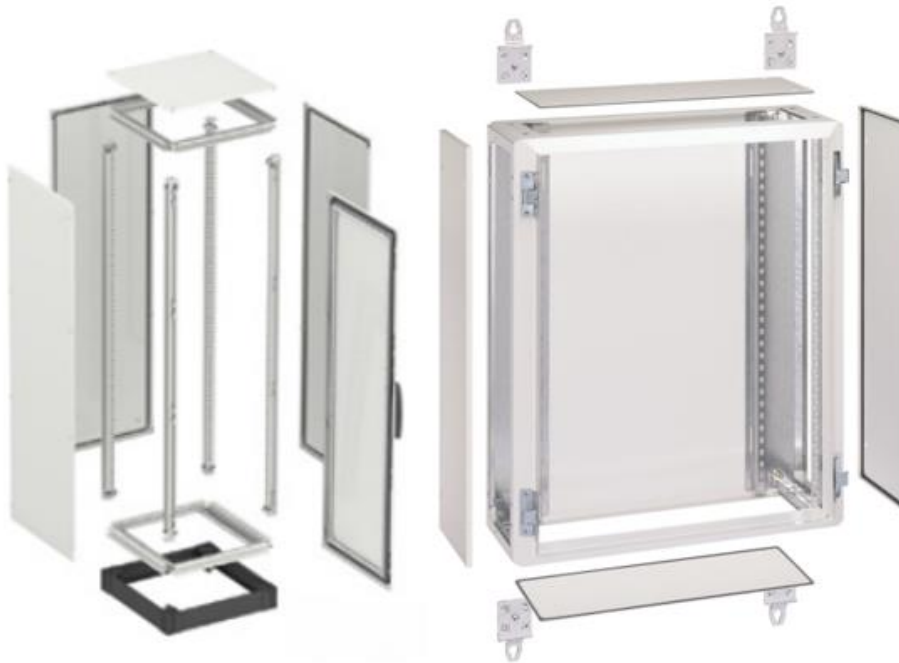


Figura 27 Armario modular tipo sobresuelo (Izquierda) y mural (Derecha)

### **I.3.7. Grado de protección.**

Según norma, el grado de protección se determina por el Código IP y el Código IK; en este apartado se ha añadido la clasificación NEMA ya que los fabricantes de envolventes emplean esta codificación de manera generalizada.

#### **I.3.7.1. Código IP.**

El código IP [6] es el sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por una envolvente contra el acceso a partes peligrosas, la penetración de cuerpos sólidos extraños, la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. El código está formado por las letras IP seguidas de dos números de una cifra y a veces de una o dos letras opcionales que proporcionan información adicional. Cuando se requiera más de una letra suplementaria, se ordenarán alfabéticamente.

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

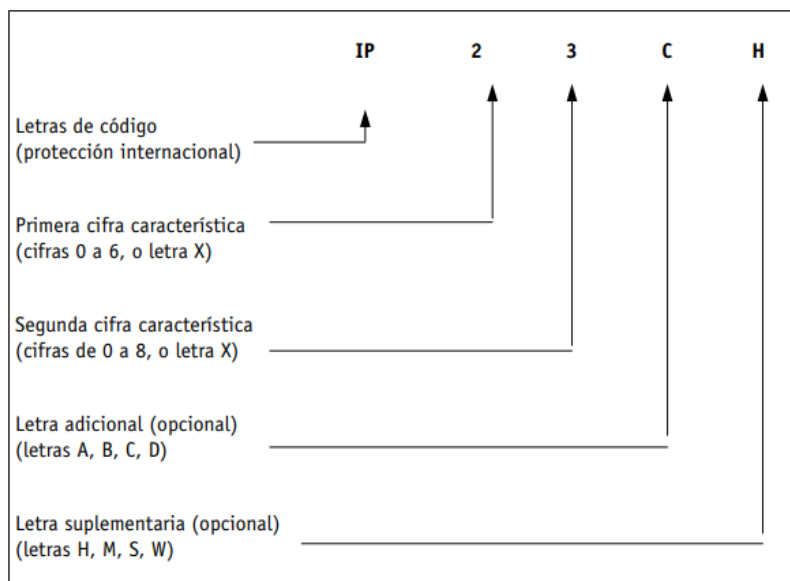


Figura 28 Disposición del Código IP

En lo que se refiere a los armarios, el grado de protección es válido para todo el armario, montado e instalado según su uso habitual (con puerta cerrada); si se hiciera alguna modificación; la seguridad de los elementos instalados en el interior quedará a cargo del cliente. Cada cifra del código representa una propiedad del armario, por ello entraremos más en profundidad en el significado de estos:

Primera cifra característica: la primera cifra indica tanto la protección de las personas contra el acceso a las partes peligrosas de la envoltente, impidiendo o limitando la entrada de una parte del cuerpo humano o un objeto cogido por este; como la protección contra la penetración de cuerpos sólidos extraños. El valor que toma es de 0 a 6, siendo 0 un “No protegido” y 6 una caja “Totalmente estanca frente al polvo” (cuerpo sólido más pequeño).

Segunda cifra característica: indica el grado de protección de la envuelta frente a los efectos nocivos debidos a la penetración del agua. El rango de valores es de 0 a 8, siendo 0 “No protegido” y 8 “Protegido contra los efectos de la inmersión prolongada en agua”.

Letra adicional: proporciona información extra sobre el grado de protección referente a personas contra el acceso a las partes peligrosas del armario; es decir, la distancia que queda entre las zonas de accesibilidad de la envuelta y las partes peligrosas. Se emplea cuando la protección es más efectiva que la indicada por la primera cifra. Se identifican con los códigos A, B, C, D y su significado se corresponde respectivamente con el de las cifras 1, 2, 3, 4.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

**Letras suplementarias:** de carácter opcional, indican que el producto, además del respectivo grado de protección, satisface unas condiciones particulares. Las letras tienen el siguiente significado:

Letra	Significado
H	Aparatos de alta tensión
M	Ensayado frente a los efectos dañinos debidos a la penetración de agua, cuando las partes móviles del interior del armario están en movimiento.
S	Ensayado frente a los efectos dañinos debidos a la penetración de agua, cuando las partes móviles del interior del armario no están en movimiento.
W	Adecuado para ser utilizado en condiciones atmosféricas específicas y dotado de medidas o procedimientos de protección adicionales.

*Tabla 3 Letra suplementaria Grado de Protección IP*

### **I.3.7.2. Grado IK.**

El código IK indica el grado de protección proporcionada por las envolventes eléctricas contra los impactos mecánicos externos. Se designa con un valor número que varía desde 0 hasta 10; a medida que el número va aumentando indica que la energía del impacto mecánico necesaria para romper el envoltorio es mayor. Este número siempre va formado por dos cifras.

### **I.3.7.3. NEMA 250.**

La National Electrical Manufacturers Association (NEMA)[7] establece en la NEMA 250 “*Enclosures for Electrical Equipment (1000 Volts Maximum)*” qué envolventes son aptos para instalaciones tanto sea en lugares interiores o en lugares a la intemperie; además indica qué envolventes son aptos para instalaciones en lugares clasificados como con riesgo de explosión según la normativa americana.

Las envolventes para ser empleados en lugares no peligrosos quedarán divididas en:

- Envolventes destinadas a instalarse en interiores: Tipo 1, Tipo 2 Tipo 5, Tipo 12, Tipo 12K y Tipo 13
- Envolventes destinadas a instalarse tanto en zonas interiores como en exteriores: Tipo 3, Tipo 3R, Tipo 3S, Tipo 4, Tipo 4X y Tipo 6

Desarrollo de una nueva gama de envolvertes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Al igual que en los grados de protección mencionados con anterioridad, a medida que el valor asciende, el grado de protección tanto a las personas contra el contacto accidental o fortuito; como frente a elementos externos tales como basura, agua – en diferentes grados de intensidad, desde salpicaduras hasta lluvia intensa – líquidos corrosivos, hielo o polvo.

De forma similar define a los envolvertes destinados a áreas peligrosas – entendiendo por áreas peligrosas cualquier zona con riesgo de fuego y explosiones, lugares mojados, húmedos y condensaciones o áreas corrosivas – como:

- Envolvertes destinadas a instalarse en interiores: Tipo 7 y Tipo 9
- Envolvertes destinadas a instalarse en exteriores: Tipo 8
- Envolvertes para aplicaciones mineras: Tipo 10

El Tipo 10 hace referencia aquellas envolvertes construida de acuerdo a los requisitos de la “Mine Safety and Health Administration” (MSHA). Destinadas a minas de carbón para atmosferas con gases, proporcionando u grado de protección frente a explosiones.

Por otro lado, las áreas peligrosas también están categorizadas según las condiciones que se den en las mismas; a su vez, las clases se subdividen en función del material que haya en esta zona. Esta división quedará según la siguiente tabla:

CLASE	DEFINICIÓN	GRUPO
CLASE I	Zonas con presencia de gases inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o inflamables	Grupo A: Acetileno
		Grupo B: Gases derivados del Hidrogeno
		Grupo C: Éter etílico, etileno, etc.
		Grupo D: Gasolina, propano, gas natural, butano, etc.
CLASE II	Zonas con presencia de polvos combustibles	Grupo E: Polvos metálicos combustibles, Aluminio y Magnesio
		Grupo F: Polvos carbonáceos combustibles
		Grupo G: Harina, madera, plástico y productos químicos
CLASE III	Zonas con presencia de fibras fácilmente inflamables	

*Tabla 4 Clasificación zonas peligrosas según NEMA 250*



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

En cuanto a los categorías o Tipos que cumplen estas condiciones, tenemos que la Clase I, abarca tanto el Tipo 7 como el Tipo 8 y las Clases II y III, quedan dentro del Tipo 9.

A continuación, se muestran unas tablas que recogen toda la información referente a la protección ofrecida por cada tipo

Condición de la protección	Tipo de envoltente								
	1	2	4	4X	5	6	6P	12(K)	13
Basura que cae	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Líquidos que caen y salpicaduras ligeras	-	X	X	X	X	X	X	X	X
Polvo circulando, pelusa, fibras y partículas	-	-	X	X	-	X	X	X	X
Asentamiento de polvo llevado por el aire, pelusa, fibras y partículas volátiles*	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Riego y salpicaduras de agua	-	-	X	X	-	X	X	-	-
Filtración de aceite y refrigerante	-	-	-	-	-	-	-	X	X
Aspersión y salpicadura de aceite o refrigerante	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Agentes corrosivos	-	-	-	X	-	-	X	-	-
Inmersión ocasional temporal	-	-	-	-	-	X	X	-	-
Inmersión prolongada ocasional	-	-	-	-	-	-	X	-	-

*Tabla 5 Comparación de aplicaciones de envoltentes de uso interior*

\* Estas fibras y partículas volátiles son de materiales no peligrosos y no se consideran del tipo de fibras inflamables o partículas volátiles combustibles

Condición de la protección	Tipo de envoltente				
	3	3R	3S	4	4X
Lluvia, nieve, aguanieve	X	X	X	X	X
Aguanieve (Mecanismo de funcionamiento externo funcional con hielo)	-	-	X	-	-

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Polvo llevado por el viento	X	-	X	X	X
Riego	-	-	-	X	X
Agentes corrosivos	-	-	-	-	X

*Tabla 6 Comparación de aplicaciones de envoltentes de uso exterior*

**I.3.7.4. Grado protección IP vs. Grado protección NEMA.**

[8]En cuanto a las diferencias entre la clasificación de los grados de protección entre la normativa europea (Código IP) y la americana (Nema 250) tenemos que:

- La clasificación IP, no especifica un grado de protección contra el riesgo de explosión o efectos producidos por la humedad, vapores corrosivos, hongos o insectos.
- La clasificación NEMA no está probado para condiciones ambientales como corrosión, oxidación, aceite y líquidos refrigerantes.

La tabla mostrada a continuación, provee una referencia cruzada entre ambos métodos de clasificación. Esta referencia cruzada es una aproximación basada en las pruebas que se realizan sobre el armario; no está aprobada ni avalada por ningún organismo.

Tipo protección NEMA	Sistema de clasificación de protecciones según IEC 529							
	IP23	IP30	IP32	IP55	IP64	IP65	IP66	IP67
Tipo 1	X							
Tipo 2		X						
Tipo 3					X			
Tipo 3R			X					
Tipo 3S					X			
Tipo 4							X	
Tipo 4X							X	
Tipo 6								X
Tipo 12				X				
Tipo 13						X		

*Tabla 7 Comparativa Grado protección IP vs Grado de protección NEMA*

### **I.3.8. Otras clasificaciones.**

Si bien, la anterior clasificación es la indicada por las normas mencionadas, en el mercado, los fabricantes tienen establecidas una serie de armarios que, pudiendo definirse dentro de alguno de los tipos de armarios ya mencionados, tienen una serie de características propias las cuales los diferencian del resto. Estos armarios son:

#### **I.3.8.1. Armario Rack.**

Se considera armario rack a aquella estructura metálica o soporte fabricado con la finalidad de alojar sistemas informáticos y/o redes de telecomunicación. Sus dimensiones están normalizadas para que sea compatible con cualquier equipo electrónico del mercado

Habitualmente se tratan de armarios de construcción modulares, por lo que se permite la entrada por los laterales y generalmente están fabricados en acero; además, la puerta suele ser de cristal para permitir comprobar el correcto funcionamiento de los componentes alojados en su interior sin necesidad de abrirlo.

En el mercado encontramos modelos tanto de fijación autoportante como de fijación mural y disponen de gran variedad de accesorios para facilitar la instalación de los equipos tales como bandejas, paneles, guías para cables, regletas de alimentación eléctrica o unidades de ventilación entre otros.

La construcción de este tipo de armario busca la máxima autoventilación posible ya que la aparamenta que vaya a ser instalada en su interior, desprende mucho calor y necesita de una correcta aireación para mantener una temperatura óptima.

En cuanto al rango de dimensiones, tiene un amplio abanico de tamaños. Cabe destacar que las alturas tanto los dispositivos diseñados para ser instalados en un armario rack, como el mismo armario expresan las dimensiones en U; una U, o unidad rack, equivale a 1.75 pulgadas o a 4.445 cm.

Los armarios rack se suelen instalar en zonas que necesitan alojar gran número de dispositivos y donde el espacio es limitado, como centros de proceso de datos. Todo el equipamiento a instalar se monta sobre bandejas con raíles horizontales y se fija con tornillos, lo que permite una fácil y ergonómica accesibilidad.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 29 Armario Rack 19" 27U*

### **I.3.8.2. Caja de bornes.**

También llamada caja de terminales, de derivación o de conexión (según el fabricante), se trata de una cubierta protectora para conexiones eléctricas, permitiendo una fácil accesibilidad para el técnico a la vez que impide la manipulación por parte de personal no cualificado. La tapa de acceso queda atornillada por lo que no se necesita ni cierre ni bisagras, aunque esto último se pueda ofertar su inclusión.

Las distintas opciones de tamaño (generalmente de dimensiones pequeñas) y materiales de las carcasas, así como la configuración con tipos de bornes y el número, ubicación y dimensiones de entradas pasacables conforme en función de las necesidades del cliente, garantizan la solución ideal para cualquier requisito de aplicación.

Las cajas son de diseño compacto e ideadas para ser duraderas. Se tratan de cajas destinadas a fijación mural e instalarse en cualquier tipo de entorno por lo que están probadas con un alto grado de protección tanto IP como IK. En este tipo de cajas, se suele ofertar carriles DIN en su interior en vez de la placa de montaje, para que el usuario pueda instalar los elementos eléctricos con mayor libertad y no se limite el espacio en su interior.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 30 Caja de Bornes*

**I.3.8.3. Cuadro de mando.**

Armarios o cajas ideados para la colocación de pantallas, botoneras, autómatas, ordenadores, etc. con el fin funcional de servir de zona de control y automatización de una máquina. Están diseñados para entrones industriales de caracterizados por ser zonas altamente agresivas; por lo que se necesita un alto grado de protección frente a agentes externos como polvo, suciedad y humedad.

A nivel constructivo, se tratan de armarios pequeños, donde prevalece un buen diseño estético y funcional, diferenciados del resto de tipos de armarios por tener ensamblado los diferentes accesorios necesarios para ensamblar un ordenador como son bandejas o perfiles, al igual que una puerta con cristal para poder visualizar la pantalla.

En cuanto a la fijación, suele estar fabricados para una fijación mural o sobre pedestal; por otra parte, se pueden añadir elementos adicionales para mejorar su maniobrabilidad y ergonomía como es un brazo móvil.



*Figura 31 Cuadro de mando*

## I.4. ACCESORIOS.

Los fabricantes de envolventes, ofertan diferentes accesorios opcionales[9] (aparte de los ya mencionados) con el fin de presentar un producto más personalizado y para que el armario se adapte lo mejor posible a las necesidades el consumidor. Así pues, algunos de los accesorios más ofertados son:

### **I.4.1 Accesorios para la gestión térmica de los armarios.**

Para evitar el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos en el interior de la envolvente, en algunas ocasiones es necesaria la ventilación del interior mediante un ventilador con filtro, forzando la entrada de aire a su interior y regulando la temperatura para que se mantenga a una temperatura óptima de funcionamiento.

El ventilador deberá de estar dotado con un elevado IP para garantizar la estanqueidad tanto en el ventilador como en el mecanizado de la envuelta. También se puede añadir una cubierta al mismo para mejorar su protección frente a agentes externos e impactos.



*Figura 32 Tapa ventilador (Izquierda) y ventilador (Derecha)*

### **I.4.2 Puerta transparente.**

Sustituye a la puerta estándar. Con esta puerta, se puede verificar el correcto funcionamiento de la aparamenta instalada en su interior sin necesidad de un acceso directo, lo que impide que el personal no autorizado pueda manipular la instalación y ayuda a mantener el índice de protección. Generalmente, los materiales empleados para el cristal son: por un lado, si

### Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

es para el sector alimenticio o farmacéutico, se emplea un cristal de seguridad 3 + 3 laminado lo que asegura que, de romperse, no caiga ningún trozo de cristal al interior; y por el otro, el cristal acrílico o el poliestireno.



*Figura 33 Armario de fijación mural con puerta transparente*

#### **I.4.3. Tejadillo.**

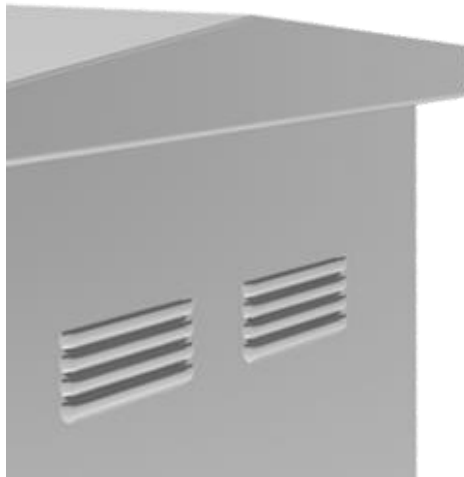
Gracias a la instalación de un techo inclinado mejora y garantiza la protección de los componentes instalados ya que evita que el agua de lluvia se acumule en la zona superior y caiga dentro del armario al proceder a su apertura. También son utilizados bien como protección frente a los UV evitando la acción directa de los rayos solares sobre el armario e incluso para evitar la disposición de elementos ajenos a la envuelta encima de esta.



*Figura 34 Tejadillo para armario*

#### **I.4.4. Branquias de ventilación.**

Colocados tanto en el frontal del armario, como en el lateral, permitiendo un perfecto flujo de aire en el interior del mismo. En combinación con un ventilador, garantiza una buena aireación.



*Figura 35 Branquias de ventilación para armario*

#### **I.4.5. Bastidor pivotante.**

Ideado para la soportar toda la instalación de la aparamenta eléctrica sobre el mismo, permitiendo un acceso a la zona posterior de la misma fácil y cómoda. Se caracteriza por fijación directa sobre el armario, con un sistema de cierre variable en función de las necesidades del cliente y un sistema de apertura reversible.



*Figura 36 Armario autoportante con Bastidor pivotante*



Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

#### **I.4.6. Chasis modular.**

El chasis modular para armarios eléctricos se utiliza para dividir el frontal de los armarios en varias secciones, diseñado para la instalación de diferenciales. Estos chasis, a diferencia de los armarios empotrables, pueden cablearse y montarse fuera del armario y posteriormente instalarse en el mismo. Este tipo de chasis se miden elementos o módulos (según fabricante), lo que equivale a la medida de un diferencial eléctrico (30 mm).



*Figura 37 Chasis modular*

#### **I.4.7. Perfiles y guías.**

Se tratan de soportes ideados para albergar los diferentes componentes eléctricos y conexiones permitiendo su ubicación de forma personalizable. Deben ser rígidos y resistentes a la corrosión por lo que su fabricación suele ser en acero galvanizado o en aluminio. Estos perfiles de montaje ofrecen posibilidades adicionales de montaje, lo que aumenta la flexibilidad a la hora de montar accesorios y componentes eléctricos.



*Figura 38 Perfiles en caja mural*

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Por su terminación, pueden ser lisos, o troquelados. En cuanto a su geometría, los perfiles se pueden dividir en tres grupos principalmente: Perfil Simétrico, Perfil Asimétrico (también denominado como Perfil en G), y Perfil Cuadrado (también denominado como Perfil en C).



Figura 39 De Izquierda a derecha: Perfil Simétrico Liso, Perfil en G troquelado y Perfil en C troquelado

Otro tipo de perfilería que podemos encontrar en el mercado son los perfiles de montaje para rack 19". Este tipo de perfiles, cumplen que la separación entre los perfiles del lado derecho e izquierdo mantendrán siempre la misma medida (19 pulgadas, 48.26 cm) independientemente de la medida exterior del armario. Su forma geométrica, así como la ampliación de troqueles, varía en función del fabricante y las necesidades del cliente, manteniendo siempre las dimensiones estándares.

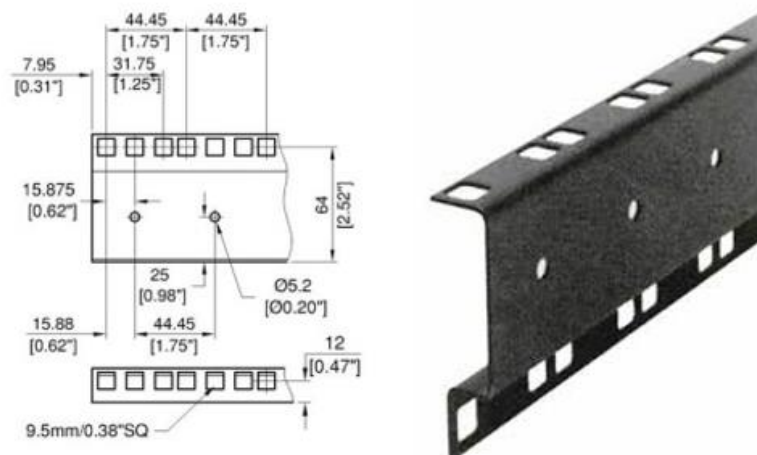


Figura 40 Perfil tipo Rack

Estos perfiles permiten cambiar un armario destinado a distribución de líneas a uno de instalación de telecomunicaciones.

## I.5. FASE DE MONTAJE.

Desde que los planos del cuadro eléctrico a montar llegan al taller de montaje hasta que el cuadro es acabado se suceden diversas etapas. Un proceso de montaje habitual podría ser el siguiente:

1. Una vez recibidos los planos con los requisitos del cliente, se estudia para determinar si es posible realizarse de tal forma; en caso contrario se contactaría con el cliente para determinar los cambios necesarios para poder realizarse.
2. Dado el visto bueno por ambas partes se procede a la fase de montaje del armario. El armario puede ser modular, con lo que sería necesario el ensamblaje de las diferentes caras; o compacto lo que o bien se elaboraría para el caso en concreto o se seleccionaría uno previamente fabricado del almacén. En el caso de fabricarse para este pedido, los mecanizados pertinentes en la envuelta se elaborarían en este punto.
3. Con el armario ya montado, se procede a realizar los mecanizados requeridos en las tapas, placas o en el armario en sí. Estos se realizan en función de las herramientas disponibles buscando la mayor optimización tanto de material como de número y tiempo de operaciones.
4. Finalmente se instalan los accesorios opcionales requeridos por el cliente tales como ventiladores o perfiles.

En este punto, el armario podrá ser servido y la instalación de los aparatos eléctricos quedará a cargo del instalador cualificado que el cliente contrate. Sin embargo, en el caso de que la finalidad del armario fuera para la distribución de energía (armarios de distribución), el cliente puede pedir que el cuadro venga con el embarrado montado; en este caso se fabricará en primer lugar el embarrado general dando la geometría adecuada para distribuir la potencia a los aparatos donde sea necesario y posteriormente se realiza el embarrado secundario apoyándose en los soportes aislantes correspondientes.



## **II. OBJETIVOS**



## II.1. OBJETIVO GENERAL.

Como se ha visto a lo largo del punto anterior, un armario eléctrico está formado por diferentes partes las cuales forman un sistema de protección que busca la seguridad del personal frente a componentes eléctricos. Es por ello que las características de los mismos están muy definidas por las diferentes normas relacionadas con este tipo de materia, así como el reglamento de baja tensión.

Por otro lado, la envolvente es el elemento donde los diferentes fabricantes pueden aportar su ingenio para hacer destacar su producto frente a la competencia.

A pesar de que el desarrollo de los armarios eléctricos queda muy definido y la situación del mercado es muy competitiva, el objetivo de este proyecto va enfocado directamente sobre dos líneas de productos de una de estas empresas constructoras. Por ello, y reduciendo el rango a estudio, se buscará las mejores soluciones para una gama en concreto de armarios de fijación mural procurando mejorar todas las partes del mismo para que modernizarlo y hacerlo más atractivo al cliente final.

## II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Análisis y estudio de la gama actualmente ofertada, en busca de las zonas clave donde centrar el rediseño
2. Prediseño de la nueva gama, determinando los elementos externos a la envuelta que se seleccionaran
3. Diseño y rediseño de una caja de fijación mural comparando el método antiguo y el nuevo haciendo hincapié en los detalles constructivos; todo ello, bajo la plataforma *SolidWorks*.
4. Análisis de las condiciones de estados tensionales teniendo como referente los niveles de seguridad definidos por normativa.
5. Elaboración de estudios estáticos y de impacto para verificar la mejoría en la pieza.
6. Estudio de fabricación y análisis de costes. Explicar detalladamente los procesos necesarios para el conformado de la pieza y elaborar un estudio económico que refleje los costes que supone su fabricación.





### **III. DESARROLLO PROYECTO**



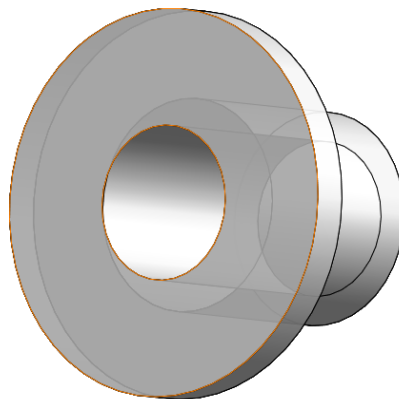
## III.1. ANÁLISIS DE LA GAMA.

Dado que se trata de un rediseño sobre una gama de producto, en primer lugar, se ha realizado un estudio de la pieza base, así como de la oferta que se encuentra en el mercado para poder establecer los puntos donde mejorar la gama.[10]

### **III.1.1. Gama Caja fijación mural inicial.**

Como se ha comentado en la introducción este tipo de cajas es el más versátil en cuanto a usos, así como el de mayor rango de dimensiones; es por ello, que esta serie busca abarcar el mayor abanico de dimensiones posibles con la singularidad de ofertarse todos los modelos de la gama en una única puerta. Está fabricada en chapa de acero y pintado con una pintura epoxy-poliéster para mejorar la impermeabilidad y la resistencia frente a corrosión y rayos UV. Para garantizar la estanqueidad se inyecta una junta sobre la puerta de tal forma que, al cerrar, quede presionada por el vierteaguas garantizando el cierre hermético del mismo.

A nivel de detalles constructivos, se trata de una caja fabricado en chapa de 1.2 mm de espesor la envuelta y de 1.5 mm la puerta (para mejorar la robustez frente a impacto), con puerta reversible por lo que encontramos los agujeros para bisagras en ambas partes del hueco de la caja. Otros troqueles a tener en cuenta son los agujeros posteriores para fijación, los cuales quedan determinados por las garras de fijación mural (producidas por una empresa externa con unas dimensiones estandarizadas). Cabe destacar que toda perforación ideada para atornillar otra pieza, en caso de no llevarla quedará cubierta por un tapón cilíndrico de ABS transparente que asegura la estanqueidad en el interior de la caja.

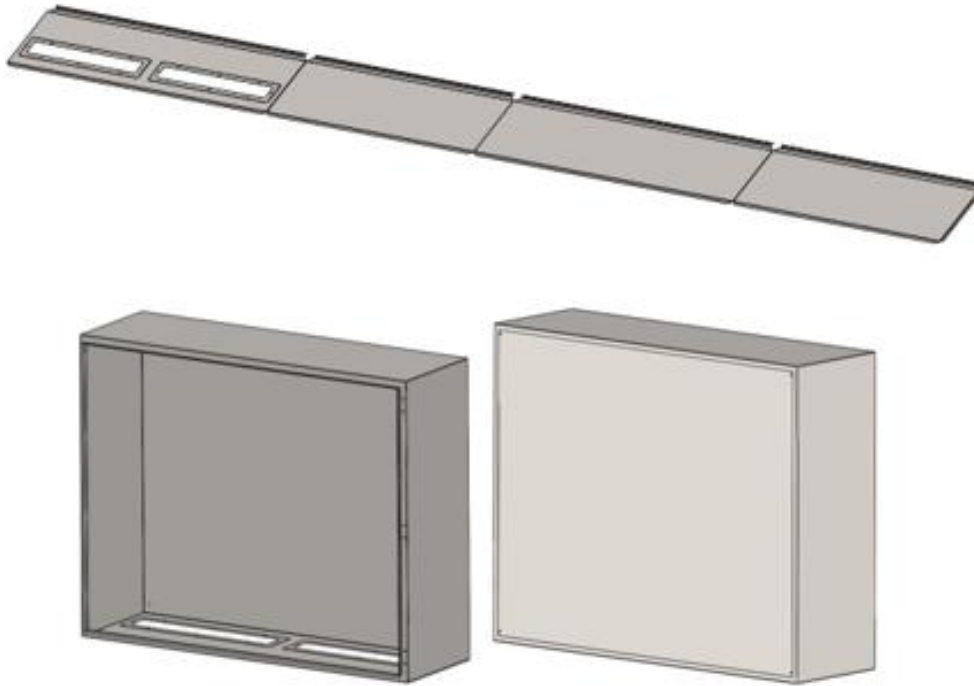


*Figura 41 Tapón de estanqueidad en ABS transparente*

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

En cuanto al tamaño y el número de mecanizados de las entradas de cables, así como de las tapas pasacables y sus juntas, varían en función de la longitud y de la profundidad de la caja.

Además, se caracteriza por estar fabricado en dos piezas por un lado a las cuatro paredes y por el otro el panel posterior quedando el uno soldado al otro.



*Figura 42 Construcción de la caja*

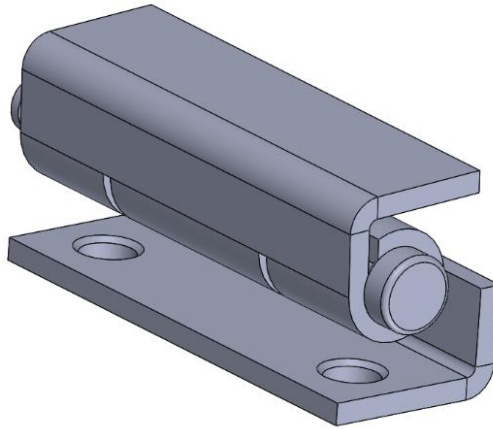
De este modo, se realiza una soldadura por el interior primero en la chapa plegada y posteriormente en la tapa posterior. Se observa como esta unión queda visible en la parte posterior de la caja.

