



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

Diseño, cálculo, proceso de soldadura e inspección de un depósito estándar de GLP para abastecimiento industrial

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Jesús Ginés Martínez Madrid

Director: Isidoro J. Martínez Mateo



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 05 de mayo de 2021.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|---------------|
| 1- Objeto del proyecto. | - 11 - |
| 2- Gas licuado del petróleo (GLP). | - 11 - |
| 2.1- Composición. | - 12 - |
| 2.2- Características y propiedades. | - 13 - |
| 2.3- Riesgos posibles en instalaciones de GLP. | - 14 - |
| 3- Gas utilizado. | - 15 - |
| 4- Diseño del depósito. | - 15 - |
| 4.1- Material a utilizar. | - 15 - |
| 4.1.1- Virolas y fondos. | - 19 - |
| 4.1.2- Partes a presión que no sean virolas y fondos. | - 19 - |
| 4.1.3- Piezas soldadas al depósito..... | - 20 - |
| 4.2- Medidas y capacidad del depósito. | - 20 - |
| 4.3- Elementos y accesorios. | - 24 - |
| 4.3.1- Dispositivo de llenado. | - 25 - |
| 4.3.2- Indicador de nivel..... | - 27 - |
| 4.3.3- Indicador de máximo llenado. | - 29 - |
| 4.3.4- Manómetro. | - 31 - |
| 4.3.5- Válvula de seguridad por alivio de presión. | - 32 - |
| 4.3.6- Toma de la fase gaseosa. | - 34 - |
| 4.3.7- Toma de la fase líquida..... | - 35 - |
| 4.3.8- Dispositivo de drenaje. | - 37 - |
| 4.3.9- Toma de tierra. | - 37 - |
| 4.3.10- Válvula de compensación de fases vapor. | - 37 - |
| 4.3.11- Multiválvulas..... | - 37 - |
| 4.3.12- Boca de hombre..... | - 38 - |
| 4.3.13- Elementos y accesorios elegidos para este depósito. | - 39 - |

| | |
|--|---------------|
| 4.4- Presión de diseño..... | - 46 - |
| 4.5- Cálculos..... | - 47 - |
| 4.5.1- Tensiones admisibles..... | - 48 - |
| 4.5.2- Cálculo espesor de virola..... | - 48 - |
| 4.5.3- Cálculo de espesor de fondos..... | - 49 - |
| 4.5.3.1- Perfil de los fondos..... | - 49 - |
| 4.5.3.2- Elección del tipo de fondo..... | - 50 - |
| 4.5.3.3- Tolerancias dimensionales..... | - 53 - |
| 4.5.3.4- Espesor mínimo de los fondos..... | - 55 - |
| 4.5.4- Aberturas..... | - 59 - |
| 4.5.4.1- Dimensiones de las aberturas..... | - 59 - |
| 4.5.4.2- Placas de refuerzo..... | - 60 - |
| 4.5.5- Conclusión..... | - 60 - |
| 4.6- Diseño en SolidWorks del tanque del estudio..... | - 61 - |
| 4.6.1- Diseño de los fondos..... | - 61 - |
| 4.6.2- Diseño de la virola..... | - 62 - |
| 4.6.3- Diseño de los soportes del tanque..... | - 64 - |
| 4.6.4- Diseño de las orejetas de izado..... | - 66 - |
| 4.6.5- Diseño de escaleras..... | - 67 - |
| 4.6.6- Diseño de los soportes de escalera..... | - 68 - |
| 4.6.6.2- Soportes superiores..... | - 68 - |
| 4.6.6.3- Soportes inferiores..... | - 69 - |
| 4.6.7- Diseño de la boca de hombre..... | - 70 - |
| 4.6.7.1- Tapa..... | - 70 - |
| 4.6.7.2- Brida inferior..... | - 72 - |
| 4.6.7.3- Lámina..... | - 73 - |
| 4.6.7.4- Refuerzo..... | - 74 - |
| 4.6.8- Diseño del pescante para la boca de hombre..... | - 75 - |

| | |
|--|----------------|
| 4.6.8.2- Base del pescante. | - 75 - |
| 4.6.8.3- Barra del pescante. | - 75 - |
| 4.6.8.4- Perno de ojo. | - 76 - |
| 4.6.9- Diseño de las embocaduras. | - 76 - |
| 4.6.10- Ensamblaje completo..... | - 77 - |
| 4.6.11- Depósito completo con pintura y detalles..... | - 79 - |
| 4.7- Cálculos en SolidWorks..... | - 82 - |
| 4.7.1- Cálculo de presión en el tanque..... | - 83 - |
| 4.7.1.1- Cálculos analíticos. | - 83 - |
| 4.7.1.2- Cálculos en SolidWorks. | - 84 - |
| 4.7.2- Cálculo del depósito con la boca de hombre. | - 91 - |
| 4.7.3- Cálculo de los soportes del tanque. | - 93 - |
| 4.7.1- Cálculo de las orejetas de izado..... | - 97 - |
| 4.7.2- Cálculo de los tornillos de la boca de hombre. | - 103 - |
| 4.7.3- Cálculo de esfuerzos en la escalera. | - 115 - |
| 4.8- Acabado superficial. | - 122 - |
| 4.8.1- Reflectividad. | - 123 - |
| 4.9- Tornillería..... | - 123 - |
| 4.10- Etiquetado..... | - 124 - |
| 4.11- Marcado y certificación..... | - 125 - |
| 5- Proceso de soldadura. | - 126 - |
| 5.1- Método de soldeo..... | - 127 - |
| 5.1.1- Proceso Tungsten Inert Gas (TIG) para el punteo de sujeción de las piezas. | - 128 - |
| 5.1.2- Proceso Gas Metal Arc Welding (GMAW) para las pasadas de raíz y relleno. | - 129 - |
| 5.2- Diseño de uniones..... | - 130 - |
| 5.2.1- Unión en la soldadura longitudinal de la virola..... | - 130 - |
| 5.2.2- Unión en la soldadura circular entre virola y fondos. | - 130 - |
| 5.2.3- Unión en la soldadura de las embocaduras..... | - 131 - |

| | |
|---|----------------|
| 5.2.4- Unión en la placa de refuerzo de la boca de hombre | - 132 - |
| 5.3- Material de aporte..... | - 132 - |
| 5.4- Gas protector..... | - 134 - |
| 5.5- Documentos reglamentarios..... | - 135 - |
| 5.5.1- Especificación Procedimiento de Soldadura (WPS):..... | - 135 - |
| 5.5.2- Registro de Calibración de Procedimiento (PQR):..... | - 136 - |
| 5.6- Control y ensayos. | - 137 - |
| 5.6.1- Examen visual de las soldaduras. | - 137 - |
| 5.6.2- Exámenes no destructivos (END)..... | - 137 - |
| 5.6.2.2- Técnica radiográfica..... | - 137 - |
| 5.6.2.3- Técnicas por ultrasonidos..... | - 138 - |
| 5.6.2.4- Técnicas por partículas magnéticas..... | - 139 - |
| 5.6.2.5- Técnicas por líquidos penetrantes. | - 140 - |
| 5.6.3- Criterios de aceptación. | - 141 - |
| 5.7- Evaluación final..... | - 141 - |
| 5.7.1- Prueba de presión. | - 141 - |
| 5.7.2- Examen final..... | - 142 - |
| 6- Planos. | - 142 - |
| 7- Bibliografía y referencias. | - 143 - |
| 7.1- Normativa..... | - 143 - |
| 7.2- Páginas de internet..... | - 145 - |
| 7.3- Libros. | - 145 - |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|--------|
| Figura 1. Boca de carga y adaptador para el llenado. | - 26 - |
| Figura 2. Válvula de disco fijo y basculante. | - 26 - |
| Figura 3. Indicador de nivel de flotador. | - 28 - |
| Figura 4. Indicador de nivel rotativo. | - 29 - |
| Figura 5. Indicador de llenado máximo. | - 30 - |
| Figura 6. Referencia de longitud del tubo sonda según diámetro del depósito. | - 31 - |
| Figura 7. Manómetro. | - 32 - |
| Figura 8. Válvula de seguridad por alivio de presión interna y externa. | - 33 - |
| Figura 9. Vista de sección de multiválvula con llave de toma de fase gaseosa y dispositivo de corte por exceso de flujo. | - 35 - |
| Figura 10. Multiválvula. | - 35 - |
| Figura 11. Toma de fase líquida. | - 36 - |
| Figura 12. Boca de hombre de un depósito con barra pescante. | - 39 - |
| Figura 13. Plano de las embocaduras para las válvulas y accesorios del depósito. | - 39 - |
| Figura 14. Paso de rosca cónico NPT. | - 41 - |
| Figura 15. Diferencia entre roscas métricas y NPT/NPTF. | - 41 - |
| Figura 16. Nivel magnético "Rochester Junior". | - 42 - |
| Figura 17. Plano con las medidas de la embocadura para el nivel "Rochester Junior". | - 42 - |
| Figura 18. Válvula de llenado "Omeca VRN93". | - 43 - |
| Figura 19. Válvula de seguridad "REGO RS3136" y portaválvulas "REGO CD36". | - 43 - |
| Figura 20. Multiválvula "REGO 9101 DNP". | - 44 - |
| Figura 21. Válvula para la fase líquida "Rego A 8020 D". | - 45 - |
| Figura 22. Válvula Check-Lok "Rego 7590UT". | - 45 - |
| Figura 23. Tapón de purga para salida inferior. | - 46 - |
| Figura 24. Tipos de fondos en depósitos. | - 49 - |
| Figura 25. Calculadora de fondos KLOPPER de "horfasa.com". | - 50 - |
| Figura 26. Factor de seguridad en el exterior en la simulación de fondo KLOPPER. | - 51 - |
| Figura 27. Factor de seguridad en el interior en la simulación de fondo KLOPPER. | - 51 - |
| Figura 28. Calculadora de fondos KORBBGEN de "horfasa.com". | - 52 - |
| Figura 29. Factor de seguridad en el exterior en la simulación de fondo KORBBGEN. | - 52 - |
| Figura 30. Factor de seguridad en el interior en la simulación de fondo KORBBGEN. | - 53 - |
| Figura 31. Cotas dimensionales de los fondos. | - 54 - |
| Figura 32. Función en Matlab para el cálculo iterativo de Beta. | - 57 - |

| | |
|--|--------|
| Figura 33. Gráfica de la relación máxima entre el espesor de las tubuladuras y el espesor del cuerpo. | - 60 - |
| Figura 34. Croquis en SolidWorks para el diseño de los fondos. | - 61 - |
| Figura 35. Diseño de los fondos en SolidWorks. | - 61 - |
| Figura 36. Croquis en SolidWorks para el diseño de la virola. | - 62 - |
| Figura 37. Diseño de la virola en SolidWorks. | - 62 - |
| Figura 38. Croquis en SolidWorks para el diseño de la abertura para la boca de hombre. | - 62 - |
| Figura 39. Croquis en SolidWorks para el diseño de las embocaduras. | - 63 - |
| Figura 40. Diseño de la virola con aberturas en SolidWorks. | - 63 - |
| Figura 41. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 1). | - 64 - |
| Figura 42. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 2). | - 64 - |
| Figura 43. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 3). | - 65 - |
| Figura 44. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 4). | - 65 - |
| Figura 45. Diseño de los soportes del depósito en SolidWorks. | - 65 - |
| Figura 46. Croquis en SolidWorks para el diseño de las orejetas de izaje (paso 1). | - 66 - |
| Figura 47. Croquis en SolidWorks para el diseño de las orejetas de izaje (paso 2). | - 66 - |
| Figura 48. Diseño de las orejetas de izaje en SolidWorks. | - 67 - |
| Figura 49. Croquis en SolidWorks para el diseño de las escaleras. | - 67 - |
| Figura 50. Diseño de las escaleras en SolidWorks. | - 68 - |
| Figura 51. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes superiores de escalera. | - 68 - |
| Figura 52. Diseño de los soportes superiores en SolidWorks. | - 69 - |
| Figura 53. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes inferiores de escalera. | - 69 - |
| Figura 54. Diseño de los soportes inferiores en SolidWorks. | - 70 - |
| Figura 55. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 1). | - 70 - |
| Figura 56. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 2). | - 71 - |
| Figura 57. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 3). | - 71 - |
| Figura 58. Diseño de la tapa de la boca de hombre en SolidWorks. | - 71 - |
| Figura 59. Croquis en SolidWorks para el diseño de la brida inferior de boca de hombre (paso 1). | - 72 - |
| Figura 60. Croquis en SolidWorks para el diseño de la brida inferior de boca de hombre (paso 2). | - 72 - |
| Figura 61. Diseño de la brida inferior de la boca de hombre en SolidWorks. | - 72 - |
| Figura 62. Croquis en SolidWorks para el diseño de la lámina de boca de hombre. | - 73 - |
| Figura 63. Diseño de la lámina de la boca de hombre en SolidWorks. | - 73 - |
| Figura 64. Croquis en SolidWorks para el diseño del refuerzo de boca de hombre. | - 74 - |
| Figura 65. Diseño del refuerzo de la boca de hombre en SolidWorks. | - 74 - |
| Figura 66. Diseño de la base del pescante de la boca de hombre en SolidWorks. | - 75 - |

| | |
|--|--------|
| Figura 67. Diseño de la barra del pescante de la boca de hombre en SolidWorks. | - 75 - |
| Figura 68. Diseño del perno de ojo de la boca de hombre en SolidWorks. | - 76 - |
| Figura 69. Diseño de las embocaduras para válvulas y elementos en SolidWorks. | - 76 - |
| Figura 70. Diseño de la embocadura para nivel magnético Rochester Junior en SolidWorks. | - 77 - |
| Figura 71. Diseño del ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 1). | - 77 - |
| Figura 72. Diseño del ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 2). | - 77 - |
| Figura 73. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 1). | - 78 - |
| Figura 74. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 2). | - 78 - |
| Figura 75. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 3). | - 78 - |
| Figura 76. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 1). | - 79 - |
| Figura 77. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 2). | - 79 - |
| Figura 78. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 3). | - 79 - |
| Figura 79. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 1). | - 80 - |
| Figura 80. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 2). | - 80 - |
| Figura 81. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 3). | - 80 - |
| Figura 82. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 4). | - 81 - |
| Figura 83. Detalles de las embocaduras en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks. | - 81 - |
| Figura 84. Detalles de los carteles de aviso en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks. | - 81 - |
| Figura 85. Biblioteca de materiales en SolidWorks. | - 82 - |
| Figura 86. Material personalizado "P355-NL1" en SolidWorks. | - 83 - |
| Figura 87. Tensiones de vonMises en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 85 - |
| Figura 88. Tensiones tangenciales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 85 - |
| Figura 89. Tensiones longitudinales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 86 - |
| Figura 90. Tensiones radiales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 86 - |
| Figura 91. Factor de seguridad en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 87 - |
| Figura 92. Factor de seguridad en el interior del fondo en la simulación de virola y fondos con SolidWorks. | - 87 - |
| Figura 93. Tensiones de vonMises en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 88 - |
| Figura 94. Tensiones tangenciales en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 88 - |
| Figura 95. Tensiones longitudinales en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 89 - |
| Figura 96. Tensiones radiales en el exterior en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 89 - |
| Figuras 97. Tensiones radiales en el interior en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 90 - |
| Figura 98. Factor de seguridad en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks. | - 90 - |
| Figura 99. Tensiones de vonMises en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks. | - 91 - |
| Figura 100. Deformada y desplazamientos en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks. | - 92 - |

| | |
|---|---------|
| Figura 101. Factor de seguridad en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks. | - 92 - |
| Figura 102. Detalles del Factor de seguridad máximo en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks. | - 93 - |
| Figura 103. Sujeciones y fuerzas aplicadas en la simulación de los soportes con SolidWorks. | - 94 - |
| Figura 104. Tensión de vonMises en la simulación de los soportes con SolidWorks. | - 95 - |
| Figura 105. Detalle de la Tensión de vonMises máxima en la simulación de los soportes con SolidWorks. | - 95 - |
| Figura 106. Factor de seguridad en la simulación de los soportes con SolidWorks. | - 96 - |
| Figura 107. Desplazamientos en la simulación de los soportes con SolidWorks. | - 96 - |
| Figura 108. Gráfico de tensiones en las orejetas de izaje. | - 97 - |
| Figura 109. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 1). | - 98 - |
| Figura 110. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 2). | - 99 - |
| Figura 111. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 3). | - 99 - |
| Figura 112. Creacion de plano de partición para crear la superficie en la que se ejerce la fuerza. | - 100 - |
| Figura 113. Superficie en la que se ejerce la fuerza en la orejeta de izaje para la simulación. | - 100 - |
| Figura 114. Fuerzas y sujeciones aplicadas en la orejeta de izaje para la simulación. | - 101 - |
| Figura 115. Tensiones de vonMises en la simulación de las orejetas de izaje. | - 101 - |
| Figura 116. Factor de seguridad en la simulación de las orejetas de izaje. | - 102 - |
| Figura 117. Desplazamientos en la simulación de las orejetas de izaje. | - 102 - |
| Figura 118. Boca de hombre con tornillos. | - 107 - |
| Figura 119. Boca de hombre con las fuerzas de presión aplicadas para la simulación en SolidWorks. | - 107 - |
| Figura 120. Tensiones de vonMises en la simulación de tornillos en SolidWorks. | - 108 - |
| Figura 121. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks. | - 108 - |
| Figura 122. Comprobación de perno en SolidWorks. | - 109 - |
| Figura 123. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks. | - 110 - |
| Figura 124. Von Mises en la tapa de boca de hombre con tornillos. | - 111 - |
| Figura 125. Factor de seguridad en la tapa de boca de hombre con tornillos. | - 111 - |
| Figura 126. Comprobación de perno en SolidWorks. | - 112 - |
| Figura 127. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks. | - 112 - |
| Figura 128. Von Mises en la tapa de boca de hombre con tornillos. | - 113 - |
| Figura 129. Factor de seguridad en la tapa de boca de hombre con tornillos. | - 113 - |
| Figura 130. Comprobación de perno en SolidWorks. | - 114 - |
| Figura 131. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks. | - 114 - |
| Figura 132. Sujeciones y fuerzas para la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño. | - 117 - |
| Figura 133. Comprobación de pernos en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño. | - 117 - |

| | |
|---|-------|
| Figura 134. Factor de seguridad en los tornillos de la escalera en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño. . - | 118 - |
| Figura 135. Sujeciones y fuerzas ejercidas en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en la base superior. - | 118 - |
| Figura 136. Factor de seguridad en los tornillos en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en la base superior. - | 119 - |
| Figura 137. Von Mises en simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en el peldaño. - | 119 - |
| Figura 138. Fator de seguridad en simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en el peldaño. - | 120 - |
| Figura 139. Von Mises en la simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en la base superior. - | 121 - |
| Figura 140. Factor de seguridad en la simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en la base superior. - | 121 - |
| Figura 141. Carteles indicadores para el depósito. - | 125 - |
| Figura 142. Esquema de procedimiento de soldeo TIG. - | 129 - |
| Figura 143. Esquema del procedimiento de soldeo GMAW. - | 129 - |
| Figura 144. Diseño de bordes según normativa para la soldadura longitudinal de la virola. - | 130 - |
| Figura 145. Diseño de bordes elegido para la soldadura longitudinal de la virola. - | 130 - |
| Figura 146. Diseño de bordes elegido para la soldadura circular entre virola y fondos. - | 131 - |
| Figura 147. Diseño de bordes para la soldadura de embocadura apoyada sobre la virola según normativa. - | 131 - |
| Figura 148. Diseño de bordes elegido para la soldadura de embocadura apoyada sobre la virola. - | 132 - |
| Figura 149. Diseño de bordes elegido para la soldadura de unión en la placa de refuerzo de la boca de hombre. - | 132 - |
| Figura 150. Hoja de características técnicas del material de aporte. - | 133 - |
| Figuras 151. Características del gas de protección para soldadura. - | 134 - |
| Figura 152. Características del gas de protección para soldadura. - | 134 - |
| Figura 153. Ejemplo de documento WPS. - | 136 - |
| Figura 154. Técnica radiográfica. - | 138 - |
| Figura 155. Técnica por ultrasonidos. - | 139 - |
| Figura 156. Técnica por partículas magnéticas. - | 140 - |
| Figura 157. Técnica por líquidos penetrantes. - | 140 - |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|---------|
| Tabla 1. Propiedades aproximadas del GLP extraída de la fuente “Organismo supervisor de la inversión en energía y minería (Osinerghmin)”..... | - 14 - |
| Tabla 2. Composición química del acero P355 NL1 según norma UNE-EN 10028-3:2017. | - 16 - |
| Tabla 3. Tolerancias admisibles en la composición química del acero P355 NL1 según norma UNE-EN 10028-3:2017..... | - 17 - |
| Tabla 4. Valor máximo de carbono equivalente (CEV) según norma UNE-EN 10028-3:2017..... | - 17 - |
| Tabla 5. Características de tracción a temperatura ambiente del acero P355 NL1 según norma UNE-EN 10028-3:2017..... | - 18 - |
| Tabla 6. Valores mínimos de la energía de rotura en flexión por choque según norma UNE-EN 10028-3:2017. | - 18 - |
| Tabla 7. Potencias de los elementos a abastecer..... | - 20 - |
| Tabla 8. Consumo diario de cada elemento a abastecer. | - 21 - |
| Tabla 9. Caudal vaporizado para un 20% de llenado del depósito según manual de instalaciones de GLP Cepsa. | - 23 - |
| Tabla 10. Caudal de carga de propano líquido según diferencia de presiones. | - 27 - |
| Tabla 11. Características, función, conexión y referencias de los elementos y accesorios del depósito. | - 40 - |
| Tabla 12. Presión de diseño en depósitos según norma UNE 60250. | - 46 - |
| Tabla 13. Presión de diseño mínima conforme a la zona climática en depósitos según norma UNE 60250..... | - 47 - |
| Tabla 14. Tolerancias dimensionales de los fondos. | - 54 - |
| Tabla 15. Tabla de propiedades de tornillos según diámetro nominal "Shigley's"..... | - 104 - |
| Tabla 16. Tabla de resistencias de los tornillos según su grado o clase de propiedad "Shigley's"..... | - 105 - |
| Tabla 17. Tabla con propiedades para el cálculo de tornillos a utilizar. | - 105 - |
| Tabla 18. Tabla de la constante "K" según el recubrimiento del tornillo..... | - 106 - |
| Tabla 19. Tabla de propiedades y características de los tornillos de la escalera. | - 116 - |
| Tabla 20. Tabla de índice de reflexión según norma UNE-EN 12542..... | - 123 - |
| Tabla 21. Tabla de las características de los tornillos y pernos usados en este depósito..... | - 124 - |
| Tabla 22. Propiedades del gas Ar/CO2. | - 135 - |
| Tabla 23. Tabla con criterios de aceptación para exámenes y ensayos de soldaduras. | - 141 - |

1- Objeto del proyecto.

El objeto de este proyecto es realizar tanto el diseño y cálculos de un depósito estándar de GLP, como el proceso de soldadura e inspección que hay que seguir para su fabricación.

El depósito tendrá una ubicación fija e irá destinado al abastecimiento para instalaciones industriales en sectores como industria cerámica, metálica, alimentaria, cabinas de pintura, incineración de residuos, cocinas industriales, etc.

Al ser un depósito fijo deberá disponer de una boca de carga para su llenado “in situ”, sin necesidad de su traslado a una planta de llenado y posterior retorno al emplazamiento original de la instalación de GLP.

El tipo de depósito será aéreo, instalado sobre una losa de hormigón en un espacio abierto.

2- Gas licuado del petróleo (GLP).

El gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disueltos en el petróleo.

Se puede decir que los GLP son un producto del petróleo formado por las distintas mezclas del gas propano y butano.

El gas natural de propano y butano pueden ser extraídos por procesos consistentes en la reducción de la temperatura del gas hasta que estos componentes y otros más pesados se condensan, estos líquidos son sometidos a un proceso de purificación usando trenes de destilación para producir propano y butano líquido o directamente GLP.

El gas GLP es muy versátil y tiene múltiples usos en el hogar, transporte, industria y agricultura, caracterizado por tener un poder calorífico alto y mayor densidad que el aire.

Destaca por su eficiencia, limpieza, bajo nivel en carbono, no emisión de humo negro y no se derrama, con un poder calorífico más alto que otros combustibles. Usar GLP mejora la calidad de aire, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y protege el medio ambiente.

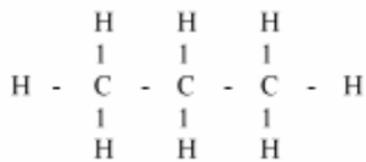
El GLP puede ser transportado fácilmente por tierra, mar o ferrocarril y no requiere grandes inversiones en infraestructura para transportarlo, con un bajo costo en comparación con otros combustibles sustitutos y de fácil instalación y mantenimiento.

2.1- Composición.

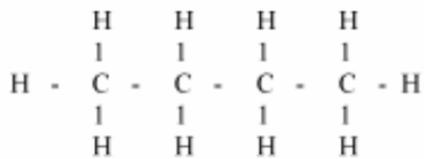
Los Gases Licuados del Petróleo son unos "compuestos orgánicos complejos" producto de la combinación de Hidrocarburos (CH) junto con un 0,01% de 1,3-butadieno como residuo de la destilación del petróleo.

Los GLP puros se caracterizan por tener una molécula saturada cuyos átomos de carbono y de hidrógeno están completos.

- Propano: C₃H₈



- Butano: C₄H₁₀



Entonces, el propano en estado puro tendrá tres átomos de carbono y ocho de hidrogeno y el butano en estado puro tendrá cuatro de carbono y diez de hidrogeno.

Sin embargo, los GLP que se comercializan no son totalmente puros, sino que el propano y butano comercial, son una mezcla de ambos gases siendo sus proporciones más habituales el 80%-20%.

- Propano Comercial: 80% de hidrocarburos C₃ y 20% de hidrocarburos C₄.
- Butano Comercial: 80% de hidrocarburos C₄ y 20% de hidrocarburos C₃.

Las principales diferencias entre el propano y el butano son:

- El propano se vaporiza a temperaturas por encima de -42 °C a presión atmosférica mientras que el butano se vaporiza a -0.5 °C.
- A diferencia del propano, el butano no vaporiza adecuadamente a una temperatura por debajo de los 0 °C.

- El propano tiene una mayor presión de vapor que el butano a una temperatura determinada.
- Cuando se produce una combustión, el propano produce menos calor en comparación con la misma cantidad de gas butano.
- Un litro de gas propano pesa menos que un litro de gas butano.

2.2- Características y propiedades.

- El GLP es un combustible limpio, se consume todo en la combustión y no deja residuos.
- No es tóxico, aunque puede causar asfixia.
- El contacto con la piel o los ojos puede causar irritación.
- Muy inflamable, proceso de combustión muy rápido y genera alta temperatura.
- El GLP se compone principalmente de propano y butano.
- El GLP se licua a baja presión entre 4-9 bar en base a una mezcla de propano-butano.
- Tiene una excelente capacidad de expansión de líquido a gas y su volumen aumenta unas 270 veces.
- Dado que el GLP en estado gaseoso es más pesado que el aire, tiende a asentarse en puntos bajos durante las fugas. En estado líquido, el GLP es más ligero que el agua.
- El GLP es un combustible que forma una mezcla explosiva con el aire en una proporción determinada, el límite de inflamabilidad es de 2,15 a 9,60% de propano en aire y de 1,55 a 8,60% de butano en aire.
- El GLP se produce a partir de un líquido o gas natural refinado incoloro e inodoro, por lo que la presencia en el medio se detecta mediante la adición de un "olor" químico especial llamado mercaptano.
- En comparación con otros gases tiene un rendimiento alto.
- Gas económico.
- Debido a su alta inflamabilidad, se debe tener sumo cuidado para evitar incendios o fugas en bombonas y tanques.

A continuación, se presentan las propiedades aproximadas del GLP (Tabla1):

| | | Propano | GLP | Butano |
|--|-----------|---------|--------|---------|
| COMPOSICION (%Vol.) | | | | |
| Propanos | % | 100.00 | 60.00 | 0.00 |
| Butanos | % | 0.00 | 40.00 | 100.00 |
| PROPIEDADES FISICO/QUIMICAS | | | | |
| Presión de Vapor a 37.8 °C | psig | 208 | 160 | 70.00 |
| Presión de Vapor a 0.0 °C | psig | 70.00 | 48 | 15 |
| Punto de Ebullición @ 1 Atm | °C | -42.1 | -25.5 | -0.5 |
| Líquido: | | | | |
| Gravedad Especifica @ 60/60°F (Agua=1) | --- | 0.5083 | 0.5389 | 0.5847 |
| Densidad @ 15 °C | kg/gal | 1.922 | 2.038 | 2.211 |
| Vapor: | | | | |
| Densidad Relativa (Aire = 1) | --- | 1.5225 | 1.7162 | 2.0068 |
| INFLAMABILIDAD | | | | |
| Límite Inferior (LEL), % Vol. Aire | % | 2.00 | 1.80 | 1.50 |
| Límite Superior (UEL), % Vol. Aire | % | 9.50 | 9.30 | 9.00 |
| COMBUSTION | | | | |
| Volumen Aire/Gas para combustión (Ideal) | | 23.86 | 26.72 | 31.02 |
| Poder Calorífico | BTU / kg | 47,375 | 47,063 | 46,596 |
| Poder Calorífico (Vapor @ 15°C) | BTU / m3 | 88,353 | 98,940 | 114,544 |
| Poder Calorífico (Líquido @ 60°F) | BTU / gal | 90,823 | 95,657 | 102,909 |

Tabla 1. Propiedades aproximadas del GLP extraída de la fuente "Organismo supervisor de la inversión en energía y minería (Osinermin)".

2.3- Riesgos posibles en instalaciones de GLP.

Los riesgos que se pueden producir en una instalación con depósito fijo de GLP son:

- Escape o fuga:

Es necesario identificar de antemano los lugares donde esto puede ocurrir (tuberías, juntas, válvulas, etc.) e instalar sensores y realizar una evaluación periódica de las posiciones marcadas.

Los efectos que puede generar esta situación pueden ser asfixia, acumulación de gas en zonas bajas y alcantarillas o espacios confinados que tienen alto riesgo de incendio y explosión.

- Incendio:

Si surge tal situación, es necesario evaluar todas las áreas sensibles, así como el alcance de las consecuencias.

En caso de incendio, el riesgo de explosión en espacios mal ventilados o cerrados es permanente y se necesita personal especializado para hacer frente a estas situaciones.

La empresa deberá evaluar si su equipo tiene la capacidad de atender este incidente o necesita de apoyo externo para solventarlo, se recomienda mantener debidamente informadas a las autoridades locales para que sirvan de apoyo en estos casos, más aún si el riesgo pudiese extenderse a la población civil externa.

- Explosión:

De acuerdo con las propiedades del gas, una explosión puede darse por la presencia al mismo tiempo de niveles peligrosos de gas, aire o cualquier fuente comburente y una fuente de ignición en un espacio donde se acumule el combustible de tal modo que la presión no sea fácilmente disipada.

Debido a la gran cantidad de gas almacenado, la explosión puede afectar ubicaciones a cientos de metros de distancia en todas direcciones e incluso colapsar la empresa.

En este caso, las acciones que pueda realizar la brigada son mínimas, por lo que ante un riesgo inminente de explosión la única medida segura es la evacuación, debido a la gravedad de las consecuencias. Si la explosión ocurre repentinamente y no afecta a toda la población, las actividades a realizar son claramente el rescate de víctimas, control de nuevos eventos y recuperación del lugar.

3- Gas utilizado.

Para elegir entre butano y propano hay que tener en cuenta dos factores, el consumo y el clima en el que se instalará este depósito.

En este caso la mejor opción sería el propano, ya que el butano no es recomendable para consumos medios y altos, ni para temperaturas bajas ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Por ello, el gas a utilizar en el depósito de estudio será propano comercial, ya que tendremos un consumo alto (90-250 kg/mes) y se podría instalar tanto en climas cálidos, como en climas fríos.

4- Diseño del depósito.

4.1- Material a utilizar.

Para elegir el material adecuado en cada una de las partes de este depósito, nos regiremos por la “norma UNE-EN 12542:2010. Equipos y accesorios para GLP. Depósitos cilíndricos estáticos,

en acero soldado, fabricados en serie para el almacenaje de gas licuado de petróleo (GLP) de volumen inferior o igual a 13 m³. Diseño y fabricación.”

El material seleccionado es el acero P355NL1, con designación numérica 1.0566, según la nomenclatura DIN. Es un material estructural de grano fino utilizado comúnmente para recipientes a presión y se caracteriza por una buena soldabilidad y una alta resistencia al agrietamiento por fragilidad, utilizado especialmente en la fabricación de tanques para gas a presión (GLP, butano y tanques de propano), como es el caso de nuestro estudio.

El acero en calidad P355NL1 se suministra con una temperatura de normalización que está entre 900 – 950 °C, con un tiempo aproximado de un minuto por milímetro de espesor de la placa en el horno, con el propósito de ofrecer buenas propiedades de conformación, tanto en frío como en caliente, sin afectar negativamente a las propiedades del material.

Las propiedades y características de este acero las obtendremos de la “norma UNE-EN 10028-3:2017 Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 3: Aceros soldables de grano fino en condición de normalizado.”

La composición química del acero P355NL1 se muestra en la Tabla 2.

| Acero P355NL1 | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------|---------------|----------|----------|----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| (% en masa) | | | | | | | | | | | | | | |
| C máx | Si máx | Mn | P máx | S máx | Al _{total} máx | N máx | Cr máx | Cu máx | Mo máx | Nb máx | Ni máx | Ti máx | V máx | Nb+Ti+V máx |
| 0.18 | 0.5 | 1.10 a 1.7 | 0.025 | 0.008 | 0.020 | 0.012 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.05 | 0.5 | 0.03 | 0.1 | 0.12 |

Tabla 2. Composición química del acero P355 NLI según “norma UNE-EN 10028-3:2017”.

“El contenido en Al_{total} puede disminuir respecto de este mínimo si se han utilizado niobio, titanio o vanadio como elementos fijadores de nitrógeno.

La suma de porcentajes en masa de los tres elementos cromo, cobre y molibdeno no debe exceder de 0,45%.”

Las tolerancias admisibles del análisis de producto sobre los valores límites son indicados en la tabla 3:

| Elemento | Valor especificado para el análisis de colada en la tabla 1 % masa | Tolerancia admisible ^a para el análisis de producto % masa |
|----------|---|--|
| C | ≤ 0,20 | + 0,02 |
| Si | ≤ 0,60 | + 0,06 |
| Mn | ≤ 1,00 | ± 0,05 |
| | > 1,00 a ≤ 1,70 | ± 0,10 |
| P | ≤ 0,025 | + 0,005 |
| S | ≤ 0,010 | + 0,003 |
| Al | ≥ 0,020 | - 0,005 |
| N | ≤ 0,025 | + 0,002 |
| Cr | ≤ 0,30 | + 0,05 |
| Mo | ≤ 0,10 | + 0,03 |
| Cu | ≤ 0,30 | + 0,05 |
| | > 0,30 a ≤ 0,70 | + 0,10 |
| Nb | ≤ 0,05 | + 0,01 |
| Ni | ≤ 0,80 | + 0,05 |
| Ti | ≤ 0,03 | + 0,01 |
| V | ≤ 0,20 | + 0,01 |

a Si se realizan varios análisis de producto sobre una colada y el contenido de un determinado elemento individual está fuera de los límites admisibles de la composición química para el análisis de colada, entonces está permitido que, o bien se exceda el límite máximo admisible, o bien difiera ligeramente por debajo del valor mínimo admisible, pero no ambos para una colada.

Tabla 3. Tolerancias admisibles en la composición química del acero P355 NL1 según "norma UNE-EN 10028-3:2017".

El valor máximo del carbono equivalente (CEV) basado en el análisis de colada es indicado en la tabla 4:

| Designación del acero | | CEV ^b máx. para el espesor nominal, t, en mm | | |
|-----------------------|----------|---|--------------|---------------|
| Simbólica | Númerica | t ≤ 60 | 60 < t ≤ 100 | 100 < t ≤ 250 |
| P275NH | 1.0487 | 0,40 | 0,40 | 0,42 |
| P275NL1 | 1.0488 | | | |
| P275NL2 | 1.1104 | | | |
| P355N | 1.0562 | 0,43 | 0,45 | 0,45 |
| P355NH | 1.0565 | | | |
| P355NL1 | 1.0566 | | | |
| P355NL2 | 1.1106 | | | |
| P420NH | 1.8932 | 0,48 | 0,48 | 0,52 |
| P420NL1 | 1.8912 | | | |
| P420NL2 | 1.8913 | | | |
| P460NH | 1.8935 | 0,53 | 0,54 | 0,54 |
| P460NL1 | 1.8915 | | | |
| P460NL2 | 1.8918 | | | |

NOTA Los valores del carbono equivalente se basan en el porcentaje en masa y están relacionados con las características mecánicas de acuerdo con esta norma europea.

a Véase el apartado 8.3.3.

b
$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Tabla 4. Valor máximo de carbono equivalente (CEV) según "norma UNE-EN 10028-3:2017".

Para el acero P355NL1 de espesor nominal menor de 60 mm, tendremos un CEV máximo de 0.43.

Las características de tracción a temperatura ambiente del acero P355NL1, se expresan en la tabla 5:

| Designación del acero | | Espesor nominal t (mm) | Límite elástico ReH (MPa) mín. | Resistencia a la tracción Rm (MPa) | Alargamiento después de rotura A (% mín.) |
|-----------------------|----------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
| simbólica | numérica | | | | |
| P355NL1 | 1.0566 | ≤ 16 | 355 | 490 a 630 | 22 |
| | | 16 < t ≤ 40 | 345 | | |
| | | 40 < t ≤ 60 | 335 | | |
| | | 60 < t ≤ 100 | 315 | 470 a 610 | 21 |
| | | 100 < t ≤ 150 | 305 | 460 a 600 | |
| | | 150 < t ≤ 250 | 295 | 450 a 590 | |

Tabla 5. Características de tracción a temperatura ambiente del acero P355 NL1 según “norma UNE-EN 10028-3:2017”.

Los valores mínimos de la energía de rotura en flexión por choque se toman de la “norma UNE-EN 10028-3” (Tabla 6):

| Tipo de acero | Espesor nominal mm | Energía de rotura en flexión por choque KV_2 J mín. | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|---|-----------------|-----------------|----|-----|-----------------|-----|-----|----|-----|
| | | transversal | | | | | longitudinal | | | | |
| | | a la temperatura en °C de | | | | | | | | | |
| | | -50 | -40 | -20 | 0 | +20 | -50 | -40 | -20 | 0 | +20 |
| P...N, P...NH | ≤ 250 | - | - | 30 ^a | 40 | 50 | - | - | 45 | 65 | 75 |
| P...NL1 | | - | 27 ^a | 35 ^a | 50 | 60 | 30 ^a | 40 | 50 | 70 | 80 |
| P...NL2 | | 27 ^a | 30 ^a | 40 | 60 | 70 | 42 | 45 | 55 | 75 | 85 |

^a En el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido se puede acordar un valor mínimo de la energía de rotura en flexión por choque de 40 J.

Tabla 6. Valores mínimos de la energía de rotura en flexión por choque según “norma UNE-EN 10028-3:2017”.

Para el grado NL1 y un espesor nominal menor a 250 mm, a cualquier temperatura, la energía de rotura en flexión por choque va a ser ≥ 27 J, que es lo que exige la “norma UNE- EN 12542:2010”.

4.1.1- Virolas y fondos.

Según la “norma UNE- EN 12542:2010”:

“Los materiales para las virolas y los fondos deben seleccionarse entre los aceros especificados en las Normas EN 10028-2, EN 10028-3, o EN 10028-5.

En todos los casos, los materiales deben cumplir los siguientes requisitos:

- *La composición química y las propiedades mecánicas deben cumplir los requisitos del Grupo 1 o del Grupo 2, definidos en la tabla 1. Clasificación de materiales;*
- *El valor mínimo especificado de la resistencia a la rotura por tracción debe ser inferior o igual a 700 MPa;*
- *La elongación mínima después de la rotura debe ser del 14%;*
- *Las propiedades de impacto deben ser iguales o superiores a 27 J, a la temperatura mínima de cálculo, o deben cumplir los requisitos de diseño para bajas temperaturas especificados en la Norma EN 13445-2.”*

Vemos que el acero elegido cumple todas las especificaciones de la norma, por lo tanto, usaremos el acero P355NL1 para las virolas y los fondos.

4.1.2- Partes a presión que no sean virolas y fondos.

Según la “norma UNE- EN 12542:2010”:

“Los materiales de las partes a presión, que no sean virolas y fondos, deben cumplir la norma europea armonizada apropiada para el material, o una especificación equivalente que haya sido objeto de una aprobación europea.”

Las partes a presión que no son virolas ni fondos, en nuestro proyecto serían la boca de hombre y las embocaduras de las válvulas y accesorios del depósito.

Para estas partes vamos a usar el mismo material que para la virola y fondos, acero P355NL1, por tema de compatibilidad y resistencia, ya que van soldadas directamente en la virola y deben soportar la misma presión que ésta y los fondos.

4.1.3- Piezas soldadas al depósito.

Según la “norma UNE- EN 12542:2010”:

“Las partes no sometidas a presión que estén directamente soldadas a las partes sometidas a presión, deben estar construidas con materiales apropiados, seleccionados en la Norma EN 10025-2, o con un material compatible con el material de las partes a presión.”

Las piezas soldadas se realizarán del mismo material que el material base para asegurar una buena compatibilidad entre materiales, ya que el acero P355NL1 tiene una buena soldabilidad.

Las piezas soldadas al depósito no sometidas a presión serían los soportes de las escaleras, soportes del depósito y orejetas de izaje, y serán del mismo material que las virolas y fondos para asegurar la compatibilidad en la soldadura, aunque estos no estén sometidas a presión.

4.2- Medidas y capacidad del depósito.

En este caso, se trata de un depósito para una instalación industrial con varios tipos de elementos:

Disponemos de un horno de secado, una caldera para agua caliente, otra caldera de calefacción y un horno de fusión.

Las potencias de los elementos a abastecer se recogen en la Tabla 7:

| Elementos | Potencias | |
|------------------------|-----------|---------|
| Horno de secado | 40 kW | 40 kW |
| Caldera de ACS | 35 kW | 35 kW |
| Caldera de calefacción | 230 kW | 230 kW |
| Hornos de fusión | 700 kW | 700 kW |
| | TOTAL | 1005 kW |

Tabla 7. Potencias de los elementos a abastecer.

Usaremos entonces el poder calorífico del propano (PC) para poder calcular los caudales de cada aparato y obtener el calor total máximo de la instalación.

$$PC (\text{propano}) = 25.89 \text{ Kw. h/m}^3$$

$$Q_{HS} = \frac{40 \text{ kW}}{25.89 \text{ kW. h/m}^3} = 1.544 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{ACS} = \frac{35 \text{ kW}}{25.89 \text{ kW. h/m}^3} = 1.351 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{CC} = \frac{230 \text{ kW}}{25.89 \text{ kW. h/m}^3} = 8.883 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{HF} = \frac{700 \text{ kW}}{25.89 \text{ kW. h/m}^3} = 27.037 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{TOTAL} = 38.815 \text{ m}^3/\text{h}$$

Tenemos unos tiempos de consumo diarios de cada elemento, reflejados en la Tabla 8:

| Elementos | Tiempo de consumo diario |
|------------------------|--------------------------|
| Horno de secado | 6 h/día |
| Caldera de ACS | 4 h/día |
| Caldera de calefacción | 8 h/día |
| Hornos de fusión | 2 h/día |

Tabla 8. Consumo diario de cada elemento a abastecer.

Calcularemos entonces el consumo diario:

$$Cd_{HS} = 1.544 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ h/día} = 9.264 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Cd_{ACS} = 1.351 \text{ m}^3/\text{h} \times 4 \text{ h/día} = 5.404 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Cd_{CC} = 8.883 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/día} = 71.064 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Cd_{HF} = 27.037 \text{ m}^3/\text{h} \times 2 \text{ h/día} = 54.074 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Cd_{TOTAL} = 139.806 \text{ m}^3/\text{día}$$

El valor de consumo másico será de:

$$\text{Densidad propano(fase gaseosa)} = 1.882 \text{ kg/m}^3$$

$$C_M = 139.806 \text{ m}^3/\text{día} \times 1.882 \text{ kg/m}^3 = 263.114 \text{ kg/día}$$

Para la fase líquida, el volumen que ocupará ese consumo másico diario se calcula con la fórmula:

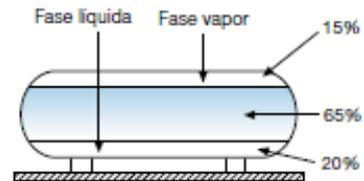
$$\text{Densidad propano(fase líquida)} = 503.2 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{liq}/\text{día} = \frac{263.114 \text{ kg/día}}{503.2 \text{ kg/m}^3} = 0.522 \text{ m}^3/\text{día}$$

El cálculo del volumen total que debe tener el depósito teniendo en cuenta una autonomía de 15 días, se hallará mediante la fórmula:

$$V_{liq} = 0.522 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 15 \text{ días} = 7.843 \text{ m}^3$$

El depósito debe contar con un 20 % de volumen de reserva y solo puede llenarse al 85% de su capacidad máxima, por lo tanto, el volumen para esa autonomía debe ser el 65 % del volumen total:



$$V_{DEP} = \frac{7.843 \text{ m}^3}{0.65} = 12.066 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el depósito deberá de llenarse la primera vez con el 65% más el 20% de reserva que sería:

$$V(\text{primer llenado}) = 12.066 \text{ m}^3 \times 0.85 = 10.256 \text{ m}^3$$

El 15 % restante del depósito corresponde al gas que no se licua y no se tiene en cuenta a efectos de cálculo.

Comprobación de la vaporización natural del depósito.

Las necesidades de caudal se extraen a partir del caudal calculado anteriormente para todos los aparatos trabajando simultáneamente.

$$Q_{TOTAL} = 38.815 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{M.TOTAL} = 38.815 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1.882 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 73.049 \text{ kg/h}$$

Se observa en la tabla 9 que el caudal vaporizado para este depósito en condiciones climáticas de -5 °C, un 20 % de llenado y una presión de trabajo de 1.5 bar será de 27.9 kg/h.

El caudal vaporizado es insuficiente y habría que instalar un vaporizador para no tener que aumentar la capacidad del depósito, debiendo ser el caudal obtenido por el vaporizador de un 30 % del máximo necesario.

| CARACTERÍSTICAS | | | | Caudal Vaporizado para un 20 % de llenado (kg/h) | | | | | |
|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------|--|-------|-------|------|-------|-----------|
| | | | | Aéreo (Temperaturas) | | | | | Enterrado |
| Volum. m ³ | Carga kg | Super. m ² | Pres. bar | -10° C | -5° C | 0° C | 5° C | 10° C | 5° C |
| 13,030 | 5 604 | 38,2 | 1,25 | 26,2 | 34,4 | 42,63 | 50,8 | 59,0 | 35,6 |
| | | | 1,50 | 19,7 | 27,9 | 36,0 | 44,2 | 52,4 | 31,0 |
| | | | 1,75 | 16,4 | 24,6 | 32,8 | 41,0 | 49,2 | 28,7 |
| | | | 2,00 | 11,5 | 9,7 | 27,9 | 36,0 | 44,2 | 25,2 |

Tabla 9. Caudal vaporizado para un 20% de llenado del depósito según manual de instalaciones de GLP Cepsa.

Conclusión.

El depósito tendrá una capacidad de 13 m³ y por lo tanto pertenecerá a la clasificación A-13 (Superior a 5 m³ e inferior o igual a 13 m³) y deberá ser provisto de un vaporizador para abastecer el caudal necesario de la instalación cuando funcionen el total de aparatos a la vez.

4.3- Elementos y accesorios.

Según la “norma UNE 60250”:

- *“Dispositivo de llenado de doble cierre, uno de los cuales debe ser de retención y debe estar situado siempre en el interior del depósito, y el otro puede ser manual, telemandado o, también, de retención.*
- *En aquellas instalaciones que dispongan de equipo de trasvase, los dispositivos de retención deben ser de exceso de flujo con el fin de permitir el trasvase entre depósitos simultáneamente con la utilización del equipo de vaporización.*
- *Indicador de nivel de medida continua y de fácil lectura.*
- *Indicador de nivel máximo de llenado.*
- *Manómetro.*
- *Válvula de seguridad de exceso de presión conectada a la fase gaseosa del depósito.*
- *Dos dispositivos destinados a la salida de GLP, uno en fase líquida y otro en gaseosa, dotados cada uno de ellos con un doble sistema de cierre: uno por exceso de flujo, automático o telemandado y otro manual. En la toma de fase líquida el de cierre automático o telemandado debe estar necesariamente en el interior del depósito. En caso de no utilización de alguna de las fases, se puede prescindir del segundo cierre situado en el exterior del depósito, pero, en todo caso, se debe proteger el cierre con un tapón roscado o brida ciega.*
- *Borne de toma de tierra.*

Además, los depósitos deben disponer de un drenaje, bien mediante un tubo buzo desde la pared superior hasta el punto más bajo interior o bien un dispositivo de salida situado lo más cerca posible del punto más bajo de la pared inferior, que debe estar dotado de una válvula interior de corte automático por exceso de flujo y de un tapón roscado de protección del mismo material que la válvula. En cualquier caso, la salida no utilizada como drenaje debe quedar cerrada por medio de un tapón roscado de acero.”