A nivel externo a la envuelta, encontramos la placa de montaje, la bisagra y el sistema de cierre. La placa pasacables fabricada en chapa de acero galvanizado de 2 mm de espesor, aumenta o disminuye en función de las medidas internas de la caja pasando de 4 a 6 puntos de fijación cuando la caja excede los 700 mm de alto (ver planos en Anexo).

La bisagra está personalizada para este producto siendo de fabricación especial por un matricero desde hace décadas, debido a ello, el desgaste del molde aumenta los defectos de fabricación obligando a retocarlas previamente a su ensamblaje además de realizar agujeros

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

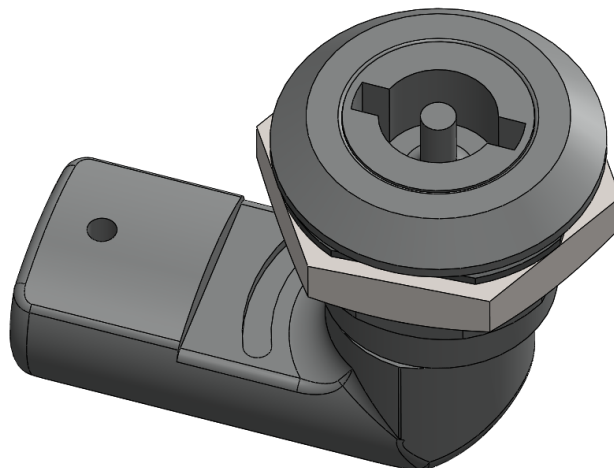
colisos<sup>4</sup> en la envuelta como medida preventiva permitiendo un ligero desplazamiento de la pieza para corregir las imperfecciones que pueda tener.



*Figura 43 Bisagra inicial*

El número de bisagras varía en función de la altura de la puerta siendo de dos para alturas inferiores a 700 mm y pasando a ser tres a partir de esta.

En cuanto al sistema de cierre, se emplea el cierre de cuarto de vuelta con lengüeta, ambos fabricados en poliamida con inserto de doble barra suministrados por una empresa externa a nivel mundial por lo que sus medidas están estandarizadas.



*Figura 44 Cierre de cuarto de vuelta inicial*

---

<sup>4</sup> Agujero que se forma al desplazar un cilindro linealmente, o también el agujero de forma rectangular, cuyos extremos están redondeados con semicircunferencias.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El número de cierres será de uno hasta una altura de 600 mm donde pasa a ser de dos.

Por último, cabe destacar que los pernos soldables. Estos se emplean por un lado para atornillar la placa de montaje a la envuelta. Y por el otro, como marca el reglamento de baja tensión, para hacer de toma tierra entre las diferentes partes de la caja; es decir, para hacer de puente entre la puerta y la envuelta. Estos pernos están fabricados en acero inoxidable ya que, en el proceso de pintado de la caja, la pintura se seca en un horno, por lo que si fuera de cobre se oxidaría ennegreciendo y estropeando el filo del perno.

Como resumen general, la gama de cajas de fijación mural tiene las siguientes medidas y características:

Dimensiones caja			Dimensiones Entrada Pasacables		Número Aperturas	Número Bisagras	Número Cierres
H	L	Pr	S	T			
250	200	150				2	1
300	250	150	170	86	1	2	1
300	250	200	170	86	1	2	1
300	300	150	220	120	1	2	1
300	300	200	220	120	1	2	1
400	300	150	220	120	1	2	1
400	300	200	220	120	1	2	1
400	400	200	320	120	1	2	1
400	600	250	220	120	1	2	2
500	400	150	320	120	1	2	2
500	400	200	320	120	1	2	2
500	400	250	320	120	1	2	2
500	500	250	420	120	1	2	2
600	400	150	320	120	1	2	2
600	400	200	420	120	1	2	2
600	500	150	320	120	1	2	2
600	500	200	420	120	1	2	2
600	500	250	420	120	1	2	2
600	600	250	220	120	1	2	2
600	600	300	220	120	1	2	2

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

700	500	200	420	120	1	3	2
700	500	250	420	120	1	3	2
800	600	200	220	120	2	3	2
800	600	250	220	120	2	3	2
800	600	300	220	120	2	3	2
800	800	200	320	120	2	3	2
800	800	300	320	120	2	3	2
1000	600	250	220	120	2	3	2
1000	600	300	220	120	2	3	2
1000	800	200	320	120	2	3	2
1000	800	250	320	120	2	3	2
1000	800	300	320	120	2	3	2
1000	1000	300	420	120	2	3	2
1200	800	300	320	120	2	3	2
1200	1000	300	420	120	2	3	2

*Tabla 8 Dimensiones de la gama de caja eléctricas actual*

### **III.1.2. Comparativa con el mercado.**

Si bien no se puede competir contra los grandes fabricantes de armarios eléctricos a nivel de precio ya que sus altos niveles de producción les permiten fijar unos precios muy bajos sin asumir ninguna pérdida, sí se puede mejorar las prestaciones del producto para que, a rangos de precios similares, el cliente se decante por una caja de mejores acabados que por una caja más económica.

Comprando esta gama de producto con las similares en otros fabricantes de cajas y armarios eléctricos encontramos dos zonas claves donde nuestro producto es inferior o no se adecúa a la oferta: las dimensiones placas pasacables y la ausencia de una familia de cajas de fijación mural de doble puerta dentro de esta gama.

Para el primero de ello se buscará unas dimensiones similares a las que se ofertan actualmente; de esta forma, no solo actualizaremos el producto a las necesidades del mercado actual, sino que, si el cliente busca una opción más personalizada para sus necesidades, se podrá ofertar un producto que abarque sus necesidades para la entrada de cables además de más personalizado que el de un fabricante internacional con medidas estandarizadas.

## III.2. PREDISEÑO DE LA NUEVA GAMA.

Estudiando la pieza inicial se ha determinado que, si bien las dimensiones exteriores del producto no van a alterarse para mantener la línea e identidad de la gama, así como la placa de montaje, los puntos a mejorar previos al diseño y que influenciarán en el mismo son:

1. Cambiar la bisagra de fabricación especial por una comercial.
2. Mejora del sistema de cierre.
3. Adaptación de las medidas de la placa pasacable, así como su mecanizado y junta a unas medidas más habituales en el mercado.
4. Establecer las bases de una familia de cajas de fijación mural de doble puerta.

### **III.2.1. Elección de bisagra comercial.**

La elección de una nueva bisagra comercial permitirá:

- Mejorar el acabado final del producto.
- Garantizar una bisagra con unos porcentajes de error mínimos reduciendo el tiempo empleado para la revisión y corrección de las mismas.
- Reducir los tiempos de espera entre la demanda de un lote de bisagras al fabricante y su recepción; ya que los fabricantes de bisagras tienen normalmente todas las bisagras en stock, mientras que al pedirla a un matricero particular este tiene que fabricarlas una vez se ha hecho la oferta, posteriormente serían llevadas a zincar (para protegerlas frente a oxidación y corrosión) y finalmente nos sería suministrada.
- Eliminar los agujeros colisos del vierteaguas realizados para corregir imperfecciones, reemplazándolos por agujeros pasantes permitiendo que los tapones empleados para taparlos cuando no se atornillen hagan un cierre hermético.

Entre las bisagras de diferentes fabricantes encontramos, por un lado, bisagras atornillables[11] al lateral del vierteaguas. El inconveniente de estas es que la cabeza del tornillo empleados para ensamblarla a la caja, reducirían la abertura para la entrada de los diferentes componentes que fueran a ser instalados en el interior de la caja.



Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

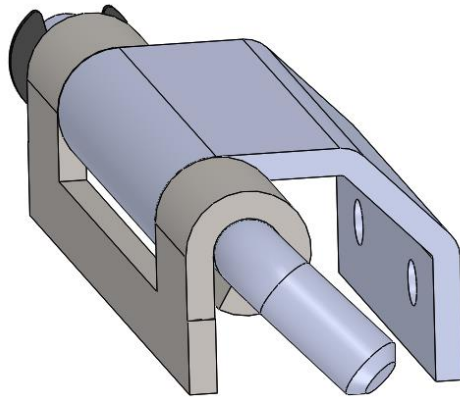


Figura 45 Bisagra modelo atornillable al lateral del vierteaguas

Otro factor empleado para limitar la cantidad de opciones es que la bisagra este ofertadas tanto en acero cincado (empleadas en esta gama) como en acero inoxidable, permitiendo que se pueda emplear también en una gama de envolventes fabricados en acero inoxidable destinado para el sector alimenticio o farmacéutico.

Además, la nueva bisagra se debe de asemejar lo máximo posible a la original ya que todo el diseño del vierteaguas varía en función de esta, pudiendo darse el caso de que el espacio de entrada disminuya tanto que las placas de montaje no entraran.

Con todo ello la opción que más se adecua sería la mostrada a continuación, la cual está fabricada en tanto en acero cincado como en acero inoxidable, además de tener solo un agujero para atornillar lo que reduce el número de troqueles que se le fuera a hacer a la envuelta.

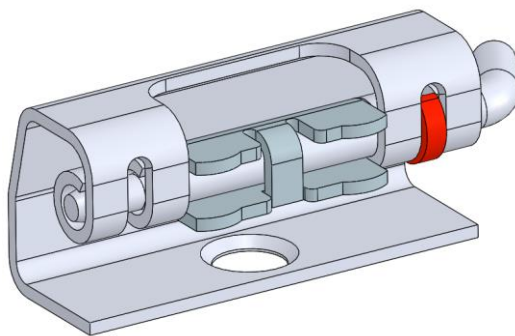
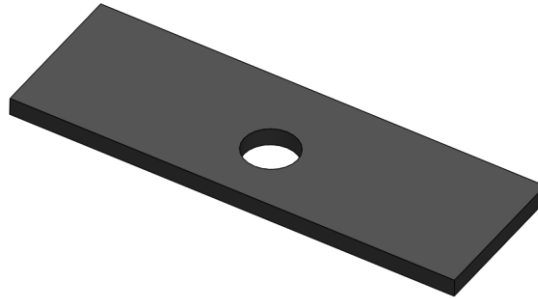


Figura 46 Bisagra seleccionada

En contra partida, es un poco más ancha y alta que la original por lo que tanto el vierteaguas como la puerta deberán de rediseñarse para adecuarse a la misma aumentando de 20 a 22 mm la anchura del vierteaguas y en 7 mm su altura y, por consiguiente, el dobléz de la puerta aumentará 5 mm.

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

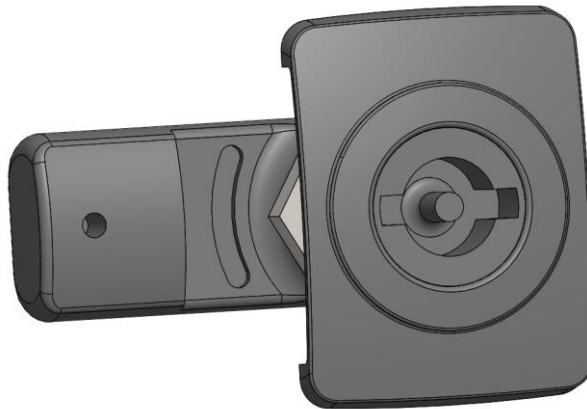
Finalmente, para mejorar el acabado final de producto y la estanqueidad a fin de conseguir un alto grado IP, se ha añadido una tira de junta de 2 mm de espesor con las dimensiones de la base de la bisagra.



*Figura 47 Junta de estanqueidad para nueva bisagra*

### **III.2.2. Elección de cierre.**

Para mejorar la calidad y presencia del cierre se ha decidido reemplazar el cierre de cuarto de vuelta simple fabricado en poliamida por un cierre de cuarto de vuelta con carcasa en poliamida manteniendo el mismo inserto. Además, la lengüeta deberá de aumentar su altura al haber aumentado la altura del vierteaguas por la bisagra.



*Figura 48 Nuevo sistema de cierre seleccionado*

Observando el comportamiento del producto en condiciones reales de uso y comparando los sistemas que se emplean en otros fabricantes, se ha determinado que el cierre de cuarto de vuelta pase a ser un cierre de tres puntos o de varillas a partir de los 1000 mm ya que, a partir de esta altura, un sistema de cierre de dos puntos ubicados en los extremos, muy separados el uno

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

del otro, es poco ergonómico (el operario debería de agacharse para abrir o cerrar uno y levantarse para el otro) y no cierra con fuerza la parte central de la caja.

El cierre de tres puntos estará conformado por los siguientes elementos:

- La misma carcasa exterior que el cierre de cuarto de vuelta para dar el mismo acabado a toda la gama.
- Un inserto de doble barra fabricado en Zamak ya que la fuerza de giro necesaria para abrir este tipo de cierres es mucho mayor que el cierre de cuarto de vuelta.
- Un adaptador de lengüetas para conexiones de varillas en acero con su respectiva lengüeta del mismo material de altura igual a la de poliamida en el cuarto de vuelta.
- Unas varillas redondas de acero cincado cortadas a la altura pertinente en función de la altura de la caja.
- Unas guías de varillas redondas de poliamida que se utilizarán para conducir las guías fijadas a la puerta por medio de unos pernos soldables.
- Un adaptador de varillas empleado para poder unir las varillas redondeas con el adaptador de lengüeta

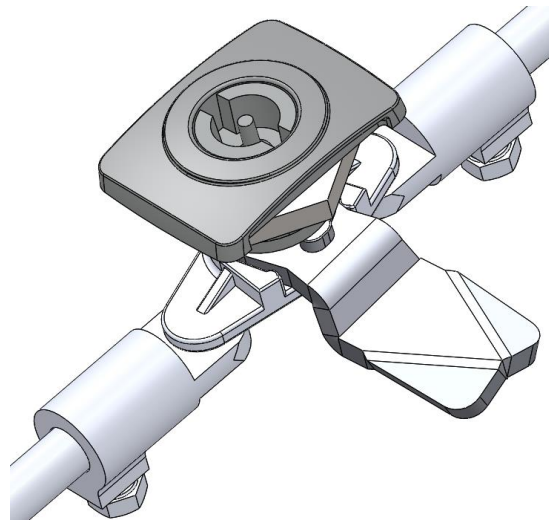


Figura 49 Nuevo sistema de cierre de tres puntos

Para el cálculo de la longitud L de la varilla con adaptador cuando el cierre está en el centro se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_{\text{varillas}} = \frac{\text{altura hueco de entrada} - 40}{2}$$

## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

### **III.2.3. Rediseño entrada pasacables.**

Si bien las dimensiones de estas entradas, así como el número de modelos varían en función del fabricante, es posible observar un patrón en estas que es similar en la mayoría de fabricantes.

Para adaptar nuestro producto al rango de dimensiones más comunes, procurando realizar el mínimo número de variantes, se ha decidido elaborar 5 tipos de entradas:

- Entrada de 120 x 65 mm: ideada para cajas más pequeñas de la gama.
- Entrada de 220 x 65 mm: ideada para cajas de ancho igual a 300 mm.
- Entrada de 320 x 65 mm: ideada para cajas superiores a 300 mm de ancho y de profundidad igual a 150 mm.
- Entrada de 320 x 95 mm: ideada para cajas de entre 400 a 500 mm y profundidades superiores a 150 mm.
- Entrada de 520 x 95 mm: ideada para cajas de longitudes igual o superior a 600 mm.

Las tapas al igual que las juntas serán 35 mm más anchas y altas que la dimensión de la entrada correspondiente ya que al ir embutidas las cajas se necesitan de esos 17.5 mm sobrantes en los lados del marco para poder atornillar la tapa.

### **III.2.4. Familia Cajas de fijación mural de doble puerta.**

Las dimensiones de este tipo de caja suelen respetarse en la mayoría de fabricantes. Estas cajas seguirán los mismos criterios establecidos anteriormente en cuanto al sistema de cierre y las bisagras, así como el número de estos.

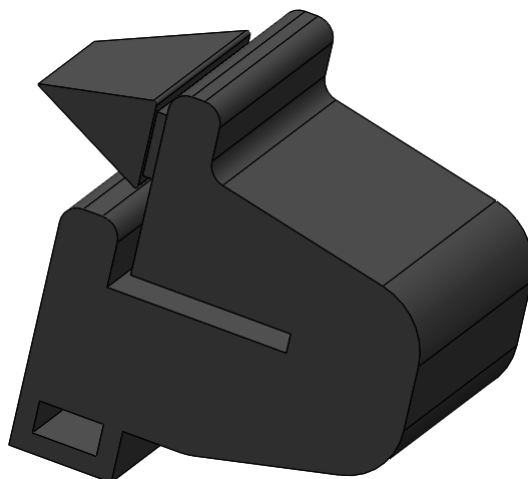
En cuanto a las entradas pasacables, las dimensiones serán las mismas; sin embargo, la distribución será diferente siendo dos entradas a excepción de la de menor medida. El motivo de esto es que: en este tipo de cajas lo más habitual es encontrar dos mecanizados

1. Los componentes que suelen albergar este tipo de cajas suelen necesitar de una entrada y una salida de cables.
2. Son armarios de grandes longitudes donde una sola entrada sería reducido para la cantidad de cables que se acostumbra a emplear.

A nivel constructivo, si bien se definirá posteriormente las diferencias entre las puertas para un armario de dos puertas y para cuando es de una puerta, cabe destacar la introducción de una nueva pieza fabricada en caucho producida por una empresa externa ubicada en el centro del

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

armario. Esta pieza sirve para originar un cierre totalmente hermético y estanco en la zona media del armario garantizando un elevado grado IP. Es por ello que la puerta deberá de tener estas medidas en cuenta a la hora de diseñarse.



*Figura 50 Pieza de poliéster para realizar un cierre hermético en la parte media de la caja*

Las dimensiones de esta familia, así como sus características de montaje quedan especificadas en la siguiente tabla:

Dimensiones caja			Dimensiones Entrada Pasacables		Número Aperturas	Número Bisagras	Número Cierres
H	L	Pr	S	T			
600	800	300	520	95	1	2	2
800	1000	200	320	95	2	3	2
800	1000	300	320	95	2	3	2
800	1200	300	520	95	2	3	2
1000	1000	300	320	95	2	3	1*
1200	1000	300	320	95	2	3	1*
1200	1200	300	520	95	2	3	1*
1400	1000	300	320	95	2	3	1*

*Tabla 9 Dimensiones de la nueva familia de cajas de dos puertas*

Siendo 1\* cuando el sistema de cierre de 3 puntos

*Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada*

### III.2.5. Características finales de la nueva gama.

Finalmente, las características de la nueva gama quedarán definidas en la siguiente tabla:

Dimensiones caja			Dimensiones Entrada Pasacables		Número Aperturas	Número Bisagras	Número Cierres
H	L	Pr	S	T			
250	200	150	120	65	1	2	1
300	250	150	120	65	1	2	1
300	250	200	120	65	1	2	1
300	300	150	220	65	1	2	1
300	300	200	220	65	1	2	1
400	300	150	220	65	1	2	1
400	300	200	220	65	1	2	1
400	400	200	320	95	1	2	1
400	600	250	320	95	1	2	1
500	400	150	320	65	1	2	2
500	400	200	320	95	1	2	2
500	400	250	320	95	1	2	2
500	500	250	320	95	1	2	2
600	400	150	320	65	1	2	2
600	400	200	320	95	1	2	2
600	500	150	320	65	1	2	2
600	500	200	320	95	1	2	2
600	500	250	320	95	1	2	2
600	600	250	520	95	1	2	2
600	600	300	520	95	1	2	2
700	500	200	320	95	1	3	2
700	500	250	320	95	1	3	2
800	600	200	520	95	1	3	2
800	600	250	520	95	1	3	2
800	600	300	520	95	1	3	2
800	800	200	520	95	1	3	2

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

800	800	300	520	95	1	3	2
1000	600	250	520	95	1	3	1*
1000	600	300	520	95	1	3	1*
1000	800	200	520	95	1	3	1*
1000	800	250	520	95	1	3	1*
1000	800	300	520	95	1	3	1*
1000	1000	300	520	95	1	3	1*
1200	800	300	520	95	1	3	1*
1200	1000	300	520	95	1	3	1*

*Tabla 10 Dimensiones de la nueva gama de cajas eléctricas*

### III.3. DISEÑO DE LA PIEZA.

Para el desarrollo y elaboración de los diferentes estudios, este apartado que concierne al dibujo de la pieza lo dividiremos en dos:

- En primer lugar, se realizará un primer diseño de cómo se realiza la envuelta actualmente comentando el método para dibujarla
- En segundo lugar, se realizará una envuelta con las mismas dimensiones que la primera caja, pero con un nuevo método constructivo. En este apartado además se mostrarán los diferentes detalles técnicos a tener en cuenta en los tres tipos de cajas que se han establecido para la nueva gama.

Para poder comparar las piezas, se ha decidido que ambas tengan 800 x 800 x 300 mm de dimensiones exteriores. Además, el grosor de la chapa será en ambos casos:

- Espesor de 1.2 mm para la envuelta.
- Espesor de 1.5 mm para la puerta.

Ya que estos son los espesores que se emplean actualmente en la gama. Además, el radio de pliegue quedará determinado por la plegadora empleada en la empresa a 0.8 mm. Por otro lado, debido a las limitaciones del software, se ha establecido una separación de 0.01 mm entre las diferentes caras de la envoltente.

En ambos casos, se dibujará tanto la puerta como la envuelta comentando mediante la reconstrucción 3D el método de construcción. Finalmente se mostrará un ensamblaje del producto final de los elementos internos como los elementos externos de ambas cajas.

Para la elaboración de estos diseños emplearemos el software *SolidWorks 2017* y en particular las herramientas dentro del bloque de “Conformado de chapa” para la elaboración de las diferentes piezas y el bloque de “Piezas soldadas” para introducir la soldadura empleada en sendos procesos de fabricación, procurando asemejar lo máximo posible el modelo 3D con el de una fabricación real.

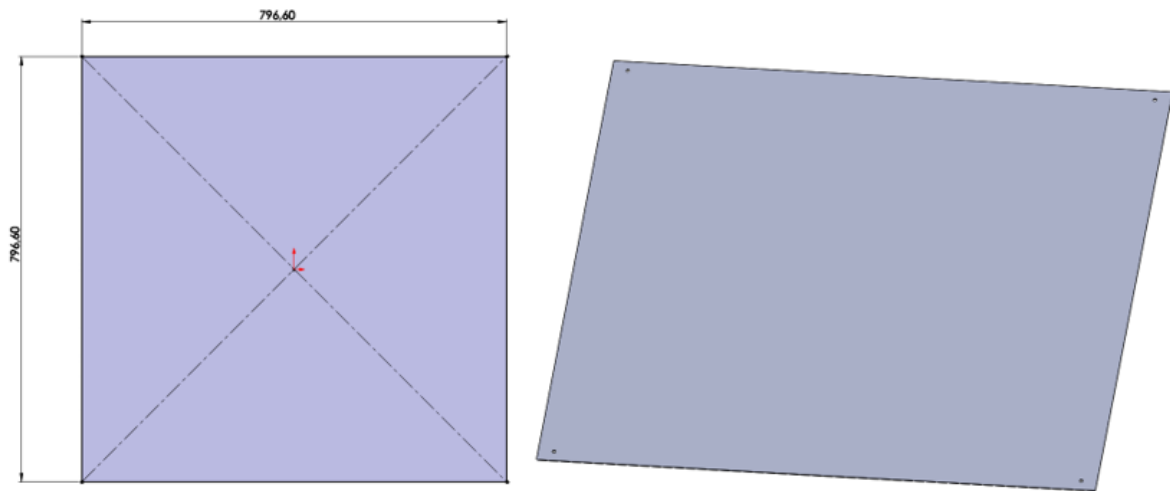
Seguidamente se realizarán diferentes ensayos para comprobar si el nuevo diseño mejora a su predecesor.



### III.3.1. Diseño inicial.

Como se ha explicado en el prediseño, en lo referente a la forma constructiva de la envuelta, el diseño inicial está basado en dos partes: la placa trasera y la envuelta.

Para dibujar la placa trasera se ha de tener en cuenta que posteriormente irá soldada por el interior de la envuelta; por ello a la medida exterior de 800 x 800 mm le restaremos el espesor de la envuelta (1.2 mm por cada lado) y 0.5 mm para permitir un poco de desplazamiento a la hora de ensamblarlas además de proporcionar un hueco donde soldar ambas chapas. Una vez determinadas las medidas extruiremos la cara al espesor indicado de base (1.2 mm). A continuación, se realizan los troqueles para las garras de fijación según se indica en los planos de referencia de la gama. Esto es a 24 del lateral y a 19 mm de la cara superior e inferior respectivamente. Finalmente, se achaflan los vértices a 0.8 mm y 45° de inclinación para eliminar las aristas vivas evitando de esta forma que se pueda estropear la envuelta a la hora de ensamblarse y reduciendo el riesgo lesiones a la hora de manipular la pieza.



*Figura 51 Medida y extrusión de la plancha posterior*

Para la fabricación de la envuelta emplearemos la herramienta “Pliegues recubiertos”. Esta herramienta nos permite dibujar una chapa con diferentes dobleces a partir de dos planos que representen el perfil de la envuelta. Para ello dibujaremos en primer lugar en un plano un perfil abierto con las dimensiones exteriores preestablecidas dejando 2.5 mm de margen – 2.4 por el espesor de la chapa y 0.1 para que las caras al hacer el siguiente doblez no coincidan- en una esquina. Seguidamente se crea un plano a una distancia del primer plano igual a la profundidad

Desarrollo de una nueva gama de envoltorios metálicos a partir de una serie ya comercializada

de la envuelta menos la distancia a la que queda la puerta y el espesor de los siguientes pliegues (300 mm – 20 mm – 2.4 mm).

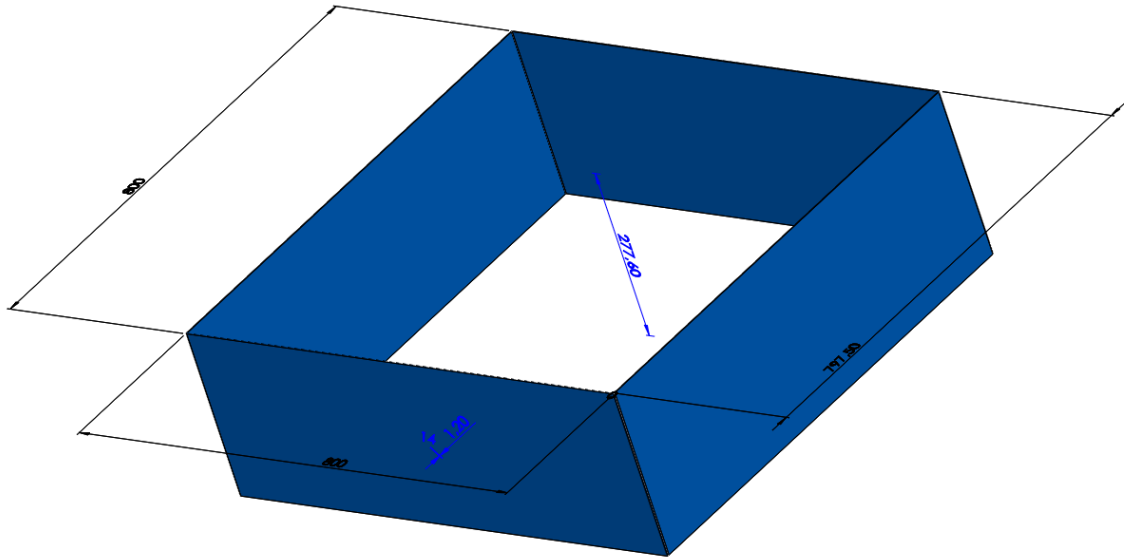


Figura 52 Elaboración de la envuelta mediante la herramienta Pliegue Recubierto

Seguidamente, mediante la herramienta de “Brida de arista” realizamos un doblez interno de 10 mm (medida externa) en la cara que se había dejado abierta en la anterior operación achaflanando las esquinas. Este doblez sirve para soldar la envuelta por el interior una vez ha sido conformada. Además, estará recortado 1.2 mm por cada lado para poder ensamblar y soldar la tapa posterior. Esta herramienta permite establecer si el pliegue será interno o externo, así como el ángulo y el tipo de rasgado.

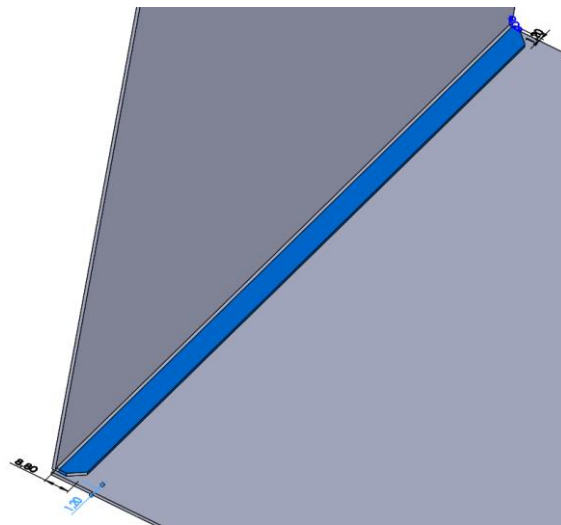


Figura 53 Elaboración pliegue interior

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Realizamos los pliegues tanto frontales como posteriores con unas dimensiones igual a 20 mm (medida interior) el primero y 15 (medida exterior el segundo). Estos pliegues son para ensamblar la bisagra el frontal y para permitir a la tapa posterior asentarse en la envuelta.

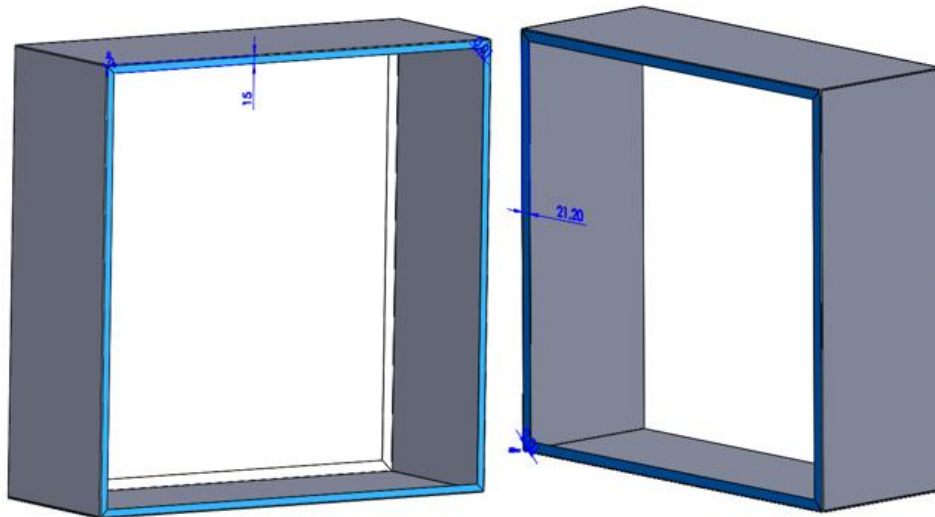


Figura 54 Elaboración de los pliegues frontales y posteriores

A continuación, se realiza el vierteaguas según las especificaciones de fábrica; estas son 15 mm de alto a 90° más un pliegue a 60° de 6 mm. De esta forma la junta inyectada de la puerta asentará sobre este doblez realizando un doblez totalmente hermético. Al realizarse este último pliegue a 60°, las esquinas quedan distanciadas unas de otras; este material se ha de aportar para que quede todo el contorno soldado. Para ello se emplea la herramienta “Esquina cerrada” la cual permite seleccionar las esquinas, el tipo de cierre y la distancia de separación entre ellas.