En el extracto de la norma podemos ver los elementos y accesorios necesarios para que este depósito cumpla la normativa correspondiente.

Además de estos elementos, en este depósito se va a diseñar una boca de hombre, que, aunque no sea estrictamente necesaria por norma, es muy recomendable al facilitar enormemente las tareas de inspección y revisiones periódicas.

A continuación, se explica cada uno de los elementos y accesorios de este depósito y posteriormente se muestran los accesorios elegidos con sus características, referencias y dimensiones.

4.3.1- Dispositivo de llenado.

Tiene como misión conectar la manguera del equipo del camión cisterna, desde donde se trasvasa el GLP en fase líquida al depósito y evitar que el gas pueda retroceder o salir del mismo.

El llenado de un depósito se puede realizar en base a dos procedimientos:

- **Trasvase de fase líquida:**
Se realiza conectando la manguera de fase líquida entre el tanque (zona de fase gaseosa) y el camión cisterna (zona de fase líquida).
- **Trasvase de fase líquida y retorno de fase gaseosa:**
Esto se hace de manera similar al método anterior, agregando una segunda manguera que conecta la fase gaseosa del camión cisterna con la fase gaseosa del tanque, que requiere, además, de una conexión para el equilibrio de presiones, que se incorpora normalmente en la multiválvula, tratándose de una simple válvula de retención.

La boca de carga debe de incorporar un doble cierre (Figura 1):

- Un cierre superior que consta de una válvula manual, telemandada o de retención que debe quedar en el exterior.
- Un cierre inferior que consta de una válvula de retención en el interior del depósito, para evitar la salida del gas, en caso de rotura o seccionamiento de la válvula.

Las válvulas de retención se cierran automáticamente por la presión de un muelle y por la propia presión ejercida por el gas, cuando cesa el flujo.

El doble cierre es de retención y se realiza a través de dos discos que permanecen cerrados por la acción de varios resortes y de la propia presión del interior del depósito. En algunos modelos, uno de los dos discos es basculante para aumentar el área de la sección de paso y mejorar el caudal. (Figura 2).

Al realizar el llenado del depósito, una vez acoplada la manguera de trasvase del camión cisterna a la válvula, la presión del gas impulsado por el dispositivo de bombeo supera la fuerza de los resortes y de la contrapresión del gas contenido en el tanque, que mantiene cerrados los discos de cierre, por lo que éstos se abren permitiendo el paso de GLP en fase líquida al interior del depósito.

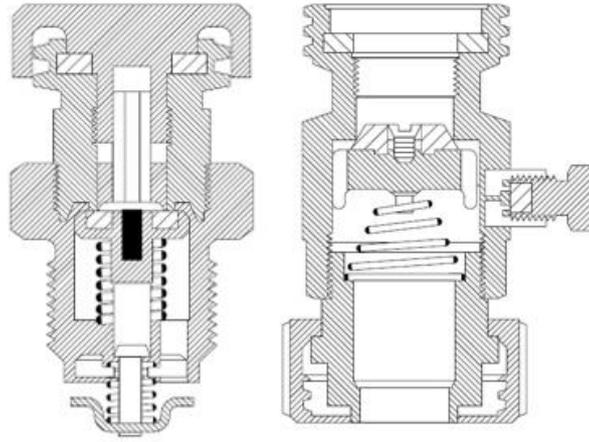


Figura 1. Boca de carga y adaptador para el llenado.

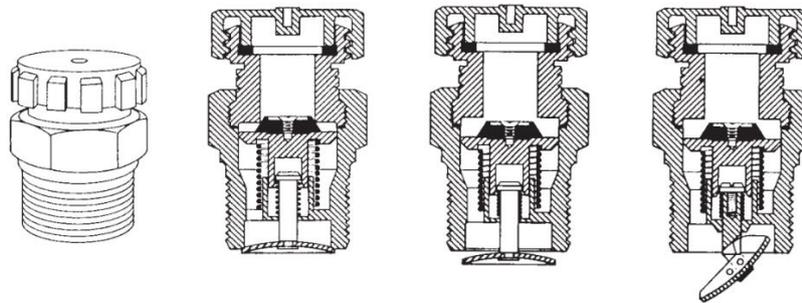


Figura 2. Válvula de disco fijo y basculante.

La boca de carga está dotada de un tapón roscado que impide la entrada de cuerpos extraños que podrían dificultar el cierre de la válvula tras la finalización de las operaciones de trasvase.

Los caudales de trasvase dependerán de la sección de paso de cada válvula y de la diferencia de presiones existentes entre la presión de entrada, suministrada por el equipo de trasvase y la que existe en el depósito que corresponde a la presión de vapor del GLP.

Los caudales de carga según el tipo de válvula están referenciados en la tabla 10:

| Caudal de carga (l/min) de propano líquido según diferencia de presiones | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 0.34 bar | 0.69 bar | 1.72 bar | 3.45 bar | 3.45 bar |
| Válvula de disco fijo | 189,0 | 264,6 | 419,6 | 593,5 | 725,8 |
| Válvula de disco basculante | 249,9 | 415,8 | 657,7 | 929,9 | 1.137,8 |

Tabla 10. Caudal de carga de propano líquido según diferencia de presiones.

4.3.2- Indicador de nivel.

El objetivo de este dispositivo es indicar el nivel de líquido, para conocer en cada momento la cantidad de GLP que se contiene en el interior del depósito y poder así, solicitar los suministros con el tiempo suficiente, evitando el vaciado total del depósito, ya que se debe de llenar antes de llegar al nivel de reserva (20 % del depósito).

Este indicador de nivel debe ser de fácil lectura y de medida continua, con el fin de que se pueda saber en cualquier instante el nivel del depósito y permite controlar el estado de carga durante la operación de llenado para evitar la posibilidad de un sobrellenado.

Existen dos tipos de indicadores de nivel:

- Indicador de nivel de flotador (Figura 3):
Consta de un flotador (boya) que flota sobre el GLP líquido, un contrapeso sobre el mismo eje, y un sistema de lectura exterior.
La posición del flotador se trasmite a una aguja que está situada sobre un dial, donde se puede ver el porcentaje de volumen de llenado en cada momento.
El giro del eje basculante se transmite mediante piñón corona al eje vertical y de éste al cabezal donde se conecta el dial con escala de porcentaje, este acoplamiento es magnético.

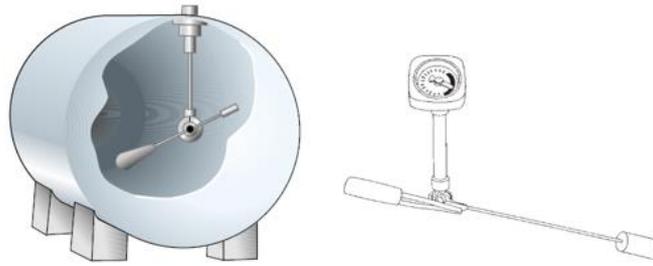


Figura 3. Indicador de nivel de flotador.

Para garantizar la estanqueidad de la conexión, el indicador magnético de nivel se conecta al tanque mediante tornillos, insertando una junta tórica entre ellos.

El cabezal es desmontable, ya que se monta al depósito por medio de una brida con pivote, por lo que es muy práctico en caso de algún problema.

- Indicador de nivel rotativo (Figura 4):

Este dispositivo se denomina también “galga rotativa” y se sitúa en uno de los fondos del depósito en el eje longitudinal.

Desde el exterior del tanque se puede hacer girar un tubo curvado que se sitúa en el interior del depósito, describiendo una circunferencia en su extremo interior. Gracias a una válvula de purga de pequeño diámetro ubicada en el exterior, acoplada a un índice sobre una esfera graduada en tanto por ciento, puede salir fase gaseosa o líquida dependiendo de la posición en la que se encuentre, determinando así el nivel de líquido en el depósito.

Este sistema se basa en la diferencia óptica entre una salida en fase gaseosa y otra en fase líquida.

La lectura en el dial se realizará en el momento en el que se pueda apreciar el cambio la salida de líquido y salida de gas (aparición de la nube), que se marca en tanto por ciento en una escala graduada.

Una vez que se ha finalizado la lectura, el tubo volverá a su posición perpendicular inferior gracias a que está provisto de un contrapeso y se cerrará la llave o válvula.

Para verificar el correcto funcionamiento de las galgas rotativas, se debe comprobar que las posiciones en vertical superior e inferior y horizontal marquen 100%, 0% y 50% respectivamente.

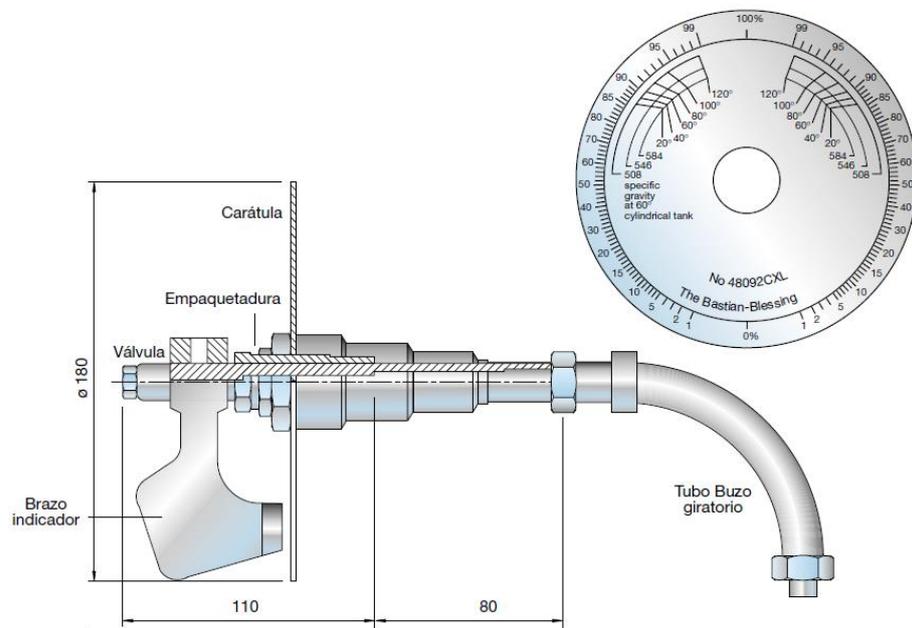


Figura 4. Indicador de nivel rotativo.

4.3.3- Indicador de máximo llenado.

Si se produce el sobrellenado del depósito, la variación de temperaturas puede dar lugar a la dilatación del líquido que contiene en su interior y aumentar así la presión, provocando que la válvula de seguridad se dispare.

El indicador de máximo llenado se compone de una válvula de purga con un tubo sonda que debe ser de un diámetro pequeño y tener una longitud calculada previamente según el tipo de depósito, de modo que el extremo inferior del tubo será el nivel máximo de líquido del depósito y cuando alcance este nivel comenzará a salir fase líquida por la válvula de purga (Figura 5).

El diámetro del orificio de salida de gas al exterior es de unos 1,5 mm y su eje debe estar orientado de tal manera que se evite que el gas incida sobre las personas.

Durante el llenado, cuando se prevea que se va a alcanzar el 85% de su capacidad, se abrirá este grifo por donde saldrá fase gaseosa. El propio chorro del GLP que se trasvasa forma las oleadas

del líquido y anuncian que se está alcanzando el máximo nivel previsto mediante intermitentes salidas de fase líquida (formación de nube).

Este dispositivo suele ir integrado en una “multiválvula” en depósitos pequeños y junto con el manómetro, en los de mayor volumen.

En nuestro caso irá montado junto con la multiválvula al ser un depósito de menos de 15 m³.

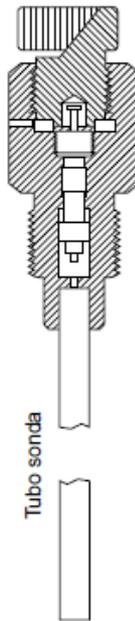


Figura 5. Indicador de llenado máximo.

Para calcular la longitud del tubo usaremos la siguiente fórmula:

$$L = 0,207 \times D$$

L = Longitud útil del tubo sonda medida desde la pared del tanque en mm (Figura 6).
D = Diámetro del depósito en mm.

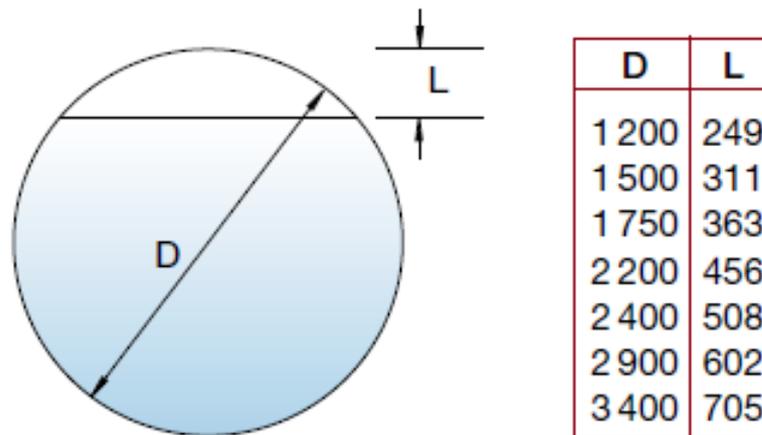


Figura 6. Referencia de longitud del tubo sonda según diámetro del depósito.

Esta fórmula solo es válida cuando la sonda está montada junto con el manómetro. Cuando la sonda va situada en una multiválvula, la distancia es mayor ya que va alojada en un punto alejado aproximadamente 50 mm desde la generatriz superior del depósito.

Por lo tanto, a esa longitud hay que sumarle la altura a la que va situada con respecto a la generatriz superior (h).

$$L = (0,207 \times D) + h$$

En nuestro caso, al ir instalada en la multiválvula la longitud se calculará con la última fórmula.

4.3.4- Manómetro.

Permite conocer la presión del GLP en el interior del depósito. Ha de tener un fondo de escala de 30 bar como mínimo y precisión de clase 1.

Los manómetros que se usan en este tipo de instalaciones suelen ser de tubo metálico curvado y elástico (Figura 7).

La presión del gas dentro del tubo cambia su curvatura y al tener un extremo fijo (por donde entra el gas) y el otro cerrado, se mueve debido a su propia deformación a causa de la presión, que actúa sobre la aguja moviéndose sobre un dial donde se encuentra la escala de presión. El valor de la deformación es proporcional a la presión experimentada.

El diámetro de la esfera debe ser de al menos 63 mm y conectarse en contacto con la fase vapor o gaseosa.

Normalmente se incorpora en la multiválvula y/o junto al indicador de punto alto.

La escala debe tener un rango de medición de al menos 0-40 bar.

Todos los manómetros elásticos tienen la desventaja de que el elemento sensible se deforma con el tiempo, por ello solo deben someterse a presión durante la medición.

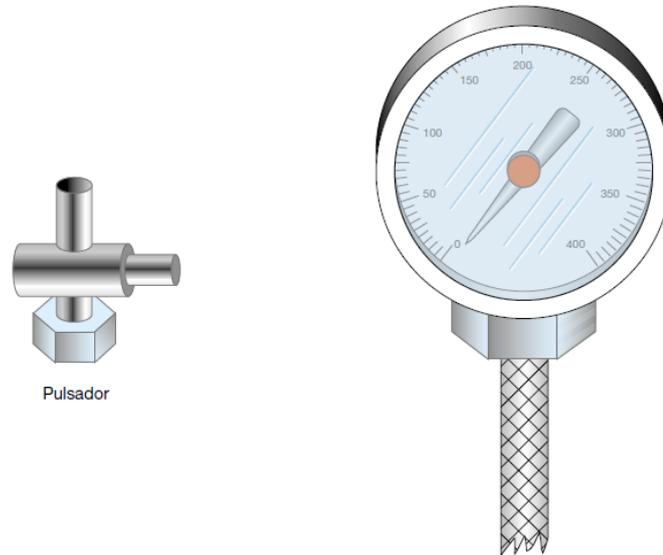


Figura 7. Manómetro.

4.3.5- Válvula de seguridad por alivio de presión.

Es un dispositivo que tiene por objeto el alivio de la presión interior del depósito, evacuando directamente el gas al exterior, dando salida a cierta cantidad de gas cuando la presión del depósito excede el valor de timbre (20 bar).

Las válvulas de seguridad estarán taradas, precintadas y certificadas por el fabricante a 20 bar (siendo la presión máxima de servicio que corresponde al propano a una temperatura del orden de 50° C), con una tolerancia de apertura y cierre máxima de $\pm 10\%$ (Figura 8).

Se instala siempre en la parte superior del depósito, en la zona donde se sitúa la fase gaseosa.

La descarga de las válvulas de seguridad, debe realizarse en todos los casos a la atmósfera en sentido vertical y debe estar protegida por una tapa para evitar la entrada de agua y suciedad a su interior, pero que no dificulte su funcionamiento.

El gas dentro del depósito puede aumentar por varios motivos:

- Sobrellenado del depósito.
- Aumento de temperatura del gas.
- Contener un hidrocarburo cuya tensión de vapor sea superior a la prevista (etano, eteno).
- Existir aire o gas inerte en la zona de fase vapor que, al elevar su temperatura y no producirse la correspondiente condensación, originaría un aumento de presión mayor de lo previsto (se debería purgar la fase gaseosa).

Existen dos tipos de válvulas de seguridad: la externa y la interna, según se encuentre el mecanismo fuera o dentro del depósito. En ambos casos sus muelles trabajan a compresión.

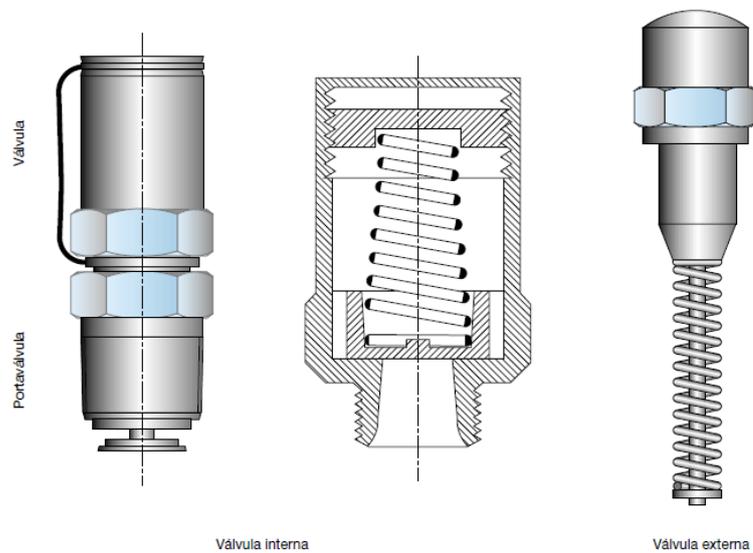


Figura 8. Válvula de seguridad por alivio de presión interna y externa.

El caudal de descarga se calcula en función de la superficie exterior y utilizando la fórmula:

$$G = 10,6552 \cdot S^{0.82}$$

G = Caudal de aire en m³ por minuto a 15 °C y presión atmosférica.

S = Superficie de la chapa del depósito, expresada en metros cuadrados.

Para depósitos con fondos elípticos la fórmula siguiente no es exacta, pero da un resultado aproximado:

$$S = (L + 0,3 D) \cdot D \cdot 3,14 = (7800 + 0.3 \cdot 1500) \cdot 1500 \cdot 3.14$$

$$S = 38857500 \text{ mm}^2 = 38,8575 \text{ m}^2$$

L = Longitud total del depósito.

D = Diámetro exterior.

Para obtener el caudal de GLP se dividirá el resultado G por el factor de corrección:

$$Y = 1,2 \left(1 - \frac{P^2}{785}\right)^{1/2} = 1.2 \cdot \left(1 - \frac{20^2}{785}\right)^{1/2}$$

P = Presión de tarado de la válvula de seguridad (20 bar).

El valor del factor de corrección será entonces:

$$Y = 0.84$$

$$G = 10,6552 \cdot 38,8575^{0.82} = 214.25 \text{ m}^3 / \text{min de aire}$$

$$Q_{\text{GLP}} = \frac{G}{Y} = \frac{214.25}{0.84} = 255.065 \text{ m}^3 / \text{min de GLP}$$

4.3.6- Toma de la fase gaseosa.

La salida de GLP en fase gaseosa del depósito a la instalación de consumo ha de estar dotada de un doble sistema de cierre, uno manual y otro por exceso de flujo, que puede estar en el exterior. Por lo general, para depósitos pequeños, en la multiválvula se encuentran incorporadas la llave de toma de fase gaseosa y la válvula de exceso de flujo, donde también están conectados el indicador de punto alto de llenado y el manómetro (Figuras 9 y 10).

El dispositivo de corte por exceso de flujo o limitador de caudal permanece abierto permitiendo el paso del gas, hasta que el caudal alcanza el valor para el que está tarado, el rozamiento del

fluido vence la fuerza del muelle que mantiene en posición una bola y la desplaza hasta cerrar la salida de gas.

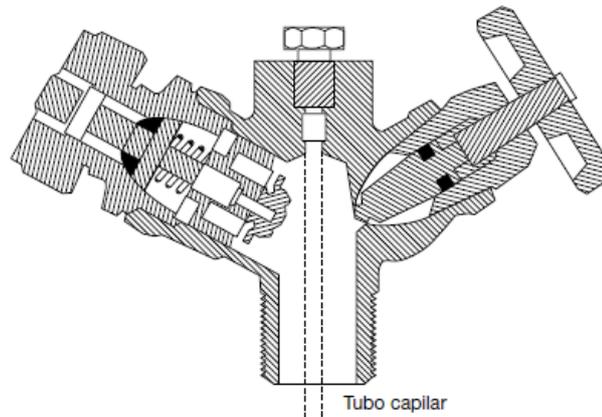


Figura 9. Vista de sección de multiválvula con llave de toma de fase gaseosa y dispositivo de corte por exceso de flujo.

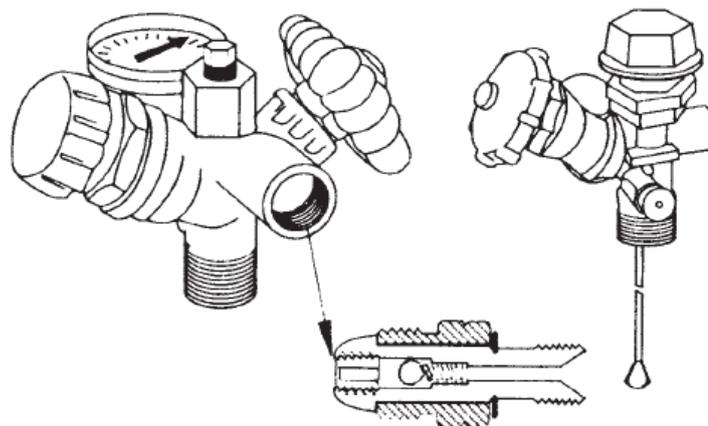


Figura 10. Multiválvula.

4.3.7- Toma de la fase líquida.

Aunque la función principal de los depósitos es el suministro de fase gaseosa, deben disponer también de un sistema que permita la salida de fase líquida, para el vaciado o cuando es necesaria la utilización de un vaporizador.

La norma específica que la toma del dispositivo destinado a la salida de GLP en fase líquida se efectúe a través de una válvula con doble sistema de cierre, uno de ellos automático por exceso de flujo situado en el interior del depósito (válvula), y otro de corte manual (llave).

Este dispositivo puede estar ubicado en la generatriz inferior directamente o en la superior con su respectivo tubo de buzo que lo conecta con la parte inferior. El tubo de buzo no debe estar en contacto directo con el fondo para que el no atraiga los residuos o sedimentos que pudieran existir.

Se instala el dispositivo interno de exceso de flujo provisto de un tapón, sin válvula de corte manual, colocado en la generatriz inferior en los depósitos aéreos. Cuando es necesario utilizar la fase líquida, se saca el tapón de la válvula de exceso de flujo (Chek-Lok) y se coloca una válvula de corte manual con un adaptador que mantiene abierta la válvula interior (Figura 11).