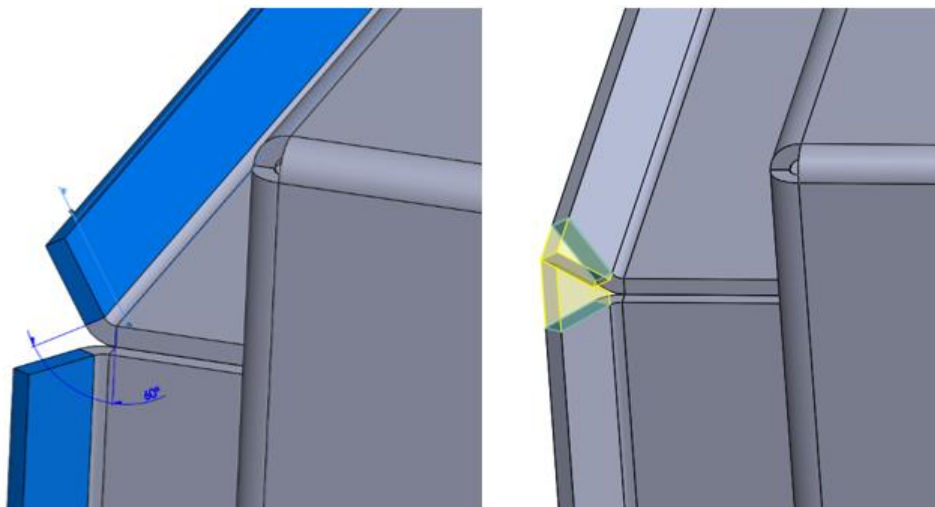


Figura 55 Elaboración de los pliegues del vierteaguas y cierre de esquinas

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Los agujeros colisos quedarán ubicados en el pliegue frontal en función del número y de bisagras. Al ser una caja con una altura de 800 mm, se dispondrán de 3 bisagras ubicadas para que quede una en el centro de la caja y las otras dos a 50 mm de los extremos. El tamaño del troquel al igual que su disposición queda determinado por la bisagra siendo de 5.5 mm de ancho para que pueda pasar un tornillo de M5 sin problemas.

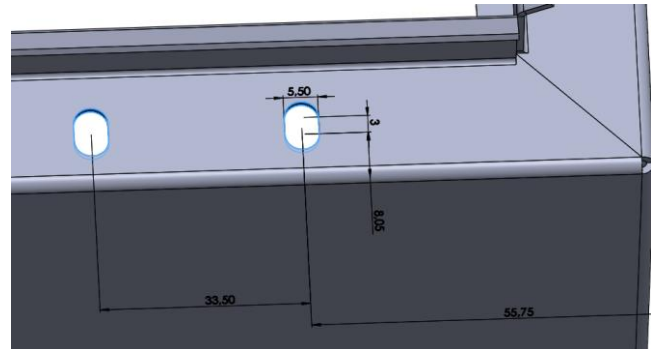


Figura 56 Elaboración mecanizados para bisagras

Para realizar las embuticiones en la parte inferior de la envuelta donde se ubicarán las tapas pasacables, emplearemos la herramienta “Herramienta de conformado de chapa”; esta, permite crear una pieza aparte con las características de la herramienta de embutición – tanto sus dimensiones como el ángulo y profundidad de la embutición – y posteriormente, realizar con esta pieza la embutición sobre nuestra envuelta. Las dimensiones de esta herramienta quedan establecidas, así como su ubicación y disposición, según catálogo; realizándose a 45° y una profundidad de 2 mm (limitaciones impuestas por la máquina). Este mecanizado quedará a 100 mm desde el centro de la herramienta hasta la cara posterior de la envuelta y a 200 mm desde el centro hasta el lateral. A continuación, se realizan los mecanizados que nos permita atornillar la tapa pasacables para un tornillo de M5 ubicados según los planos anexados.

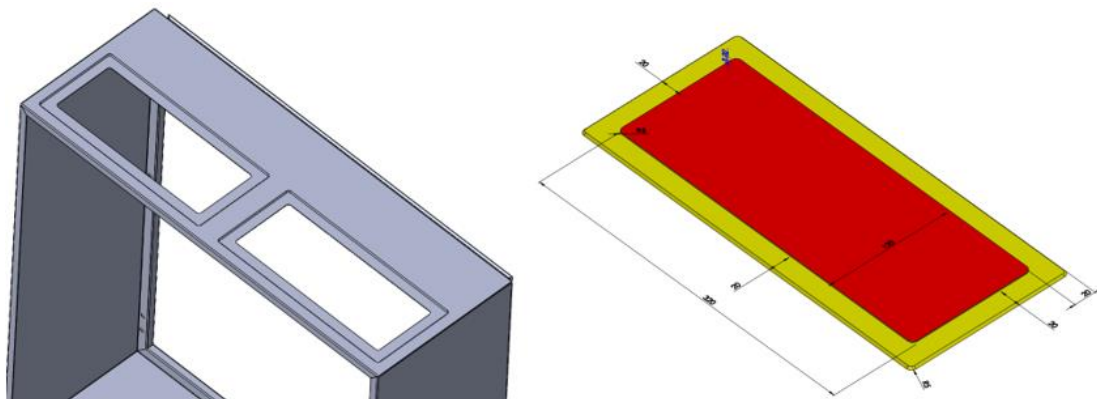
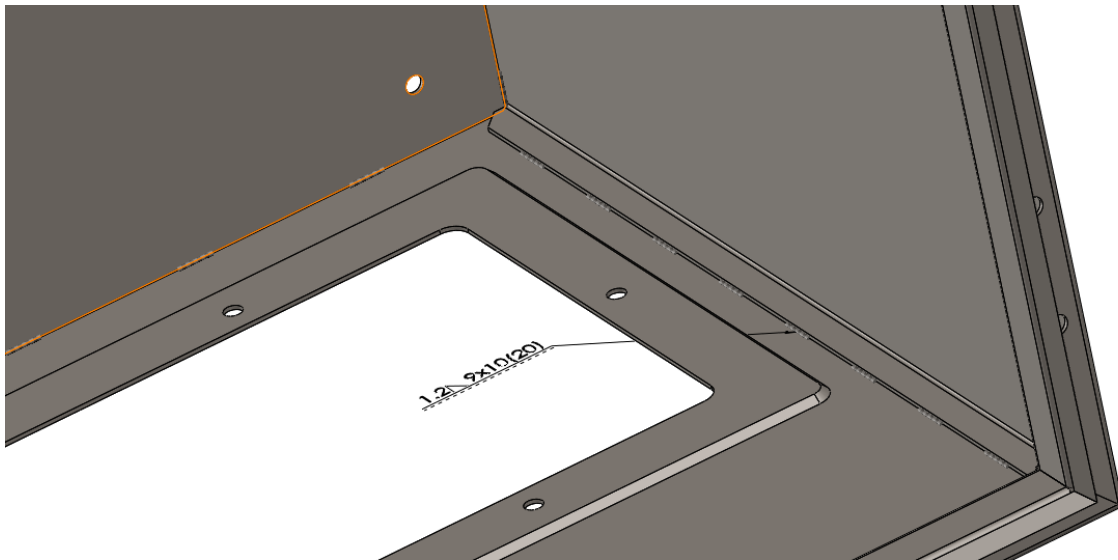


Figura 57 Elaboración de matriz de embutición y embutición de la envuelta

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Finalmente, para asemejar lo máximo posible el diseño 3D con el producto original fabricado, se dibujará la soldadura empleada en esta envuelta. Para ello, emplearemos la herramienta del bloque “Piezas soldadas” en particular, la herramienta “Cordón de soldadura”; esta versátil herramienta, nos permite aplicar a las caras deseadas, el tipo de soldadura empleado. En el caso que nos concierne, podemos encontrar soldadura en dos zonas: en la parte frontal, una soldadura continua que une los diferentes pliegues de la envuelta; y una soldadura intermitente sobre las aristas de la tapa trasera contra el pliegue trasero de la envuelta y sobre el dobléz interior fijando todos los componentes. Establecido el tipo de soldadura en cada caso y configurando los datos de soldadura obtenidos directamente del proceso de fabricación tales como la distancia y longitud entre soldaduras (10 mm y 40 mm respectivamente) y el tamaño del cordón (de unos 1.2 mm por el electrodo empleado), es posible introducir la soldadura de la envuelta<sup>5</sup>.



*Figura 58 Soldadura sobre la cara interna de la envuelta*

---

<sup>5</sup> Cabe destacar que, para poder visualizar la soldadura, ha de habilitarse su visualización dando clic derecho sobre la “Carpeteta de soldadura” y clicando en “Mostrar soldaduras cosméticas”.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El ensamblaje de la tapa posterior y la envuelta quedaría:

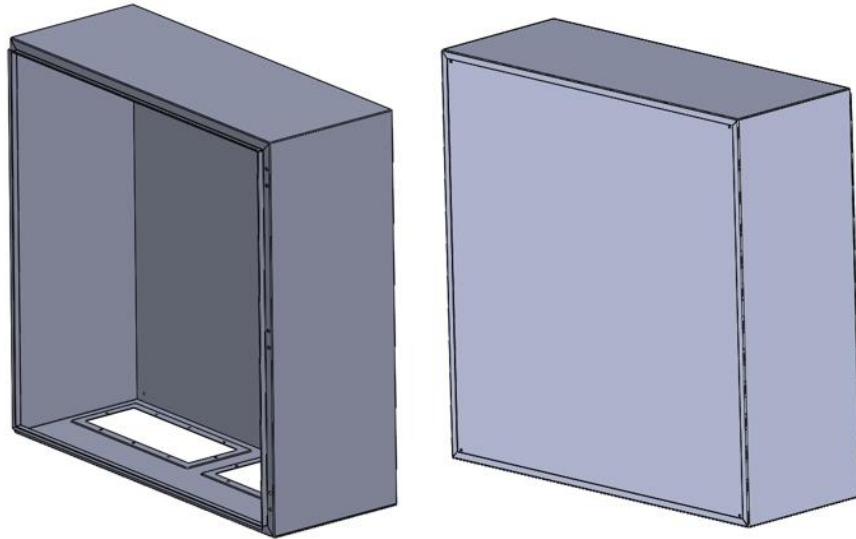


Figura 59 Ensamblaje plancha posterior y envuelta

Por otro lado, la tapa se realiza sobre una chapa de 1.5 mm con una altura 3 mm inferior a las dimensiones totales de la caja, teniendo a su vez un pliegue por todo el contorno de 15 mm (medida externa) el cual, junto con el vierteaguas, evita que entre cualquier sustancia al interior.

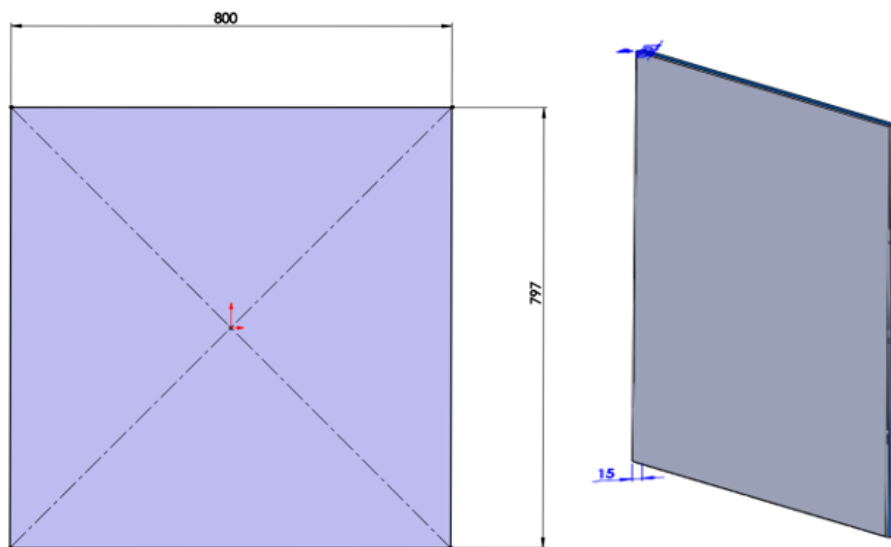


Figura 60 Medida y elaboración de la puerta

Las dimensiones del mecanizado para los cierres quedan impuestas por el fabricante de los mismo. Su ubicación, así como el número de estos está regulado en los planos de la misma,

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

así como en el catálogo; siendo de 2 cierres para una caja de 800 mm de altura y ubicados a 48 mm del lateral y a 98 de los extremos superior e inferior de la puerta.

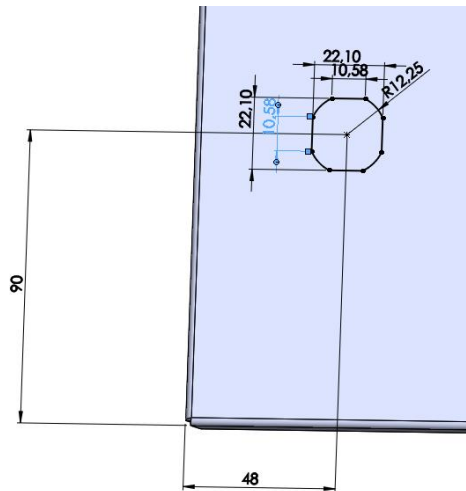


Figura 61 Medidas mecanizado para cierre cuarto de vuelta

Del mismo modo que en la envuelta, se configura la soldadura empleada en esta pieza; en este caso, se trata de una soldadura continua sobre los 4 cantos de la puerta. Para realizar este tipo de soldadura sobre las esquinas, es posible emplear la herramienta de “Cordón de soldadura” previamente empelada o la herramienta del bloque de “Chapa metálica”, “Esquinas soldadas”. Con esta, las esquinas sencillas son posibles de soldar fácilmente; aplicando los parámetros anteriormente comentados procederemos a introducir la soldadura.

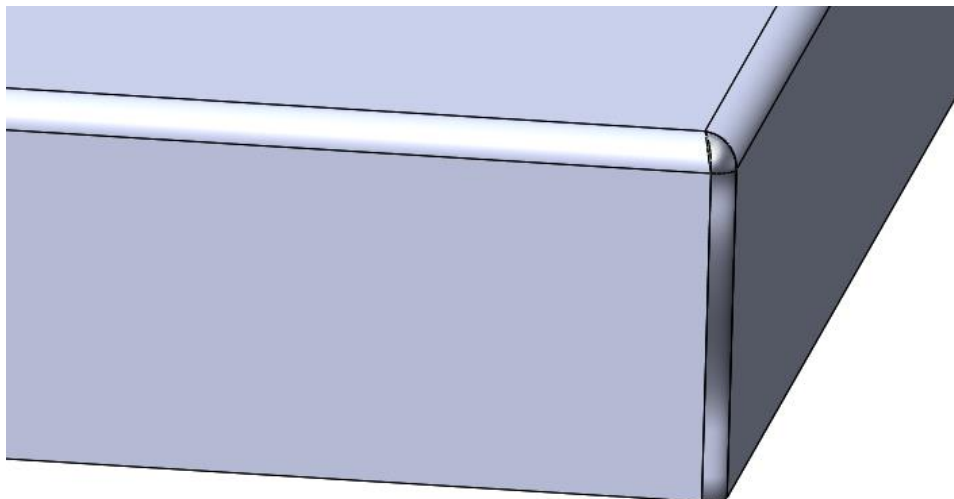


Figura 62 Esquina de la puerta soldada

### Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

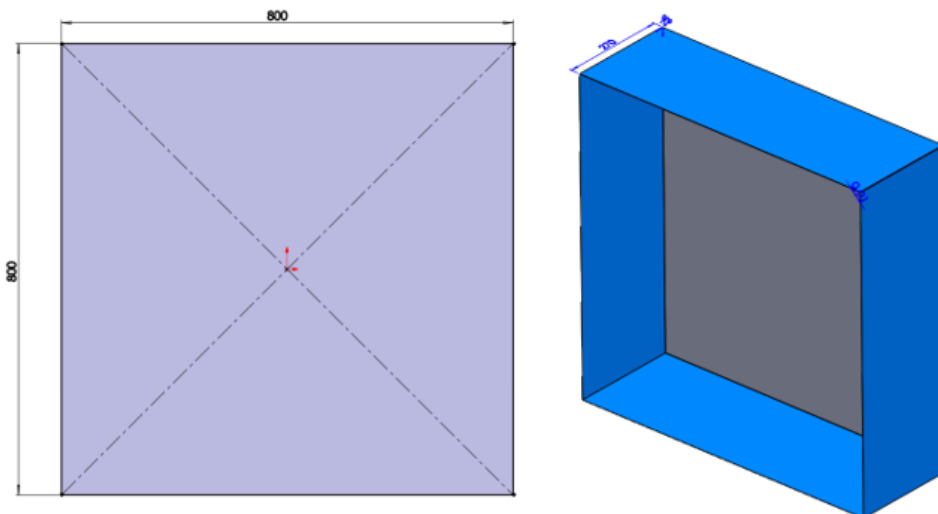
En cuanto a los detalles constructivos a tener en cuenta, cabe destacar la ubicación de los diferentes pernos:

- Los pernos tomatierra que conectan la puerta con la envolvente quedarán a 65 x 50 mm de la esquina inferior de la puerta; y a 75 x 50 mm del correspondiente lateral de la envolvente.
- Los pernos de fijación de la placa de montaje se ubicarán en la tapa posterior de acuerdo a los planos adjuntos.

Por otro lado, la junta que vaya a ser inyectada sobre la puerta tendrá las medidas resultantes del plegado del vierteaguas, realizando un cierre estanco al hacer contacto entre ambas partes una vez se cierra la puerta.

#### **III.3.2. Pieza rediseñada.**

Esta nueva pieza se ha realizado una modificación en el diseño constructivo: en vez de realizarse en dos piezas, la envuelta estará plegada desde una sola chapa. La reconstrucción se ha realizado empleando únicamente la herramienta de “Brida de arista”. Partimos de la cara posterior la cual servirá de base para el resto de pliegues. Esta cara tendrá las longitudes impuestas en primera instancia (800 x 800 mm). Una vez establecidas las medidas, se selecciona la herramienta “Brida Base/Pestaña” para indicar al programa que son las medidas de nuestra chapa y extruyendo el material al espesor deseado (1.2 mm). Seguidamente, se realiza los pliegues que formaran los laterales de la caja con las dimensiones de la profundidad de la caja especificada en catálogo menos la nueva distancia a la que queda la puerta (300 mm – 30 mm).

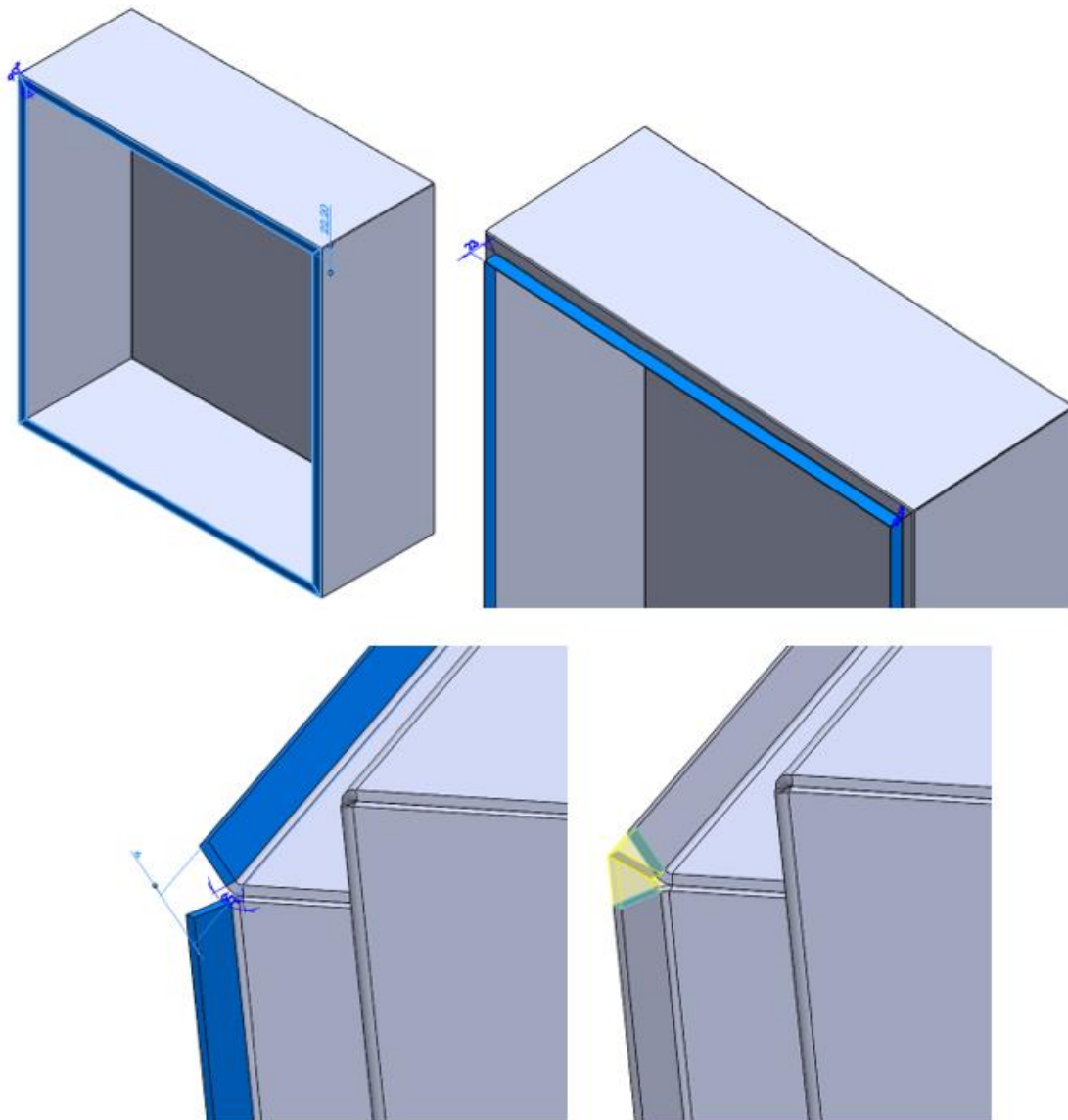


*Figura 63 Medida y elaboración envuelta caja rediseñada*



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

A continuación, realizamos los pliegues que conforman la parte frontal del mismo modo que en la caja inicial. Sin embargo, al cambiar la bisagra por una de uso comercial, se ha tenido que readaptar esta zona a las necesidades de la misma aumentando 2.2 mm el pliegue frontal y de 15 a 23 mm la altura del vierteaguas. Se realiza también la operación de “Esquina cerrada” para juntar las esquinas del vierteaguas.



*Figura 64 Elaboración de los diferentes pliegues y cierre de esquinas para la nueva caja*

Los mecanizados para los tornillos de las garras de fijación mural se mantendrán en la misma posición que en la pieza original (24 x 19 mm de las esquinas)

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Los troqueles para las bisagras, al no necesitar de cierta movilidad para evitar defectos de fabricación, pasarán a ser un agujero circular pasante por bisagra con las dimensiones necesarias para un tornillo de M8 (el requerido según el comercial para esta bisagra) y ubicada para mantener la misma posición en la caja que el diseño anterior, respetando las características básicas de la gama.

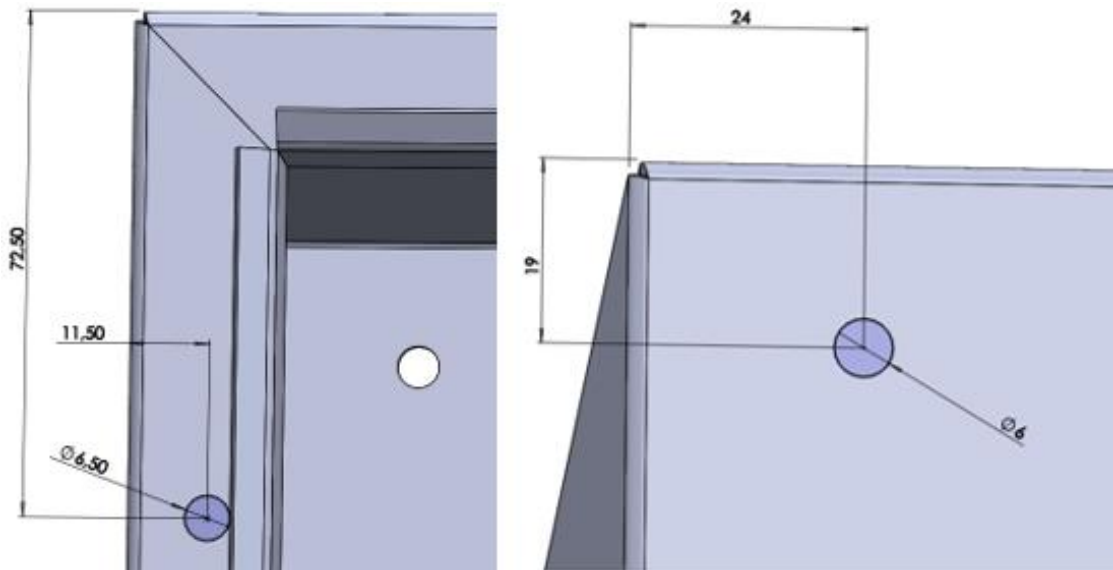


Figura 65 Medidas de los mecanizados para la nueva caja

Para finalizar con el conformado de la envuelta, se elabora la herramienta de embutición para las nuevas dimensiones de entradas pasacables tal y como se ha mencionado en el prediseño – en este caso 520 x 95 mm – y se ubica en el centro de la cara posterior de la envuelta a 82.5 mm entre el centro de la herramienta y el posterior de la envuelta; ya que, al ser más estrecha la abertura, podemos acercar más la entrada al posterior. Además, se incluyen los troqueles para los tornillos de fijación de M5 para poder atornillar la tapa correspondiente.

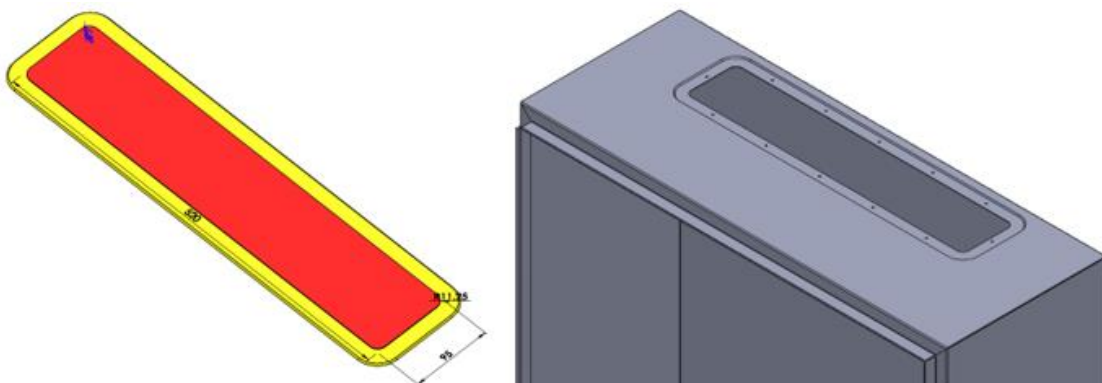
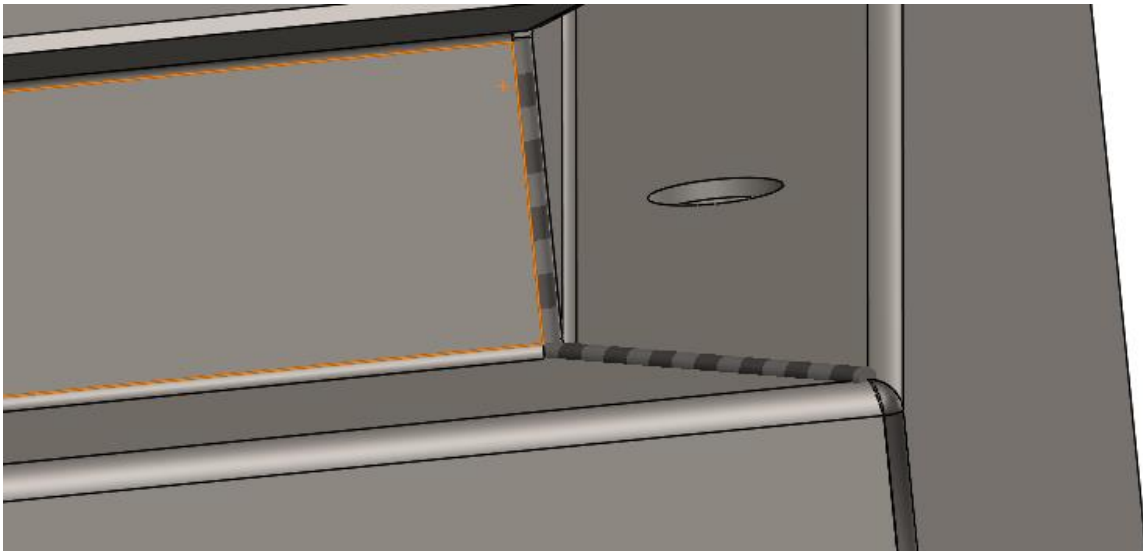


Figura 66 Elaboración de matriz de embutición y embutición de la nueva envuelta

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

La aplicación de la soldadura sobre la envuelta corresponde a dos partes: la zona delantera que conforman los pliegues del vierte aguas y las esquinas de la envuelta; en ambas zonas se empleara una soldadura continua de 1.2 mm de grosor de cordón. Empleando para la elaboración de estas, las herramientas previamente mencionadas.



*Figura 67 Soldaduras sobre las diferentes zonas de la nueva envuelta*

La elaboración de la puerta se realiza de la misma forma que la anteriormente elaborada respetando las diferentes medidas indicadas al igual que la de la ubicación y dimensiones de los troqueles y los cantos soldados; sin embargo, el pliegue pasa de 15 a 25 mm de ancho al haber aumentado la altura del vierteaguas.

En cuanto a los detalles constructivos a tener en cuenta para la elaboración de esta nueva gama de cajas eléctricas cabe destacar:

- Los pernos de fijación de la palca de montaje y los pernos tomatierra se dispondrán de la misma forma que en el diseño inicial.  
Del mismo modo, la junta de estanquidad de la puerta tendrá las dimensiones resultantes del plegado del vierteaguas
- Cuando la puerta lleve cierre de tres puntos, tanto para armarios de una puerta como de dos, se deberán de añadir dos pernos más ubicados a 50 mm del lateral y 120 mm de la parte superior e inferior respectivamente ya que este sistema de cierre los requiere para poder atornillar las guías de varillas.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

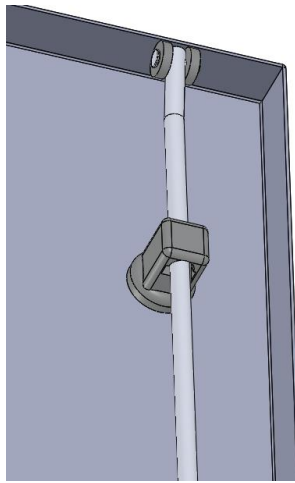


Figura 68 Puerta con guías de varillas

- Para la construcción de la familia de armarios de dos puertas si bien el método constructivo es el ya definido, hay que subrayar dos puntualizaciones en las dos partes que conforman esta caja
  - En la envuelta, se realizará un troquel y se recortará el vierteaguas en la zona central que permita instalar la pieza de caucho para garantizar el cierre hermético comentada en el prediseño.

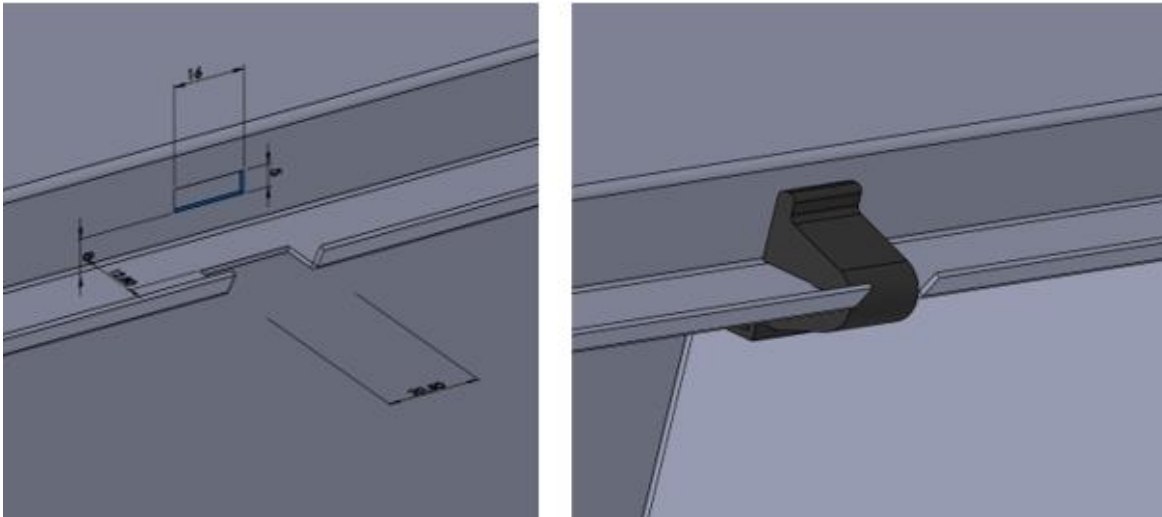


Figura 69 Mecanizado del vierteaguas para pieza de estanqueidad en cajas de dos puertas

- En cuanto a las puertas, se denomina generalmente puerta normal a la puerta donde se ubica el cierre y puerta invertida a la puerta donde apoya la primera. En cuanto a su construcción, cabe destacar por un lado un mecanizado en el lateral

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

que da al centro de la caja con la forma de la pieza de caucho donde asentará esta al cerrar. Y por otro, si bien los pliegues de la puerta normal tendrán las mismas dimensiones que las otras puertas ya mencionadas, en la puerta invertida en el pliegue del lateral que da al centro de la envuelta, a parte del mecanizado, aumentará su profundidad en 5 mm el espacio entre mecanizados y se realizará otro pliegue hacia el exterior de 20 mm. En este pliegue se ubica una tira de junta y permite apoyar el canto de puerta normal, evitando la entrada de cualquier sustancia al interior de la caja.

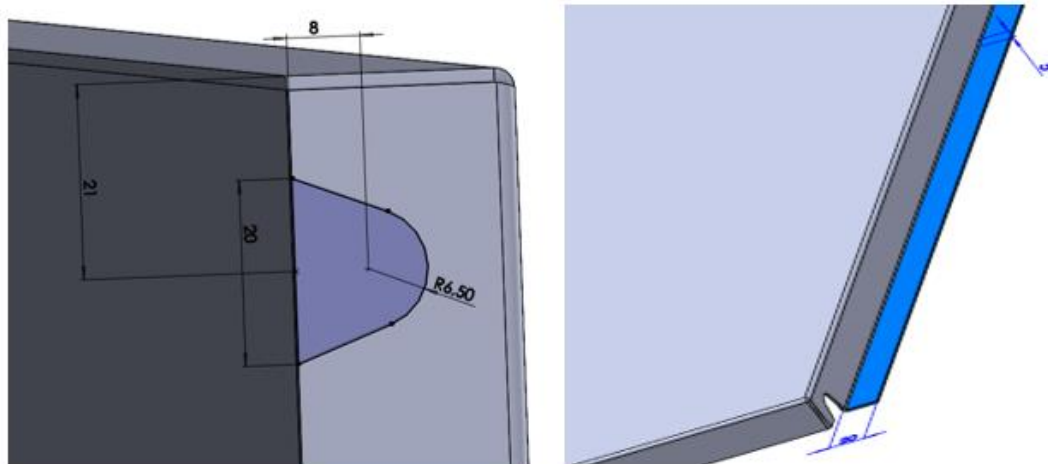


Figura 70 Medidas del troquel y pliegue para puertas

## III.4. NORMATIVA APLICABLE.

En este apartado expondremos la normativa aplicable a la elaboración de la caja de distribución, con el fin de que cumpla todos los requisitos y estándares para poder comercializarse.

Para la ejecución de este diseño, la única norma que hace referencia a las dimensiones y método de construcción es la norma IEC-UNE-EN62208: 2011 *Envolventes vacías destinadas a los conjuntos de aparata de baja tensión*. Sin embargo, esta norma establece que las dimensiones exteriores: alto, ancho y profundidad, son valores nominales y deben indicarse en el catálogo del fabricante de la envolvente. Este apartado no afecta directamente a nuestro producto ya que las medidas tomadas se pretenden mantener con respecto a la antigua caja.

Por otro lado, también establece que la envolvente debe de asegurar la continuidad eléctrica a través de las partes estructurales conductoras de la envolvente; es por ello que en el diseño se establecerá los pernos de toma tierra que deberán de llevar tanto la envuelta como la puerta para cumplir este apartado.

En cuanto a los materiales de fabricación dictamina que la envolvente debe construirse solo con materiales capaces de soportar los esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos de los diferentes ensayos que se dictaminan en la misma norma, así como los efectos de la humedad susceptible de encontrarse en servicio normal. También decreta que la protección contra la corrosión debe asegurarse mediante la utilización de materiales adecuados o mediante la aplicación de capas de protección sobre la superficie expuesta. Este tema lo abordaremos con mayor detalle en el apartado de la elección de material.

Finalmente trata el tema de los diferentes ensayos a realizar sobre la envolvente y que determinará si es apta o no para su comercialización y de ser que sí, su clasificación. Estos ensayos tienen su propia norma como se ha comentado en el apartado de la introducción:

- Por un lado, está la norma UNE 20324: *Grado de protección proporcionados por las envolventes (Código IP)* que ensaya la estanqueidad de la envolvente.
- Por otro lado, está la norma UNE-EN 50102: *Grado de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK)* que ensaya la protección frente a impactos en una envuelta.

## III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

Con el rediseño de la pieza establecida a través del software de moldeo en 3D SolidWorks, y habiendo concretado los detalles constructivos de la misma es necesario la elaboración de estudios para comprobar que el comportamiento de la pieza frente a diferentes esfuerzos no ha disminuido; de lo contrario el nuevo modelo no sería válido y se debería de realizar un nuevo rediseño.

Las partes donde se va a hacer hincapié en el comportamiento de la caja frente a diferentes esfuerzos son:

- Un análisis estático del comportamiento de la nueva bisagra.
- Un análisis frente a impacto en la envuelta y puerta de la caja.

Lo ideal hubiera sido el realizar una simulación de ambos ensayos, pero debido a las limitaciones técnicas del software *SolidWorks*, se ha decantado por realizar una simulación según el ensayo IK

### **III.5.1. Cálculos estáticos.**

En esta simulación se desea observar la mejoría que representa la nueva bisagra, estudiando el peso que puede llegar a soportar. Para ello, desarrollaremos una simulación en donde se representará el caso más desfavorable para la bisagra; es decir, se representará el peso que ha de soportar la bisagra para la caja con la puerta de mayores dimensiones. Centraremos el estudio sobre el vástago ya que, al ser la pieza que se encarga de sostener y transmitir el movimiento entre ambas partes de la bisagra, es el elemento más sensible a este tipo de cargas y por donde romper en caso de exceder el límite de la pieza.

La caja con la puerta de mayores dimensiones es el modelo de medidas 1200 x 1000 x 300 mm y una sola puerta con cierre de tres puntos o de barra. El cálculo del peso de un cuerpo a partir de su masa se puede expresar mediante la segunda ley de la dinámica:

$$P = m_T * g$$

Donde  $m$  es la masa total que ha de soportar la pieza a estudio y  $g$  la aceleración gravitacional. En cuanto al valor de la masa, ha de contemplarse las masas de los diferentes elementos que

### Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

conforman la puerta, estos son: puerta, junta inyectada, parte móvil de la bisagra y cierre; además, se ha de contemplar el peso de dos carriles DIN como accesorio que suelen incorporar las cajas con estas dimensiones los cuales dotan a la puerta tanto de robustez como de funcionalidad. Se incluye un aumento de 5 kg para otro tipo de accesorios que el cliente pueda incluir.

$$m_T = m_{puerta} + m_{junta} + m_{cierre} + m_{parte\ móvil\ bisagra} + m_{carriles\ DIN} + m_{accesorios}$$

Los pesos del cierre, parte móvil de la bisagra y carriles DIN vienen determinado por los diferentes proveedores siendo de 60 g, 6 g y 670 g respectivamente. En cuanto al peso de la puerta y junta, una vez sabido los materiales a emplear definidos en siguiente punto, se pueden extraer directamente del software SolidWorks siendo de 16 kg para el primero y 15 g para el segundo. La masa total será igual a:

$$m_T = 16\ kg + 0.015\ kg + 0.060\ kg + 0.006 * 3\ kg + 0.67 * 2\ kg + 5\ kg = 22.43\ kg$$

Finalmente se incluye un 15% sobre el peso obtenido como margen de error.

$$m_T = 22.433\ kg + 15\% = 25.80\ kg$$

Una vez obtenido la masa total, y sabiendo la aceleración gravitacional terrestre, el peso de la puerta con los diferentes elementos será:

$$P = m_T * g = 25.8\ kg * 9.81\ \frac{m}{s^2} = 253.10\ N$$

Este peso queda dividido entre las tres bisagras que se emplean para este modelo, por lo que el peso que ha de aguantar una bisagra y, por tanto, el que emplearemos para la simulación es de:

$$\frac{P}{bisagra} = \frac{m_T * g}{3} = \frac{253.1}{3}\ N = \mathbf{84.37\ N}$$

### **III.5.2. Cálculos impacto.**

El ensayo a impacto determina la capacidad de una pieza resistir y absorber el choque o impacto de elementos externos; propiedad vital y fundamental para todo tipo de sistemas de protección. Para realizar esta prueba, nos basaremos en simular las condiciones que se darían en un ensayo IK. Como se ha comentado anteriormente, este ensayo, clasifica a las envolventes en lo referente a la resistencia a los impactos mecánicos externos. Es por ello que basaremos los datos en los aportados según norma. Estos datos quedan resumidos en la siguiente tabla:



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Grado IK	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Masa del martillo (Kg)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	1.7	5	5
Altura de caída (mm)	70	100	175	250	350	200	200	295	200	400

Tabla 11 Datos para realizar los ensayos IK

Para la nueva gama comercial se desea obtener la máxima calificación posible para avalar que las condiciones generales de uso y los impactos que pueda sufrir debido a la ubicación donde vaya a ser instalado el producto no afecte al contenido del interior de la envuelta. Por ello, la masa empleada será igual a 5 kg y la altura de caída de 400 mm. El análisis se realizará tanto en la puerta como en la envuelta estudiando el comportamiento en ambas partes y comparando con el modelo original.

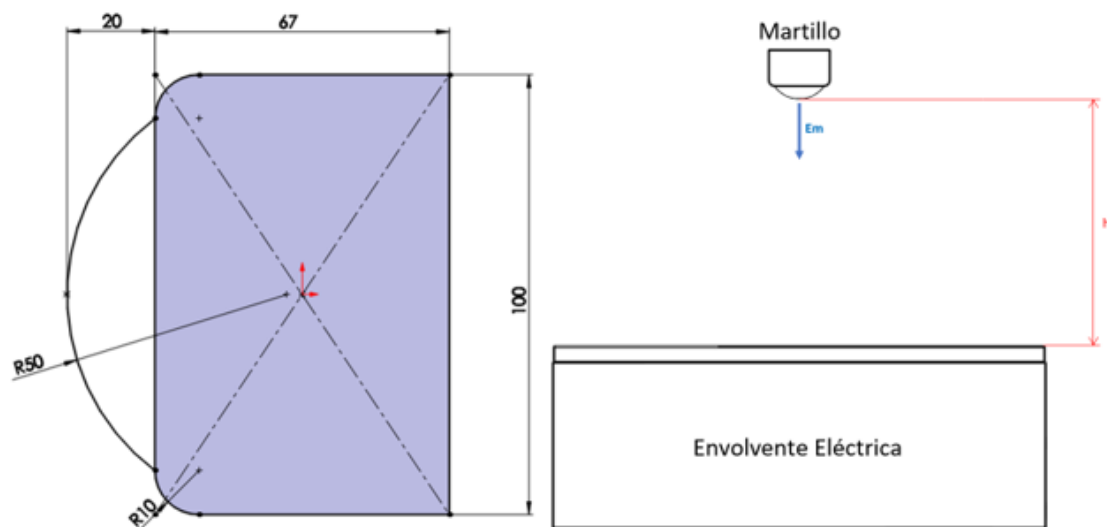


Figura 71 Medidas del martillo y representación gráfica del ensayo IK

Por lo tanto, se procederá a la obtención de los parámetros necesarios para elaborar la simulación de acuerdo a la normativa. El cálculo de la energía total o mecánica que la protección debe absorber sin fracturarse se calcula mediante el sumatorio de la energía potencial y la energía cinética.

$$E_m = E_p + E_c = m_m * g * h + \frac{1}{2} * m_m * v_e^2$$

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Siendo:

- $m_m$ : la masa del martillo de ensayo (kg)
- $g$ : la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )
- $h$ : la altura de caída o trayectoria (m)
- $Ve$ : la velocidad que posee el objeto en el momento del impacto (m/s)

Una vez establecidas las variables, sustituyendo y despejando, tenemos que:

1. La energía mecánica en el momento inicial, es decir previamente a ser soltado el martillo, es:

$$E_m = E_p + E_c = m_m * g * h + 0 = 5 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.4 \text{ m} = 19.62 \text{ J}$$

2. La velocidad del martillo en el momento del impacto será:

$$E_m = E_p + E_c = 0 + \frac{1}{2} * m_m * Ve^2 = \frac{1}{2} * 5 \text{ kg} * Ve^2 = 19.62 \text{ J}$$

$$Ve = \sqrt{\frac{2 * 19.62 \text{ J}}{5 \text{ kg}}} = 2.80 \text{ m/s}$$

## III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Para este apartado, nos centraremos en buscar los materiales de los componentes que la empresa fabrica o puede demandar que se fabrique en un material u otro; es decir el material de la caja (envolvente y puerta) y el material de las juntas tanto para las bisagras como para la tapa pasacables.

### **III.6.1. Material de la caja.**

Para elegir el mejor material de la envuelta, previamente deberemos definir a qué sector está orientada esta gama. Se trata de una envolvente construida para uso interior para proporcionar un grado de protección a las personas contra contactos accidentales o no intencionados (fortuitos) con los equipos dentro de la envolvente, para proporcionar un grado de protección contra la caída de basura, contra el polvo circulando, pelusa, fibras y partículas transportados por el aire (no peligrosas y las fibras o partículas volátiles no se consideran inflamables) y para proporcionar un grado de protección contra el goteo y salpicaduras ligeras de líquidos no corrosivos.

La elección del material se fundamenta en el hecho de ser un rediseño por lo que características básicas que definían esta serie se deberán de mantener; así pues, a la hora de la elección del material se tendrá en cuenta el proceso de fabricación del mismo; se trata de un producto conformado en chapa por lo que en este apartado se buscará un material con una elevada elasticidad.

Como limitante final, el producto tiene que ser atractivo para el cliente y eso conlleva no solo una mejora estética y de prestaciones; si no también un producto lo más económico posible.

Con todo esto en mente, emplearemos el programa *CES Edupack 2017* para seleccionar el material que más se adapte a nuestras necesidades.

Limitando el rango de materiales, establecemos en primer lugar que el material base sea un metal ferroso

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

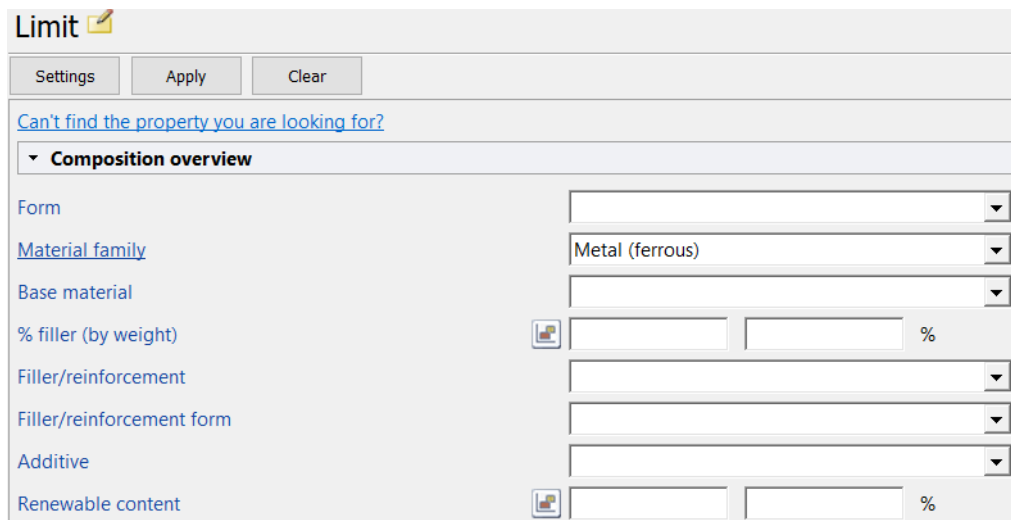


Figura 72 Introducción del material base para filtrado de materiales

A continuación, buscaremos un material con una alta maleabilidad. En el caso de los metales, la maleabilidad es una propiedad similar a la ductilidad, aunque con diferencias específicas. El metal maleable puede batirse y extenderse en láminas o planchas delgadas. El metal dúctil, en cambio, permite obtener hilos. Cabe destacar que ambas propiedades (maleabilidad y ductilidad) no suelen encontrarse en el mismo material. Es por ello que buscaremos un metal con un alto porcentaje de elongación.

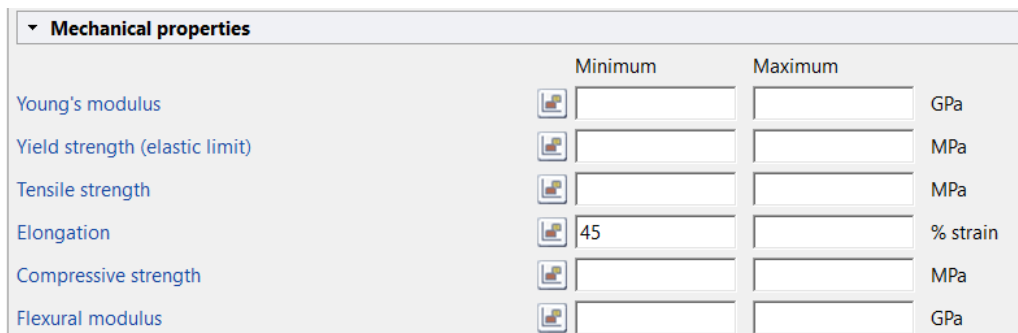


Figura 73 Introducción de la elongación mínima para filtrado de material

Siguiendo las limitaciones impuestas al principio buscaremos un material lo más barato posible por lo que se buscará un material que el precio no exceda el euro el kilogramo.

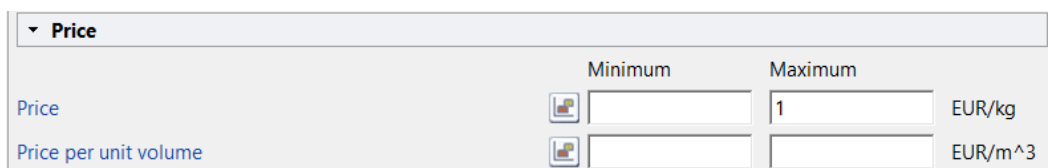
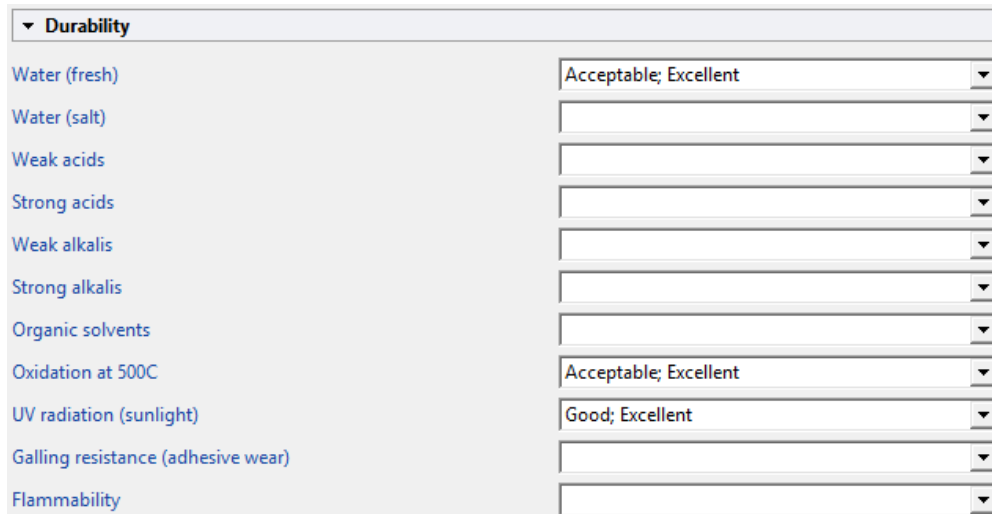


Figura 74 Introducción del precio máximo para filtrado de material

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Finalmente, si bien el material está planteado para ser pintado con una pintura base epoxy-poliéster, se buscará que tenga unas aceptables o excelentes propiedades frente a la corrosión, la radiación UV y a la oxidación a altas temperaturas ya que se desea que la caja se utilice tanto para interior como para exterior además de que, al ir pintado, el secado de la pintura se realiza en un horno por lo que es sometido a altas temperaturas.

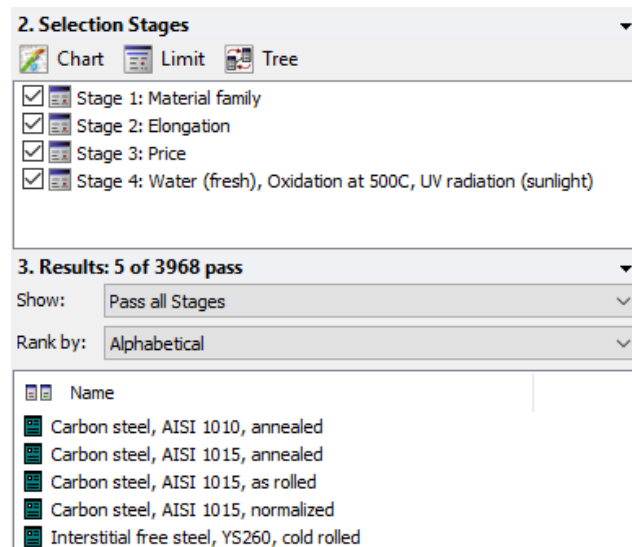


The image shows a software interface for selecting materials based on durability. The section is titled "Durability" and contains a list of criteria, each with a corresponding dropdown menu. The criteria and their selected values are:

Criterion	Selected Value
Water (fresh)	Acceptable; Excellent
Water (salt)	
Weak acids	
Strong acids	
Weak alkalis	
Strong alkalis	
Organic solvents	
Oxidation at 500C	Acceptable; Excellent
UV radiation (sunlight)	Good; Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	
Flammability	

Figura 75 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material

Finalmente, el programa da como resultado los siguientes materiales:



The image shows a software interface displaying the results of a material selection process. The section is titled "2. Selection Stages" and contains a list of stages, each with a checkbox and a description. The stages and their checked status are:

Stage	Checked
Stage 1: Material family	<input checked="" type="checkbox"/>
Stage 2: Elongation	<input checked="" type="checkbox"/>
Stage 3: Price	<input checked="" type="checkbox"/>
Stage 4: Water (fresh), Oxidation at 500C, UV radiation (sunlight)	<input checked="" type="checkbox"/>

Below the stages, the results are displayed: "3. Results: 5 of 3968 pass". The results are shown in a list with the following items:

- Carbon steel, AISI 1010, annealed
- Carbon steel, AISI 1015, annealed
- Carbon steel, AISI 1015, as rolled
- Carbon steel, AISI 1015, normalized
- Interstitial free steel, YS260, cold rolled

Figura 76 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado

Como se observa en la imagen encontramos 3 materiales: el AISI 1010, el AISI 1015 en diferentes condiciones, y el acero YS260.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El acero AISI 1010 de ellos se trata de un acero de muy bajo % de carbono. Se seleccionan en piezas cuyo requisito primario es el conformado en frío. Los aceros no calmados se utilizan para embutidos profundos por sus buenas cualidades de deformación y terminación superficial. Los calmados son más utilizados cuando se necesita forjarlos o llevan tratamientos térmicos. Son adecuados para soldadura. Su maquinabilidad se mejora mediante el estirado en frío. Son susceptibles al crecimiento del grano, y a fragilidad y rugosidad superficial si después del formado en frío se los calienta por encima de 600°C. En cuanto a su denominación, tal y como muestra la hoja de características del programa, cuando se emplea para conformado de chapa por laminado en frío se nombra como DC01 o DC03 según la norma UNE-EN 10130:2008 *Productos planos laminados en frío de acero bajo en carbono para embutición o conformación en frío*.

Carbon steel: AISI 1010 (annealed)		
Condition	(i)	Annealed
UNS number	(i)	G10100
US name	(i)	SAE J527, ASTM MT 1010, ASTM M1012, ASTM M1010, ASTM 130, ASTM 1012, ASTM 1010, ASME G10120, ASME G10100, ~SAE SAE J526, ~ASTM M1008, ~ASTM G10130, ~AMS 5053
EN name	(i)	HS12, ~HS4, ~ERW101, ~DC03, ~DC01
EN number	(i)	~1.1207, ~1.1121, ~1.0357, ~1.0347, ~1.0330

Figura 77 Nomenclaturas del acero AISI 1010

El proceso más común de fabricación de laminado en frío es el que partiendo de una bobina laminada en caliente se decapada para obtener una limpieza superficial que el deje libre de óxidos e incrustaciones, posteriormente pasa por un tren tándem, donde se reduce el espesor hasta el deseado. Después las bobinas son sometidas a un tratamiento térmico o recocido, que puede ser en continuo o en campana, con el fin de regenerar la estructura cristalina que fue destruida en el proceso de laminación y para finalizar, las bobinas son sometidas a un proceso de temperado donde se consigue el endurecimiento superficial y el acabado final. Este tipo de materiales están orientados a la conformación en frío por lo que en ellos priman las características de ductilidad y deformación sobre sus cualidades de resistencia. Sus principales características mecánicas y químicas según la norma previamente mencionada son:

	Composición Química			
	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
<b>DC01</b>	< 0,120	< 0,60	< 0,045	< 0,045
<b>DC03</b>	< 0,100	< 0,45	< 0,035	< 0,035

Tabla 12 Composición química del acero AISI 1010 en forma de chapa según norma UNE-EN 10130:2008

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

<b>Propiedades Mecánicas</b>				
	<b>Re (MPa)</b>	<b>Rm (MPa)</b>	<b>A80 (%)</b>	<b>r 90</b>
<b>DC01</b>	140 - 280	270 - 410	≥ 28	
<b>DC03</b>	140 - 240	270 - 370	≥ 34	≥ 1,3

*Tabla 13 Propiedades mecánicas del acero AISI 1010 en forma de chapa según norma UNE-EN 10130:2008*

Estos materiales son los más empelados para la elaboración de cajas de distribución.

El AISI 1015, es un acero con un mayor porcentaje de carbono que el anterior nombrado lo que da como resultado un ligero incremento en la resistencia mecánica. Se utilizan en piezas donde la tenacidad es importante y no se tengan altos requerimientos mecánicos. Admite muy bien la soldadura debido a su bajo contenido en carbono y embutición o plegado. También se puede utilizar como acero de cementación, para elementos de maquinaria poco cargados que deben poseer una buena tenacidad.

Este material a diferencia del primero, en Europa queda contemplado bajo el nombre de C15 por la norma UNE-EN 10132:2001 *Flejes laminados en frío para tratamiento térmico*.

<b>Designation</b>	
AISI 1015	
Condition	Annealed
UNS number	G10150
US name	ASTM MT1015, ASTM M1015, ASTM G10170, ASTM 1015, ASME G10150, ~SAE SAE J525, ~SAE SAE J524, ~SAE SAE J356, ~ASTMA822, ~ASTMA214, ~ASTMA2
EN name	HS17, ~UkS37-2, ~P235T1, ~C15R, ~C15E, ~C15
EN number	~1.1141, ~1.1140, ~1.0124

*Figura 78 Nomenclaturas del acero AISI 1015*

Si bien al comparar este material con el anteriormente mencionado en la mayoría de los apartados es igual, el aumento del porcentaje de carbono queda reflejado en el límite elástico, en la resistencia a la tracción y en la resistencia a la fatiga comportándose mejor frente a estos que el AISI 1010.

<b>Composición Química</b>					
	<b>C (%)</b>	<b>Fe (%)</b>	<b>Mn (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>S (%)</b>
<b>AISI 1010</b>	0,08 - 0,13	99,2 - 99,6	0,3 - 0,6	0 - 0,04	0 - 0,05
<b>AISI 1015</b>	0,13 - 0,18	99,1 - 99,6	0,3 - 0,6	0 - 0,04	0 - 0,05

*Tabla 14 Comparativa de la composición química entre los aceros AISI 1010 y AISI 1015*

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Propiedades Mecánicas					
	Módulo de Young (Gpa)	Re (MPa)	Rm (MPa)	Dureza- Vickers (HV)	Resistencia a fatiga (Mpa)
<b>AISI 1010</b>	205 - 215	172 - 315	310 - 430	88 - 128	220 - 395
<b>AISI 1015</b>	205 - 215	255 - 315	345 - 430	108 - 128	244 - 370

*Tabla 15 Comparativa de las propiedades mecánicas entre los aceros AISI 1010 y AISI 1015*

El acero YS260, más conocido como HC260Y, está pensado para obtener un excelente equilibrio entre la estampabilidad y la resistencia mecánica, gracias a una metalurgia específica sin elementos intersticiales<sup>6</sup> (Interstitial Free: IF). El endurecimiento se deriva de la solución sólida de manganeso, silicio y fósforo en la ferrita. La metalurgia de los aceros IF permite optimizar la estampabilidad. Su elevada resistencia mecánica garantiza una buena resistencia en fatiga y a los choques, por lo que estos aceros están destinados a las piezas de estructura (largueros, travesaños, refuerzos centrales...) así como a las piezas de piel a las que confieren una buena resistencia a fatiga.

Cuando este producto se presenta en forma de chapa laminada, queda bajo la normativa UNE-EN 10268:2007 *Productos planos de acero laminados en frío de alto límite elástico para conformado en frío*.

Las características base de este material según la norma previamente mencionada son:

Composición Química							
Al (%)	C (%)	Fe (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Si (%)	Ti (%)
0,01 - 0,012	0,008 - 0,01	97,6 - 98,9	0,8 - 1,6	0 - 0,1	0 - 0,025	0,24 - 0,5	0,096 - 0,12

*Tabla 16 Composición química del acero HC260Y*

Propiedades Mecánicas				
Re (MPa)	Rm (MPa)	A80 (%)	r 90	n 90
220 - 260	340 - 400	≥ 33	≥ 1,7	≥ 0,19

*Tabla 17 Propiedades mecánicas del acero HC260Y*

Dada la similitud de propiedades y que todos estos materiales cumplen las especificaciones requeridas, nos basaremos para la elección del material en el precio y la disponibilidad de estos.

<sup>6</sup> compuestos no-estequiométrico de al menos dos elementos.



## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Extrayendo los precios de los materiales del programa y realizando una comparativa tenemos que:

Carbon steel, AISI 1010, annealed				
Datasheet view: All attributes		Show/Hide		
Price				
Price	(i)	* 0,573	- 0,689	EUR/kg
Price per unit volume	(i)	* 4,47e3	- 5,44e3	EUR/m <sup>3</sup>
Carbon steel, AISI 1015, annealed				
Datasheet view: All attributes		Show/Hide		
Price				
Price	(i)	* 0,573	- 0,689	EUR/kg
Price per unit volume	(i)	* 4,47e3	- 5,44e3	EUR/m <sup>3</sup>
Interstitial free steel, YS260, cold rolled				
Datasheet view: All attributes		Show/Hide		
Price				
Price	(i)	* 0,591	- 0,707	EUR/kg
Price per unit volume	(i)	* 4,61e3	- 5,59e3	EUR/m <sup>3</sup>

Figura 79 Comparativa de precios entre los diferentes materiales a determinar

Se observa como el precio del YS260 es superior al de los otros dos metales; por ello, a pesar de tener mejores propiedades mecánicas, encarecería de más el producto por lo que queda descartado.