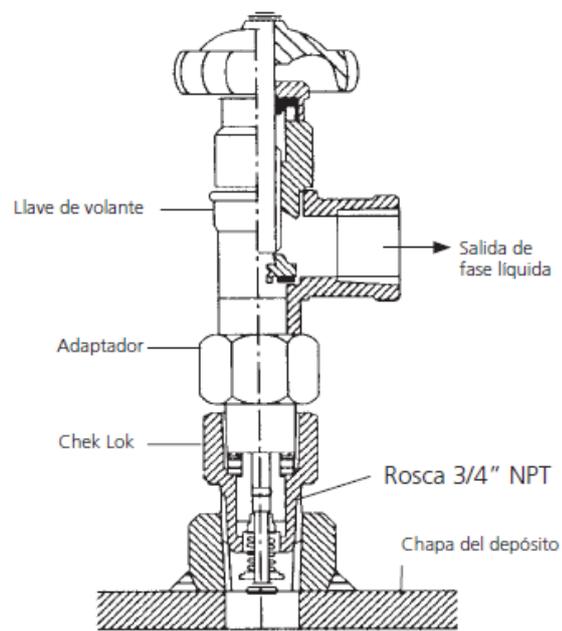


Figura 11. Toma de fase líquida.

Características a tener en cuenta para seleccionar la válvula Chek-Lok:

- Se trata de una válvula muy importante de la instalación debido a que una rotura de la conducción sería de consecuencias graves.
- Permite el paso de GLP en ambos sentidos.
- El asiento plano de la válvula es hermético en posición cerrada.
- Es de rearme automático.
- Elegir la válvula que suministre un caudal dos veces superior al necesario en condiciones normales.

4.3.8- Dispositivo de drenaje.

El objetivo principal de este sistema es drenar y eliminar el agua utilizada para las pruebas de resistencia mecánica, así como los sedimentos y partículas que quedan asentados en los tanques. El dispositivo debe colocarse en la posición más baja, ya que las materias extrañas y el agua son más densas que el GLP y se hunden hasta el fondo del tanque.

El drenaje del depósito se deberá realizar después de cada uno de los suministros.

En depósitos de volumen inferior a 60 m³, el sistema de purga más eficaz, consta de una válvula Chek-Lok con una llave de corte.

Para un mejor rendimiento, el tanque se debe de instalar con una ligera inclinación hacia el lado en el que se encuentra el dispositivo de drenaje para facilitar su labor de sumidero, procurando evitar simultáneamente que los sedimentos que pudieran existir en el fondo no lleguen a obstruirla.

4.3.9- Toma de tierra.

Para evitar que pueda saltar alguna chispa durante el trasvase, el camión cisterna y el depósito tienen que estar conectados al mismo potencial eléctrico, debiendo estar conectados entre sí y el depósito conectado a tierra, para impedir dicho riesgo.

Los camiones cisterna deben llevar un cable conectado al terminal de tierra, provisto para este propósito. Estos terminales deben ser cables de cobre sin protección. Se usará cable de conexión a tierra de 16 mm² y la toma de tierra no podrá tener más de 20 Ohmios de resistencia eléctrica.

4.3.10- Válvula de compensación de fases vapor.

Consiste en una válvula antirretorno que permite que la zona de fase gaseosa de un tanque se comunique con la zona de fase gaseosa de otro tanque o camión cisterna durante la entrega de gas para acelerar y hacer posible la operación.

Las válvulas de compensación a menudo se incorporan en la multiválvula.

4.3.11- Multiválvulas.

Se trata de un conjunto de válvulas formando un bloque que se conecta directamente al depósito mediante una sola conexión y están previstas para depósitos de hasta 20 m³ de volumen.

La multiválvula suele estar compuesta por:

- Toma de fase gaseosa con válvula de exceso de flujo.
- Indicador de punto alto de llenado.
- Conexión para manómetro.

y excepcionalmente,

- Por la válvula de compensación de fases gaseosas.
- Con boca de carga y la incorporación de un dispositivo que interrumpa el llenado al alcanzarse el nivel máximo.
- Toma de fase líquida.

La salida de gas se suele orientar paralela al eje longitudinal del depósito, en dirección al fondo más cercano.

4.3.12- Boca de hombre.

Se le denomina boca de hombre a una abertura que se realiza en el depósito por la cual debe de poder pasar una persona con equipo y herramientas necesarios para realizar cualquier inspección o reparación (Figura 12).

En este depósito por normativa no sería necesaria una boca de hombre, pero es conveniente que disponga de ella ya que brinda una seguridad en relación a inspecciones, tanto en la fabricación como en revisiones periódicas y además si se necesitase una reparación, facilitaría el trabajo.

La boca de hombre consta de tres partes:

- Tapa.
- Brida inferior.
- Lámina.

La tapa junto con la brida inferior, irán provistas de unos orificios alrededor para su posterior ensamblaje mediante tornillos con tuerca, asegurando así la estanqueidad.

La lámina es la parte que se encargará de unir la abertura del depósito con la brida inferior mediante soldadura.

La boca de hombre irá provista de un pescante, que es un dispositivo que se encarga de sujetar la tapa al quitarla para facilitar el trabajo al operario.



Figura 12. Boca de hombre de un depósito con barra pescante.

4.3.13- Elementos y accesorios elegidos para este depósito.

Describimos los elementos y accesorios que irán destinados a este depósito, así como su forma de conexión con el mismo, la referencia de cada uno y su ubicación.

Comenzamos con un plano de distribución de los elementos (Figura 13) y una tabla donde se describe la función, conexión y referencia de cada elemento (Tabla 11).

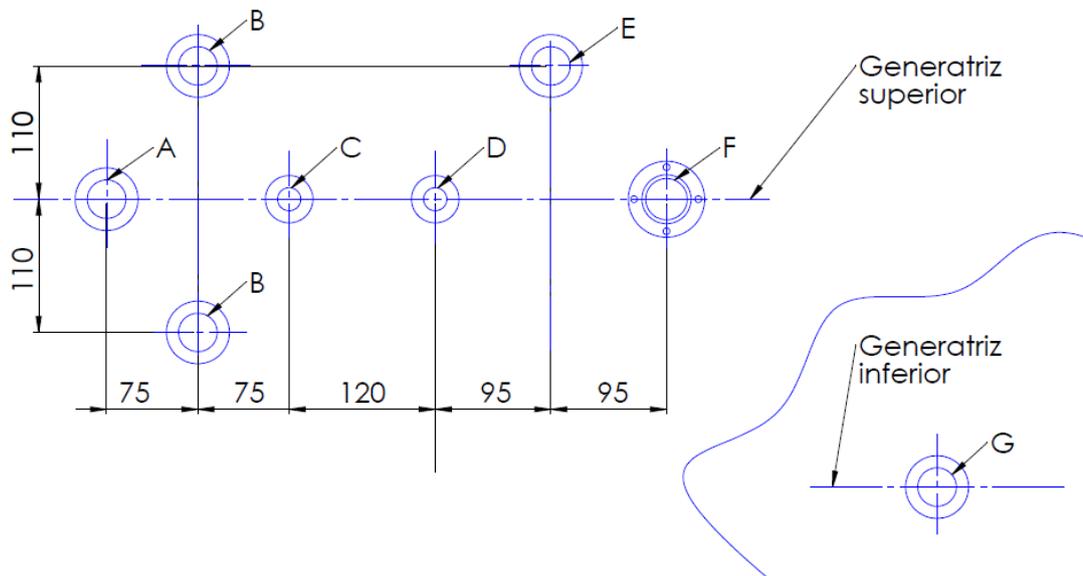


Figura 13. Plano de las embocaduras para las válvulas y accesorios del depósito.

| Función | Identificación | Accesorio | Conexión | Referencia |
|---------------------------------|----------------|---|------------------|-----------------------|
| Llenado | A | Válvula de llenado | 1-1/4" NPTH | Omeca VRN 93 |
| Válvula de seguridad | B | Válvulas de seguridad (X2) | 2 x 1-1/4" NPTH | Rego RS3136+Rego CD36 |
| Fase gaseosa | C | multiválvula | 3/4" NPTH | Rego 9101 DNP |
| Purga (con tubo de buzo) | D | Check-lok | 3/4" NPTH | Rego 7590UT |
| Fase líquida (con tubo de buzo) | E | Llave de corte con limitador interno y tapón. | 1-1/4" NPTH | Rego A 8020 D |
| Nivel magnético | F | Nivel magnético | Rochester junior | Roch. 6281 TM D1500 |
| Salida inferior | G | Tapón ciego | 1-1/4" NPTH | |

Tabla 11. Características, función, conexión y referencias de los elementos y accesorios del depósito.

Conexión con rosca NPT

Para la conexión con el depósito, la mayoría de elementos utilizará una rosca National Pipe Taper (NPT).

La rosca NPT es un tipo de rosca estadounidense cónica, que se emplea para el roscado de los elementos de conexión de los sistemas usados en instalaciones hidráulicas.

Este tipo de rosca garantiza la estanqueidad gracias a su roscado cónico (Figura 14), junto a la aplicación de un material de sellado, aunque en las roscas National Pipe Taper Fuel (NPTF) no es necesario al ser una variante de sellado en seco.

El roscado NPT macho se define como NPTM y el hembra como NPTH.

Las embocaduras para elementos con estas roscas irán soldadas directamente al depósito y tendrán un espesor de 10 mm con su rosca hembra correspondiente en el interior.

La diferencia entre rosca métrica y NPT se muestra en la Figura 15.

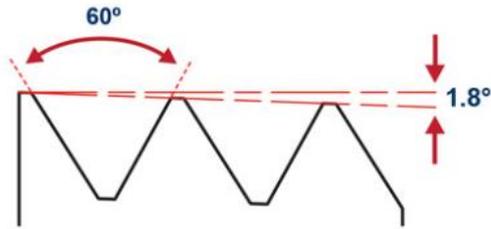


Figura 14. Paso de rosca cónico NPT.

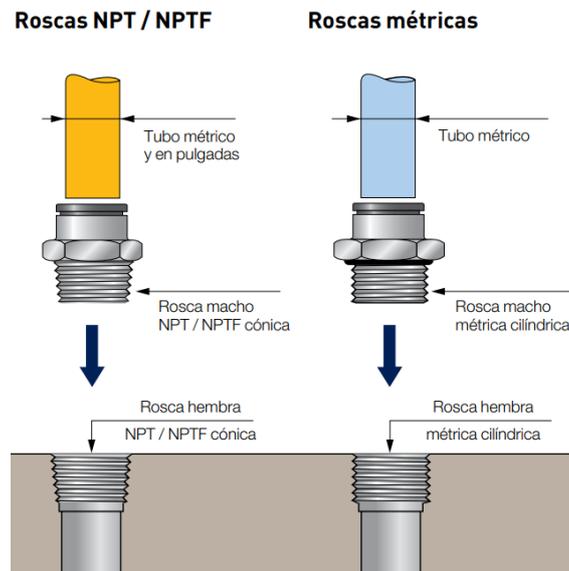


Figura 15. Diferencia entre roscas métricas y NPT/NPTF.

Nivel magnético

Para el nivel magnético Rochester Junior de la serie 6200 “Roch. 6281 TM D1500”, la conexión es diferente, y se realiza mediante cuatro tornillos con una junta entre la embocadura del depósito y el nivel magnético para asegurar la estanqueidad (Figura 16).

A continuación, tenemos un plano de las dimensiones de la embocadura para su correcta conexión (Figura 17).



Figura 16. Nivel magnético "Rochester Junior".

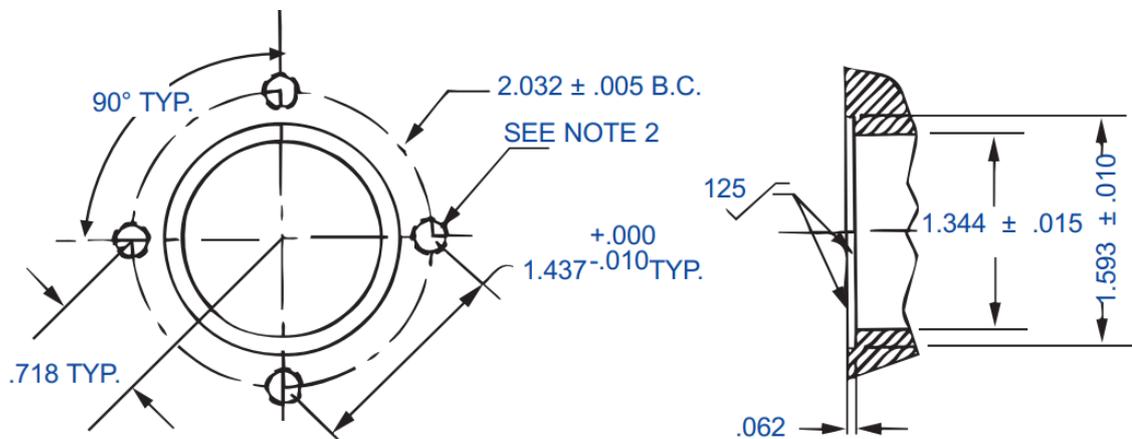


Figura 17. Plano con las medidas de la embocadura para el nivel "Rochester Junior".

*Note 2: Taladro pasante de 5.5 mm de diámetro con profundidad de rosca completa M6X0.5.

Válvula de llenado

Como válvula de llenado se ha elegido la válvula "Omeca VRN93", válida para depósitos sobre suelo superiores a 8 m³. Consta de un sistema de retención doble, como indica la norma, donde hay una válvula superior manual y otra de retención de bola inferior. La conexión de esta válvula es de 1-1/4" NPTH (Figura 18).



Figura 18. Válvula de llenado “Omeca VRN93”.

Válvulas de seguridad.

Este depósito irá provisto de dos válvulas de seguridad “REGO RS3136” taradas a 20 bares.

Las válvulas de seguridad tienen que ir con un portaválvulas que es el que rosca en el depósito, en este caso, necesitaremos dos portaválvulas “REGO CD36” con una rosca 1-1/4” NPTH (Figura 19).



Figura 19. Válvula de seguridad “REGO RS3136” y portaválvulas “REGO CD36”.

Multiválvula.

Como multiválvula se ha elegido la “REGO 9101 DNP” que está diseñada para la extracción de vapor en depósitos de GLP de tamaño mediano (Figura 20).

Esta válvula proporciona protección adicional contra fugas en la válvula abierta pero no contiene una válvula de alivio integral, por lo que solo puede usarse en depósitos que tengan una válvula de alivio de presión independiente, que sea suficiente para las dimensiones del

depósito, como es el caso. Está equipada con un indicador de nivel fijo en el que el operario puede determinar rápidamente el volumen del tanque.

También dispone de un puerto para la conexión de un manómetro con el fin de saber la presión a la que se encuentra el tanque en cualquier momento. La conexión se realiza mediante rosca 3/4" NPTH.



Figura 20. Multiválvula "REGO 9101 DNP".

Fase líquida (con tubo de buzo).

Para la fase líquida se usará la válvula "Rego A 8020 D" que está especialmente diseñada para su uso como válvula de extracción de líquidos en recipientes de gas GLP (Figura 21).

Éstas incorporan una válvula de exceso de flujo integral, que cuando se requiere producto la válvula de fase líquida debe estar completamente abierta y asentada hacia atrás para permitir que la válvula de exceso de flujo funcione correctamente. Tiene un puerto NPT de 1/4" taponado, para la conexión de la válvula de alivio hidrostática o el manómetro. La conexión con el depósito será de 1-1/4" NPTH.

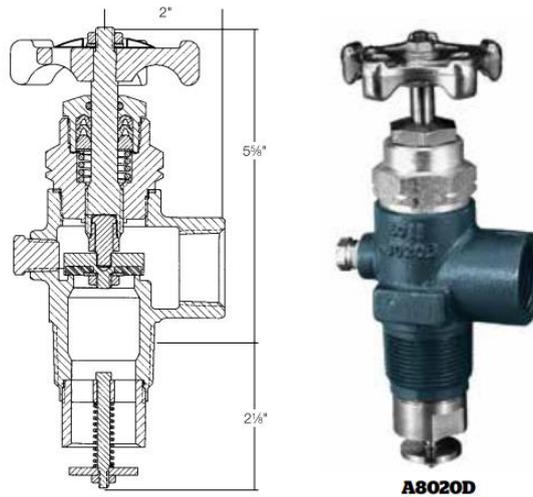


Figura 21. Válvula para la fase líquida “Rego A 8020 D”.

Purga (con tubo de buzo).

Para el dispositivo de purga vamos a utilizar la válvula Check-Lok “Rego 7590UT” (Figura 22).

Las válvulas de drenado Chek-Lok están diseñadas para proporcionar un medio de extracción de líquido en recipientes estacionarios antes de mover el contenedor. Es una pieza elaborada en latón, un material resistente a la corrosión y la presión generada por el gas. La conexión con el depósito se realiza con rosca 3/4” NPTH.

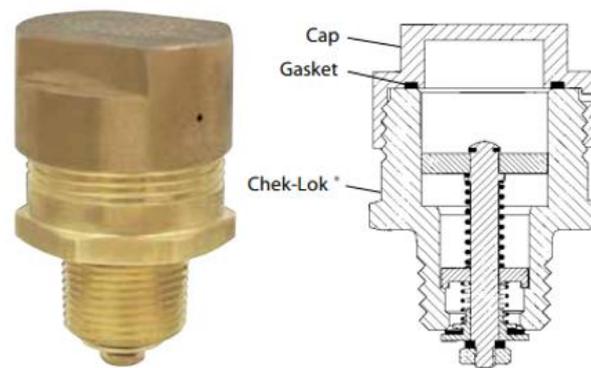


Figura 22. Válvula Check-Lok “Rego 7590UT”.

Salida inferior.

Para la salida inferior se usará un tapón ciego común que servirá para el drenaje del depósito en caso de ser necesario, tanto para vaciarlo completamente como para eliminar las impurezas que pudieran quedar dentro del depósito (Figura 23).

La conexión de este tapón será mediante rosca 1-1/4 NPTH.



Figura 23. Tapón de purga para salida inferior.

4.4- Presión de diseño.

Según la “norma UNE 60250” y la “norma UNE 12542”, la presión de diseño de este depósito debe de ser de 19 bar para depósitos aéreos de más de 7 metros cúbicos, descritos en las tablas 12 y 13:

| Volumen (m³) | Presión de diseño de los depósitos (bar) | |
|------------------------------------|---|-------------------|
| | Aéreos | Enterrados |
| < 7 | 20 | 17 |
| ≥ 7 | 19 | |

Tabla 12. Presión de diseño en depósitos según “norma UNE 60250”.

| Volumen m ³ | Zona climática I | Zona climática II | Zona climática III | Zona climática IV |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | Presión mínima de diseño bar | | | |
| < 7 | 20,0 | 18,5 | 17,0 | 16,0 |
| ≥ 7 | 19,0 | 17,5 | 16,0 | 14,0 |

Tabla 13. Presión de diseño mínima conforme a la zona climática en depósitos según “norma UNE 60250”.

“Los depósitos destinados a ser utilizados en varias zonas climáticas se deberían diseñar de acuerdo con la presión de diseño aplicable más elevada.”

Para este depósito la presión de diseño va a ser de 19 bares, ya que es mayor de 7 metros cúbicos y vamos a suponer que va a ser destinado a varias zonas climáticas, eligiendo la zona climática más desfavorable para nuestros cálculos.

$$P_{DISEÑO} = 19 \text{ bar}$$

4.5- Cálculos.

Todos los cálculos se realizarán conforme a la “norma UNE-EN 12542:2011”.

Para realizar los cálculos usaremos los valores del material elegido, en este caso es un acero P355NL1.

Tenemos entonces los valores de límite elástico (R_{eH}), resistencia a la tracción (R_m) y alargamiento después de la rotura en tanto por ciento (A (%)).

El valor que obtenemos de la resistencia a la tracción es la media de los dos valores de la tabla de propiedades del material, ya que nos indica que la resistencia a la tracción estará entre 490 y 630 Mpa.

$$R_{eH} = 355 \text{ Mpa}$$

$$R_m = 560 \text{ Mpa}$$

$$A(\%) = 22\%$$

4.5.1- Tensiones admisibles.

Para los cálculos necesitamos saber cuál es la tensión nominal de cálculo, para ello usaremos la siguiente fórmula:

$$f = \min \left[\frac{R_{eH}}{1.5}; \frac{R_m}{2.4} \right]$$
$$f = \min \left[\frac{355}{1.5}; \frac{560}{2.4} \right] = \min [236.666; 233.333]$$
$$f = 233.333 \text{ Mpa}$$

R_{eH} es el límite elástico superior especificado en la norma del material.

R_m es la resistencia a la tracción especificada en la norma del material.

4.5.2- Cálculo espesor de virola.

En el cálculo del espesor mínimo de virola, el espesor obtenido no considera sobre espesor de corrosión.

La fórmula que se usa para ello es la siguiente:

$$e_{min} = \frac{p \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + p}$$
$$e_{min} = \frac{1.9 \cdot 1500}{2 \cdot 233.333 \cdot 1 + 1.9} = 6.082 \text{ mm}$$

Elegimos entonces un espesor comercial superior al valor obtenido, que está muy próximo a 6 mm, pero es conveniente escoger el siguiente espesor disponible, que sería de 8mm.

$$e_{virola} = 8 \text{ mm}$$

p es la presión de diseño. [Mpa]

D_o es el diámetro exterior de la virola. [mm]

z es el factor de junta = 1,0 para los fondos construidos de una sola pieza

f es la tensión nominal de diseño. [Mpa]

4.5.3- Cálculo de espesor de fondos.

4.5.3.1- Perfil de los fondos

En principio los recipientes de presión podrían tener casi cualquier forma, sin embargo, por lo general se utilizan formas que son secciones de esferas, cilindros y conos (Figura 24).

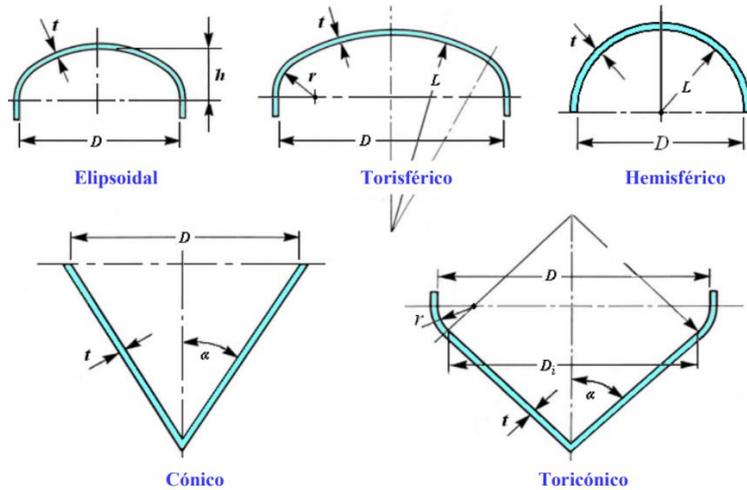


Figura 24. Tipos de fondos en depósitos.

Desde un punto de vista teórico una esfera es la forma óptima para un recipiente de presión, pero desafortunadamente desde el punto de vista de fabricación es muy costoso, por ello los fondos hemisféricos (semiesférico) solo se utilizan para presiones críticas por su alto costo.

Los más usados para recipientes de presiones moderadas son los fondos torisférico (semielípticos).

Dentro de los fondos torisférico tenemos dos variantes muy habituales, en el que la diferencia son las relaciones entre los radios de acuerdo y el diámetro exterior de la virola:

- Fondo KLOPPER:

$$\frac{R}{D_e} = 1 \quad y \quad \frac{r}{D_e} = 0.1$$

- Fondo KORBBOGEN:

$$\frac{R}{D_e} = 0.8 \quad y \quad \frac{r}{D_e} = 0.154$$

4.5.3.2- Elección del tipo de fondo.

Como los fondos klopper y korbbogen son muy similares en coste y fabricación, vamos a hacer una comparativa para ver cuál es el fondo que mejor resiste a las presiones internas del depósito.

Para ello se realiza una simulación rápida en SolidWorks con cada uno de los fondos, comprobando el factor de seguridad de cada uno de ellos para el mismo espesor.

En principio, el fondo que mejor resistirá a las presiones será el que tenga mayor radio de acuerdo, en este caso el korbbogen tiene un radio de acuerdo mayor de 231 mm frente al de 150 mm del klopper.

Mediante una aplicación para calcular fondos, que se rige por la norma DIN-28011, de la página web “<http://horfasa.com/>”, metiendo el diámetro exterior (1500 mm) y un espesor cualquiera para compararlos (10 mm en este caso), calculamos los valores de los parámetros de cada fondo (Figuras 25 y 28).

Seguidamente se realiza una simulación rápida con SolidWorks y se comprueban los factores de seguridad de cada fondo.

- FONDO KLOPPER.

$$\frac{R}{D_e} = 1 \quad y \quad \frac{r}{D_e} = 0.1$$

$$R = 1500 \text{ mm} ; r = 150 \text{ mm}$$

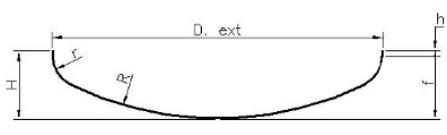
| Calculadora de fondos KLOPPER | |
|--|-------|
| Diametro exterior (mm) | 1500 |
| Espesor (mm) | 10 |
|  | |
| fondo Toricoesferico Tipo KLOPPER | |
| Diametro disco (mm) | 1730 |
| R (mm) | 1500 |
| r (mm) | 150 |
| h (mm) >= | 35 |
| f (mm) | 286 |
| H (mm) | 331 |
| V (sin h) (litros) | 324.2 |
| Peso (h minima) (kg) | 188 |
| <input type="button" value="Calcular"/> | |
| <small>HORFASA no se responsabiliza de la precision de estas medidas.</small> | |

Figura 25. Calculadora de fondos KLOPPER de “horfasa.com”.

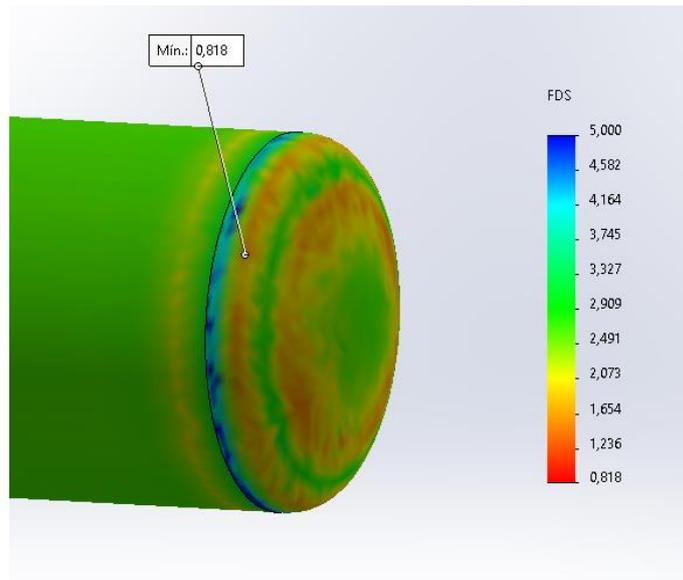


Figura 26. Factor de seguridad en el exterior en la simulación de fondo KLOPPER.

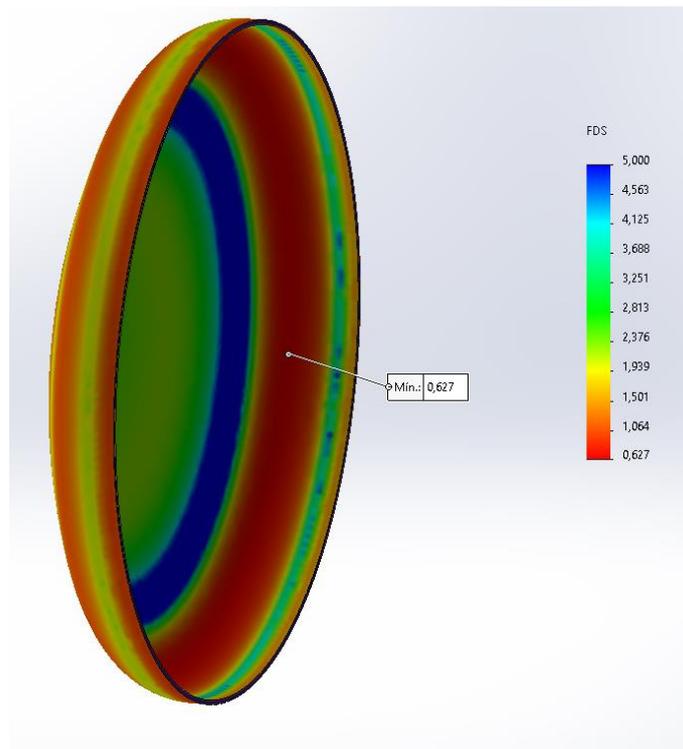


Figura 27. Factor de seguridad en el interior en la simulación de fondo KLOPPER.

- FONDO KORBBOGEN.

$$\frac{R}{D_e} = 0.8 \quad y \quad \frac{r}{D_e} = 0.154$$

$$R = 1200 \text{ mm} ; r = 231 \text{ mm}$$

| Calculadora de fondos KORBBOGEN | | |
|--|-------|---|
| Diametro exterior (mm) | 1500 | |
| Espesor (mm) | 10 | |
| <p>fondo Semiclítico Tipo KORBBOGEN</p> | | |
| Diametro disco (mm) | 1804 | <input type="button" value="Calcular"/> |
| R (mm) | 1200 | |
| r (mm) | 231 | |
| h (mm) >= | 30 | |
| f (mm) | 376 | |
| H (mm) | 416 | |
| V (sin h) (litros) | 420.8 | |
| Peso (h minima) (kg) | 204 | |
| HORFASA no se responsabiliza de la precision de estas medidas. | | |

Figura 28. Calculadora de fondos KORBBOGEN de "horfasa.com".

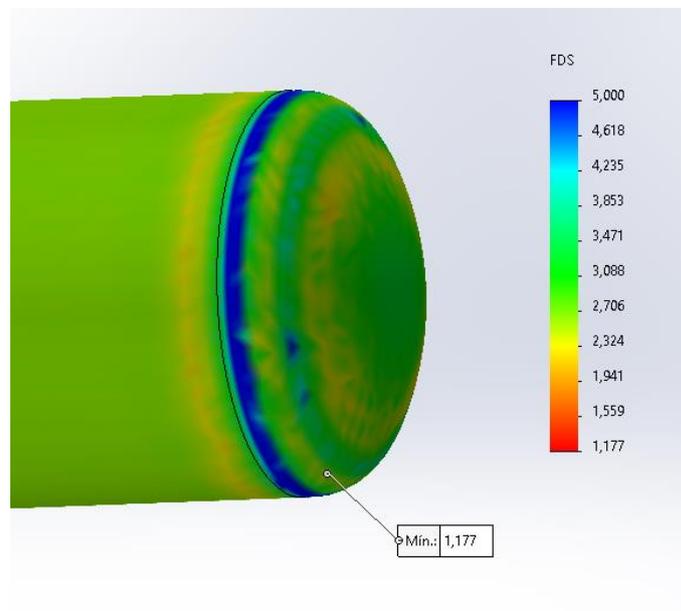


Figura 29. Factor de seguridad en el exterior en la simulación de fondo KORBBOGEN.

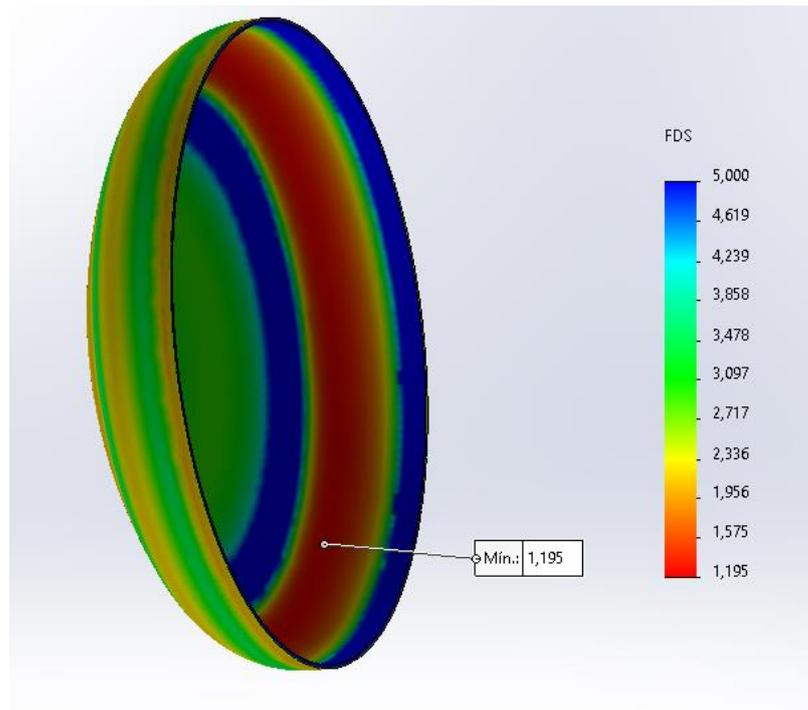


Figura 30. Factor de seguridad en el interior en la simulación de fondo KORBBOGEN.

Conclusión.

Los coeficientes de seguridad mínimos obtenidos en las simulaciones son de 0.818 para el fondo klopper (Figuras 26 y 27) y de 1.177 para el korbboogen (Figuras 29 y 30), diferencias muy significativas, corroborando la teoría que teníamos.

El fondo korbboogen va a aguantar mejor la presión para un espesor de chapa igual y un coste de fabricación muy parecido.

Vemos entonces que el fondo más adecuado para aguantar las presiones del depósito y por tanto el elegido para nuestro depósito es el fondo korbboogen.

4.5.3.3- Tolerancias dimensionales.

Los elementos de los fondos abombados indicados en la figura 31, deben cumplir las tolerancias definidas en la tabla 14.

El radio interior de curvatura del fondo debe ser inferior o igual al valor definido por diseño, y el radio de acuerdo del fondo debe ser igual o superior al valor definido por diseño.

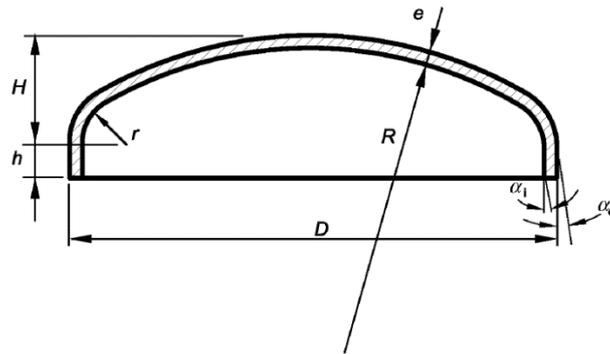


Figura 31. Cotas dimensionales de los fondos.

| Elementos | | Tolerancia | Notas |
|-----------------------|---------------------------|--|---|
| c | $D \leq 1\,000\text{ mm}$ | $\pm 0,4\%$ | Determinadas condiciones especiales de fabricación pueden requerir tolerancias más pequeñas. |
| | $D > 1\,000\text{ mm}$ | $\pm 0,3\%$ | |
| O | | 1% | Determinadas condiciones especiales de fabricación pueden requerir tolerancias más pequeñas. |
| H | | - 0 + 0,015 D o + 10 mm, cualquiera que sea el mayor valor | El límite debe ser igual o superior a cero. |
| $e \leq 10\text{ mm}$ | | - 0,3 mm | El espesor real de la pared debe ser igual o superior al límite especificado considerando la tolerancia. |
| $e > 10\text{ mm}$ | | - 0,5 mm | |
| α_i | | $\leq 2^\circ$ | En el caso de fondos en los que el ángulo del lado exterior está influido por la operación de conformado, la desviación del borde recto en relación con el perfil cilíndrico debe medirse únicamente en el lado interior del fondo. |
| α_o | | $\leq 5^\circ$ | |

Tabla 14. Tolerancias dimensionales de los fondos.

R Radio interior de curvatura

r Radio de acuerdo

H Altura del fondo

h Altura del borde recto

e Espesor de pared

D Diámetro exterior

c Longitud de la circunferencia (πD)

O Ovalidad $\frac{2(D_{\text{máx.}} - D_{\text{mín.}})}{[D_{\text{máx.}} + D_{\text{mín.}}]}$

α_i Desviación entre el borde recto y el perfil cilíndrico – en el interior

α_o Desviación entre el borde recto y el perfil cilíndrico – en el exterior

4.5.3.4- Espesor mínimo de los fondos

Las fórmulas que se usan para el cálculo del espesor mínimo de los fondos toriesféricos son:

Cálculo del espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central (e_s):

$$e_s = \frac{p \cdot R}{2 \cdot f \cdot z - 0.5 \cdot p}$$
$$e_s = \frac{1.9 \cdot 1500}{2 \cdot 233.333 \cdot 1 - 0.5 \cdot 1.9} = 6.119 \text{ mm}$$

Para el cálculo el espesor mínimo del acuerdo para evitar una deformación asimétrica permanente (e_y), usaremos esta fórmula, pero al no tener Beta tendremos que seguir un proceso iterativo que se muestra en el siguiente apartado de cálculo de Beta:

$$e_y = \frac{\beta \cdot p \cdot (0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i)}{f}$$

Cálculo del espesor mínimo de acuerdo para evitar la curvatura superficial (e_b):

$$e_b = [0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i] \cdot \left[\frac{p}{111 \cdot f_b} \cdot \left(\frac{D_i}{r} \right)^{0.825} \right]^{\left(\frac{1}{1.5} \right)}$$
$$e_b = [0.75 \cdot 1500 + 0.2 \cdot (1500 - 2 \cdot e_b)] \cdot \left[\frac{1.9}{111 \cdot \frac{355}{1.5}} \cdot \left(\frac{(1500 - 2 \cdot e_b)}{150} \right)^{0.825} \right]^{\left(\frac{1}{1.5} \right)}$$
$$e_b = 8.6995 \text{ mm}$$

$$f_b = \frac{R_{eH}}{1.5} \quad \text{para todos los materiales.}$$

f_b es la tensión de diseño para el cálculo de la curvatura superficial.

p es la presión de diseño.

D_o es el diámetro exterior de la virola.

- f es el factor de junta = 1,0 para los fondos construidos de una sola pieza
- β es el factor determinado a partir de la figura E. 1, o por cálculo (véase E. 2.6);
- e es el espesor requerido del fondo.
- e_s es el espesor mínimo del fondo para limitar la tensión de membrana en la parte central.
- e_y es el espesor mínimo del acuerdo para evitar una deformación asimétrica permanente.
- e_b es el espesor mínimo del acuerdo para evitar la curvatura superficial.
- D_i es el diámetro interior del fondo.
- R es el radio interior de curvatura de la parte central del fondo toriesférico.
- r es el radio interior de acuerdo.

“Se admite reducir el espesor de la parte esférica del fondo hasta el valor e_s en una zona circular situada a una distancia mínima del acuerdo igual a $\sqrt{R \cdot e}$.

Todas las partes rectas cilíndricas deben cumplir los requisitos del apartado E.2.2 referentes a la virola cilíndrica, excepto si su longitud es inferior o igual, a $0,2 \cdot \sqrt{D_i \cdot e}$ en cuyo caso puede tener el mismo espesor que el acuerdo.”

Cálculo de β

Para calcular β podemos usar una gráfica o también podemos calcularla por formulas. En este caso se calcula por el método analítico.

Este cálculo se hace muy laborioso para realizar a mano sin ayuda de un programa informático, ya que nos conduce a un cálculo iterativo.

Las fórmulas que debemos usar son las siguientes:

$$Y = \min. [e/R; 0,04]$$

$$Z = \log (1/Y)$$

$$X = r/D_i$$

$$N = \left[1,006 - \frac{1}{6,2 + (90Y)^4} \right]$$

Para $X = 0,2$

$$\beta_{0,2} = \max. \{(0,56 - 1,94Y - 82,5Y^2) 0,95; 0,5\}$$

Para $X = 0,1$

$$\beta_{0,1} = (-0,183 3Z^3 + 1,038 3Z^2 - 1,294 3Z + 0,837) N$$

Para $X = 0,06$

$$\beta_{0,06} = (-0,363 5Z^3 + 2,212 4Z^2 - 3,293 7Z + 1,887 3) N$$

Para $0,1 < X < 0,2$

$$\beta = 10 \{(0,2 - X) \beta_{0,1} + (X - 0,1) \beta_{0,2}\}$$

Para $0,06 < X < 0,1$

$$\beta = 25 \{(0,1 - X) \beta_{0,06} + (X - 0,06) \beta_{0,1}\}$$

NOTA Las ecuaciones indicadas anteriormente para el cálculo de β conducen a un cálculo iterativo. Se recomienda un procedimiento informático.

Para su cálculo se usa el programa Matlab, implementando una función que permita realizar todos los cálculos de las iteraciones (Figura 32).

```
function[x,y,z,N] = Beta(e)
x=150/(1500-(2*e))
y=min([e/1500 0.04])
z=log10(1/y)
N=1.006-(1/(6.2+(90*y)^4))
if x==0.2
    B=max([(0.56-1.94-82.5*y^2)*0.95 0.5]);
elseif x==0.1
    B=(-0.183*3*z^3+1.038*3*z^2-1.294*3*z+0.837)*N;
elseif x==0.06
    B=(-0.363*5*z^3+2.212*4*z^2-3.293*7*z+1.887*3)*N;
elseif x>0.1 && x<0.2
    B01=(-0.183*3*z^3+1.038*3*z^2-1.294*3*z+0.837)*N;
    B02=max([(0.56-1.94-82.5*y^2)*0.95 0.5]);
    B=10*((0.2-x)*B01+(x-0.1)*B02);
elseif x>0.06 && x<0.1
    B01=(-0.183*3*z^3+1.038*3*z^2-1.294*3*z+0.837)*N;
    B006=(-0.363*5*z^3+2.212*4*z^2-3.293*7*z+1.887*3)*N;
    B=25*((0.1-x)*B006+(x-0.06)*B01);
end
B01
B02
B
```

Figura 32. Función en Matlab para el cálculo iterativo de Beta.

Así, al poner en la ventana de comandos “Beta(e)”, siendo “e” cualquier valor de espesor, obtendremos todos los valores de cada una de las variables, además de la solución que buscamos de β .

Luego con la β que nos ha calculado el programa, se calcula el nuevo espesor mediante la ecuación siguiente:

$$e_y = \frac{\beta \cdot p \cdot (0.75 \cdot R + 0.2 \cdot (1500 - 2 \cdot e_y))}{f}$$

Y se vuelve a implementar el valor del nuevo espesor en la función Beta(e) en la ventana de comandos, obteniendo un nuevo valor de β .

Esto se repetirá hasta que converja la función y lo que resulte de la ecuación anterior con la β que se obtiene, sea el espesor que se ha puesto en el comando de la función, mediante un proceso iterativo.

Se termina de iterar cuando coinciden los 3 primeros dígitos de los resultados de espesor obtenidos, para conseguir una buena precisión en el resultado.

El resultado obtenido es:

$$\beta = 1.3202$$

$$e_y = 8.907 \text{ mm}$$

El espesor mínimo e es el valor mayor de los valores de e_s , e_y y e_b obtenidos.

$$e_s = 6.119 \text{ mm}$$

$$e_y = 8.907 \text{ mm}$$

$$e_b = 8.6995 \text{ mm}$$

El espesor mínimo para los fondos será:

$$e_{min} = 8.907 \text{ mm}$$

Entonces elegimos un espesor comercial de:

$$e_{fondos} = 10 \text{ mm}$$

Comprobamos las restricciones para los fondos a los que podemos aplicarle estas fórmulas:

$$r \geq 0.006 \cdot D_i \rightarrow 150 \geq 0.006 \cdot (1500 - 2 \cdot 10) \rightarrow 150 \geq 8.88$$

$$r \geq 3 \cdot e \rightarrow 150 \geq 3 \cdot 10 \rightarrow 150 \geq 30$$

$$e \leq 0.08 \cdot D_i \rightarrow 10 \leq 0.08 \cdot (1500 - 2 \cdot 10) \rightarrow 10 \leq 118.4$$

$$e \geq 0.001 \cdot D_i \rightarrow 10 \geq 0.001 \cdot (1500 - 2 \cdot 10) \rightarrow 10 \geq 1.48$$

$$R \leq D_0 \rightarrow 1500 \leq 1500$$

Vemos entonces que los cálculos son válidos ya que cumple con todas las restricciones.

Según la norma, se admite reducir el espesor de la parte esférica del fondo hasta el valor " e_s " en una zona circular situada a una distancia mínima del acuerdo igual a $\sqrt{R \cdot e} = \sqrt{1500 \cdot 10} = 122.47 \text{ mm} \approx 123 \text{ mm}$.

4.5.4- Aberturas.

4.5.4.1- Dimensiones de las aberturas.

Según "norma UNE-EN 12542":

"Las dimensiones de las aberturas deben estar limitadas de la siguiente forma:

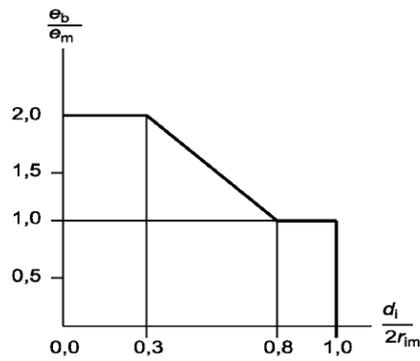
$$\text{virolas cilíndricas} \rightarrow \frac{d_i}{2 \cdot r_{im}} \leq 1$$

$$\text{fondos abombados} \rightarrow \frac{d_i}{2 \cdot r_{im}} \leq 0.6$$

$d_i \rightarrow$ diámetro interior de la abertura o de la tubuladura.

$r_{im} \rightarrow$ radio interior del cuerpo principal (virola o fondo).

En todos los casos, la relación del espesor de pared de las tubuladuras con el espesor del cuerpo principal e_b/e_m debe cumplir los límites de la figura 33:"



Relación máxima entre el espesor de las tubuladuras y el espesor del cuerpo

Figura 33. Gráfica de la relación máxima entre el espesor de las tubuladuras y el espesor del cuerpo.

4.5.4.2- Placas de refuerzo.

Según “norma UNE-EN 12542”:

“Las dimensiones del refuerzo de las aberturas mediante placas de refuerzo no están limitadas. No obstante, la anchura efectiva de estas placas se calcula considerando únicamente el espesor principal de la virola y no el espesor combinado.”

Para reforzar la embocadura de la boca de hombre se usará una placa de refuerzo.

Esta placa tendrá unas dimensiones de 10mm de espesor, 953mm de diámetro exterior y 650mm de diámetro interior (303mm de anchura).

4.5.5- Conclusión.

En resumen, obtenemos los siguientes espesores:

- Espesores mínimos:

$$e_{\min_virola} = 6.082 \text{ mm}$$

$$e_{\min_fondo} = 8.907 \text{ mm}$$

- Espesores comerciales:

$$e_{\text{comercial_virola}} = 8 \text{ mm}$$

$$e_{\text{comercial_fondo}} = 10 \text{ mm}$$

Como los espesores comerciales elegidos en la virola y el fondo no son iguales, tendremos que realizar una preparación de bordes en las uniones entre los fondos y la virola a la hora de preparar los procesos de soldadura.

4.6- Diseño en SolidWorks del tanque del estudio.

El diseño del tanque de estudio y sus diferentes partes queda reflejado en las figuras 34 a 85.

4.6.1- Diseño de los fondos.

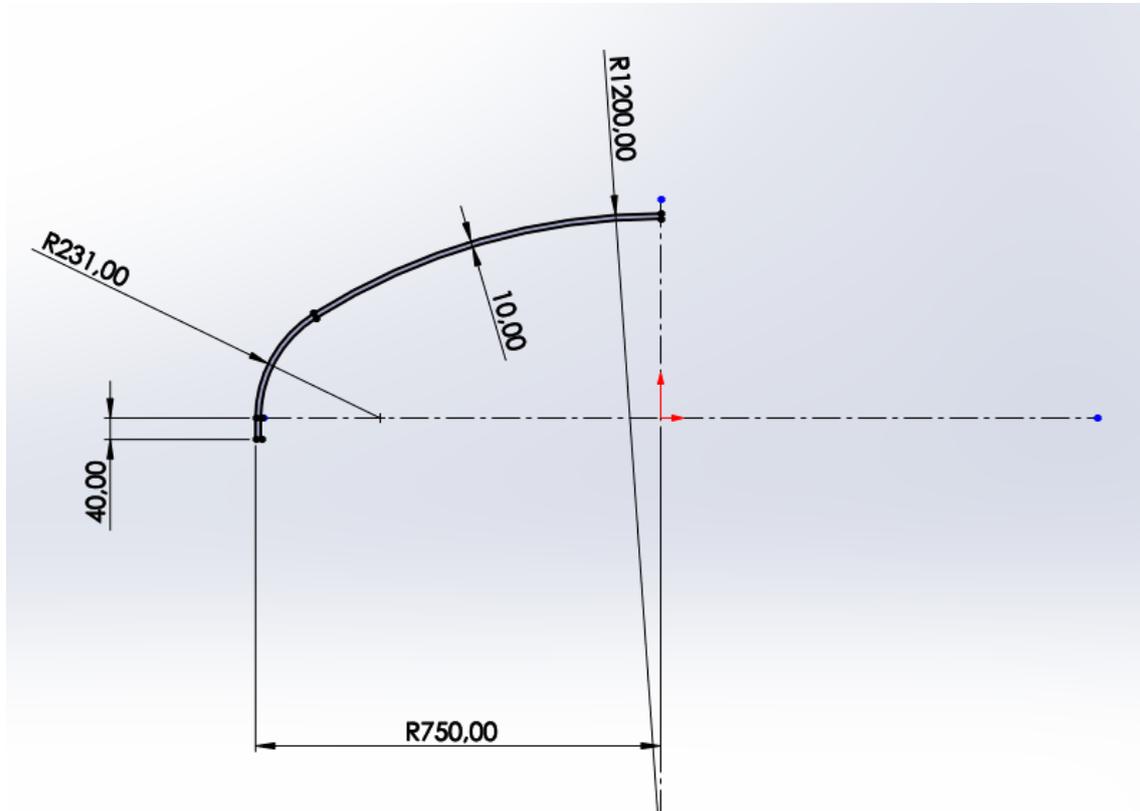


Figura 34. Croquis en SolidWorks para el diseño de los fondos.