En cuanto a los otros dos materiales, el software otorga el mismo precio a ambos por lo que para elegir cual es mejor se buscará empresas donde se oferten estos materiales cerca de la zona de la fábrica donde vaya a ser fabricada la gama de envoltentes; en este caso Valencia.

Realizando una búsqueda por internet por la zona se han encontrado dos empresas que suministran chapa laminada en AISI 1010 bajo la nomenclatura dada por la norma UNE EN-10130; es decir DC01. Estas empresas son *ArcelorMittal* y *Hierros de Levante* ambas ubicadas en el puerto de Sagunto. Los precios que nos han dado para este material son:

- Para chapa de 1.2 mm de espesor: 0.700€ el kg.
- Para chapa de 1.5 mm de espesor 0.690€ el kg.

Por el contrario, al realizar una búsqueda exhaustiva con el AISI 1015 empleando también su nomenclatura según la norma UNE-EN 10132, nos hemos encontrado con que, si bien el material se vende en forma de acero estructural, no hay ninguna empresa siderúrgica de la zona que suministre este material. Es por ello que la elección final del material será el AISI 1010.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

### III.6.2. Material de las juntas.

Como se ha comentado a lo largo del proyecto, las cajas eléctricas han de ser estancas y herméticas ya que están diseñadas para albergar componentes eléctricos en su interior; por ello es necesaria juntas en aquellas zonas donde pueda penetrar el agua con mayor facilidad. Por ello es necesario concretar el material necesario para aplicar tanto en la junta de las tapas pasacables y bisagras (en forma de lámina), como la junta de contacto de la puerta (inyectada).

#### III.6.2.1. Junta para la tapa pasacables y las bisagras.

Se desea un material plástico ya que son materiales baratos, fácil de malear, y con buenas resistencias tanto mecánica como a corrosión. Además, es un material aislante por lo que reduce considerablemente el riesgo de electrocución debido a una mala conexión o al desgaste de los componentes en el interior de la envuelta.

Composition overview	
Form	<input type="text"/>
Material family	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline); Plastic...
Base material	<input type="text"/>
% filler (by weight)	<input type="text"/> <input type="text"/> %
Filler/reinforcement	<input type="text"/>
Filler/reinforcement form	<input type="text"/>
Additive	<input type="text"/>
Renewable content	<input type="text"/> <input type="text"/> %

Figura 80 Introducción del material base para filtrado de materiales

Siguiendo la tónica general en la elección de materiales, se buscará un material lo más barato posible tanto su precio por masa como por volumen (ya que son materiales proporcionados en planchas) para poder ofrecer una caja económica y competente frente a la competencia.

Price			
	Minimum	Maximum	
Price	<input type="text"/>	3	EUR/kg
Price per unit volume	<input type="text"/>	50	EUR/m^3

Figura 81 Introducción de los precios máximos para filtrado de materiales

Por último y se busca además un material que sea óptimo para emplearse como junta, por lo que su resistencia frente a líquidos como el agua y ácidos sea como mínimo aceptable

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

The screenshot shows a software interface with a section titled "Durability". It contains a list of durability requirements on the left and corresponding dropdown menus on the right. The requirements and their dropdown values are:

Requirement	Dropdown Value
Water (fresh)	Acceptable; Excellent
Water (salt)	Acceptable; Excellent
Weak acids	Acceptable; Excellent
Strong acids	Acceptable; Excellent
Weak alkalis	Acceptable; Excellent
Strong alkalis	Acceptable; Excellent
Organic solvents	
Oxidation at 500C	
UV radiation (sunlight)	
Galling resistance (adhesive wear)	
Flammability	

Figura 82 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material

Con estos requisitos encontramos dos materiales: el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polipropileno en dos densidades.

The screenshot shows a software interface with a section titled "2. Selection Stages". It contains a list of stages and a "3. Results" section. The stages are:

- Stage 1: Form, Material family
- Stage 2: Price, Price per unit volume
- Stage 3: Water (fresh), Water (salt), Weak acids, Strong acids, Weak alkalis, Strong alkalis

The "3. Results" section shows "3 of 3968 pass". It includes a "Show:" dropdown set to "Pass all Stages" and a "Rank by:" dropdown set to "Alphabetical". The results list is as follows:

Name
PE-LD foam (cross-linked, closed cell, 0.018)
PP foam (closed cell, 0.020)
PP foam (closed cell, 0.030)

Figura 83 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado

Para la elección entre estos dos materiales aplicaremos los mismos factores que para la elección del acero: en primer lugar, el más económico y por otro, la disponibilidad.

Comparando los precios tenemos que, según el software, la espuma de polipropileno es más barata que la de polietileno.

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

PE-LD foam (cross-linked, closed cell, 0.018)			
Datasheet view:	All attributes		Show/Hide
<b>Price</b>			
Price	ⓘ	* 2,34 - 2,58	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 37,4 - 51,6	EUR/m³
PP foam (closed cell, 0.020)			
Datasheet view:	All attributes		Show/Hide
<b>Price</b>			
Price	ⓘ	* 1,63 - 1,79	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 32,6 - 39,4	EUR/m³

Figura 84 Comparativa de precios entre los diferentes materiales a determinar

En cuanto a la disponibilidad del material, al realizar una búsqueda por internet se ha observado que el PP se vende en espesores de 8 mm o más empleándolos principalmente como aislante entre paredes o bloques; mientras que los espesores para las juntas en LDPE llegan a ofertarse en 2 mm. Los fabricantes de juntas tales como *Xerri*, *espumas* y *transformadores* (ubicada en Manises) ofertan planchas de polietileno de baja densidad troqueladas según especificaciones del cliente. Por ello, a pesar de que el PP sea más barato, se optará por elaborar las diferentes juntas en LDPE.

### III.6.2.2. Junta para la puerta.

Para la elección de las juntas se ha optado por un polímero en forma de espuma ya que se busca la elaboración de juntas a partir de una plancha con unas dimensiones concretas. Una espuma de polímero es una mezcla de polímero y gas, lo que da al material una estructura porosa o celular. Las propiedades características de un polímero espumado incluyen:

- Densidad reducida
- Baja conductividad térmica y eléctrica
- Gran resistencia a los ataques de sustancias químicas. Resiste la mayoría de ácidos, bases y sales en cualquier concentración
- Es totalmente atóxico, impermeable al agua y relativamente poco permeable al vapor de agua y gases.
- Poca absorción de agua
- Excelentes propiedades de absorción de golpes

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Composition overview	
Form	Foam
Material family	Plastic (thermoplastic, semi-crystalline); Plastic...
Base material	
% filler (by weight)	<input type="text"/> <input type="text"/> %
Filler/reinforcement	
Filler/reinforcement form	
Additive	
Renewable content	<input type="text"/> <input type="text"/> %

Figura 85 Introducción forma y material para filtrado de materiales

A continuación, reduciendo los materiales que se adecúen a nuestras necesidades, se reduce el rango de precio para concretar los materiales que resulten más económicos.

Price			
	Minimum	Maximum	
Price	<input type="text"/>	6	EUR/kg
Price per unit volume	<input type="text"/>	<input type="text"/>	EUR/m <sup>3</sup>

Figura 86 Introducción de los precios máximos para filtrado de materiales

Finalmente, se establecen las propiedades mecánicas y de resistencia frente a elementos externos. Para este tipo de junta es imprescindible una excelente resistencia frente a agua dulce y frente a ácidos alcalinos; además, se desea que la espuma sea auto-extinguible o como mínimo que tarde en prender si hay un incendio en la caja para evitar daños mayores en el resto de la instalación y de tiempo a los equipos de extinción de incendios a paliar el problema.

Durability	
Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	
Weak acids	
Strong acids	
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	
Organic solvents	
Oxidation at 500C	
UV radiation (sunlight)	
Galling resistance (adhesive wear)	
Flammability	Slow-burning; Self-extinguishing

Figura 87 Introducción de las propiedades frente a elementos para filtrado de material

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Una vez aplicados los límites, encontramos dos materiales: la espuma de poliuretano y la espuma de PVC con diferentes densidades.

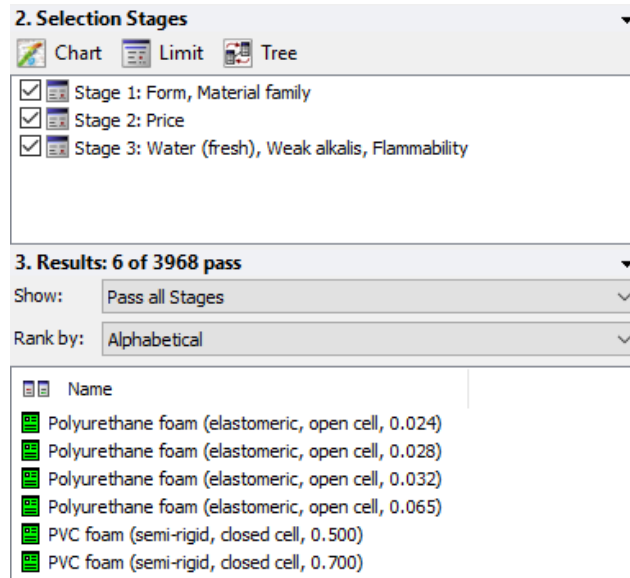


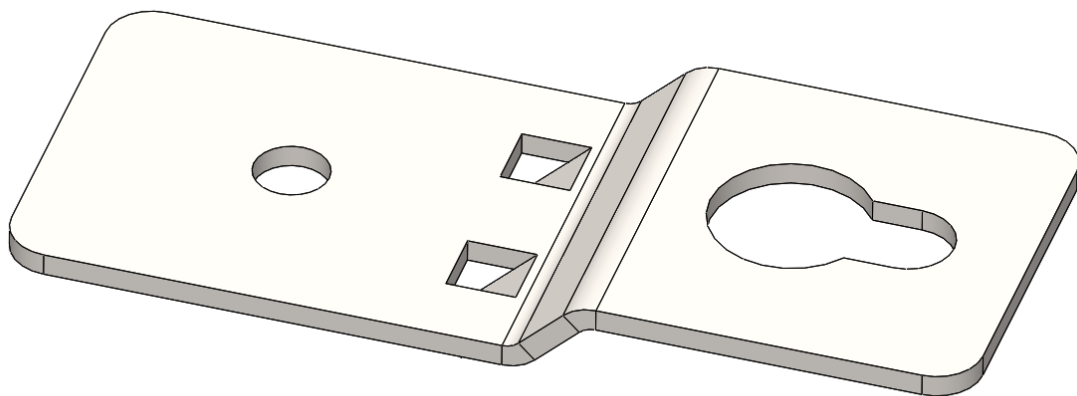
Figura 88 Materiales proporcionados por el software tras el proceso de filtrado

Para la elección entre estos dos materiales, si bien la espuma de PVC tiene un precio menor, no es posible su aplicación de forma inyectada, encontrándose generalmente en el mercado en forma de láminas. Por ello la elección final será la espuma de PUR; esta espuma es la usada comúnmente para la aplicación de un aislamiento en tuberías, ventanas, puertas e incluso para el aislamiento de hogares cuando se aplica en spray.

## III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

En este apartado se definirán los elementos generalmente empleados para anclar las cajas metálicas de este tipo con el resto de la instalación. Las envolventes metálicas que conciernen a la gama que se refiere este estudio son del tipo de fijación a pared o de fijación mural por lo que se necesita de una serie de piezas que permitan este anclaje.

Este tipo de anclaje se emplea de dos formas: mediante tornillos directamente atornillados por los troqueles realizados en la parte posterior de la envuelta; o mediante el empleo de unas garras metálicas que permiten una instalación rápida sin necesidad de acceder al interior de la caja además de distanciar la caja de la superficie de anclaje, evitando la transferencia de calor entre la caja y el resto de la instalación.



*Figura 89 Garra de fijación mural*

Sin embargo, las cajas de grandes dimensiones también pueden anclarse al suelo mediante el empleo de un zócalo con las dimensiones de la base de la caja.

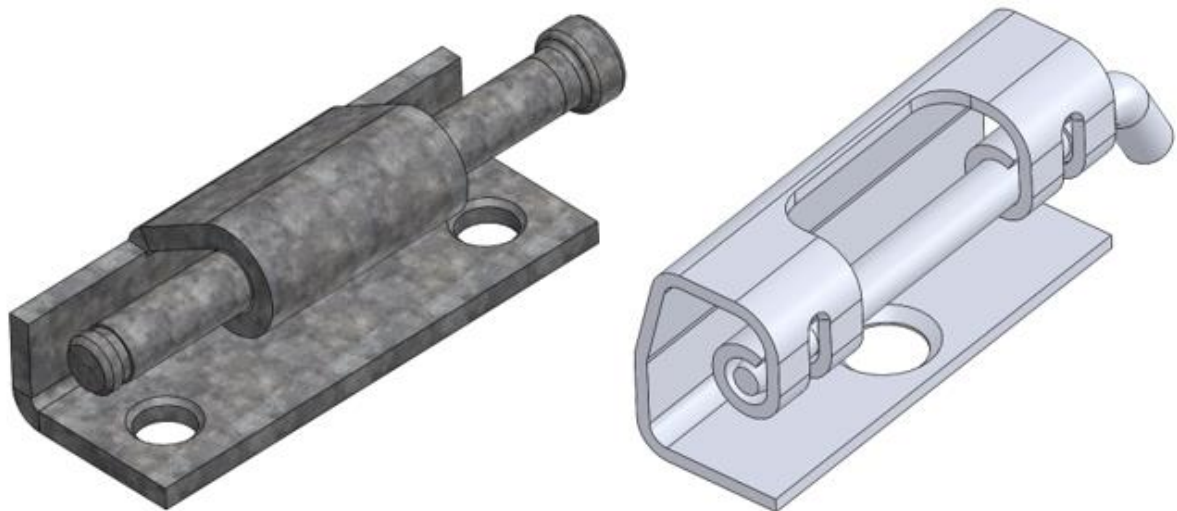
## III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

Se procederá a la elaboración de las simulaciones sobre los análisis previamente calculados y empleando los materiales extraídos en el apartado anterior.

### **III.8.1. Simulación estática.**

En esta simulación se analizará cómo se comporta la bisagra comercial escogida frente a la bisagra inicial realizada por un matricero de la gama antigua tal y como se ha desarrollado en el punto *III.5 Estudio y definición de estados tensionales*. El estudio se simulará aplicando una fuerza de 84.37 N sobre ambos vástagos de las bisagras, realizando un ensamblaje simple donde únicamente se contemple únicamente la parte fija de la bisagra (parte atornillable) y el vástago evitando que otros elementos intervengan en el estudio y puedan dar resultados erróneos en la simulación. Al ser piezas donde no se interviene en su fabricación, el material quedará estipulado por la empresa externa, siendo en ambos casos el acero galvanizado como material de fabricación.

Los diseños de ambas piezas son reconstrucciones 3D a partir de los planos facilitados por los fabricantes los cuales se pueden consultar en los anexos. Previamente a la elaboración del estudio se muestra en la siguiente imagen los ensamblajes sobre los cuales se realizará el estudio.



*Figura 90 Ensamblaje parte fija-vástago bisagra inicial (izquierda) y bisagra comercial (derecha)*



## Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

A continuación, se desarrollará el proceso seguido para introducir los datos de entrada sobre la simulación para, posteriormente, realizar una interpretación y análisis de los resultados obtenidos a nivel tanto gráfico como numérico con el fin de mostrar la bisagra que mejor se adapte a las necesidades de la gama.

En primer lugar, una vez iniciado el software *SolidWorks* con la pieza que se desea simular, se selecciona el complemento de “SOLIDWORKS Simulation”, generando un nuevo estudio de “Análisis estático”.

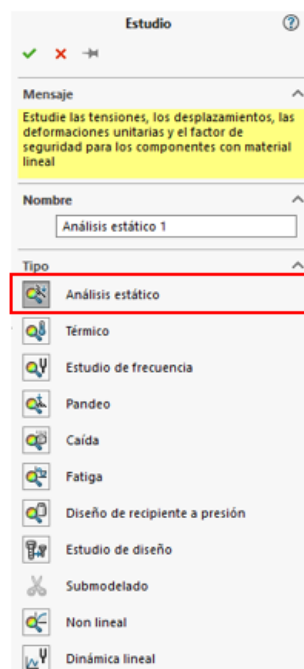


Figura 91 Selección del tipo de estudio

El primer parámetro a introducir sobre el estudio es el material del que estará conformado la pieza a analizar. Este parámetro se puede aplicar de dos maneras: o bien, previamente al análisis se puede seleccionar el material de la pieza; o si no, en los comandos del estudio, el apartado de piezas muestra los diferentes elementos del estudio y haciendo clic derecho sobre cada ellos nos permitirán seleccionar el material.

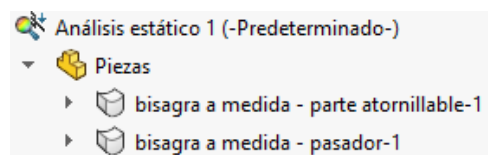


Figura 92 Parámetro de estudio: piezas

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Como se ha comentado previamente, el material empleado en todas las piezas es el acero galvanizado. En la ventana emergente podremos encontrar directamente este material con sus propiedades mecánicas por lo que no será necesario introducir las características de este de forma manual.

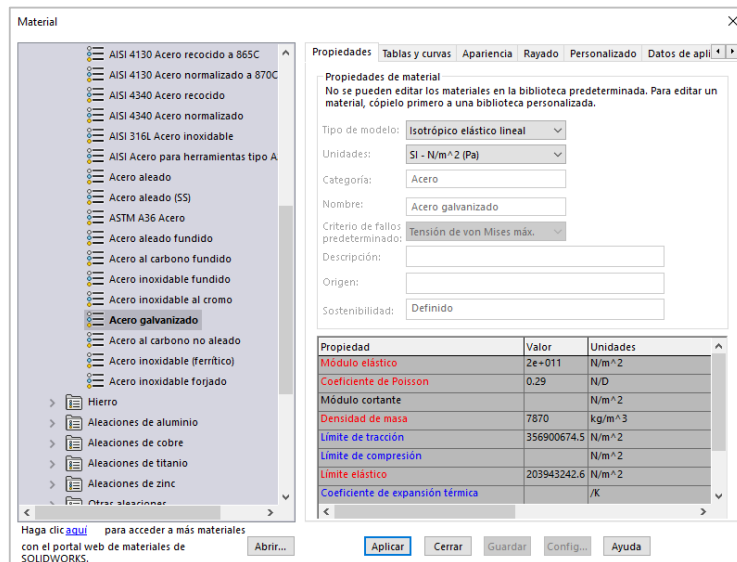


Figura 93 Parámetro de estudio: elección del material

El siguiente parámetro a definir son las superficies de contacto entre elementos, ya que, de lo contrario, el programa puede interpretar erróneamente la posición de las piezas perjudicando al resultado de la simulación. En el caso de nuestro ensamblaje, el contacto se realiza entre las caras cilíndricas del vástago y la parte atornillable de las bisagras.

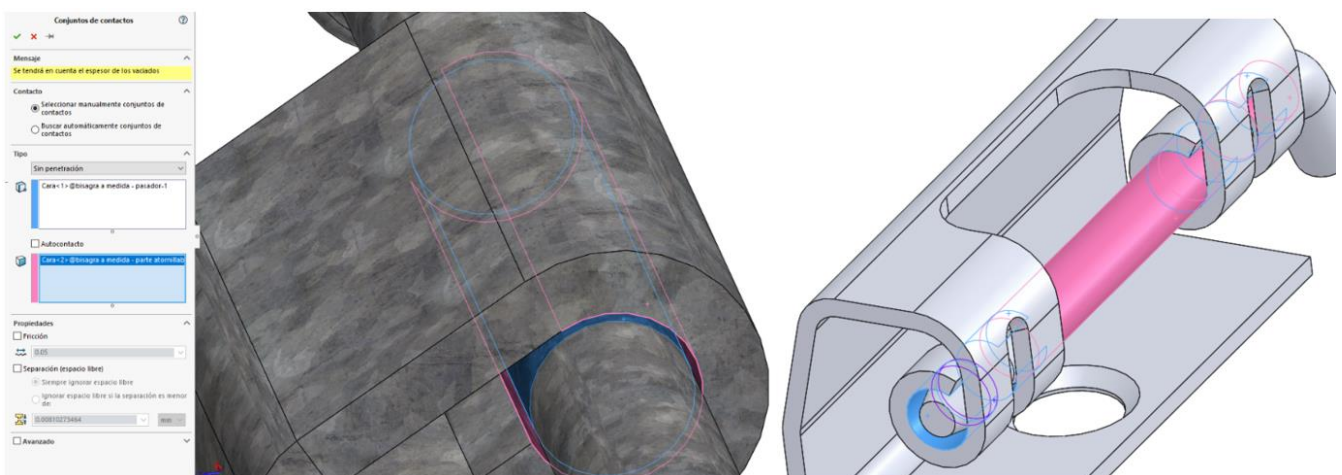


Figura 94 Parámetro de estudio: contacto entre componentes

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El tercer paso para elaborar es la definición de las sujeciones del ensamblaje. Este paso se emplea para introducir la libertad de movimiento que tienen las piezas a estudiar a la hora de realizar la simulación. En este caso tendremos que definir ambas partes:

- Parte atornillable: la sujeción que más se adapta es una del tipo “Geometría fija” sobre la base; esta restringe el movimiento de la superficie sobre la que se aplica en todas las direcciones.
- Vástago: en el caso de este elemento se ha de emplear una “sujeción avanzada sobre caras cilíndricas” con el fin de restringir tanto el movimiento de rotación como el desplazamiento axial.

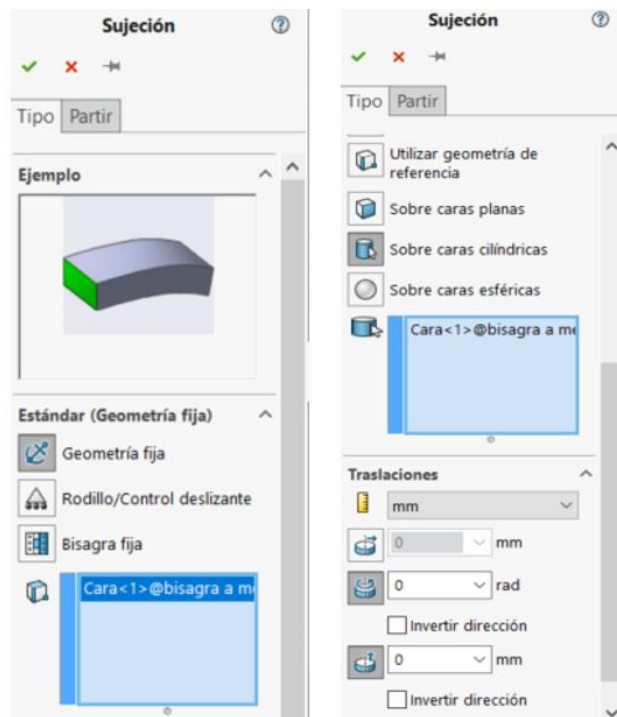


Figura 95 Parámetro de estudio: sujeciones

A continuación, se introducirán las cargas con las que se realizarán la simulación, definiendo la zona donde se ejerza, el valor, sentido y tipo de carga que se desea aplicar. Para este caso, la carga será del tipo “fuerza”, sobre las superficies del vástago que se encuentren en contacto con la parte móvil de la bisagra, con una dirección horizontal al suelo. El valor que se introducirá a la fuerza será el valor calculado en el apartado de *III.5 Definición de estados tensionales*. Cabe destacar que al ser una superficie cilíndrica para dotar del sentido a la fuerza se ha de emplear una arista como línea de referencia.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

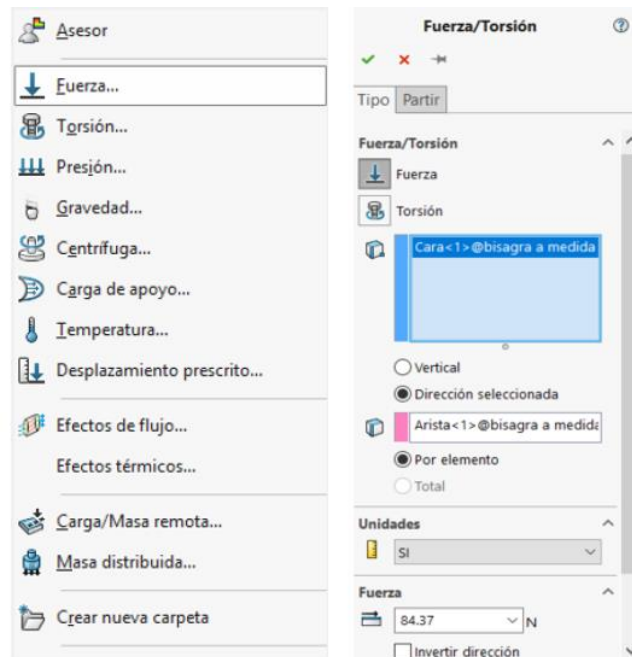


Figura 96 Parámetro de estudio: Cargas externas

Una vez definidos todos los valores de entrada para elaborar la simulación, último parámetro a establecer es el mallado. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño; en este proceso, los softwares basados en el análisis de elementos finitos subdividen los modelos 3D más grandes a estudiar, o se desglosan en elementos más pequeños que están conectados por nodos. La calidad de la misma es muy importante ya que determinará la posibilidad de solucionar el caso y la rapidez computacional en resolverlo. Al ser piezas poco complejas y realizarse sobre una CPU de altas prestaciones, la calidad empleada será la máxima.

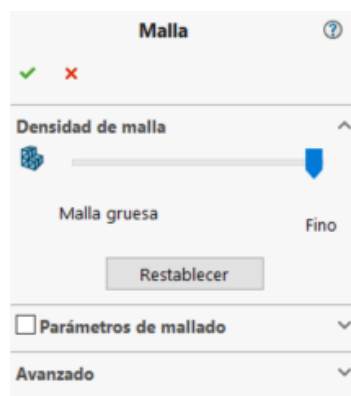


Figura 97 Parámetro de estudio: mallado

Finalmente se procederá a la ejecución del análisis, dándonos los resultados gráficos y numéricos del estudio.

Desarrollo de una nueva gama de envolventes metálicos a partir de una serie ya comercializada

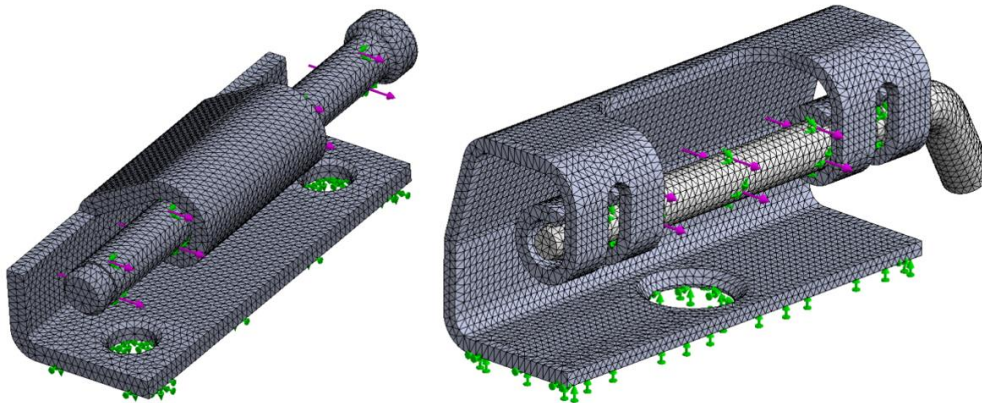


Figura 98 Vista de los ensamblajes una vez creado el mallado

Una vez realizados los cálculos se procederá a su análisis. Los factores de mayor interés para determinar cuál de las dos bisagras presenta unas mejores características mecánicas son el conocimiento del estado tensional del vástago y la deformación unitaria.

**III.8.1.1. Resultado estados tensionales.**

Se muestra a continuación de forma gráfica los resultados de los estados tensionales, señalando además el punto y el valor donde se ejerce el esfuerzo mayor.

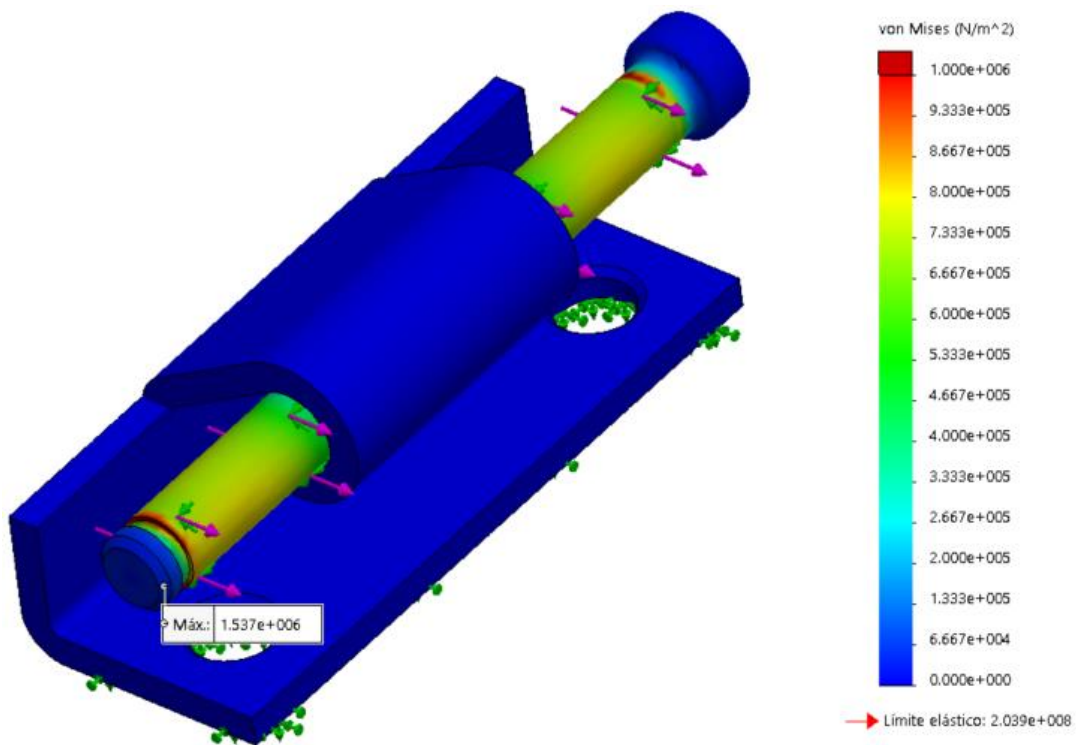


Figura 99 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la bisagra inicial

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

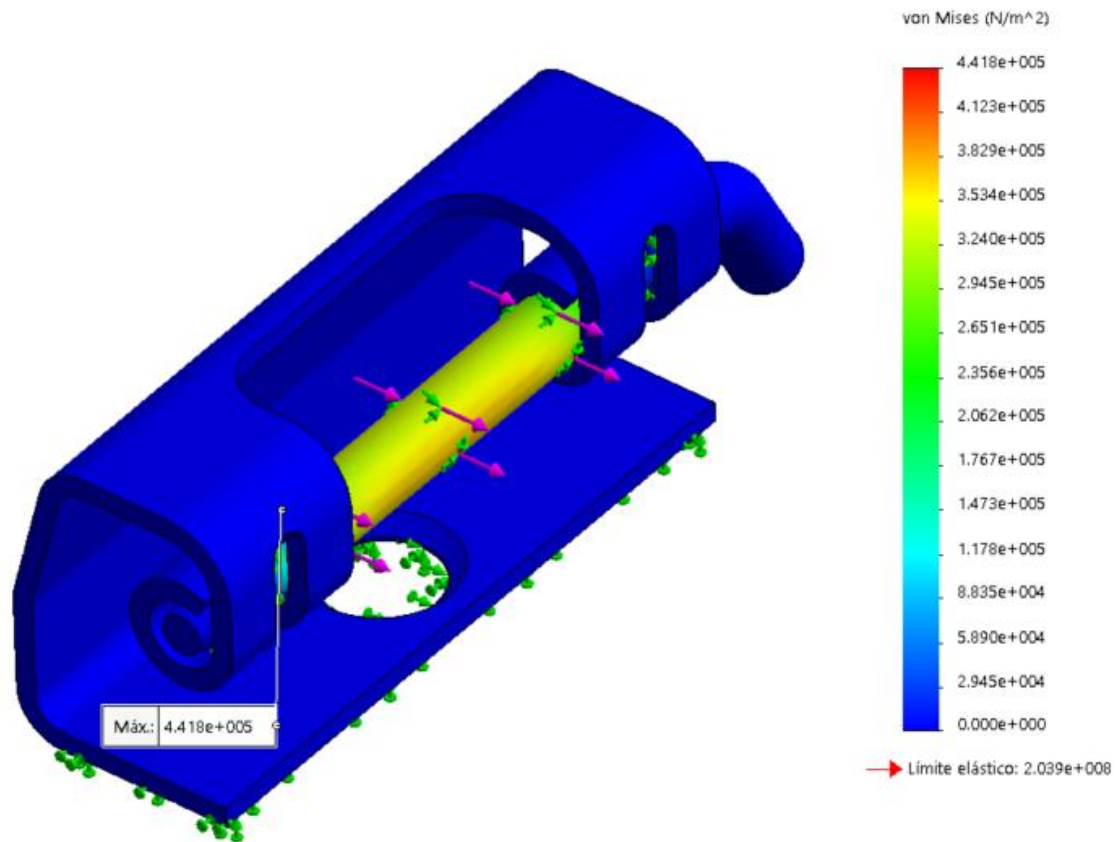


Figura 100 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la bisagra comercial

Como se puede observar en las imágenes, los valores de tensión máxima se sitúan en los desniveles elaborados para permitir la instalación de la arandela de retención. Estos valores se suelen encontrar en esta zona, debido a que los cambios bruscos de espesor sobre la pieza provocan zonas donde se generen mayores tensiones y mayor riesgo de fractura. Por otro lado, las tensiones se distribuyen de una manera más uniforme en la bisagra comercial debido a que la parte móvil de la bisagra se fija al resto de la bisagra por la parte central y no por los extremos como lo hace la bisagra inicial.