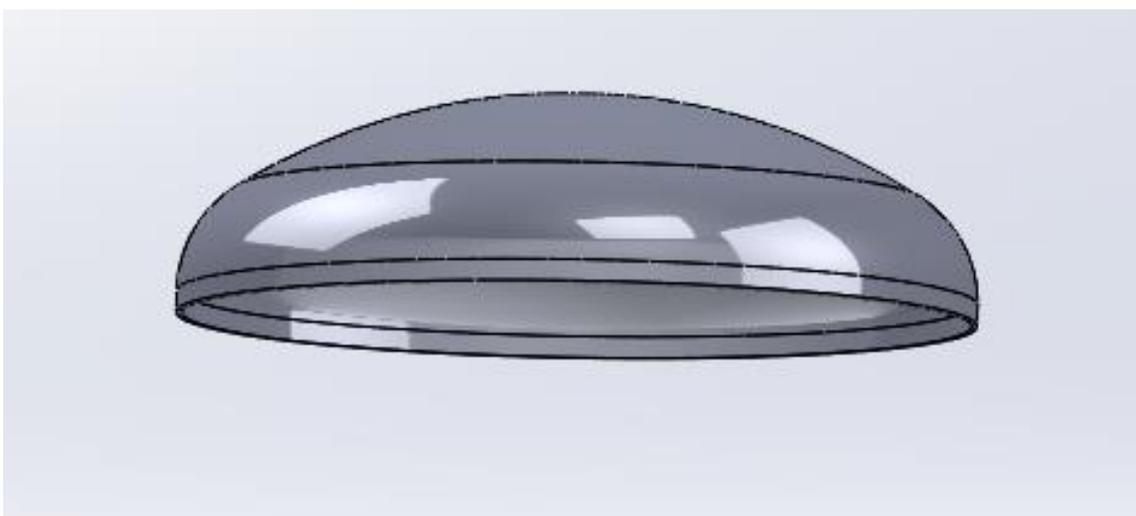


Figura 35. Diseño de los fondos en SolidWorks.

4.6.2- Diseño de la virola.

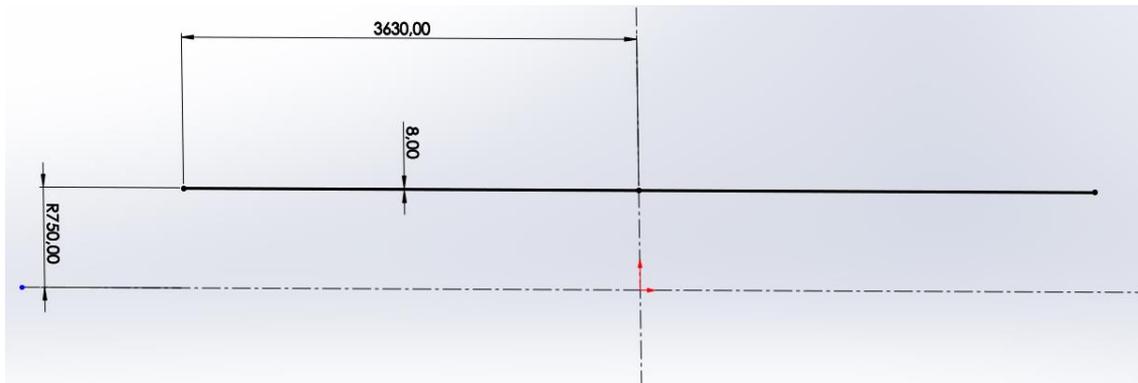


Figura 36. Croquis en SolidWorks para el diseño de la virola.

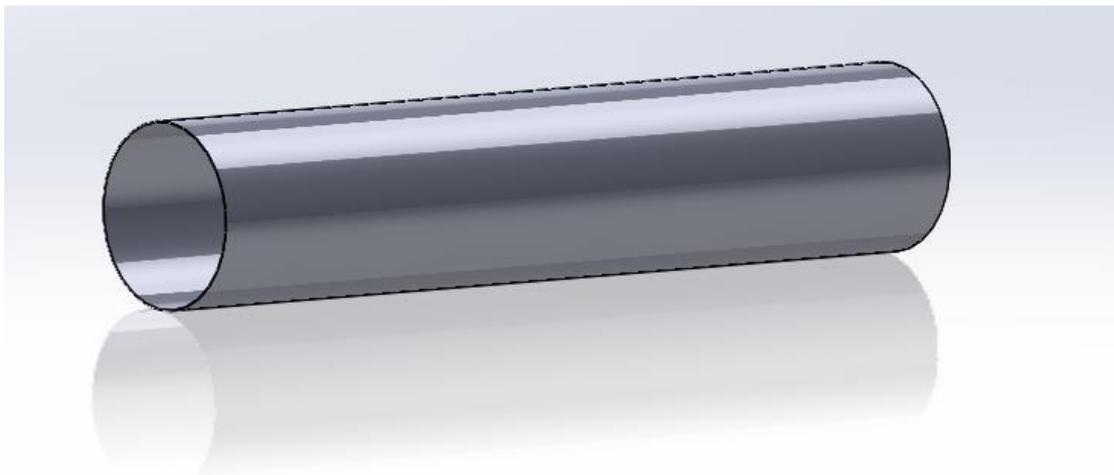


Figura 37. Diseño de la virola en SolidWorks.

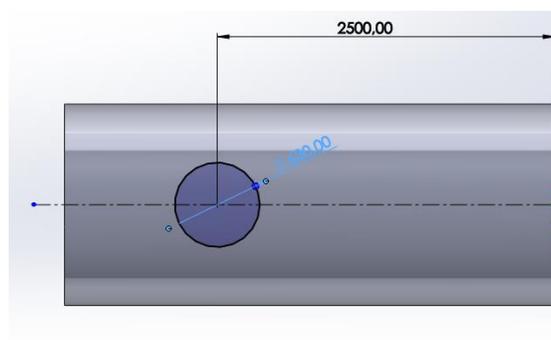


Figura 38. Croquis en SolidWorks para el diseño de la abertura para la boca de hombre.

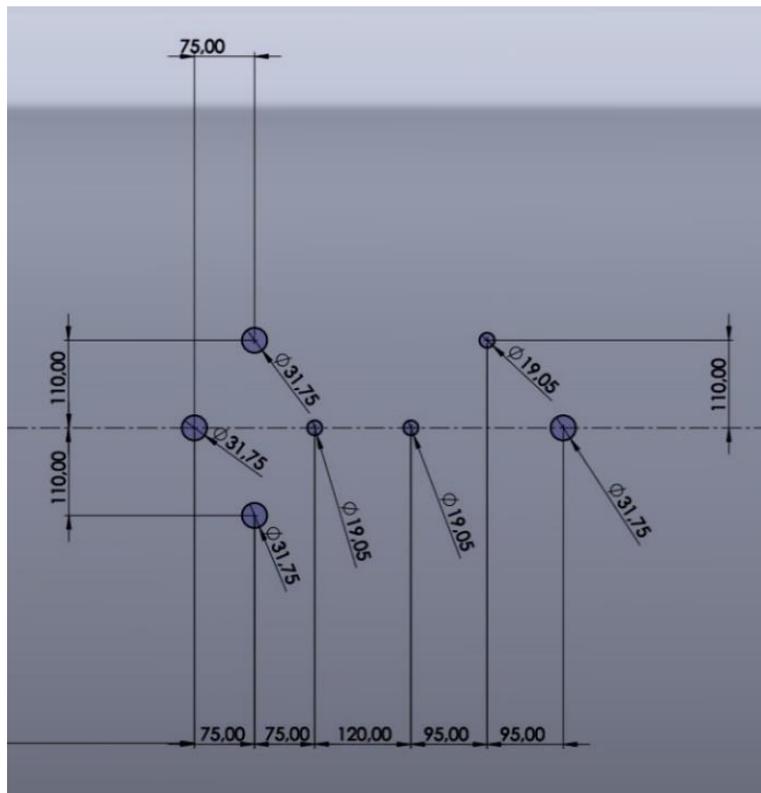


Figura 39. Croquis en SolidWorks para el diseño de las embocaduras.



Figura 40. Diseño de la virola con aberturas en SolidWorks.

4.6.3- Diseño de los soportes del tanque.

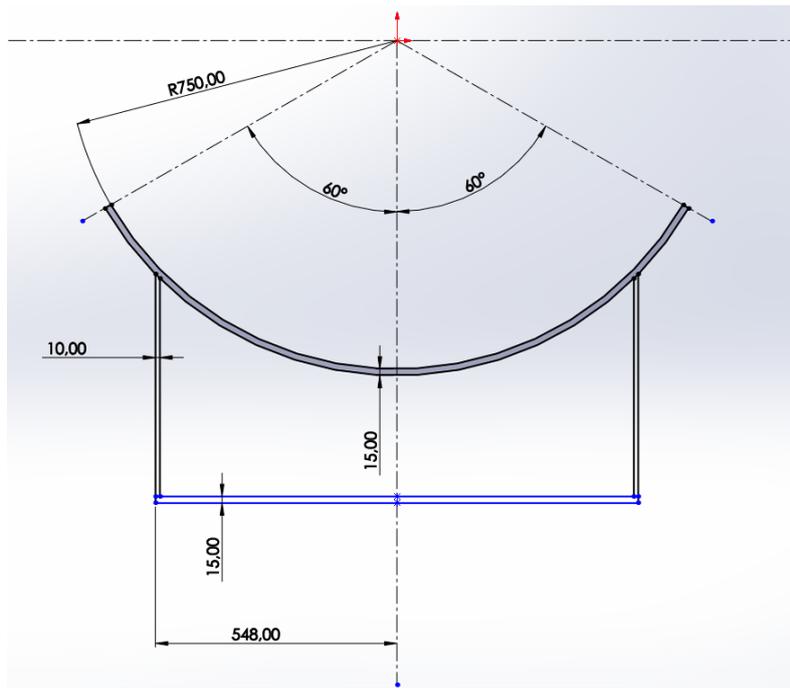


Figura 41. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 1).

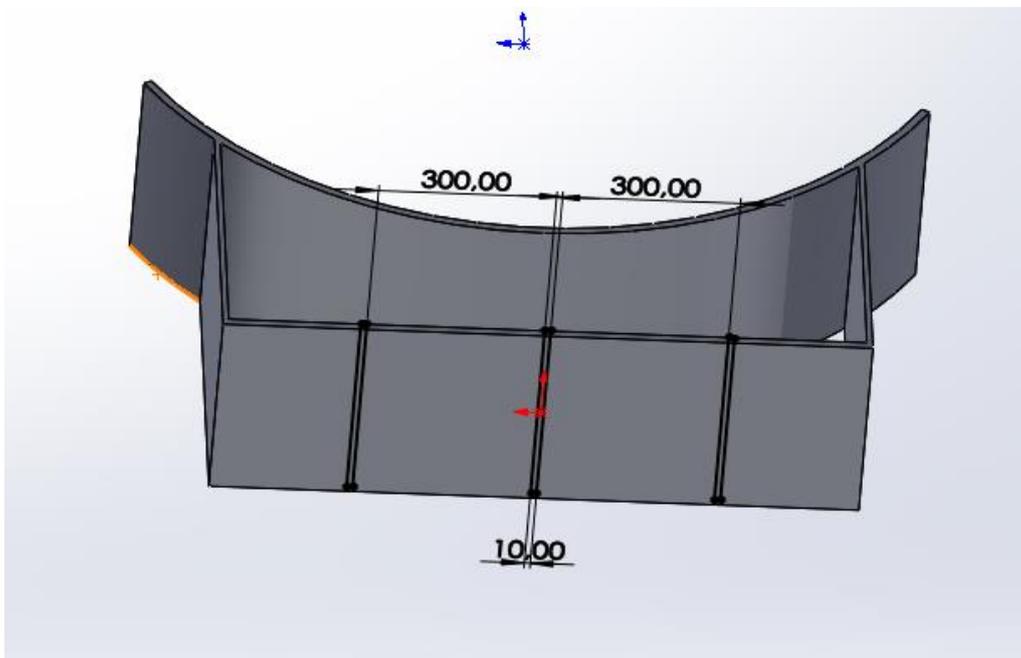


Figura 42. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 2).

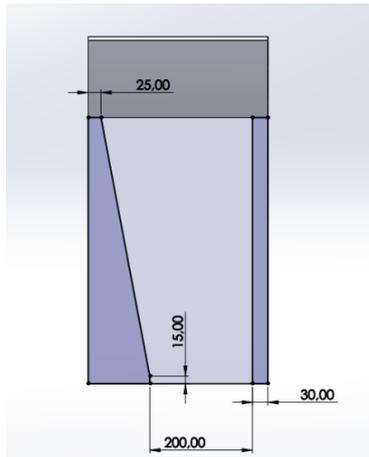


Figura 43. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 3).

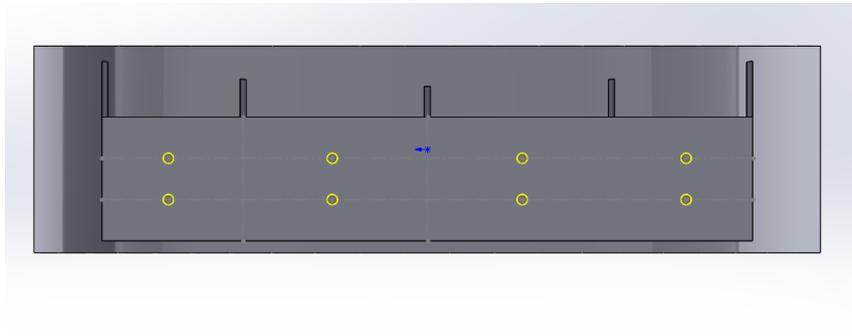


Figura 44. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes del depósito (paso 4).

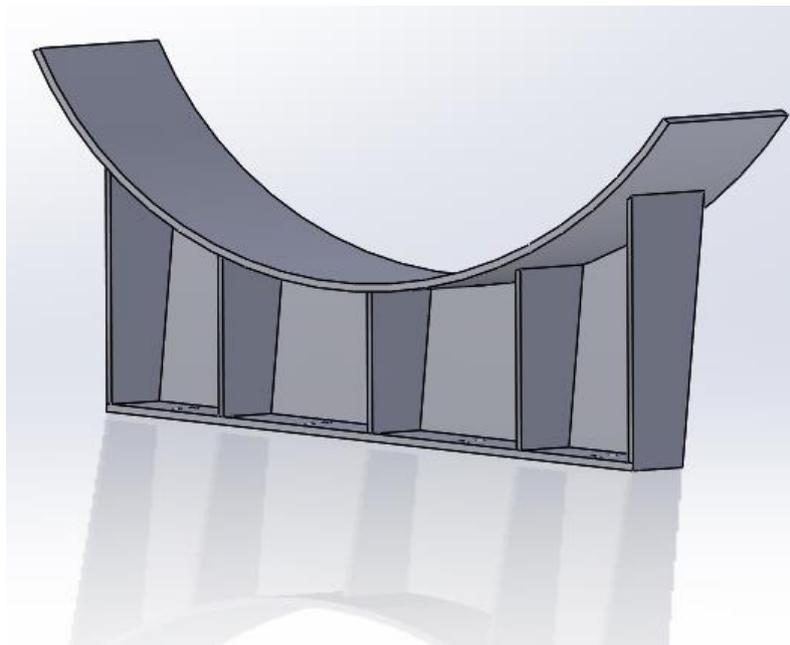


Figura 45. Diseño de los soportes del depósito en SolidWorks.

4.6.4- Diseño de las orejetas de izado.

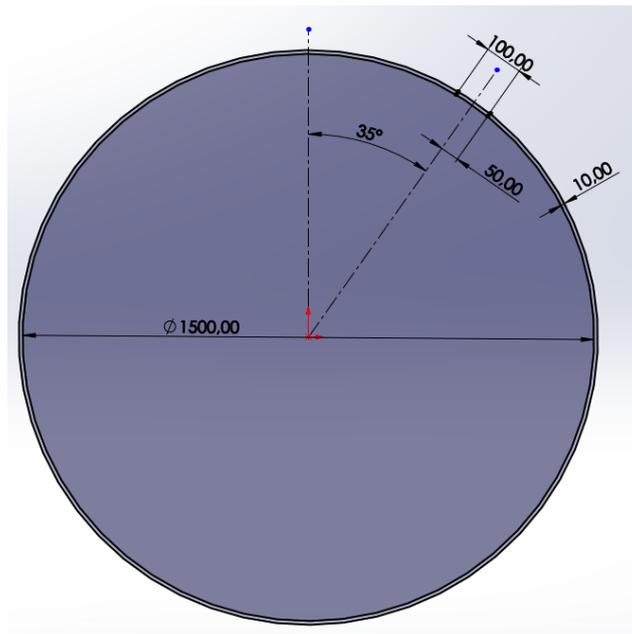


Figura 46. Croquis en SolidWorks para el diseño de las orejetas de izaje (paso 1).

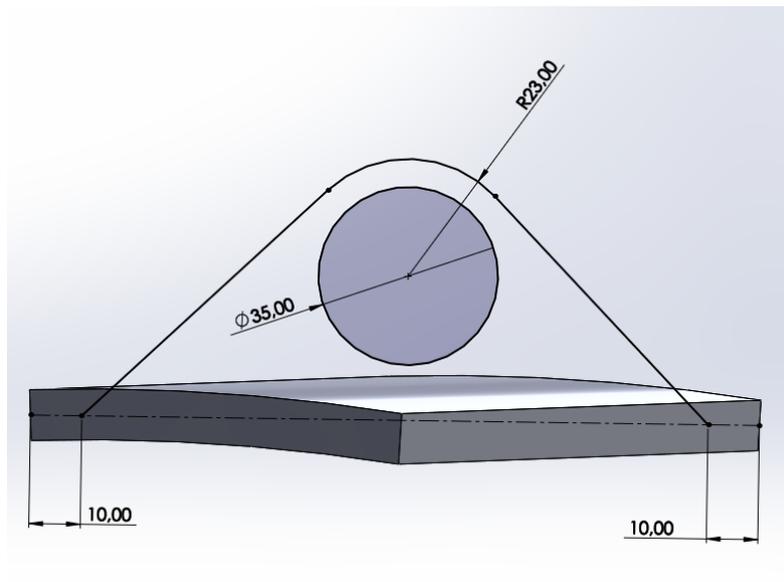


Figura 47. Croquis en SolidWorks para el diseño de las orejetas de izaje (paso 2).

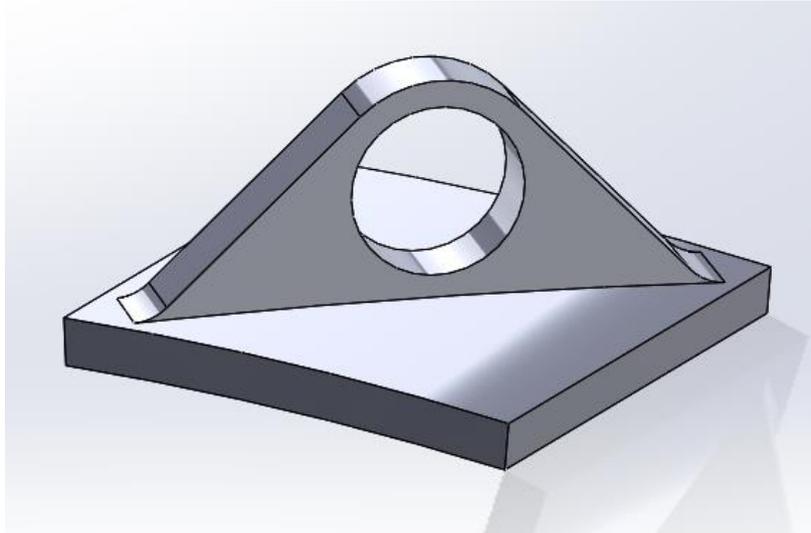


Figura 48. Diseño de las orejetas de izaje en SolidWorks.

4.6.5- Diseño de escaleras.

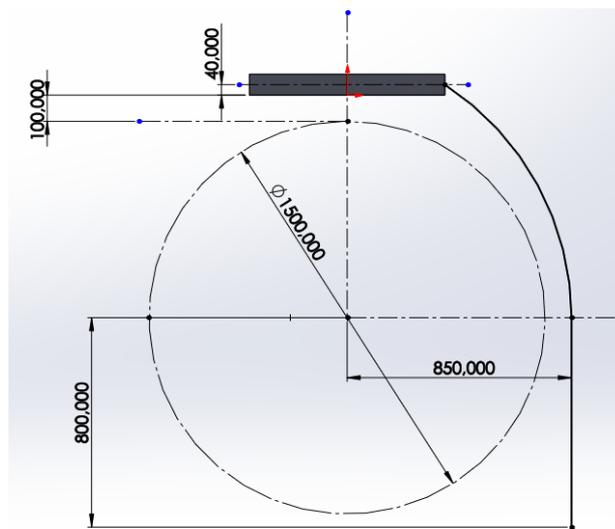


Figura 49. Croquis en SolidWorks para el diseño de las escaleras.



Figura 50. Diseño de las escaleras en SolidWorks.

4.6.6- Diseño de los soportes de escalera.

4.6.6.2- Soportes superiores.

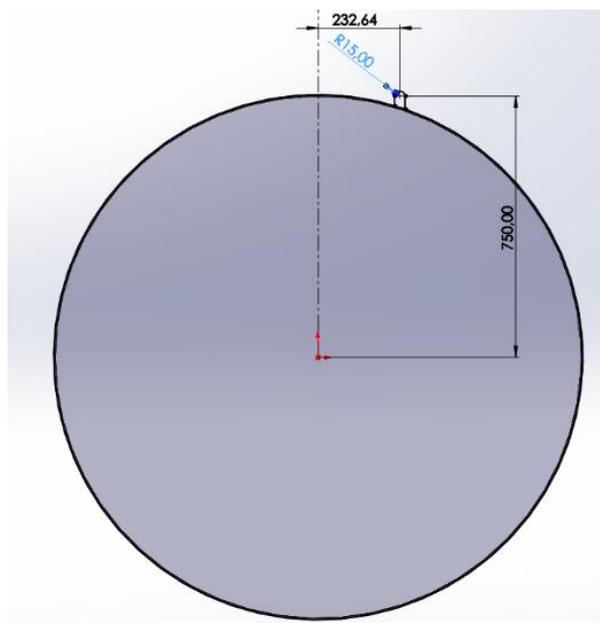


Figura 51. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes superiores de escalera.

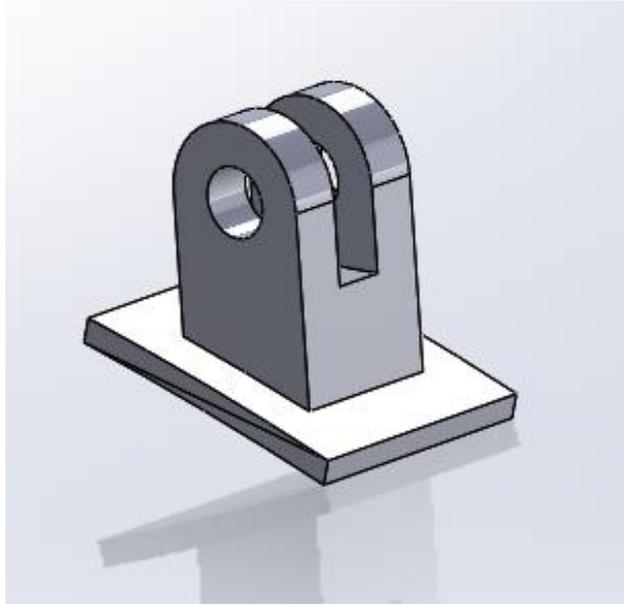


Figura 52. Diseño de los soportes superiores en SolidWorks.