Se observa además que, si bien los valores obtenidos en ambos casos están por debajo del límite elástico del material, la bisagra comercial ha generado unos mejores resultados en este análisis lo que nos permitiría ofrecer accesorios que de mayor peso que los actualmente ofertados.



### III.8.1.2. Resultado deformación unitaria.

Se define la deformación unitaria como la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial de la pieza; o lo que es lo mismo, cualquier cambio en la forma o apariencia de un cuerpo o material al ser sometido a una fuerza exterior. Permite determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial. A continuación, se muestran de forma gráfica los datos obtenidos tras la simulación.

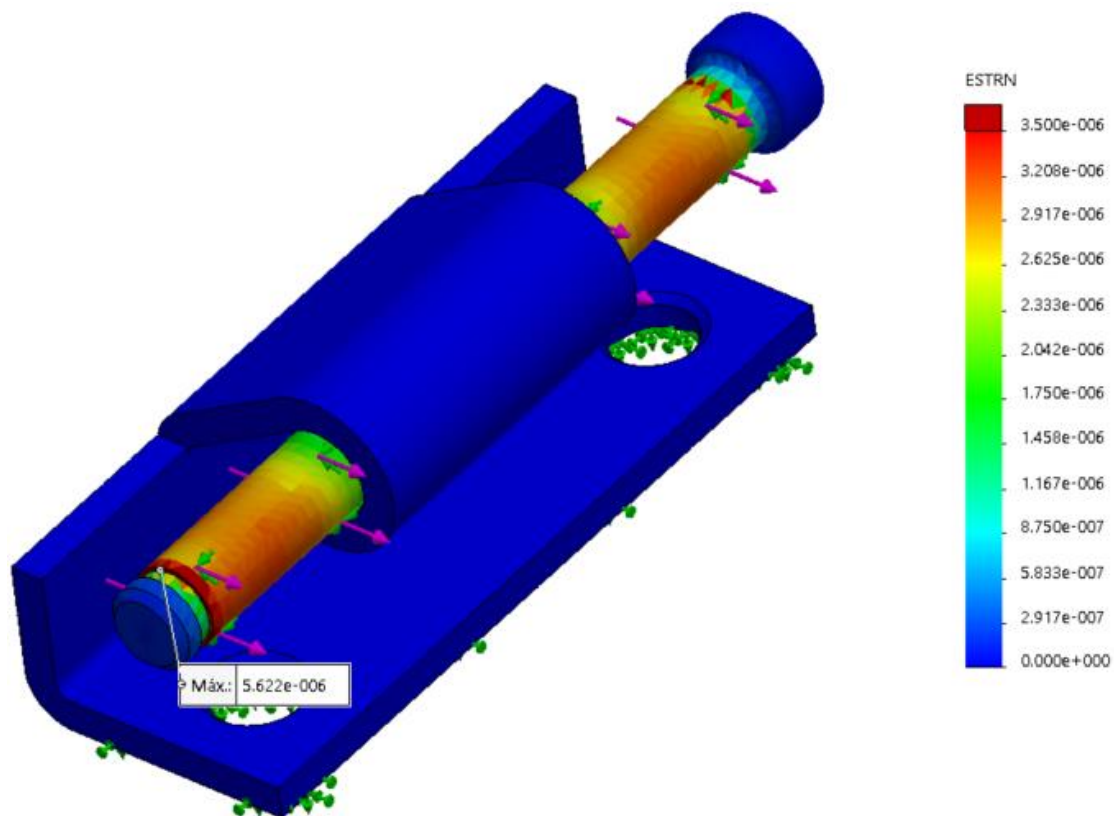


Figura 101 Resultado de la deformación unitaria en el análisis estático sobre la bisagra inicial

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

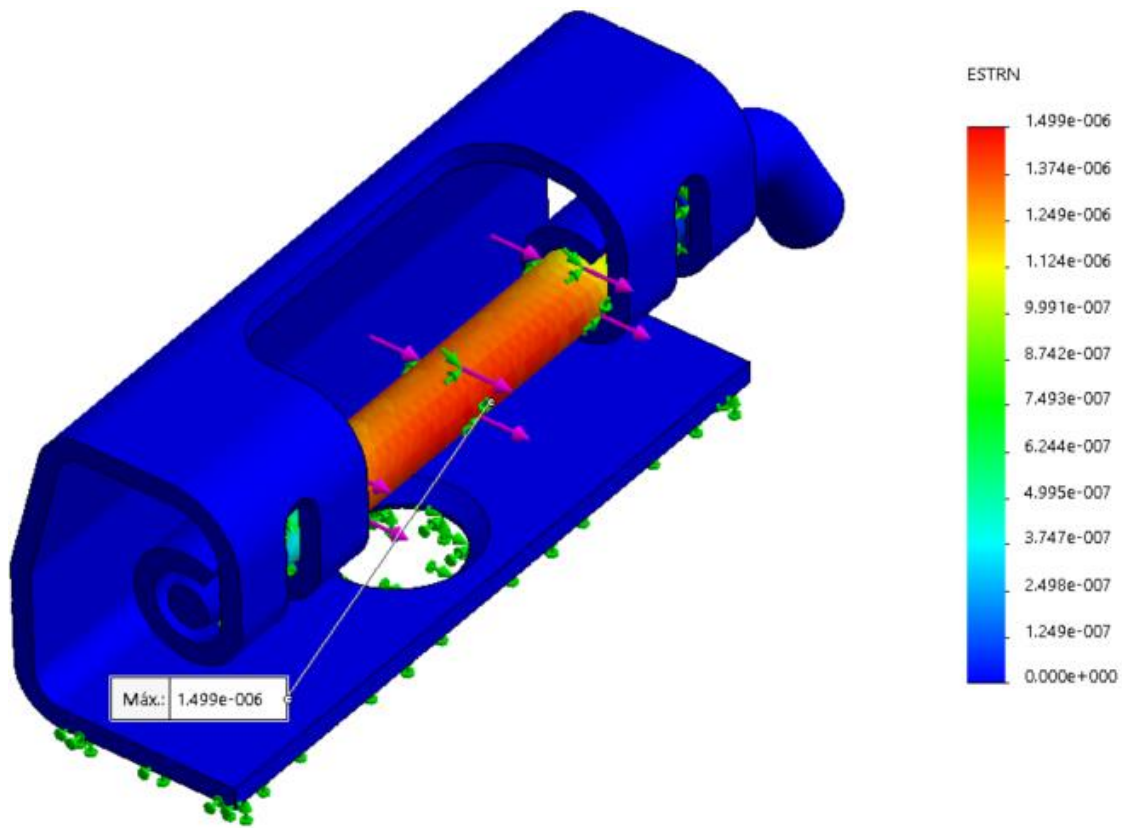


Figura 102 Resultado de la deformación unitaria en el análisis estático sobre la bisagra comercial

Se observa como la máxima deformación se produce en los extremos sobre la bisagra inicial se ubica en los extremos debido a la forma en la que se distribuye la carga, lo que, a la larga, puede provocar la fractura del vástago en la zona media debido al pandeo resultante; mientras que la bisagra comercial la máxima carga se distribuye de manera uniforme por toda la zona central lo que evita un desgaste prematuro del vástago y reduce significativamente el riesgo de fractura. Además, los valores obtenidos muestran como, frente a la misma carga, la deformación sufrida soportada por la bisagra inicial fabricada por un matricero es la más del doble que la soportada por la comercial.

Tras los resultados obtenidos podemos afirmar que la bisagra comercial aporta al ensamblaje de la envuelta una mejoría frente a las cargas que puede soportar frente a la bisagra inicial.



### III.8.1. Simulación de impacto.

En el siguiente apartado, se realizarán los ensayos para estudiar el comportamiento de la envuelta frente a un impacto externo. Para ello, se elaborará una simulación donde se recree las condiciones que se dan en el ensayo IK según la norma *UNE-EN 50102 2002: Grado de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK)* (AENOR,2002).

El estudio se centrará concretamente en observar los resultados en la cara posterior de la envuelta ya que es esta zona la que ha sufrido las modificaciones constructivas.

El software empleado será el mismo que en el apartado anterior. Este, a la hora de elaborar estudios de contacto entre dos piezas, al tener que determinar un gran número de nodos y un inmenso número de variables, las simulaciones no suelen dar resultados que concuerden con este tipo de impacto, además de necesitar de un hardware de elevadas prestaciones para poder ejecutarse. Es por ello que, empleando los cálculos del apartado *III.5. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES*, se introducirán las condiciones que se dan cuando el martillo impacta sobre la envuelta.

Previamente a introducir los parámetros de la simulación, se realiza un croquis con las dimensiones de la cabeza del martillo especificadas en la normativa sobre la cara donde se desea realizar el estudio.

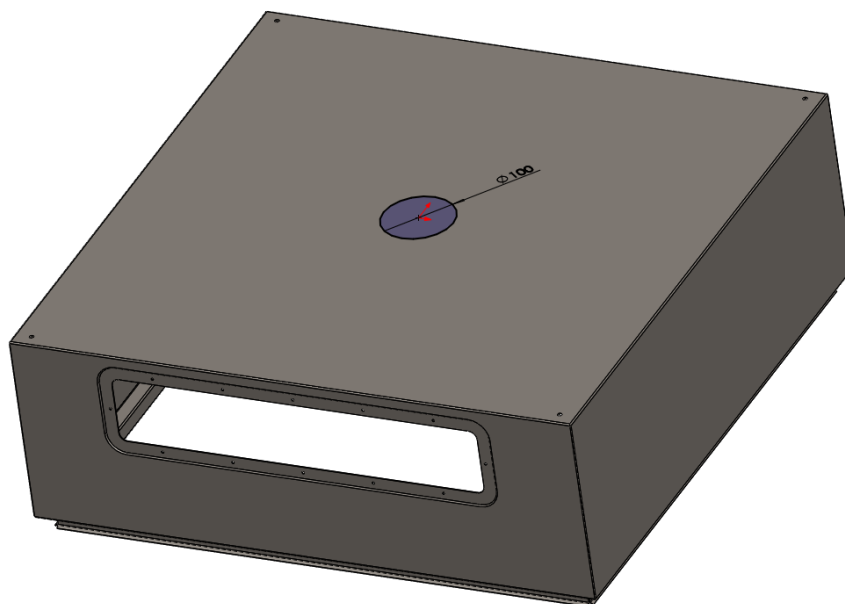


Figura 103 Croquis de la cabeza del martillo sobre la cara posterior de la envuelta rediseñada

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Para este estudio volveremos a emplear el análisis estático. Del mismo modo que en aparatado anterior procederemos a introducir los diferentes parámetros necesarios para este tipo de simulación.

Primeramente, se establece el material de las piezas. Este se ha obtenido previamente del software *CES Edupack* quedando como resultado el acero laminado AISI 1010.

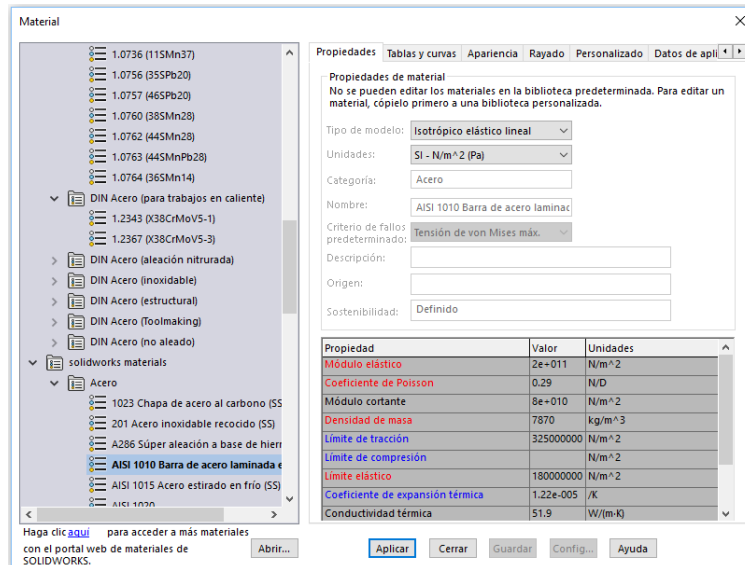


Figura 104 Parámetro de estudio: elección del material

A continuación, se introducen las conexiones entre elementos. En este caso, la envuelta rediseñada solo está conformada por un único elemento por lo que no necesita de este paso. Mientras que la pieza original está conformada, por el ensamblaje de dos chapas; estas, quedan soldadas conformando una unión rígida la cual se deberá de concretar en el estudio.

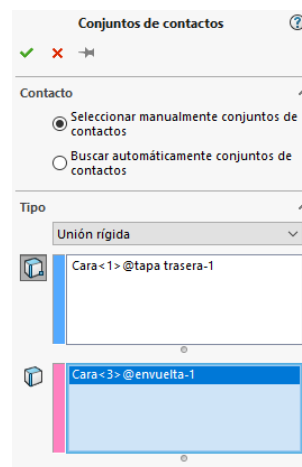


Figura 105 Parámetro de estudio: contacto entre componentes

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

En tercer lugar, se fijan las sujeciones que afecten al estudio. Dado que la simulación se concentra en la cara posterior, las sujeciones del tipo geometría fija se ubicarán en los pliegues del vierte aguas. Por otro lado, en la envuelta original, también se deberán de introducir las sujeciones avanzadas sobre la tapa trasera, restringiendo su movimiento a la dirección del estudio.

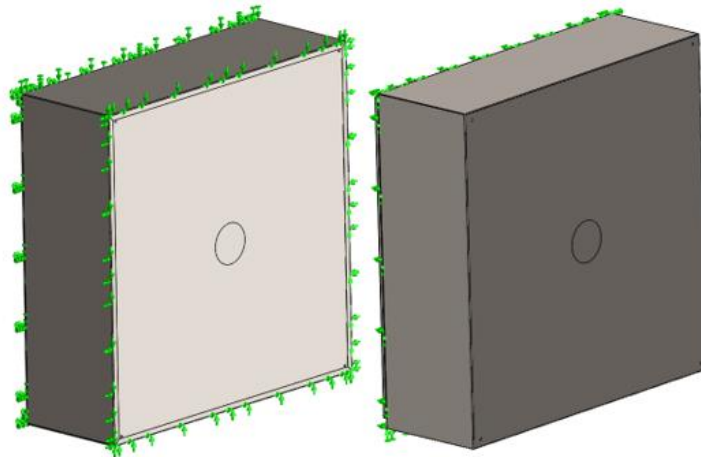


Figura 106 Parámetro de estudio: sujeciones

Seguidamente, se establecen los parámetros de las cargas externas que afecten al estudio. En este caso, la clase de carga empleada es “fuerza” y el valor de la misma será de 19.62 N. Para poder concentra la carga en la zona donde se produciría el impacto martillo-envuelta, deberemos de crear una línea de partición; para ello, en las pestañas del entorno de la carga iremos a la de “partir” y seleccionando el croquis previamente dibujado y la cara sobre la que se deseada a crear dos superficies, generemos la partición. Con ello, podremos seleccionar únicamente el área de impacto del martillo.

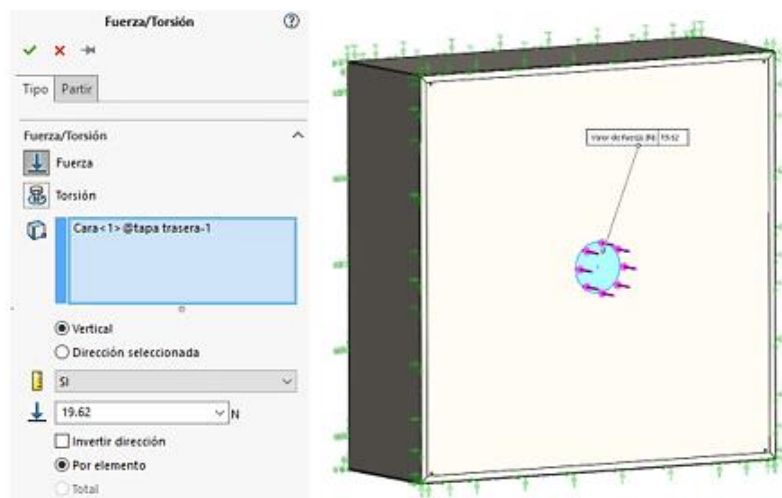


Figura 107 Parámetro de estudio: Cargas externas

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Como paso final previo a la ejecución del análisis, se establece el mallado. Dada la simplicidad de la pieza a analizar y las características de la CPU donde se ha realizado las simulaciones, es posible realizar una malla con una densidad de mallado fino.

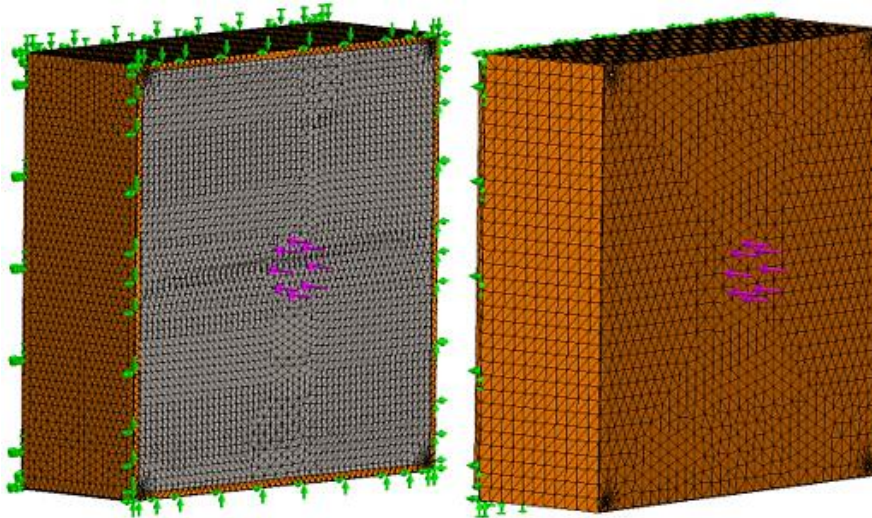


Figura 108 Vista de las envoltas una vez creado el mallado

### III.8.2.1. Resultado estados tensionales.

Del mismo modo que en la simulación anterior, se muestra a continuación de forma gráfica los resultados de los estados tensionales, señalando además el punto y el valor donde se ejerce el esfuerzo mayor.

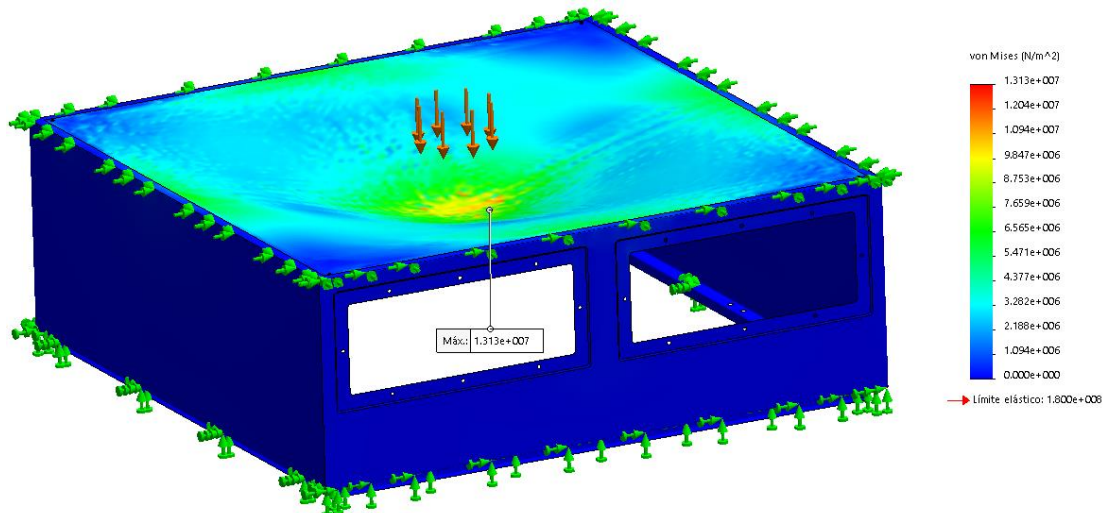


Figura 109 Resultados de las tensiones en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

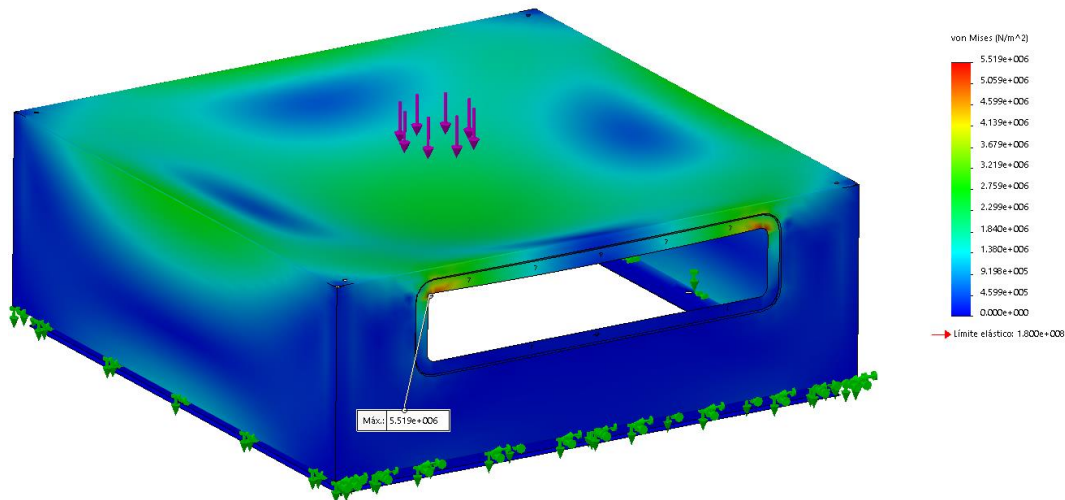


Figura 110 Resultados de las tensiones en el análisis estático sobre la envuelta rediseñada

Si bien en ambos casos no exceden el límite elástico del material empleada ( $1.8e+8 \text{ N/m}^2$ ), se observa como en la envuelta inicial, al estar fabricada en dos chapas, las tensiones generadas por el martillo se concentran en la zona del impacto alcanzando el pico de tensión en esta área ( $1.313 \text{ e}+7 \text{ N/m}^2$ ). Mientras que, con el nuevo método de fabricación, la tensión se distribuye de forma homogénea por toda la zona trasera contribuyendo a un mejor comportamiento frente a este tipo de cargas y alcanzando el pico máximo de tensión en el concentrador de tensiones más próximo a la zona donde se realizó la carga, que es la abertura de la entrada pasacables ( $5.519 \text{ e}+6 \text{ N/m}^2$ ).

### III.8.2.2. Resultado deformación unitaria.

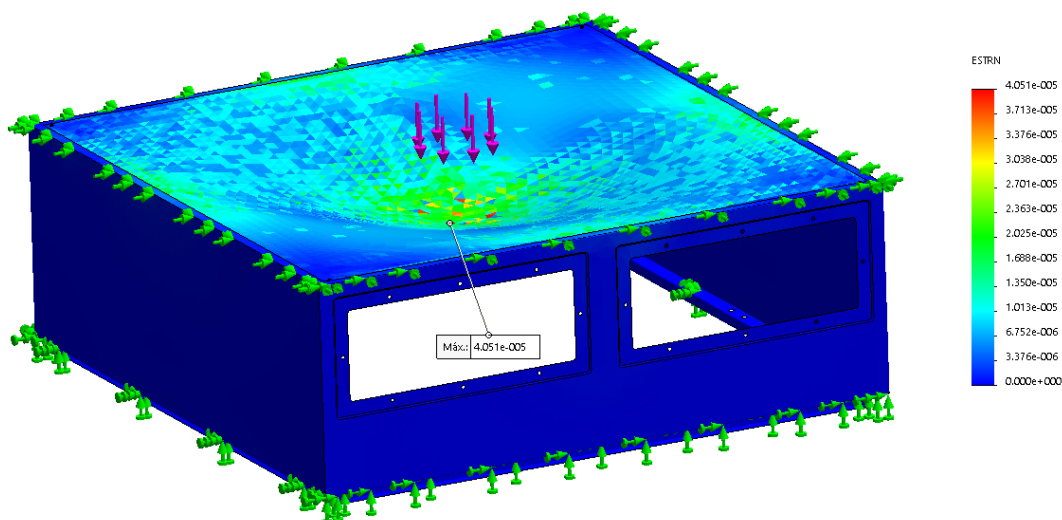


Figura 111 Resultado de la deformación unitaria en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

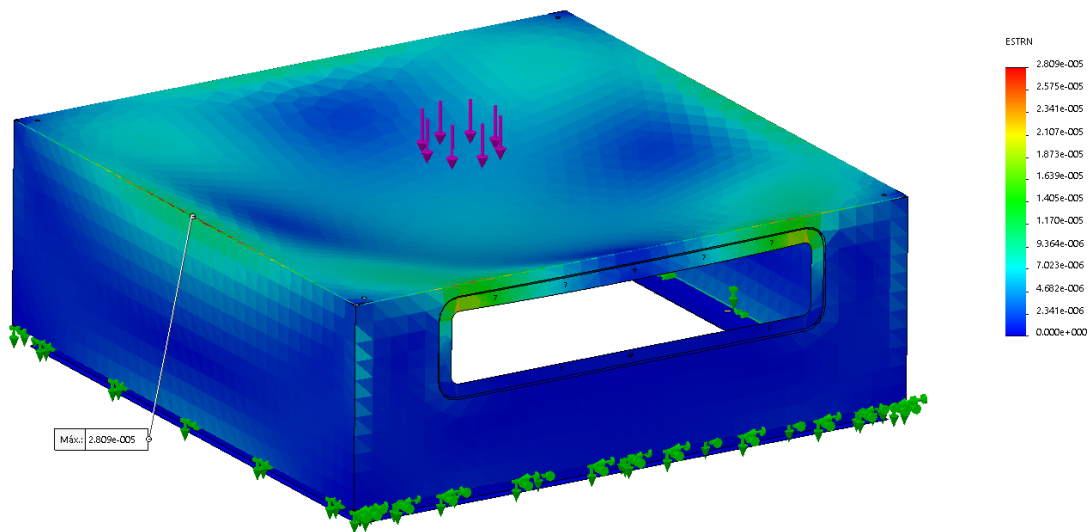


Figura 112 Resultado de la deformación unitaria en el análisis a impacto sobre la envuelta rediseñada

Del mismo modo que lo ocurrido con las tensiones, la deformación de la envuelta rediseñada es mucho menor a la envuelta inicial ya que la distribución de la energía se realiza de forma homogénea mostrando los picos de deformación en los cantos ( $2.809e-5$ ). Mientras que, en la envuelta inicial, la zona del impacto es la que sufre toda la deformación alcanzando en esta misma el máximo ( $4.051e-5$ ).

### III.8.2.3. Resultado factor de seguridad.

Dado que la pieza a la que se ha sometido la simulación es el elemento principal del sistema de protección de la instalación eléctrica, es relevante conocer el factor de seguridad. EL facto o coeficiente de seguridad se define como la relación entre la tensión máxima permitida y la tensión equivalente (Von Mises) cuando se usa el límite de elasticidad. Debe ser superior a uno para que el diseño sea aceptable. Este, es utilizado en el diseño de piezas para considerar las incertidumbres que pueden ocurrir cuando las cargas reales actúen sobre una pieza ya construida. A continuación, se muestran el factor de seguridad de ambas envoltas.