4.6.6.3- Soportes inferiores.

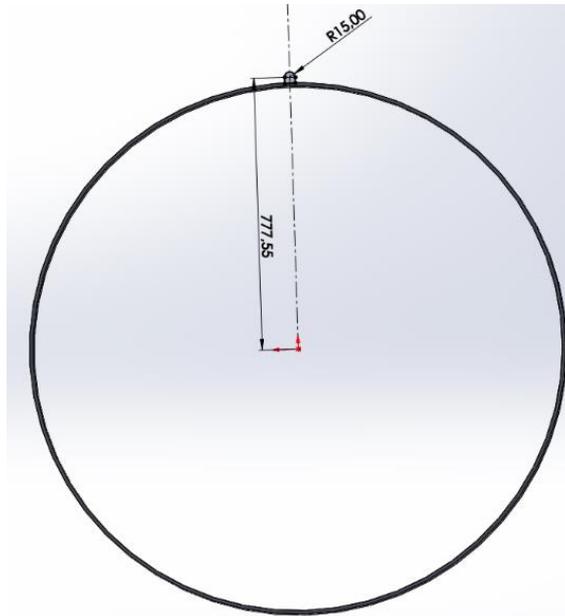


Figura 53. Croquis en SolidWorks para el diseño de los soportes inferiores de escalera.

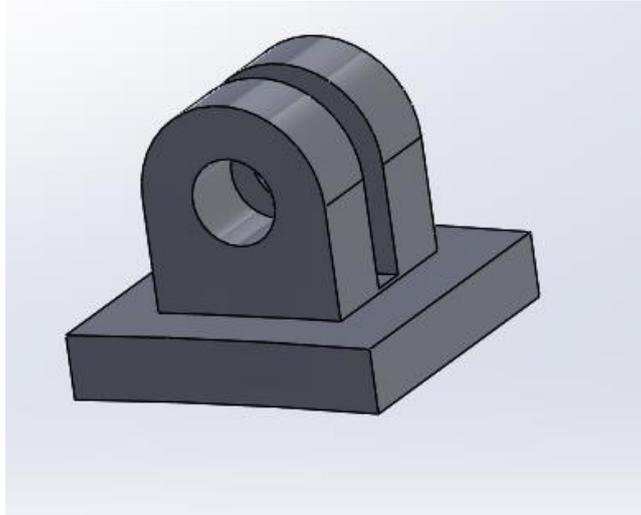


Figura 54. Diseño de los soportes inferiores en SolidWorks.

4.6.7- Diseño de la boca de hombre.

4.6.7.1- Tapa.

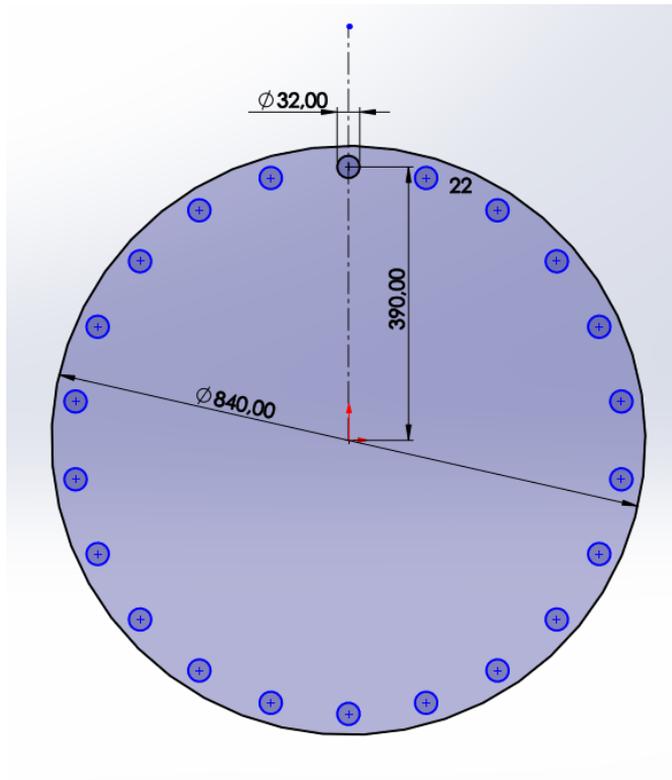


Figura 55. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 1).

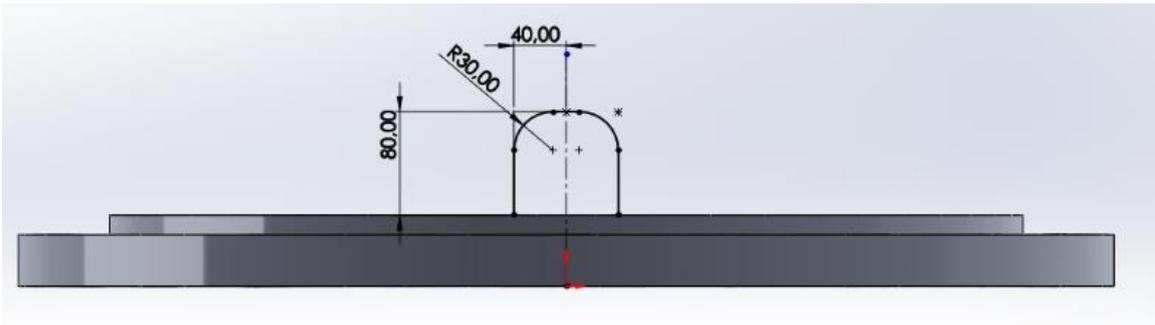


Figura 56. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 2).

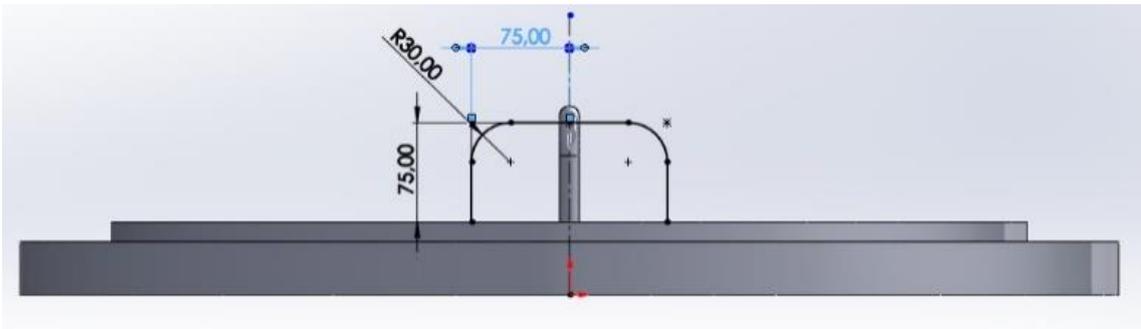


Figura 57. Croquis en SolidWorks para el diseño de la tapa de boca de hombre (paso 3).

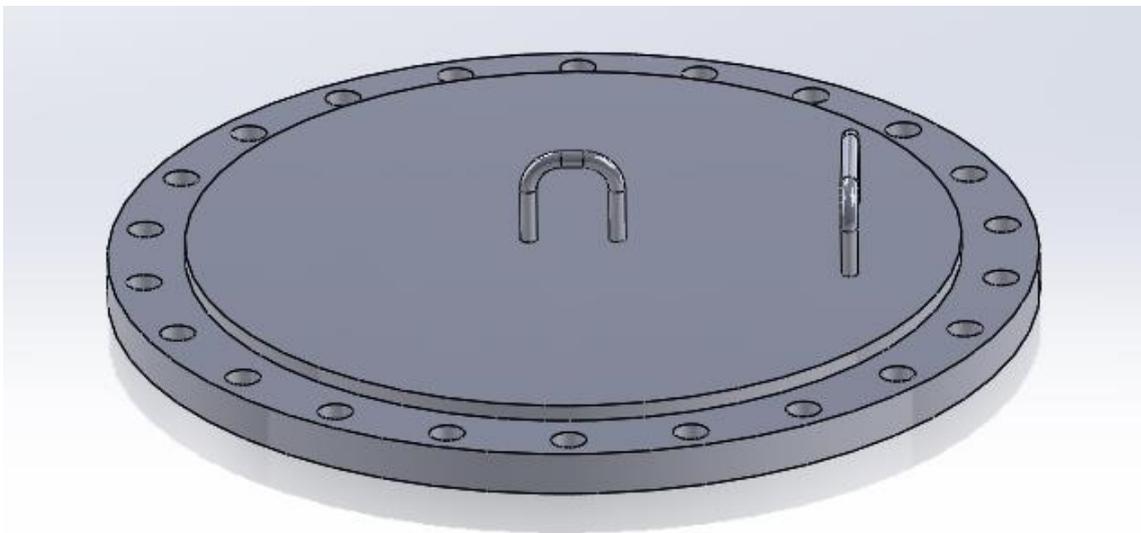


Figura 58. Diseño de la tapa de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.7.2- Brida inferior.

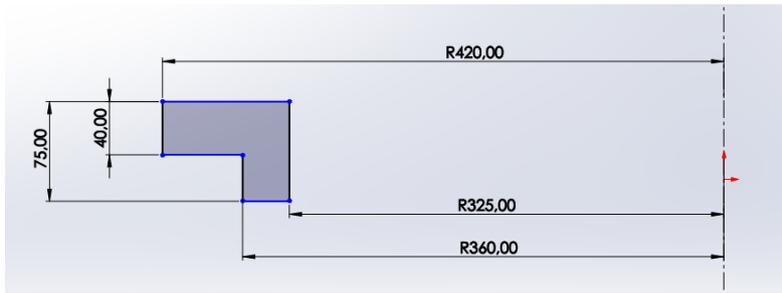


Figura 59. Croquis en SolidWorks para el diseño de la brida inferior de boca de hombre (paso 1).

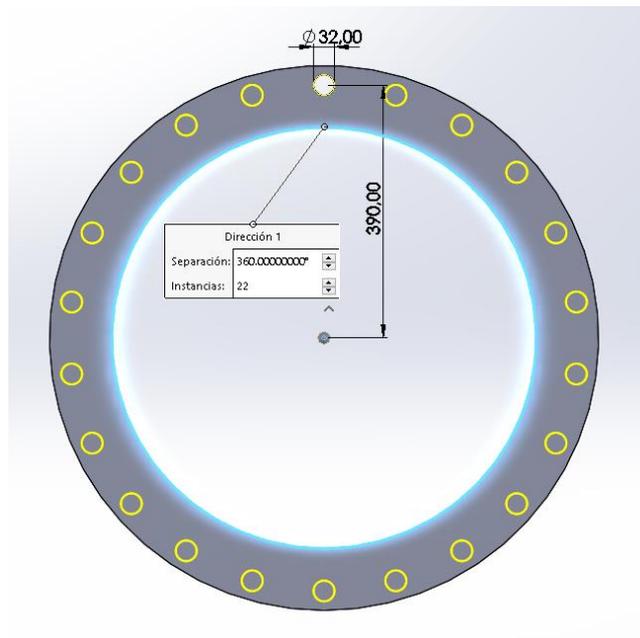


Figura 60. Croquis en SolidWorks para el diseño de la brida inferior de boca de hombre (paso 2).

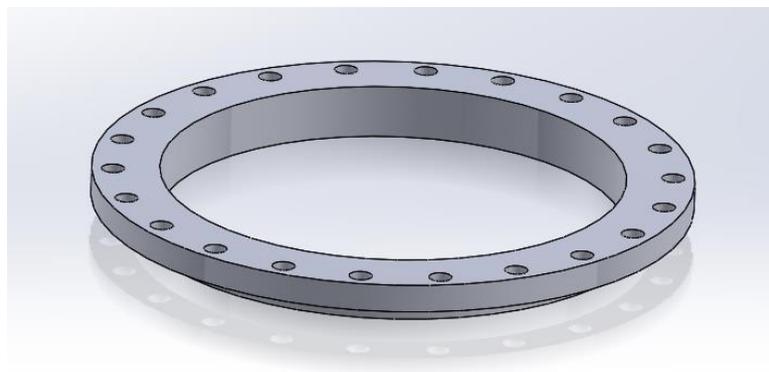


Figura 61. Diseño de la brida inferior de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.7.3- Lámina.

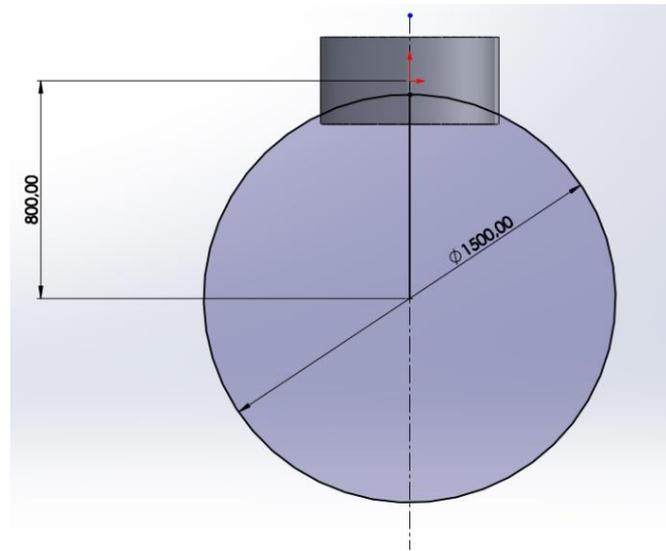


Figura 62. Croquis en SolidWorks para el diseño de la lámina de boca de hombre.

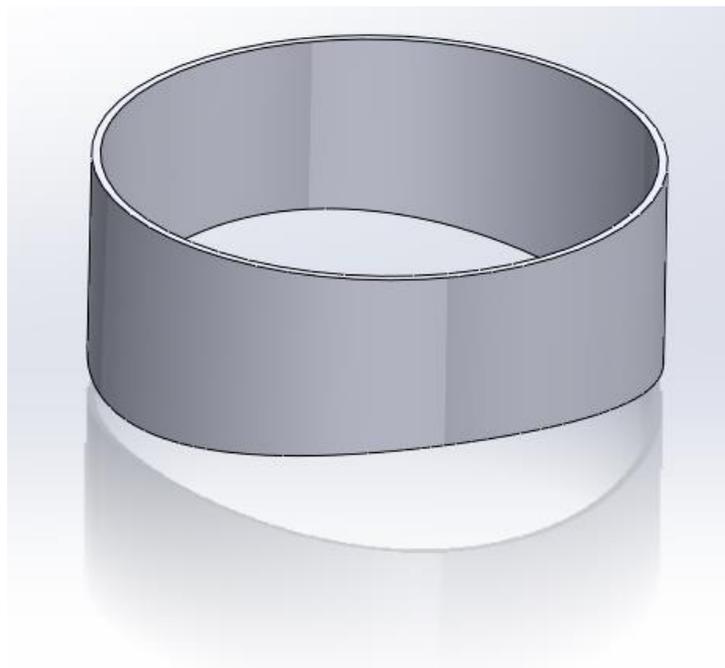


Figura 63. Diseño de la lámina de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.7.4- Refuerzo.

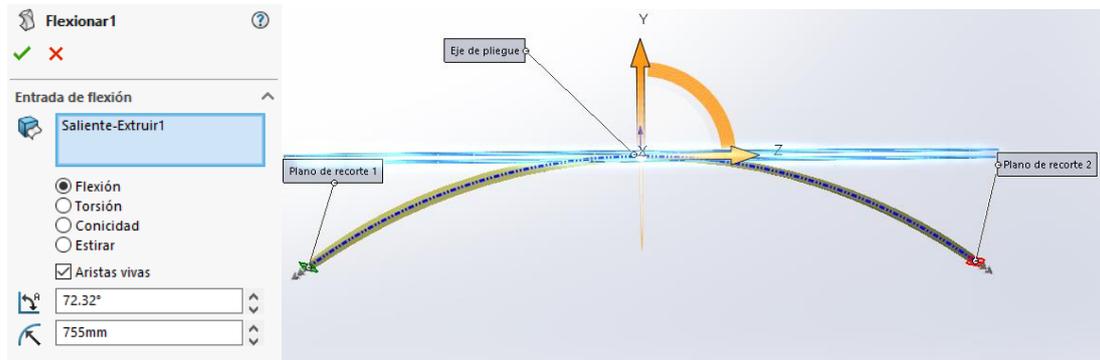


Figura 64. Croquis en SolidWorks para el diseño del refuerzo de boca de hombre.

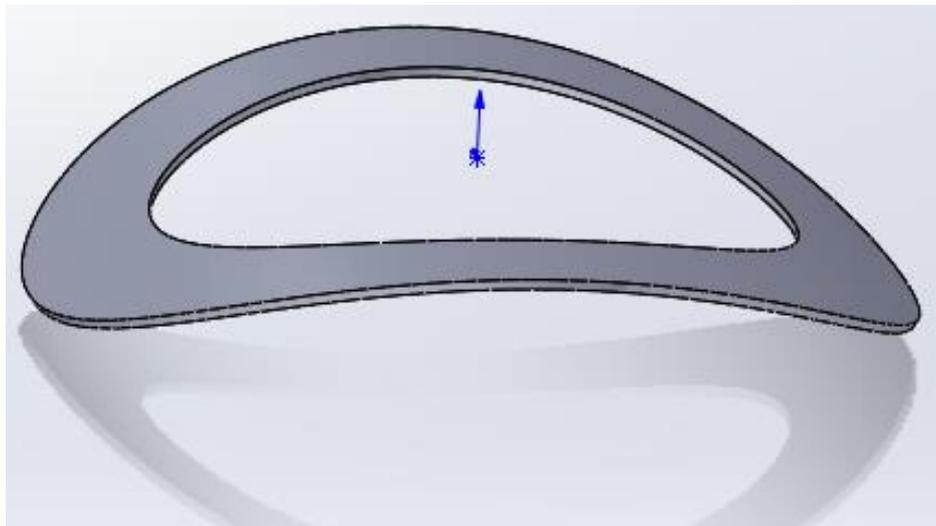


Figura 65. Diseño del refuerzo de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.8- Diseño del pescante para la boca de hombre.

4.6.8.2- Base del pescante.

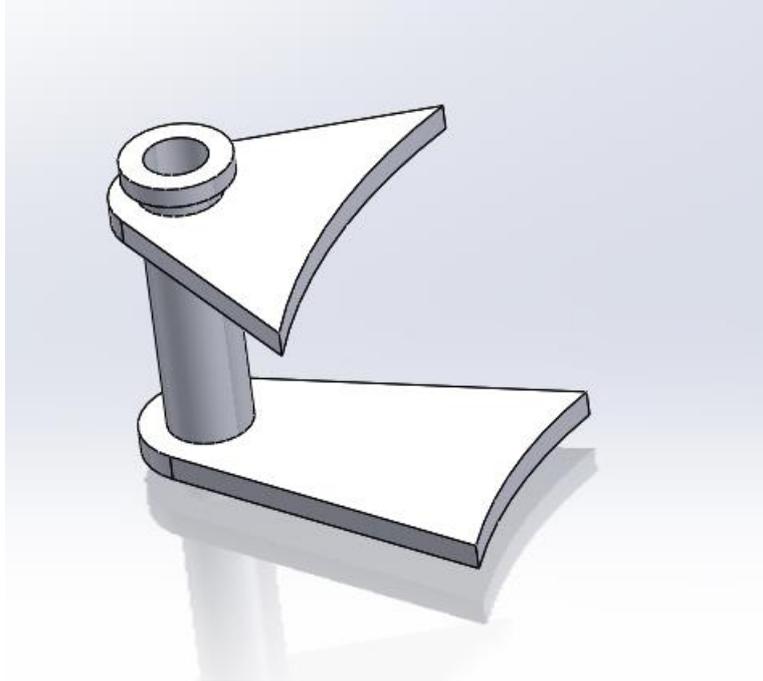


Figura 66. Diseño de la base del pescante de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.8.3- Barra del pescante.



Figura 67. Diseño de la barra del pescante de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.8.4- Perno de ojo.

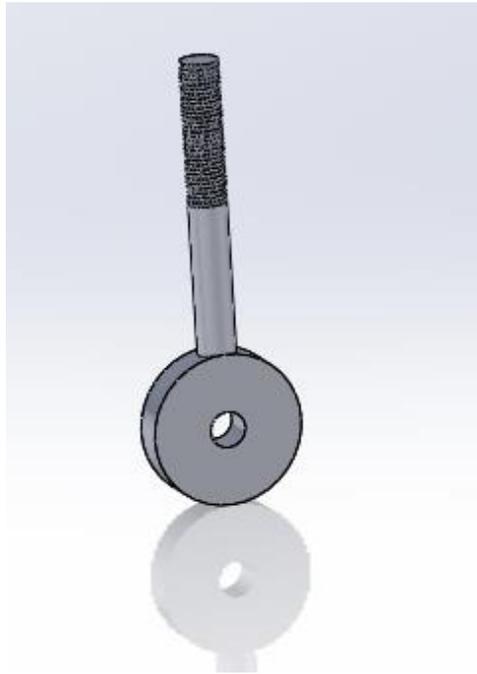


Figura 68. Diseño del perno de ojo de la boca de hombre en SolidWorks.

4.6.9- Diseño de las embocaduras.

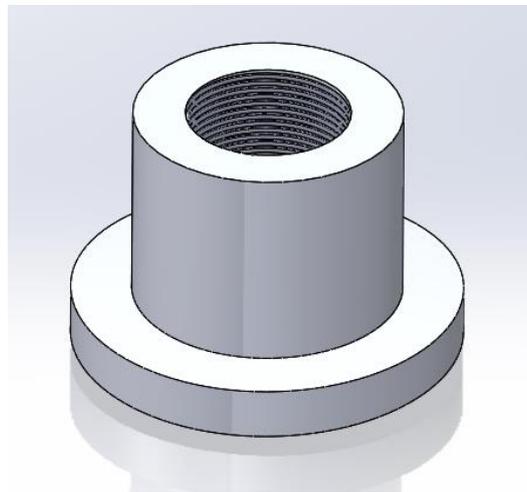


Figura 69. Diseño de las embocaduras para válvulas y elementos en SolidWorks.

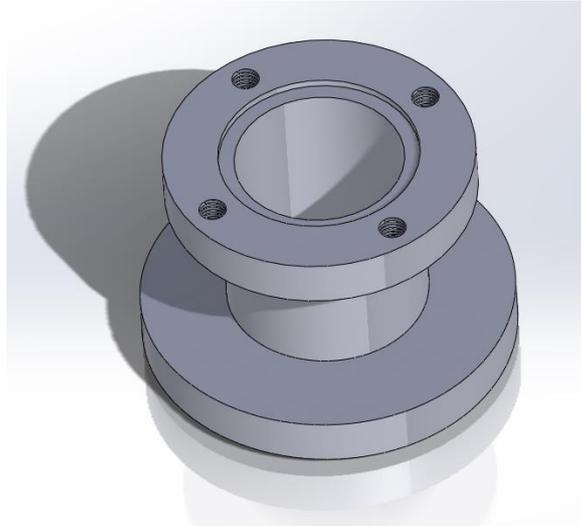


Figura 70. Diseño de la embocadura para nivel magnético Rochester Junior en SolidWorks.

4.6.10- Ensamblaje completo.

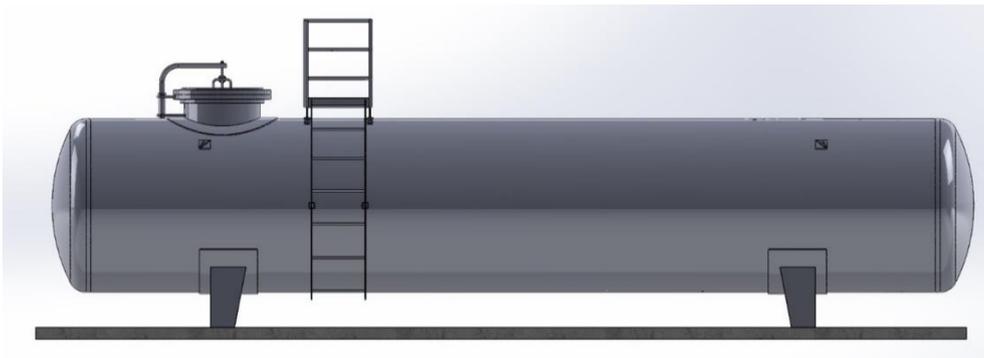


Figura 71. Diseño del ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 1).