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

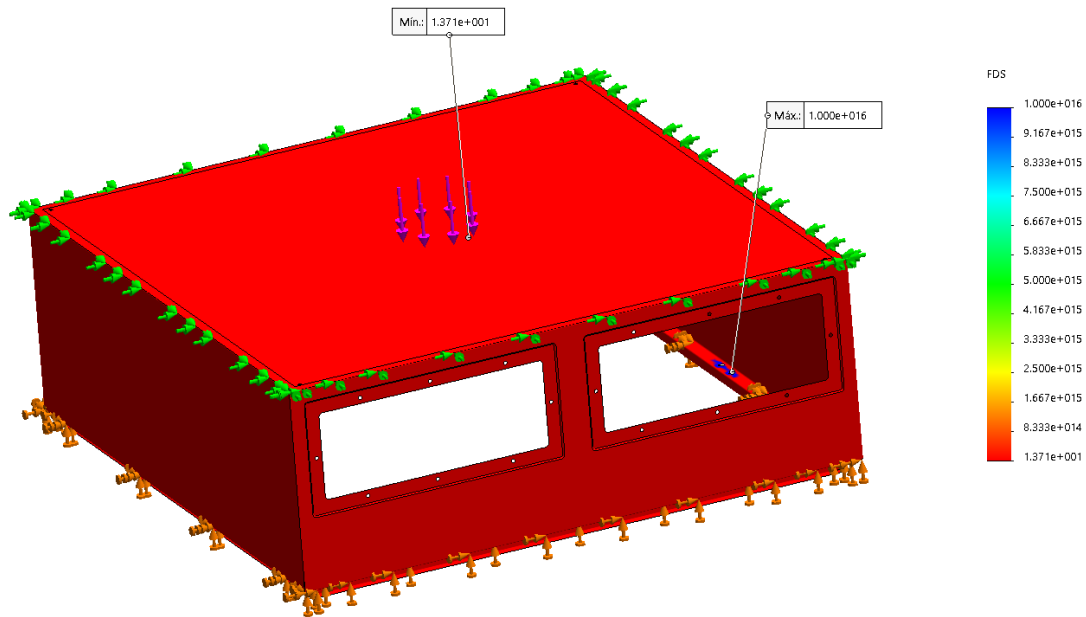


Figura 113 Resultado del factor de seguridad en el análisis a impacto sobre la envuelta inicial

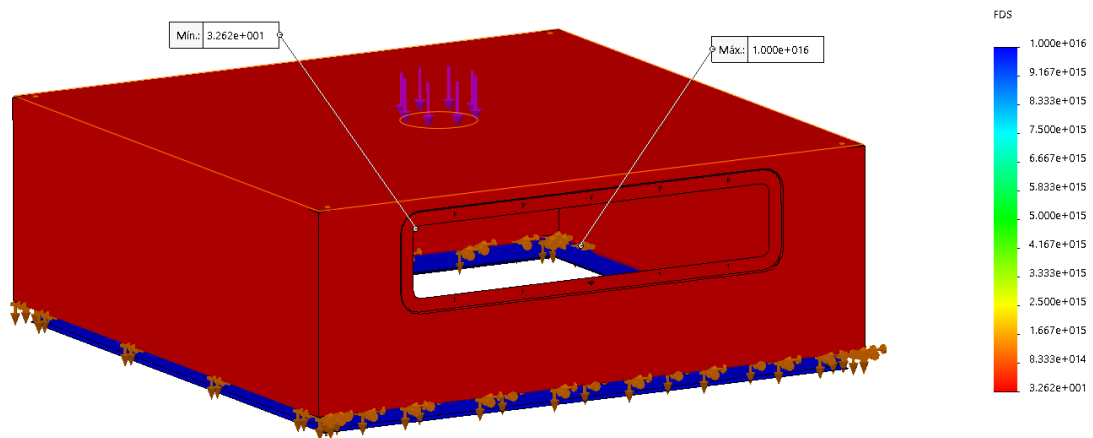


Figura 114 Resultado del factor de seguridad en el análisis a impacto sobre la envuelta rediseñada

Se observa como, si bien ambos valores están por encima de la unidad (lo que equivale a que ambos diseños son válidos), la envuelta rediseñada presenta un coeficiente tres veces superior al de la gama inicial; es decir, el nuevo método constructivo es mucho más seguro que el antiguo.

Dados los resultados de las simulaciones realizadas sobre los diferentes componentes de la envuelta, podemos confirmar que a nivel de diseño, y a falta de elaborar el análisis económico, las prestaciones de la envuelta rediseñada han mejorado frente al producto actual.

## III.9. FABRICACIÓN.

Una vez definido el diseño de la pieza y el material que mejor se adapta a los requisitos marcados, se procederá a seleccionar el proceso o procesos necesarios para fabricar una caja de distribución.

A la hora de realizar este apartado, dividiremos éste en tres partes: procesos destinados a la elaboración geométrica de la pieza, procesos destinados a unir las diferentes caras de la envuelta y procesos de acabado superficial. Además, se definirá el proceso empleado para implementación de la junta de estanqueidad de la puerta en nuestra caja.

### **III.9.1. Procesos de conformado.**

Como bien se ha explicado a lo largo del trabajo, se trata de una pieza elaborada en chapa metálica, por ello procesos relacionados con el conformado o moldeo de materiales poliméricos quedarán descartados. Del mismo modo, se excluirán aquellos basados en la elaboración de una pieza mediante la fundición o el desbaste del material.

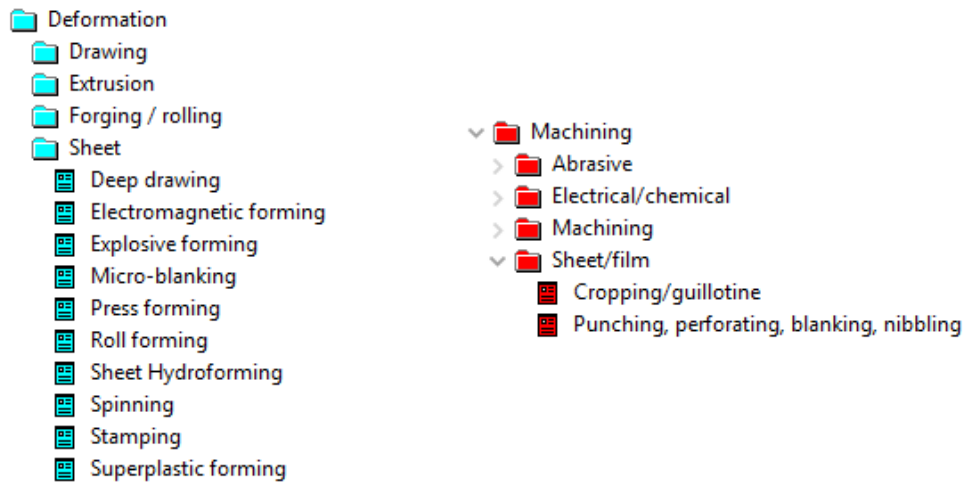
Se buscarán procesos que permitan por un lado la elaboración del diseño inicial de troqueles, mecanizados y embuticiones sobre una lámina de acero; y por otro, el plegado de la pieza de acuerdo a las medidas deseadas.

Cabe destacar que, al realizarse el estudio sobre toda una gama de envoltentes, la maquinaria que se seleccione deberá de permitir realizar las operaciones para un amplio rango de dimensiones. Se pretende que tanto el proceso de fabricación como la maquinaria se adecúe a los niveles productivos de la empresa siendo además lo más económico posible. En cuanto los requisitos relacionados con las tolerancias de fabricación, al realizarse la soldadura por los bordes de la caja, aquellos pequeños errores derivados de la maquinaria.

Una vez establecidos los requisitos mínimos, se procederá mediante el software *CES EduPack 2017* a seleccionar el proceso que mejor conviene a nuestro material. Al buscar los procesos de fabricación que afectan directamente a la elaboración de piezas mediante chapa de acero se ha observado que el programa clasifica los procesos de conformado de chapa en subcarpetas tanto los que afectan a la deformación como al mecanizado de este tipo de superficies.



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada



*Figura 115 Procesos destinados al conformado de chapas metálicas*

Es por ello que para explicar los diferentes métodos de conformado y escoger el más conveniente, realizaremos la misma clasificación que emplea el programa: por un lado, los procesos relacionados con el mecanizado; y por otro los relacionados con su deformación.

### **III.9.1.1. Procesos de mecanizado.**

Como se observa en la imagen anterior, los procesos que se emplean para el mecanizado de chapas son dos el cizallado/guillotinado y el punzonado.

#### **III.9.1.1.1. Cizallado/Guillotinado.**

El cizallado es una operación de corte mecánico de metales en forma de chapa o plancha. El cizallado es una operación de cortes limpios, es decir, sin virutas, calor o reacciones químicas del metal, en el cual se realizan cortes rápidos en forma recta, longitudinal, transversal o diagonal a la placa. Este proceso suele realizarse en frío en especial con material delgado de muchas clases tales como guillotinado de papeles de fibras, telas, cerámica, plásticos, caucho, productos de madera y la mayoría de los metales.

En éste, una cuchilla es obligada a presionar por encima del material de trabajo, ejerciendo una fuerza de corte sobre él, mientras una segunda cuchilla sujeta el material por debajo, cortando el material por cortante en línea recta. Cuando la ductilidad y resistencia del material llega a su límite por la tensión aplicada, excede la resistencia de la cizalladora y el metal se rompe bruscamente a través del espesor restante. El borde de corte muestra rebabas y suele estar ligeramente deformado.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

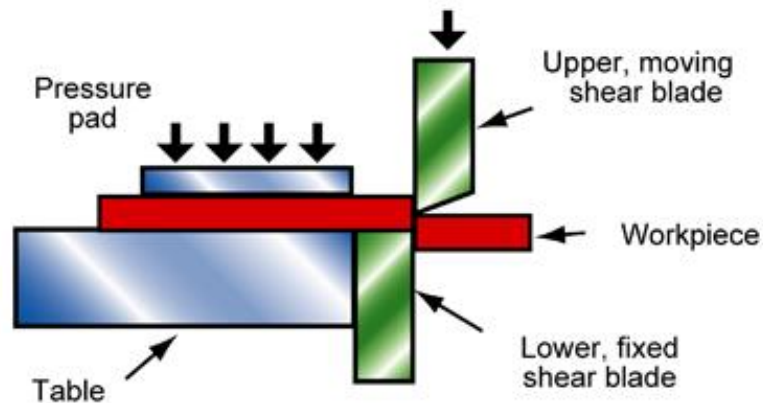


Figura 116 Proceso de cizallado/guillotinado

El cizallamiento tiene las ventajas siguientes:

- el material no se mecaniza por arranque de virutas
- los trazados se pueden mantener exactos
- las superficies separadas requieren poco trabajo de afinamiento
- el proceso de cizallamiento se desarrolla rápidamente
- es un proceso barato y coste de producción bajo

#### **III.9.1.1.2. Punzonado.**

El punzonado es una operación de corte de chapas o láminas, generalmente en frío. En este proceso, intervienen dos herramientas, una que se coloca en la parte inferior de la pieza a punzonar denominada como matriz, y otra que se coloca en la parte superior con la forma que se desea mecanizar llamada punzón.

La compresión del material genera una deformación, a medida que avanza la penetración del punzón en el material se inician grietas en los bordes de contacto entre el punzón y la pieza y la matriz y la pieza, y a medida que avanzan esas grietas se produce una rotura o fractura que hace que se separe la chapa del material de recorte, coinciden las dos grietas y el punzón sigue penetrando hasta provocar la expulsión del material cortado.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

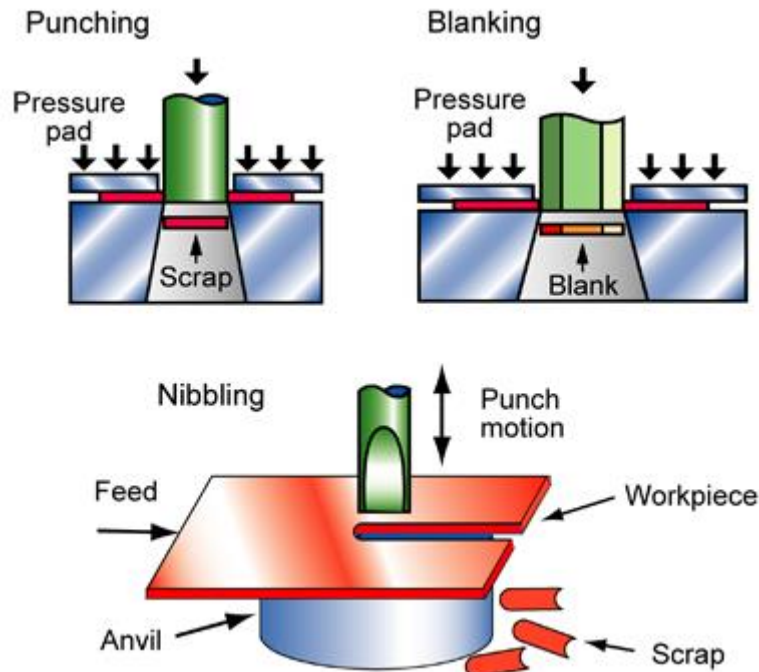


Figura 117 Proceso de Punzonado

El punzonado tiene las ventajas siguientes:

- Permite, además de troquelar, realizar las operaciones de corte y conformado.
- Es un proceso rápido y rentable.
- Poca intervención del operario.

Por el contrario, el principal inconveniente de la punzonadora se encuentra en el afilado y vida útil del punzón. Este es un punto complicado ya que intervienen muchas variables como el espesor y el tipo de chapa que se está punzonando que pueden aumentar o no el desgaste de la herramienta. Además, es importante saber qué tonelaje va a ser necesario cuando realicemos un agujero para no sobrepasar el tonelaje máximo de la punzonadora. En caso contrario podríamos ocasionar daños al utillaje o a la máquina. El tonelaje necesario depende del perímetro de corte del punzón, del espesor de la chapa y del esfuerzo de corte del material a punzonar.

### III.9.1.2. Procesos de deformación.

Se entiende por procesos de deformación en chapa a todas aquellas operaciones en las cuales se usa la deformación plástica para cambiar las formas de las piezas metálicas. Estas operaciones son entre las de mayor aplicación en la fabricación mecánica.

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Para la pieza que se desea fabricar, del mismo modo que se ha elaborado la reproducción 3D, se necesitarán 2 procesos: por un lado, aquel proceso que habilite la operación del rebaje en la cara inferior de la caja permitiendo que la tapa pasacables no sobresalga; y por otro, aquel que posibilite todos los pliegues de la envuelta sin tener ningún impedimento por su geometría. Del mismo modo, es de vital importancia que aquel método de fabricación seleccionado permita variar de forma rápida y económica las dimensiones de plegado entre una pieza y otra.

Con estos requisitos a cumplir, quedarán excluidas aquellas operaciones que requieran de un molde o una forma concreta para realizar la deformación como son los procesos de *Explosive forming* (Hidroconformado por explosión)<sup>7</sup>, *Sheet Hydroforming* (Hidroconformado)<sup>8</sup> y *Superplastic forming* (Conformado Superplástico)<sup>9</sup>. El *Spinning* (Repujado) quedará también descartado debido a la forma geométrica de la pieza; ya que se trata de un proceso de formación de lámina metálica sin fisuras para la producción de cilindros huecos, conos, hemisferios u otras formas circulares, mediante una combinación de fuerza y rotación.

De los restantes, aquellos que se adaptan mejor a las necesidades constructivas relacionadas con la deformación de la pieza son: para realizar el rebaje inferior, el proceso de *Deep Drawing* (Embutición); y para elaborar los diferentes pliegues de la pieza, el proceso de *Press forming* (Conformado en prensa).

#### **III.9.1.2.1. Embutición.**

La embutición transforma una chapa metálica plana en un cuerpo hueco adaptándola a la forma definida por la matriz del útil, mediante la presión ejercida por una prensa. Se trata de un proceso de conformado de chapa por deformación plástica en el curso del cual la chapa sufre simultáneamente transformaciones por estirado y por recalado. Con carácter general se mantiene el espesor.

---

<sup>7</sup> Técnica de trabajo de metal que la utiliza una carga explosiva para ejercer la presión necesaria para el conformado de la pieza.

<sup>8</sup> Proceso que emplea la fuerza producida por el agua o un fluido a presión para generar la geometría deseada.

<sup>9</sup> Proceso de conformado de formas casi acabadas que emplea las propiedades elásticas de un material para elaborar la pieza mediante una matriz y usando altas temperaturas y un gas a presión.

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Este proceso es económico, rápido y con buenos acabados finales. Además, en función del útil y la prensa, permite variar tanto las dimensiones de la embutición como la profundidad de la misma.

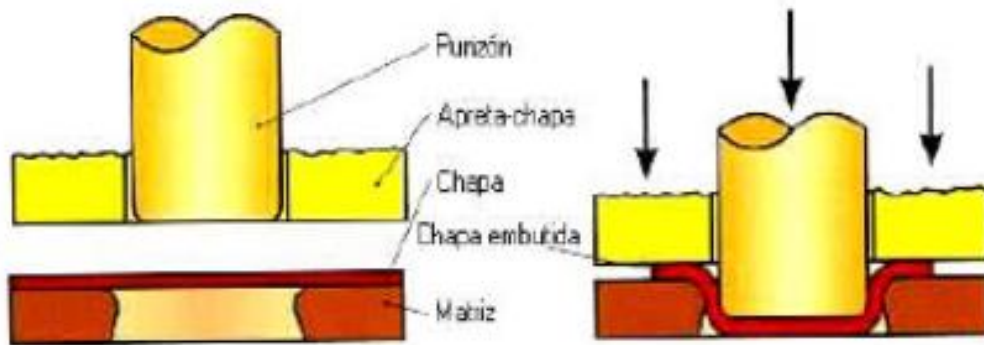


Figura 118 Proceso de embutición

#### **III.9.1.2.2. Conformado en prensa.**

Se llama conformado en prensa a todas aquellas operaciones que requieran de una prensa (ya sea hidráulica, mecánica o manual) para ser realizadas tales como el plegado, embutido, corte, troquelado o estampado. En el caso de nuestra pieza, haremos referencia a este proceso para elaborar los diferentes pliegues de la pieza.

El plegado o doblado de chapa, es un proceso de conformado que produce deformación plástica de una lámina o plancha metálica sobre un eje; generalmente no produce cambios en el grosor de la chapa.

Para llevar a cabo esta operación, se utiliza un punzón y una matriz. El punzón aplica presión sobre la chapa para doblarla según la forma de la matriz, proporcionando un radio de curvatura a lo largo de la lámina.

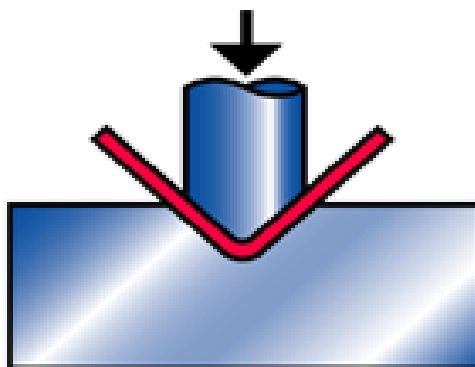


Figura 119 Proceso de conformado en prensa

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

La deformación producida causa tensiones de tracción y compresión en el material. Pero esta deformación no siempre es completamente plástica, todos los metales tienen una zona elástica antes de producirse la deformación plástica, por esto cuando se retira la fuerza tiene lugar un efecto llamado retorno elástico. Este efecto consiste en la recuperación parcial de la pieza hacia su forma inicial cuando desaparecen las fuerzas de doblado.

Tanto las matrices como punzones empleados en este proceso están estandarizados por lo que los costes de estas herramientas son bajos, haciendo a este proceso competitivo para bajos o medios volúmenes de producción.

#### **III.9.2. Procesos de unión.**

En cuanto a los diferentes procesos de unión, para buscar la mayor robustez y protección en la caja, todas las aristas tanto de la puerta como de la envolvente quedarán sellados, evitando cualquier punto de luz por el que puedan entrar sustancias u objetos y dañen los elementos instalados en el interior.

En cuanto a los factores limitantes a estos procesos, buscaremos un proceso apto para la unión de chapas de acero de entre 1.2 mm (por la envuelta) y 1.5 mm (por la puerta). Además, se desea una unión que pueda soportar cualquier tipo de esfuerzos ya que la se ha de contar con que pueda aguantar cualquier tipo de condición donde vaya a ser instalada. Este debe de permitir la aplicación en continuo para cubrir todas las aristas. Finalmente, se pretende establecer un precio competitivo por lo que el factor económico, así como un proceso el tiempo empleado en este proceso, estarán muy presentes a la hora de la elección final.

Introduciendo estas limitaciones, el software determina cuatro procesos que cumplen con estos requisitos: *Brazing* (Soldadura Fuerte), *Gas metal arco* (Soldadura MIG), *Gas tungsten arc* (Soldadura TIG) y *Soldering* (Soldadura Blanda).

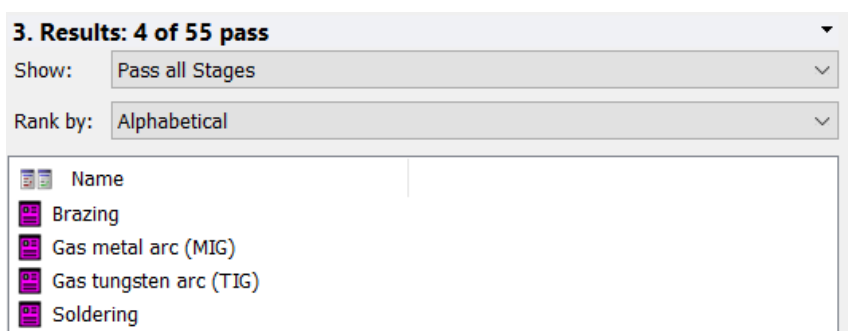


Figura 120 Procesos destinados a la unión de chapas

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

**III.9.2.1. Soldadura fuerte y blanda.**

Por soldadura "Fuerte y Blanda" se entiende un conjunto de procedimientos de soldadura que se caracterizan porque las piezas del material base no se funden, donde la unión se realiza mediante el uso de un material de aportación que tiene un punto de fusión inferior al del metal base. El procedimiento para realizar esta operación, comienza colocando las piezas del material base a unir muy próximas entre sí. Posteriormente por la aplicación de una fuente de calor se producirá la fusión del material de aporte, el cual emparará y rellenará por capilaridad<sup>10</sup> los huecos por entre las superficies de contacto de las piezas del material base, procediendo a su unión una vez que se solidifica.

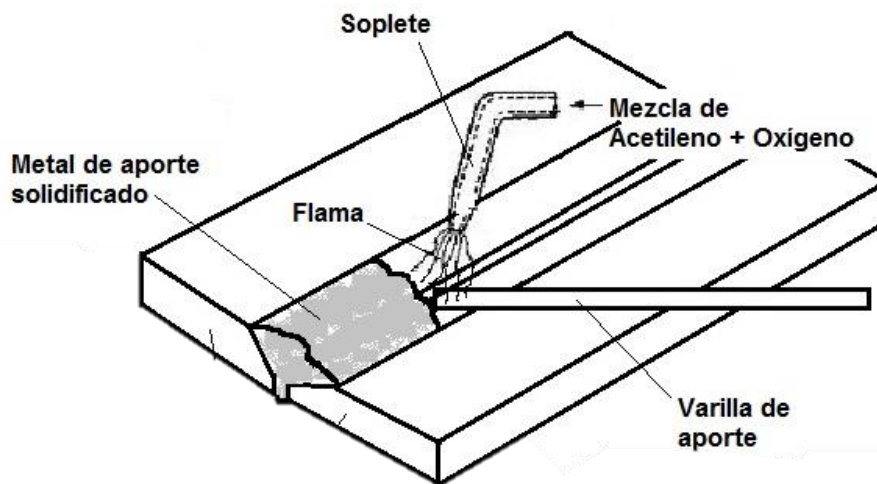


Figura 121 Proceso de soldadura fuerte/débil

Debido a la forma constructiva tomada, los bordes de las chapas plegadas quedan libres, de manera que la superficie donde se realizara la unión por capilaridad es nula. Por ello estos dos procesos queda descartados.

**III.9.2.2. Soldadura TIG.**

El proceso de soldadura por arco bajo la protección de gas con electrodo (no consumible), también llamado TIG (Tungsten Inert Gas) o GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) es un procedimiento en que el calor necesario para la ejecución de la soldadura es suministrado por un arco eléctrico que se mantiene entre un electrodo no consumible y la pieza en elaboración. El

<sup>10</sup> fenómeno por el cual la superficie de un fluido, al estar en contacto con un cuerpo sólido, suba o baje de acuerdo a si moja o no al elemento en cuestión.

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

material empleado en el electrodo para conducir la corriente es el tungsteno o de aleación de tungsteno. La zona donde se vaya a realizar la soldadura, así como el metal fundido y el electrodo no consumible, están protegidos de la influencia de los agentes atmosféricos por el gas inerte alimentado a través del soplete porta electrodo.

La soldadura con procedimiento TIG puede efectuarse con el aporte de otro material (varilla de material de aporte) o mediante la fusión del material base por efecto del calor producido por el arco eléctrico.

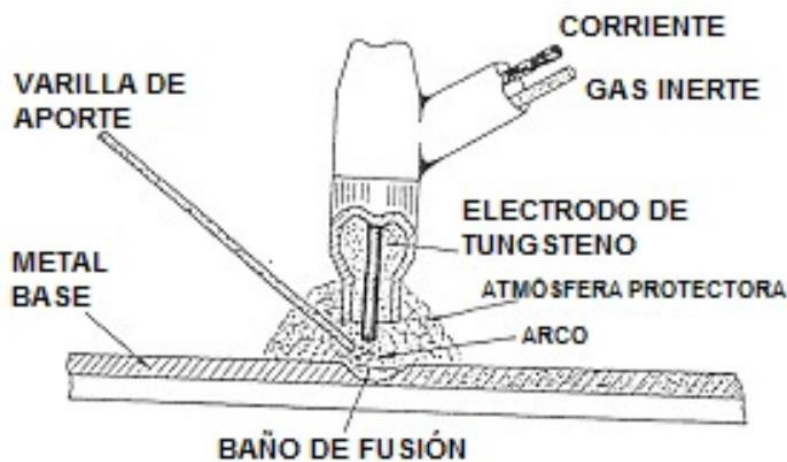


Figura 122 Proceso de soldadura TIG

La característica más importante que ofrece este sistema es:

- Versatilidad. Suelda prácticamente todos los metales industrialmente utilizados
- Permite soldar metales de espesores delgados
- Más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales.
- Alta calidad y mayores requerimientos de terminación, ya que el sistema TIG para lograr soldaduras homogéneas.
- Buena apariencia y con un acabado completamente liso.

En contraposición, se requiere de un operario altamente cualificado para realizar esta operación.

#### **III.9.2.3. Soldadura MIG.**

Conocido también como GMAW (Soldadura de Arco Metálico con Gas) es un procedimiento de soldadura con arco eléctrico en el que un electrodo de hilo sin fin se funde bajo



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

una cubierta de gas protector. La protección del proceso recae sobre un gas, que puede ser inerte, es decir, que no participa en la reacción de la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento de soldadura MIG (Metal Inert Gas); o por el contrario el gas utilizado es activo, o lo que es lo mismo, participa de forma activa en la soldadura, dando lugar al llamado procedimiento MAG (Metal Active Gas).

En el sistema MIG un sistema de alimentación impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona a un ángulo adecuado y se mantiene a una distancia tobera-pieza, generalmente de 10 mm.

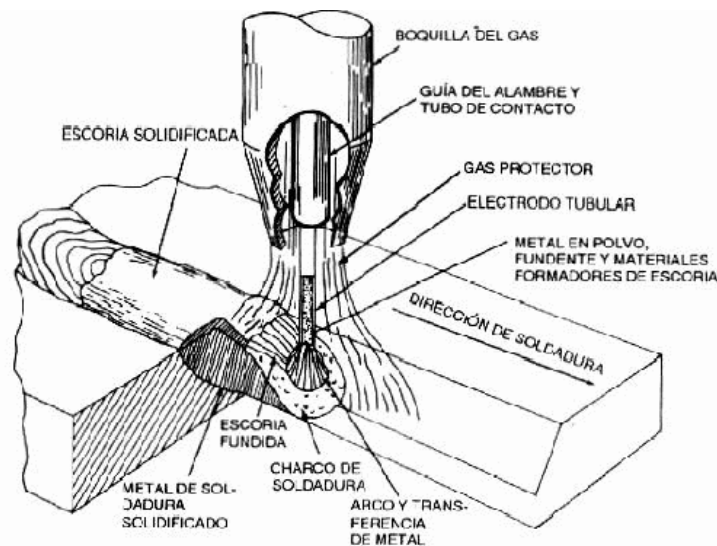


Figura 123 Proceso de soldadura MIG

En cuanto a las ventajas de este proceso encontramos:

- La superficie soldada queda limpia y sin escoria.
- Permite soldar con mayor facilidad espesores delgados.
- La velocidad de fusión del material de aporte es muy alta.
- Con la soldadura MIG se consigue mayor penetración que con otros métodos.
- Grandes cordones sin interrupción.
- Eficiencia del electrodo del 98%.

Por el contrario, los inconvenientes principales son:

- Mayor costo del equipo.
- Distancia limitada entre el equipo y el lugar de trabajo.

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- Dificultada para trabajar al aire libre.
- Enfriamiento más rápido en comparación con otros métodos.
- Limitación en lugares de difícil acceso.
- Mano de obra calificada.

### III.9.2.4. Elección proceso de soldadura

Si bien el precio de la maquinaria de la soldadura TIG y la MIG es exactamente el mismo, el coste de capital (coste total del equipamiento necesario para realizar el proceso) varía, siendo el valor medio menor en la primera que en la segunda.

Gas tungsten arc (TIG)				
Datasheet view:	All processes			Show/Hide
Cost modeling				
Capital cost	(i)	8,44e3	- 2,53e4	EUR
Tooling cost	(i)	338	- 1,69e3	EUR
Gas metal arc (MIG)				
Datasheet view:	All processes			Show/Hide
Cost modeling				
Capital cost	(i)	4,22e3	- 4,22e4	EUR
Tooling cost	(i)	338	- 1,69e3	EUR

Figura 124 Comparativa costes Proceso de soldadura MIG vs TIG

Por ello y por presentar un mejor acabado superficial, escogeremos finalmente la soldadura TIG como nuestro proceso de unión. Además, es más resistente a la corrosión y se caracteriza por ser una unión más fuerte.

### III.9.3. Procesos de acabado superficial.

Una vez hecha la caja, se aplica un proceso de acabado superficial para mejorar tanto el apartado estético de la envuelta como las propiedades frente a agentes externos. Esta mejora se realiza mediante el proceso de pintado; más concretamente el de pintura electroestática.

El proceso de pintura electroestática [12], también conocido como pintura en polvo, es un tipo de recubrimiento que se aplica proyectando polvo seco la cual queda adherido al metal por efecto de la electricidad estática. Se trata de una alternativa diferente para el recubrimiento de piezas, con grandes ventajas en comparación con las alternativas existentes en recubrimientos.

## Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El principio de este tratamiento se fundamenta en una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas, que se aplica por medio de una pistola electrostática en la cual, se mezcla con aire y se carga eléctricamente. Las partículas cargadas con electricidad estática, se adhieren a la superficie a ser pintada conectada a la masa. Las partículas adheridas a la pieza, son inmediatamente calentadas en un horno donde se produce el proceso de polimerizado a 200 °C transformando la capa de pintura en un revestimiento continuo. El resultado es un revestimiento uniforme, de alta calidad, adherido a la superficie, atractivo y durable.

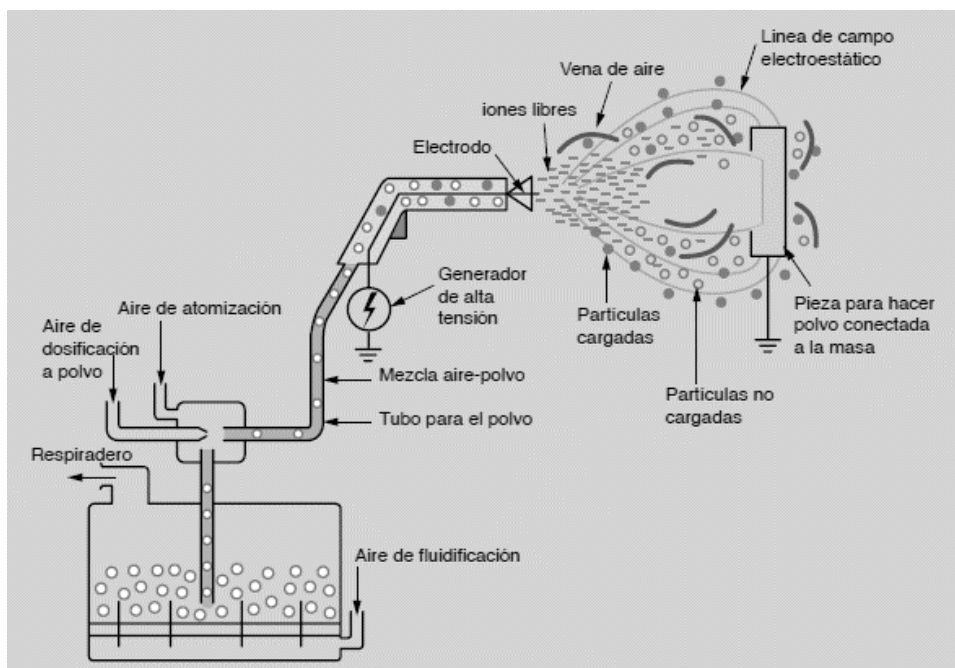


Figura 125 Proceso de pintura electrostática

En cuanto al material si bien las mezclas entre componentes pueden ser infinitas, en el mercado encontramos formulas preestablecidas con características definidas que las hacen más o menos adecuadas para cierta clase de usos. Los tipos de pinturas en polvo que se encuentran más comúnmente en el mercado son las epóxicas, las de poliéster y las híbridas o epoxi/poliéster.

- Pinturas epoxi. Pinturas de alta resistencia frente a impacto, corrosión y oxidación, además de ofrecer una gran adherencia. Sin embargo, tienen baja durabilidad en cuanto a brillo y acabado por lo que no se recomienda su uso para aplicaciones a la intemperie.
- Pinturas poliéster. Ideales para aplicaciones a la intemperie gracias a su alta resistencia a los rayos ultravioleta y a las variaciones de temperatura. Sin

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

embargo, pueden agrietarse y romperse cuando se exponen a altas cargas funcionales, como impactos y dobleces, y presentan menor resistencia a agentes químicos y a la corrosión que las epóxicas.

- Pinturas epoxi/poliéster o híbridas. Combina las propiedades de las pinturas epoxi y las de poliéster, pero en menor proporción, ofreciendo en general buena resistencia a los impactos, dureza y resistencia a la intemperie.

Dado que las cajas están destinadas a emplearse en zonas exteriores emplearemos la pintura con base poliéster.

Las principales ventajas de este proceso son:

- Mínimo impacto ambiental. Ya que la pintura que no se adhiere se puede recuperar y reutilizar evitando desperdicios.
- Excelentes acabados y un sellado hermético de la superficie recubierta.
- Tiempos de pintados reducidos. Se necesitan no más de 3 horas para realizar el proceso.
- Espesores de película constantes y de alta calidad.
- Mejora de las cualidades de la pieza frente a agentes externos.

Por otro lado, las desventajas principales encontramos la necesidad de una elevada inversión inicial, mucho mayor a otros procesos basados en el tratamiento de pintura por aerosol.

#### **III.9.4. Proceso de fabricación e implementación de la junta de estanqueidad.**

Para la elaboración de juntas mediante espuma poliuretano, en la industria está implementado el proceso de molde por inyección reactiva. Cabe destacar que las definiciones tanto del software, como las encontradas realizando una búsqueda se basan en la inyección en molde; sin embargo, el proceso es idéntico a la hora de inyectar el material sobre una superficie.

El moldeo por inyección reactiva, es un tipo de inyección de plástico que involucra la mezcla a alta presión de dos o más reactivos líquidos; empleando una presión baja realizando la polimerización in-situ de las piezas. El material plástico más usado es el poliuretano (PUR) gracias a su baja viscosidad. Otros materiales también empleados son nylon, polyester y resinas epóxicas, etc.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Los componentes reaccionantes son homogeneizados en la cámara de mezcla y alimentados a baja presión a través del cabezal de la inyectora. El calor de la reacción de los componentes líquidos evapora el agente de soplado, empezando así la acción de espumado.

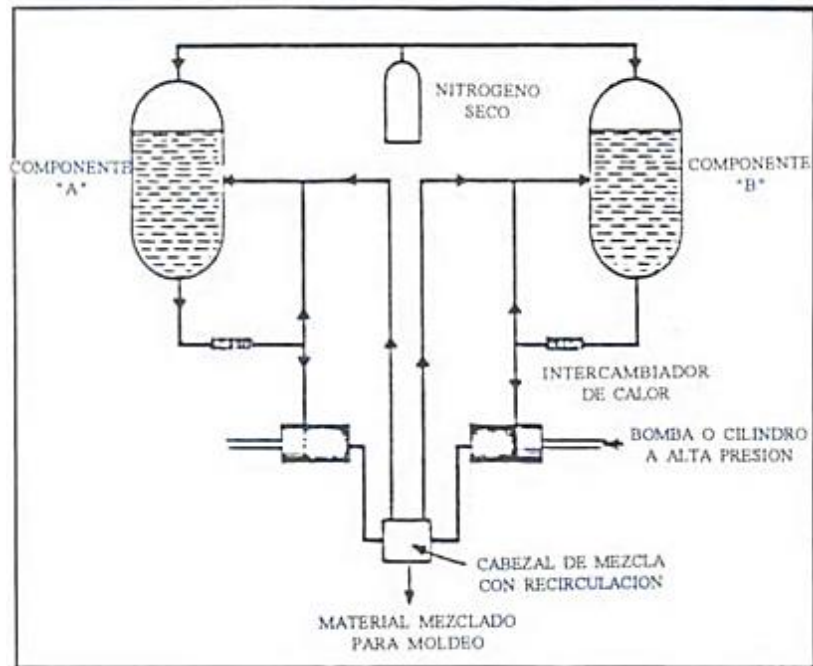


Figura 126 Proceso de inyección reactiva

En cuanto a los materiales que conforman el compuesto, tenemos por un lado el componente “A”, formado por polioles (alcoholes polifuncionales); y el componente “B”, formado por isocianatos y derivados.

Las principales ventajas de este proceso son:

- Celdas más cerradas, lo que implica una muy baja absorción.
- Más barato que otros procesos de inyección.
- El sello absorbe incluso después del rasgado.
- Aplicable en zonas de alta tensión y con elevados requisitos de calidad.
- Rango de temperatura de funcionamiento entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $80^{\circ}\text{C}$ .
- Tiende a adherirse a las paredes de la superficie inyectada.

## **III.10. ESTUDIO ECONÓMICO.**

Una vez determinados el material y los procesos de conformado necesarios para elaborar nuestra pieza, se procederá al estudio económico de la envoltente y de esta forma determinar si este rediseño es más rentable o no al anterior diseño, así como si es competitivo frente a la oferta del mercado actual.

Los puntos clave que se requieren de una cuantificación a fin de obtener un resultado lo más cercano a la realidad son:

1. Coste del material base.
2. Coste de fabricación de la caja.
3. Coste de los diferentes elementos externos a la caja.

$$C_{TOTAL} = C_{MB} + C_{FAB} + C_{EXT}$$

Se necesita de un conocimiento previo de la maquinaria que actualmente se encuentra en fabrica y se emplea en la elaboración de las envoltentes para determinar el coste y tiempo de producción. Por ello, partiremos de una maquinaria ya existente, sobre la cual se elaborará el estudio. Además, es necesario conocer el coste de los elementos externos a la envuelta y que son imprescindibles para poder servir la caja.

### **III.10.1. Coste material base ( $C_{MB}$ ).**

Por material base se entiende aquel material, ya sometido a operaciones primarias, necesario para poder elaborar nuestro producto. En el caso que concierne al estudio en cuestión, extrayendo las dimensiones del desplegado de la chapa en el software SolidWorks, se requiere de dos chapas en material Acero Laminado en Frío DC01:

1. Para la fabricación de la envoltente: chapa de dimensiones igual o superiores a 1500x1500x1.2 mm.
2. Para la fabricación de la puerta: chapa de dimensiones igual o superiores a 850x850x1.5 mm.

Se ha de tener en cuenta también el coste del material para realizar la junta inyectada o lo que es lo mismo, el coste de los componentes para poder realizar la espuma de PUR.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Realizando una búsqueda por los proveedores nacionales más próximos a la ubicación de la fábrica (Valencia), se ha encontrado que las dimensiones estandarizadas que más se adaptan a lo requerido es una chapa de 2000x1500x1.2 mm para la envuelta y una chapa de 2000x1000x1.5 mm para la puerta. Los excedentes de estas se emplearán para fabricar otras piezas procurando generar los mínimos desperdicios posibles. Generalmente el precio queda en función de la masa de la chapa, por lo que para obtener los kilogramos de las planchas deseadas se empleará la densidad del material deseado y se multiplicará por las dimensiones de la chapa. En el caso del acero, la densidad es igual a 7850 kg/m<sup>3</sup> y el precio del kg oscila los 0.7€/kg. Finalmente, el coste del material base será:

$$C_{chapa} = C_{Sp=1.2mm} + C_{Sp=1.5mm} = (\rho_a * v * C_{acero})_{Sp=1.2mm} + (\rho_a * v * C_{acero})_{Sp=1.5mm}$$
$$= 7850 \frac{kg}{m^3} * 0.0036 m^3 * 0.7 \frac{€}{kg} + 7850 \frac{kg}{m^3} * 0.003 m^3 * 0.7 \frac{€}{kg}$$

$$C_{chapa} = 36.27 €$$

Sin embargo, si nos referimos únicamente al coste del material empleado en la fabricación de la caja a estudiar, y obteniendo el volumen directamente del programa, tenemos que:

$$C_{chapa/caja} = (1905474.66 + 1064257.16) * 10^{-9} m^3 * 7850 \frac{kg}{m^3} * 0.7 \frac{€}{kg}$$

$$C_{chapa/caja} = 16.32 €$$

Para obtener el coste de PUR en cada caja primero es necesario saber cuánto es necesario para elaborar una junta. Es por ello que el coste de esta se calcula en función del tiempo de máquina por el consumo en €/seg. Este consumo se obtiene del precio unitario en €/kg del material y la velocidad de inyección en gr/seg. El tiempo se calcula a partir de la longitud del perímetro y la velocidad de trabajo en cm/seg.

$$C_{PUR/caja} = C_{PUR} * G_{PUR} * T_{INY} = C_{PUR} * G_{PUR} * \frac{P_{INY}}{V_{e_{INY}}}$$

Siendo:

- C<sub>PUR</sub>: el coste de PUR (€/gr)
- G<sub>PUR</sub>: el flujo del material PUR (gr/s)

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- $T_{INY}$ : el tiempo que tarda en inyectar la junta (s) – no incluye tiempos de preparación ni secado.
- $P_{INY}$ : el perímetro a inyectar (cm)
- $V_{EINY}$ : la velocidad de inyección (cm/s)

Tomando los valores reales a los que trabaja la máquina de inyección – con una velocidad de 14.5 cm/s y un flujo de material igual a 1 gr/s –, sabiendo que el precio de ambos componentes de la mezcla reactiva ronda los 18€/kg y extrayendo del Solidworks el perímetro de la junta tenemos que el precio del material necesario para una caja es de:

$$C_{PUR/caja} = 0.018 \frac{\text{€}}{\text{gr}} * 1 \frac{\text{gr}}{\text{s}} * \frac{306 \text{ cm}}{14.5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}} = 0.38 \text{ €}$$

Finalmente, el coste del material base por caja será igual a:

$$C_{MB/caja} = C_{PUR/caja} + C_{PUR/caja} = 16.32 \text{ €} + 0.38 \text{ €} = \mathbf{16.7 \text{ €}}$$

### **III.10.2. Coste de fabricación de la caja ( $C_{FAB}$ ).**

Como se ha visto en el apartado anterior, los procesos de fabricación necesarios para la elaboración de una caja eléctrica son:

1. Para la elaboración de la envuelta y puerta: punzonado, cizallado, embutición, plegado, soldeo TIG.
2. Para la elaboración de la junta de estanquidad en la puerta: inyección reactiva

Cabe destacar que el proceso de acabado de pintura en polvo de la caja queda externalizado de la producción por lo que los costes están definidos por la empresa de pintado.

$$C_{FAB} = C_{PUN} + C_{CIZ} + C_{EMB} + C_{PLE} + C_{SOLTIG} + C_{INYR} + C_{PIN}$$

Previamente a establecer el costo de los diferentes procesos, es necesario conocer la maquinaria empleada para la elaboración de la pieza. Dividido del mismo modo que en punto anterior, tenemos:

1. Para los procesos de punzonado, cizallado y embutición de la chapa: punzonadora combinada (punzonadora + cizalla). Con esto, el coste de punzonado y cizallado quedará también combinado. Además, la punzonadora permite realizar también la operación de



Desarrollo de una nueva gama de envolvertes metálicos a partir de una serie ya comercializada

embutición, por lo que estos tres procesos se plantearán en un mismo coste y tiempo de fabricación.

2. Para el proceso de plegado de la chapa: plegadora hidráulica.
3. Para el proceso de soldadura TIG: equipo de soldadura con antorcha TIG y pinza de masa.
4. Para la inyección de la junta de poliuretano: inyectora reactiva de espuma de poliuretano.

Los costes de fabricación de los diferentes procesos obtenidos directamente sobre una producción real de una caja eléctrica de mismas dimensiones, quedan reflejados en la siguiente tabla:

Proceso	Coste de producción
Punzonado + Cizallado + Embutición	12.85 €
Plegado	14.01€
Inyección PUR	1.26 €

*Tabla 18 Costes de producción*

El coste de la soldadura por metro[13] es la resultante de los costes de los materiales empleados en el proceso más los costes de la mano de obra y los costes energéticos.

$$C_{SOLDTIG}/m = C_{MSOLD} + C_{MO} + C_{EN}$$

En el proceso de soldadura TIG no hay aporte de material por lo que para calcular el coste del material se necesita saber el coste y consumo del electrodo de Tungsteno y del gas de protección, en este caso el Argón. En cuanto al primero de ellos, para los espesores a soldar (1.5 mm y 1.2 mm), se emplea un electrodo de 1.6 mm de diámetro, el desgaste de este es prácticamente nulo para el trabajo realizado por lo que no se tendrá en cuenta. Por otro lado, para calcular el consumo de Argón se necesita saber del precio, el caudal empleado y la velocidad de recorrido o velocidad de soldeo.

$$C_{MSOLD} = C_{ELECTRODO} + C_{GAS} + C_{MAT.APORTE} = \frac{C_{Ar} * Q_{Ar}}{V_{eREC}} + 0 + 0$$

Si bien el coste del Argón es un parámetro fijo, las otras dos incógnitas varían en función de diversos factores tales como el tipo de corriente (AC, DC polaridad directa o DC polaridad inversa), la intensidad de corriente, el espesor y material de la sección a soldar, el diámetro de la

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

varilla, el tipo de soldadura, la inclinación del electrodo o la distancia entre el material a soldar y el electrodo. Para aproximarnos lo máximo posible a la realidad, para el precio del Argón se ha realizado una búsqueda a nivel nacional de los suministradores referentes de ese tipo de gas obteniendo un precio de 95€ para una botella de 50L con 10.9 m<sup>3</sup> de Argón. Para determinar los parámetros de caudal y velocidad de recorrido se ha empleado la calculadora de soldadura que facilita el fabricante Miller[14] en la que, seleccionando el espesor y material de la pieza y el tipo de soldadura, nos proporciona unos valores aproximados a emplear.

Figura 127 Especificaciones para soldar Esquinas y cantos en acero con un espesor máximo de 1.6 mm

Para una soldadura en forma de canto o esquina (la empleada principalmente en nuestra caja), obtenemos que la corriente tiene que ser continua y de polaridad directa con una intensidad entre 50-80 A. El gas recomendado es el Argón (tal y como habíamos preseleccionado), con un caudal de 11 cfh (0.311 m<sup>3</sup>/h) y una velocidad de recorrido de 11 inch/min (18.288 m/h). Finalmente, el coste del material de soldadura será:

$$C_{MSOLD} = \frac{C_{Ar} * Q_{Ar}}{V_{REC}} = \frac{95 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 0.311 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{18.288 \frac{\text{m}}{\text{h}}} = 0.15 \text{ €/m}$$

El coste de la mano de obra se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{MO} = \frac{T a_{SOLD}}{V_{REC} * F_{Op}}$$

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Siendo:

- $T_{aSOLD}$ : la tarifa de un soldador (€/h)
- $V_{REC}$ : la velocidad de recorrido o velocidad de soldeo (m/h)
- $F_{Op}$ : el factor de operación (%)

La tarifa de un soldador actualmente en España ronda los 6€/h y la velocidad de recorrida es la misma que anteriormente. Por otro lado, el factor operador es la relación entre dos tiempos, primero es el tiempo en que el soldador está soldando, también conocido como tiempo de arco, y el segundo es el tiempo de operaciones diferentes a soldar, también relacionadas con este proceso como son tiempo de ensamble, de posicionamiento, de pulido, de limpieza etc. Este tiempo varía en función del método de aplicación (cómo se realiza esta operación) y el proceso de soldadura empleado.

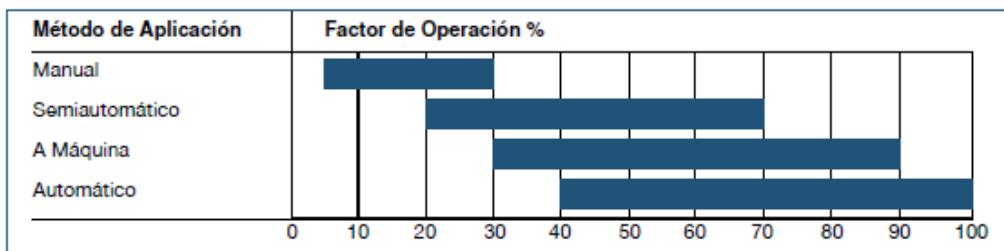


Figura 128 Factor de operación según el método de fabricación

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo manual	5- 30
MIG sólido	10- 60
MIG tubular	10- 60
TIG	5- 20
Arco sumergido	50-100

Figura 129 Factor de operación en función del proceso de soldadura

Tomaremos un factor del 10% ya que es un valor medio del rango establecido para la soldadura TIG. Finalmente, el coste de mano de obra por metro será igual a

$$C_{MO} = \frac{T_{aSOLD}}{V_{REC} * F_{Op}} = \frac{6 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{18.288 \frac{\text{m}}{\text{h}} * 0.1} = 3.28 \text{ €/m}$$

Por último, coste energético del proceso queda definido como:

$$C_{EN} = \frac{T_{aEL} * V * I}{1000 * V_{REC} * F_{Op} * E_F}$$

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Siendo:

- $T_{a_{EL}}$ : la tarifa eléctrica (€/kWh)
- $V$ : el voltaje (V)
- $I$ : la intensidad de corriente (A)
- $V_{REC}$ : la velocidad de recorrido o velocidad de soldeo (m/h)
- $F_{Op}$ : el factor de operación (%)
- $E_F$ : la eficiencia energética de la fuente (%)

El voltaje, así como la eficiencia energética, varían en función de la soldadora empleada; realizando una búsqueda, los valores empleados comúnmente por una soldadora TIG de bajo amperaje son de 230V y 85% de eficiencia energética. El precio del kWh actualmente en España ronda los 0.115 €/kWh según datos extraídos de *Endesa*. Dado que las chapas a soldar tienen unos espesores parejos al diámetro del electrodo, se ha escogido como intensidad máxima previamente citada (80 A). Manteniendo la misma velocidad de recorrido y el mismo factor de operación tenemos que:

$$C_{EN} = \frac{T_{a_{EL}} * V * I}{1000 * V_{REC} * F_{Op} * E_F} = \frac{0.115 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 230 \text{ V} * 80 \text{ A}}{1000 * 18.288 \frac{\text{m}}{\text{h}} * 0.1 * 0.85} = 1.36 \text{ €/m}$$

Por tanto, el coste por metro de soldadura en nuestra producción será igual a:

$$C_{SOLDTIG}/m = C_{MSOLD} + C_{MO} + C_{EN} = 0.15 \text{ €} + 3.28 \text{ €} + 1.36 \text{ €} = 4.79 \text{ €/m}$$

Una vez obtenido el precio por metro, ha de calcularse el coste total para la caja a estudiar. Para ello, emplearemos la herramienta medir del software *Solidworks* para contabilizar los metros necesarios de soldadura; estos so. Los resultados, así como el coste total quedan reflejados en la siguiente tabla:

	<b>Metros Soldadura</b>	<b>Tiempo Soldadura</b>	<b>C<sub>SOLDTIG</sub></b>
Envuelta	1.46 m	4.79 min	6.99 €
Puerta	0.1 m	0.33min	0.48 €
<b>TOTAL:</b>			<b>7.47 €</b>

*Tabla 19 Costes de soldadura TIG*

### Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

El tiempo de soldadura hace referencia únicamente al tiempo donde se realiza la soldadura sin incluir cualquier otro tipo de movimiento tales como preparación de la pieza o cambios de posición; este tiempo quedará dentro del tiempo de preparación comentado posteriormente.

Los costes resultantes de fabricar una caja serán:

$$C_{FAB} = C_{PROC} + C_{SOLDTIG} + C_{PIN}$$

$$C_{FAB} = (12.85 \text{ €} + 14.01 \text{ €} + 1.26 \text{ €}) \text{ €} + 7.47 \text{ €} + 5.98 \text{ €}$$

$$C_{FAB} = 41.57 \text{ €}$$

### **III.10.3. Coste elementos externos ( $C_{EXT}$ ).**

Por lo que a los elementos externos se refiere, es necesario saber el coste de las diferentes piezas fabricadas y suministradas por empresas externas. Estas piezas son:

1. La junta de LDPE para la tapa pasacables.
2. Los sistemas de cierre.
3. Las bisagras.
4. La tornillería.

Se incluye también el precio de la placa de montaje fabricada en acero galvanizado.

$$C_{EXT} = C_{JUN} + C_{CIE} + C_{BIS} + C_{TOR} + C_{PLM}$$

La junta tanto de la tapa pasacables como de las bisagras viene suministrada por una empresa externa (0.94 €). Este tipo de juntas se fabrican mediante el proceso de troquelado sobre una lámina del material deseado.

Los precios del sistema de cierre (0.99 €), bisagras (2 €) y placa de montaje (6.16 €) quedan determinados en los catálogos de los diferentes fabricantes.

En cuanto a la tornillería está contemplado toda la ferretería necesaria para fijar los diferentes componentes a la envuelta. Dividiendo en según dónde o qué vaya a fijar encontramos:

1. Tornillería envuelta: 6 pernos soldables en acero inoxidable de métrica M6x15 para emplearse como punto de toma tierra entre la puerta y la envuelta; permitiendo la instalación del kit de toma tierra.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

2. Tornillería tapa pasacables: para este caso (placa pasacables de 520 x 95 mm) se fijará mediante 12 tornillos roscachapa DIN7981 4.2 x 6.5 mm.
3. Tornillería bisagra: para la fijación de las bisagras se empleará 1 tornillo DIN965 M6x20 y 1 tuerca DIN6923 M6 por cada bisagra. Además, se necesita el número equivalente de tapones de estanqueidad para taponar los agujeros de la otra parte de la envuelta (recordemos que es una caja con puerta reversible).
4. Tornillería kit tomatierra: formado 2 tuercas DIN6923 M6; el instalador será el encargado de conectar la puerta con el cable de cobre, suministrado por el mismo.
5. Tornillería placa de montaje: 4 puentes de elevación fabricados en ABS de M6x15 y 4 tuercas DIN6923 M6 permitiendo su correcta instalación y separándola de cualquier cara de la caja.

Los precios estandarizados suministrados por diversos fabricantes, quedan reflejados en la siguiente tabla:

<b>Tornillería</b>	<b>Unidades</b>	<b>Precio/Unidad</b>	<b>Precio Total</b>
Perno soldable Inoxidable M6x15	6	0.05 €	0.3 €
Tornillo roscachapa DIN7981 4.2x6.5	12	0.013 €	0.156 €
Tornillo DIN965 M6x20	3	0.015 €	0.045 €
Tapones estanqueidad	3	0.02 €	0.06 €
Tuerca DIN6923 M6	9	0.007 €	0.063 €
Puente elevación en ABS M6x15	4	0.018 €	0.028 €

*Tabla 20 Coste de tornillería*

El coste de soldar los pernos es de 0.1€/perno con un tiempo de 10 segundo por cada uno de ellos.

Una vez determinadas las diferentes piezas de envuelta y habiendo pedido presupuesto a los diferentes fabricantes, el precio los elementos externos quedaría:

$$C_{EXT} = 0.94 \text{ €} + 2 * 0.99 \text{ €} + 3 * 2 \text{ €} + 0.65 \text{ €} + 0.1 \text{ €} * 6 + 6.16 \text{ €}$$

$$C_{EXT} = 16.33 \text{ €}$$

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

Se ha de contemplar también tanto el coste de embalaje como el de montaje (al cual llamaremos coste de preparación  $C_{PREP}$ ), es decir, el coste que supone un operario para montar y preparar para su transporte una caja. Para ello, tendremos en cuenta que, según los informes realizados por Eurostat, la mano de obra por hora en España para el sector industrial en 2017 ronda los 23.3€. El tiempo que se tarda en realizar el montaje de una caja se ha obtenido de la elaboración de una caja similar tomando como resultado 35 minutos; este tiempo incluye tanto el montaje de los diferentes componentes externos (bisagras, cierres, tapas y cajas de accesorios) como el embalaje de la caja.

$$C_{MON} = 23.3 \frac{\text{€}}{\text{h}} * \frac{1}{60} \frac{\text{h}}{\text{min}} * 8 \text{ min} = 3.10 \text{ €}$$

Con los diferentes costes obtenidos, el precio final de la caja será:

$$C_{TOTAL} = C_{MB/caja} + C_{FAB} + C_{EXT} + C_{MON} = 16.7 \text{ €} + 41.57 \text{ €} + 16.33 \text{ €} + 3.10 \text{ €}$$

$$\mathbf{C_{TOTAL} = 77.7 \text{ €}}$$

### III.11. CONCLUSIÓN.

Una vez obtenido el coste total y para comprobar si la actualización de los diferentes elementos no ha supuesto un excesivo aumento de los costes de producción de la gama es necesario compararlo con el presupuesto del mismo modelo elaborada conforme a las especificaciones de la gama antigua.

El coste de producción de la gama antigua para este modelo es de 76.56€ lo que supone que la mejora de los diferentes elementos tales como bisagra, sistema de cierre o el nuevo método de fabricación no han supuesto un aumento elevado de su precio de producción y han supuesto un incremento del valor del producto.

Por otro lado, los tiempos de fabricación también son reducidos permitiendo producir una caja más por jornada de trabajo (8 horas) que con el modelo anterior.

Proceso de fabricación	Tiempos de fabricación (s)	
	Gama antigua	Gama nueva
Punzonado + Cizallado + Embutición	3.23 min	3.23 min
Plegado	13.5 min	12.3 min
Soldeo	5.6 min	6.12 min
Inyección PUR	3.96 min	3.96 min
Montaje y Embalaje	10 min	8 min
<b>TOTAL:</b>	<b>36,29 min</b>	<b>33.61 min</b>

*Tabla 21 Comparativa tiempos de fabricación*

Para comprobar si el precio de la caja no solo resulta rentable frente a la antigua serie, si no que el precio con respecto a la competencia es competitivo, se ha buscado cajas con las mismas dimensiones y características técnicas de diferentes fabricantes. Los precios PVP (Precio de Venta al Público) y dimensiones según sus respectivos catálogos quedan definidos en la siguiente tabla.



Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

<b>Fabricante</b>	<b>Referencia</b>	<b>PVP</b>
<b>Coalsa (Gama antigua)</b>	<b>CND-88300</b>	<b>322.78 €</b>
DKC	R5CE0883	307.41 €
IDE	GN808030	317.47 €
ELDON	MAS0808030R5	320.36 €
SCHNEIDER	NSYCRN88300	381.34 €

*Tabla 22 PVP de una caja eléctrica de dimensiones 800x800x300*

Si bien puede parecer que los beneficios de la nueva caja pueden parecer abismales (con más del 100% respecto a su coste de fabricación), la política de venta de los fabricantes de armarios y cajas eléctricas es de ofertar sus productos con grandes descuentos (del 50% o incluso el 60%); además los costes adicionales tales como los costos de logísticas (transporte, aranceles...), de manipulación de almacén o los costes derivados de la forma de pago (generalmente se realiza mediante un pagaré) son también cargados al fabricante, por lo que el margen de beneficio queda reducido drásticamente.

En conclusión, podemos afirmar que la actualización de los diferentes elementos de la gama de cajas metálicas de fijación mural a su puesto una mejora tanto a nivel comercial como de fabricación, mejorando las prestaciones de cara al cliente y reduciendo los tiempos de fabricación de la misma.



## **IV. APÉNDICES**



## IV.1. REFERENCIAS

- [1] Dirak. (2016). *Modular Hardware Systems*. SnapLine.
- [2] EMKA. (2018). *Ingeniosos sistemas de cierre para armarios eléctricos y envolventes*.
- [3] Superintendencia de Electricidad. (2017). *Código eléctrico Nacional*. República Dominicana. <http://sie.gob.do/images/sie-documentos-pdf/marco-legal/audiencias-publicas/CODIGO-ELECTRICO-NACIONAL/2%20%20Propuesta%20Codigo%20El%C3%A9ctrico%20Nacional.pdf>
- [4] ELDON. (2018). *Una completa gama de armarios y accesorios*. [https://www.eldon.com/Documents/Catalogues/Brochures/PDF/Gama%20y%20Dimensiones\\_ES.pdf](https://www.eldon.com/Documents/Catalogues/Brochures/PDF/Gama%20y%20Dimensiones_ES.pdf)
- [5] DKC. (2016). *Armarios y cajas de distribución*. Gaestopas.
- [6] ABB. (2015). *Cuaderno de aplicaciones técnicas nº 7*.
- [7] NEMA. (2014). *Condiciones ambientales y los apropiados: Tipos de envolventes*. <https://www.nema.org/Standards/ComplimentaryDocuments/NEMA%20Tipos%20de%20Envolventes.pdf>
- [8] INTEP. (2009). *Grados de protección proporcionados por las envolventes de los materiales eléctricos: código IP, UNE 20324 EN 60529 y código IK, UNE-EN 50102*. Madrid. [http://platea.pntic.mec.es/alabarta/CVE/Soporte/Materiales/ip\\_ik22.pdf](http://platea.pntic.mec.es/alabarta/CVE/Soporte/Materiales/ip_ik22.pdf)
- [9] Delvalle. (2018). *Accesorios para armarios y cajas eléctricas*. Obtenido de [https://www.delvallebox.com/catalogos/ACCESORIOS\\_DELVALLE\\_ES\\_v1.17.pdf](https://www.delvallebox.com/catalogos/ACCESORIOS_DELVALLE_ES_v1.17.pdf)
- [10] Coalsa. (2000). *Cajas murales estancas CND*.
- [11] Fixor. (2018). *Hinges & Hardware for industrial applications*. Pinet. [https://www.pinet-webstore.fr/modules/blockcataloguepinet/imports/catalogue/catalogue\\_en.pdf](https://www.pinet-webstore.fr/modules/blockcataloguepinet/imports/catalogue/catalogue_en.pdf)
- [12] Legrand. (2016). *Concepción y elección de las envolventes en función de las condiciones ambientales*.

Desarrollo de una nueva gama de envoltentes metálicos a partir de una serie ya comercializada

- [13] Indura. (2016). *Soldadura., Manual de sistemas y materiales de soldadura.* <http://www.indura.cl/Descargar/Manual%20de%20Soldadura%20INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf>
- [14] Miller. *TIG Welding Calculator.* [www.millerwelds.com/resources/weld-setting-calculators/tig-welding-calculator](http://www.millerwelds.com/resources/weld-setting-calculators/tig-welding-calculator)

## IV.2. PLANOS ACOTADOS.

En este apartado, se adjuntan los planos de diseño los diferentes componentes que conforman la caja eléctrica, así como su diseño final. Los planos elaborados para este proyecto se presentan en formato ISO A3 con el fin de mostrar los detalles constructivos lo más esclarecedor posible y se muestran conforme al orden de referencia en el trabajo. El cajetín, plegado y márgenes de la hoja se han elaborado según norma UNE-EN ISO 5457:2000 “*Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo*” y se presentan acotados en milímetros con unas tolerancias dimensionales según la norma UNE-EN 22768-1 “*Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia.*”

## IV.3. NORMATIVA.

AENOR. *UNE-EN 20324 2014: Grados de protección proporcionados por las envolvertes (Código IP)*. Madrid: AENOR, 2014

AENOR. *UNE EN 22768-1 1994: Tolerancias generales. Parte 1: tolerancias para cotas dimensionales lineales y angulares sin indicación individual de tolerancia*. Madrid: AENOR, 1994

AENOR. *UNE-EN 50102 2002: Grado de protección proporcionados por las envolvertes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (Código IK)*. Madrid: AENOR, 2002

AENOR. *UNE-EN 61439-1 2016: Conjunto de aparata de baja tensión Parte 1 Reglas generales*. Madrid: AENOR, 2016

AENOR. *IEC-UNE-EN 62208 2016: Envolvertes vacías destinadas a los conjuntos de aparata de baja tensión Requisitos generales*. Madrid: AENOR, 2016