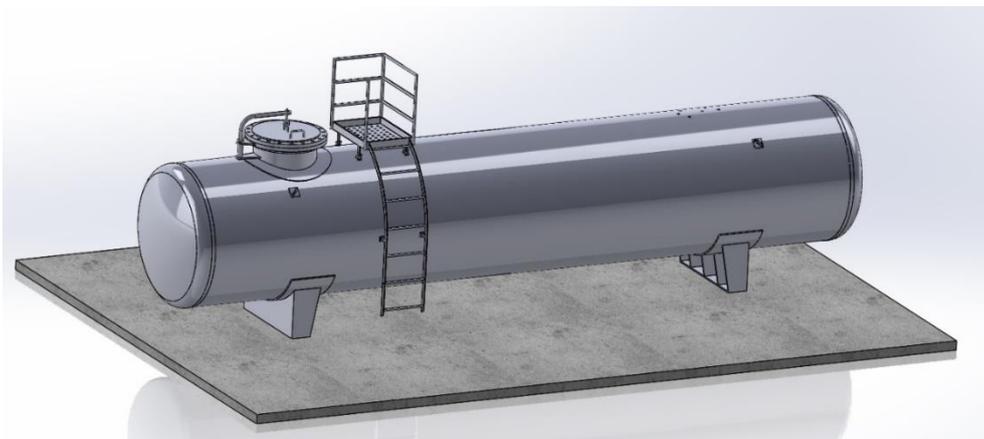


Figura 72. Diseño del ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 2).

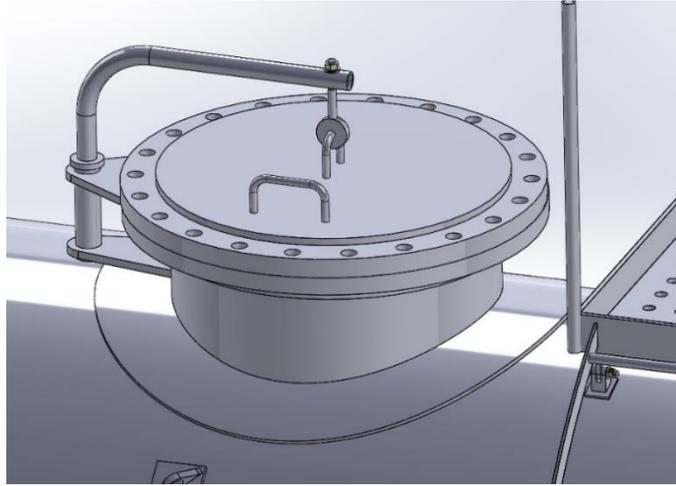


Figura 73. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 1).

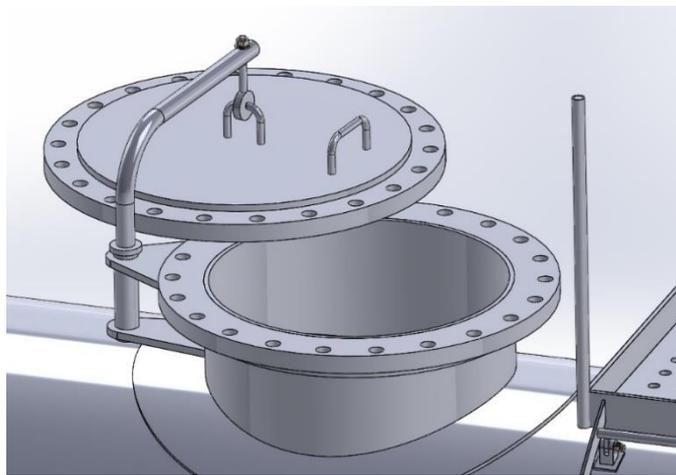


Figura 74. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 2).

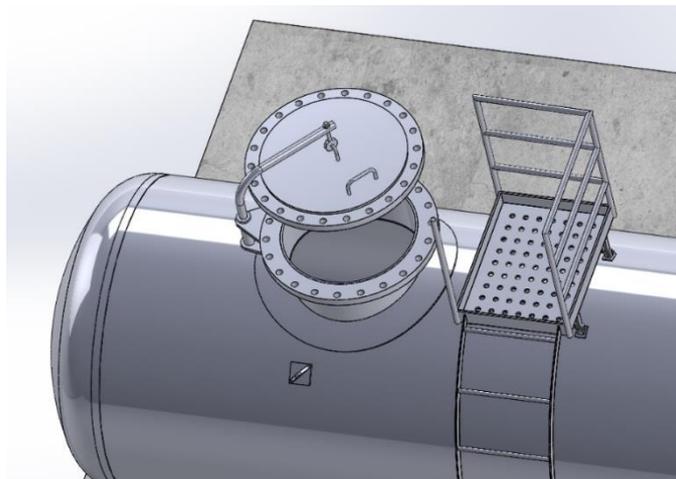


Figura 75. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo en SolidWorks (Imagen 3).

4.6.11- Depósito completo con pintura y detalles.



Figura 76. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 1).



Figura 77. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 2).

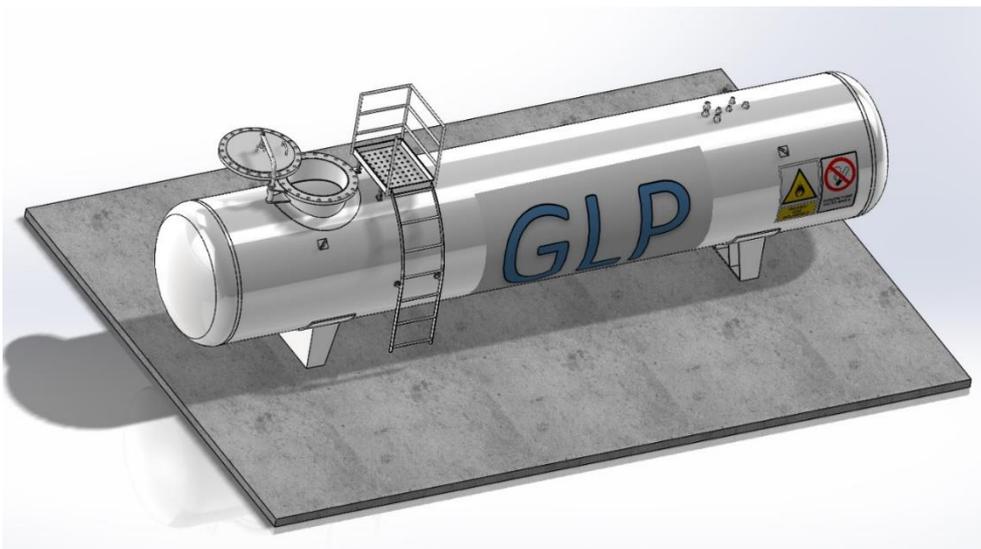


Figura 78. Diseño del ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 3).

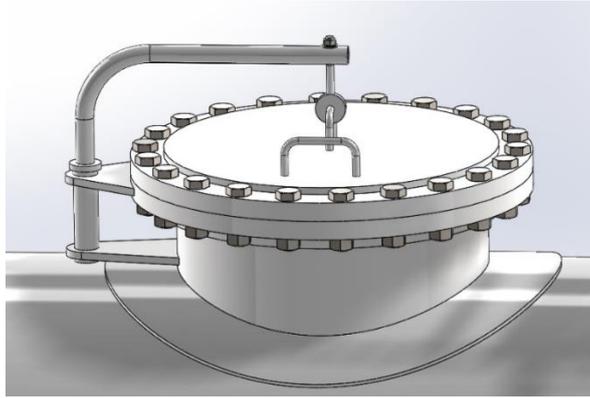


Figura 79. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 1).

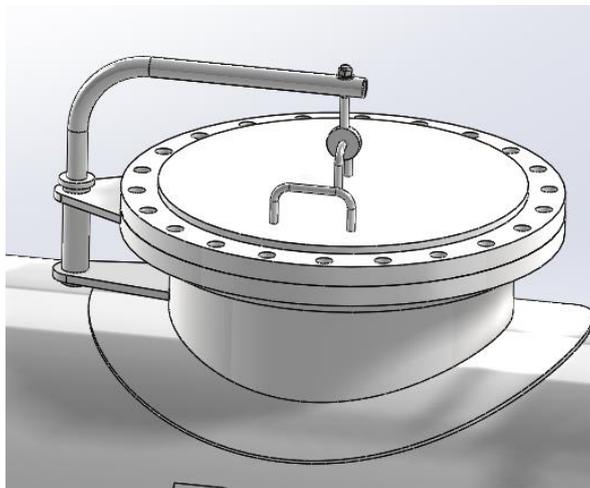


Figura 80. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 2).

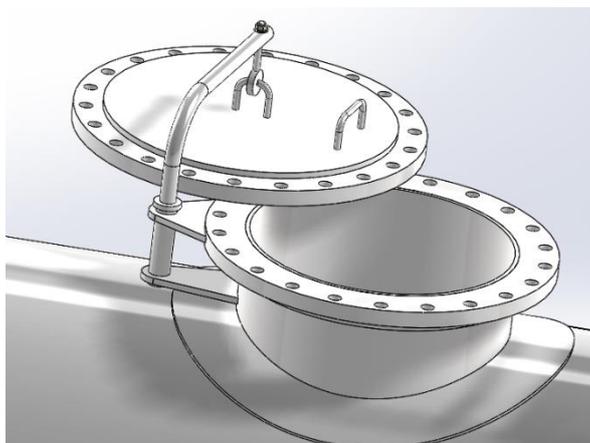


Figura 81. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 3).

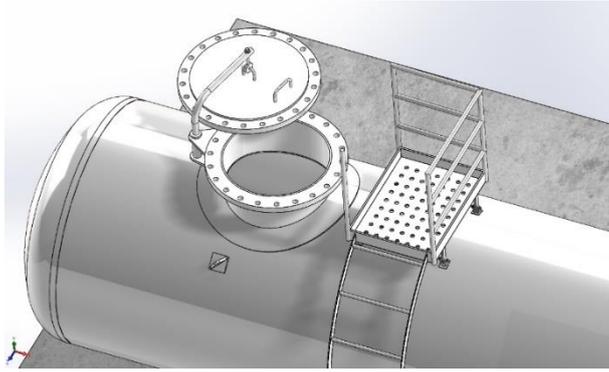


Figura 82. Detalles de la boca de hombre en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks (Imagen 4).

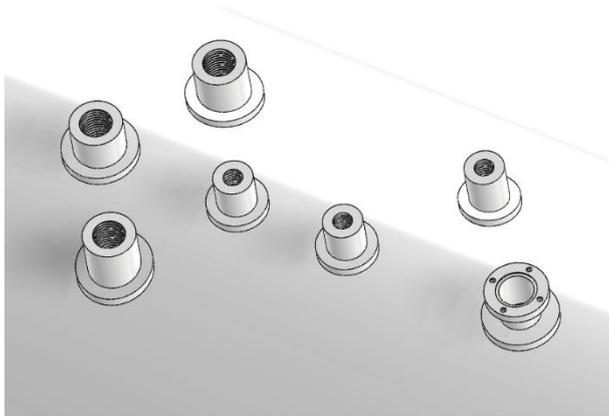


Figura 83. Detalles de las embocaduras en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks.

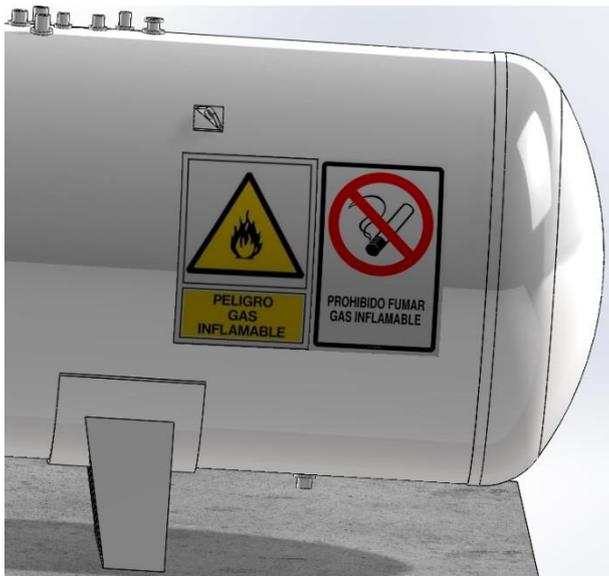


Figura 84. Detalles de los carteles de aviso en el ensamblaje completo con pintura y detalles en SolidWorks.

4.7- Cálculos en SolidWorks.

Para calcular en SolidWorks lo primero que debemos hacer es aplicar el material que vamos a usar en nuestro proyecto.

Para ello, SolidWorks dispone de una biblioteca de materiales en la que podríamos encontrar la mayoría de materiales que podemos usar, pero en este caso no disponemos del acero P355NL1.

Entonces debemos crear un nuevo material con las características principales del acero, para lo que tenemos dos opciones, bien crear el material desde cero, o copiar un material que sea muy parecido a éste y cambiarle los parámetros y valores.

Elegimos como material base, el acero S355NL para nuestro acero personalizado (Figura 86) y después se cambian los parámetros de densidad, límite elástico y límite de tracción (Figura 87).

Material

S355

SolidWorks DIN Materials

- DIN Acero (estructural)
 - 1.0045 (S355JR)
 - 1.0545 (S355N)
 - 1.0546 (S355NL)**
 - 1.0553 (S355J0)
 - 1.0570 (S355J2G3)
 - 1.0577 (S355J2G4)
 - 1.0595 (S355K2G3)
 - 1.0596 (S355K2G4)

Propiedades | Tablas y curvas | Apariencia | Rayado | Personalizado | Datos de apl

Propiedades de material

No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Guardar tipo de modelo en la biblioteca

Unidades: SI - N/mm² (MPa)

Categoría: DIN Acero (estructural)

Nombre: 1.0546 (S355NL)

Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.

Descripción: TStE 355

Origen: Límite de tracción y límite elástico para 200<t<=250

Sostenibilidad: Definido

| Propiedad | Valor | Unidades |
|----------------------------------|-------------|-------------------|
| Módulo elástico | 210000.0031 | N/mm ² |
| Coeficiente de Poisson | 0.28 | N/D |
| Módulo cortante | 79000 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 7800 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 450 | N/mm ² |
| Límite de compresión | | N/mm ² |
| Límite elástico | 275 | N/mm ² |
| Coeficiente de expansión térmica | 1.1e-05 | /K |

Haga clic [aquí](#) para acceder a más materiales con el portal web de materiales de SOLIDWORKS.

Figura 85. Biblioteca de materiales en SolidWorks.

Este material es muy similar al que vamos a usar, ya que es un acero aleado de grano fino con muy buena soldabilidad y muy buena tenacidad en frío.

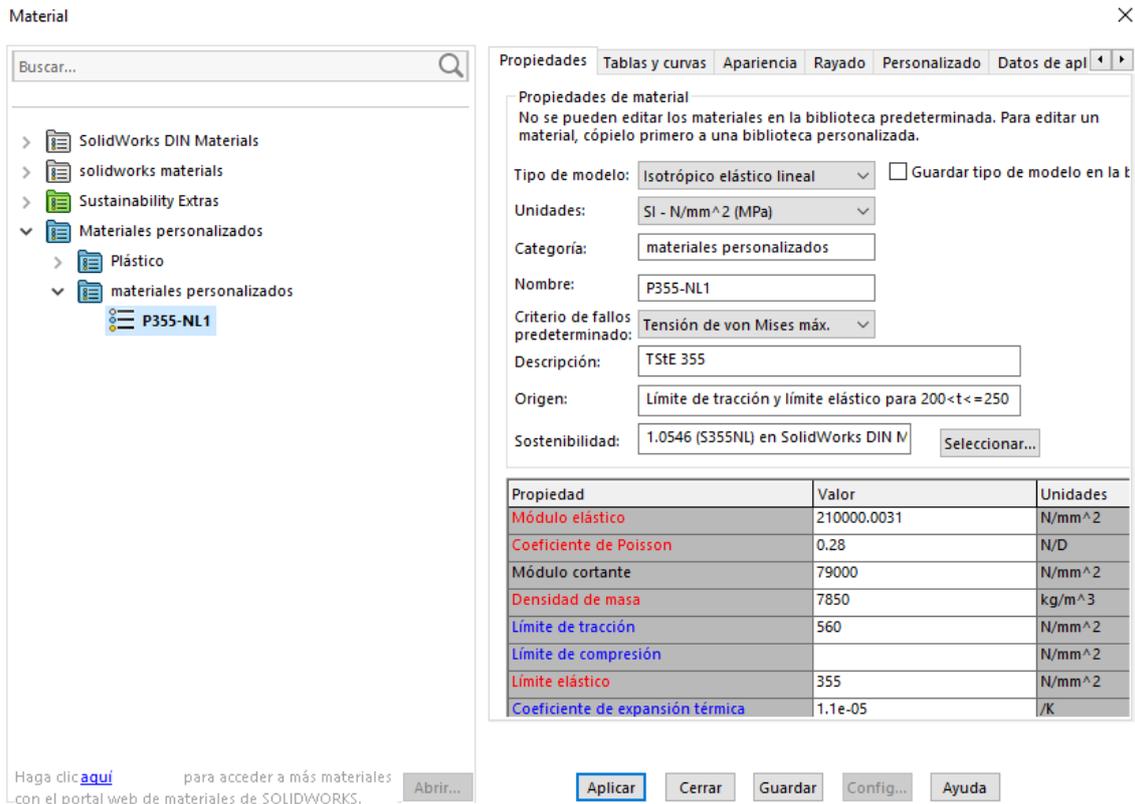


Figura 86. Material personalizado "P355-NL1" en SolidWorks

4.7.1- Cálculo de presión en el tanque.

4.7.1.1- Cálculos analíticos.

Para el cálculo tensional en cilindros presurizados tenemos dos modelos de cálculo, el de pared delgada y el de pared gruesa, según la relación diámetro/espesor.

- Cilindro de pared delgada si $\frac{D_i}{t} > 40$.
- Cilindro de pared gruesa si $\frac{D_i}{t} < 40$.

En este caso usaremos el modelo de pared delgada, ya que:

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$D_i = 1500 - 2 \cdot t = 1484 \text{ mm}$$

$$\frac{D_i}{t} > 40 \rightarrow \frac{1482}{8} > 40 \rightarrow 185.5 > 40$$

Primero se realizan analíticamente los cálculos de tensiones en la virola cilíndrica para tener algunos valores de referencia antes de realizar los cálculos mediante simulaciones en SolidWorks.

- Tensión tangencial.

$$\sigma_t = \frac{P \cdot D_i}{2 \cdot t} = \frac{1.9 \cdot 1482}{2 \cdot 8} = 175.987 \text{ Mpa}$$

- Tensión longitudinal.

$$\sigma_l = \frac{P \cdot D_i}{4 \cdot t} = \frac{1.9 \cdot 1482}{4 \cdot 9} = 87.993 \text{ Mpa}$$

- Tensión radial.

$$\sigma_r = -P_i = -1.9 \text{ Mpa} \quad \rightarrow \quad \text{En el interior}$$

$$\sigma_r = 0 \quad \rightarrow \quad \text{En el exterior}$$

4.7.1.2- Cálculos en SolidWorks.

Una vez obtenidos los cálculos analíticos de tensiones en la virola cilíndrica, realizamos los cálculos de simulación en SolidWorks.

Se realizarán dos simulaciones con distintas configuraciones para corroborar resultados, una sin los soportes del tanque (sin sujeciones) y otra con los soportes y las sujeciones en la superficie inferior de los soportes, donde apoyan con el hormigón.

Virola y fondos.

Se hace una simulación con la configuración sin soportes con la opción de desahogo inercial para realizar la simulación sin sujeciones.

- Von mises (Figura 88):

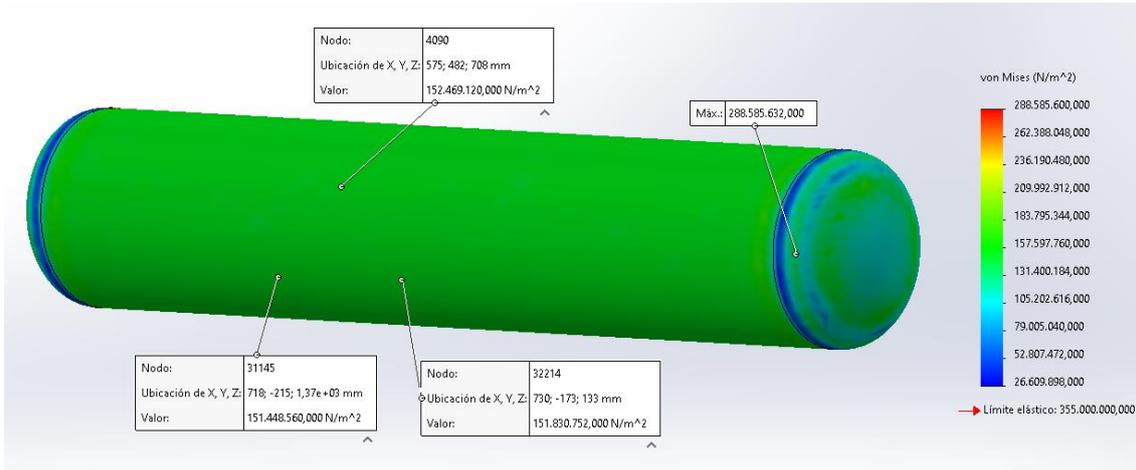


Figura 87. Tensiones de vonMises en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

- Tensión tangencial (Figura 89):

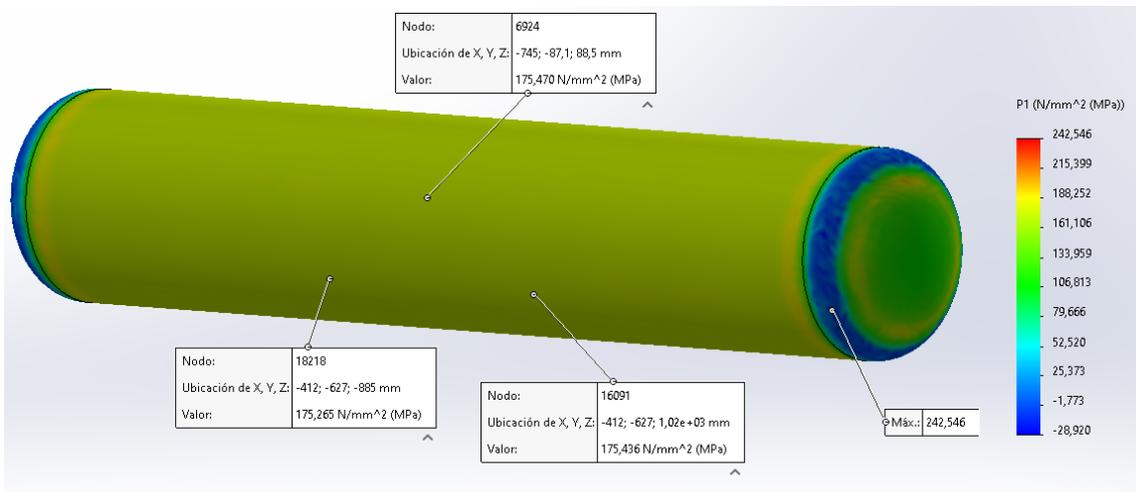


Figura 88. Tensiones tangenciales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

- Tensión longitudinal (Figura 90):

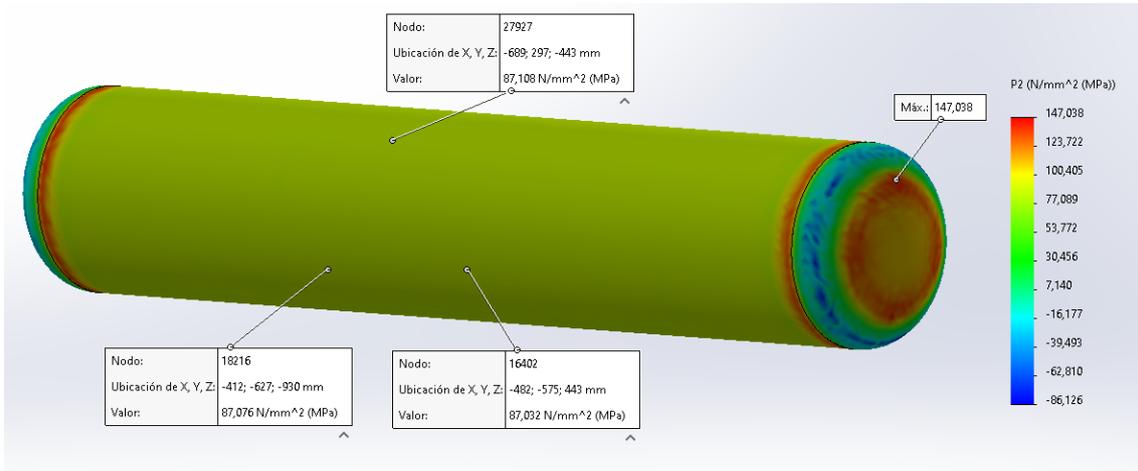


Figura 89. Tensiones longitudinales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

- Tensión radial (Figura 91):

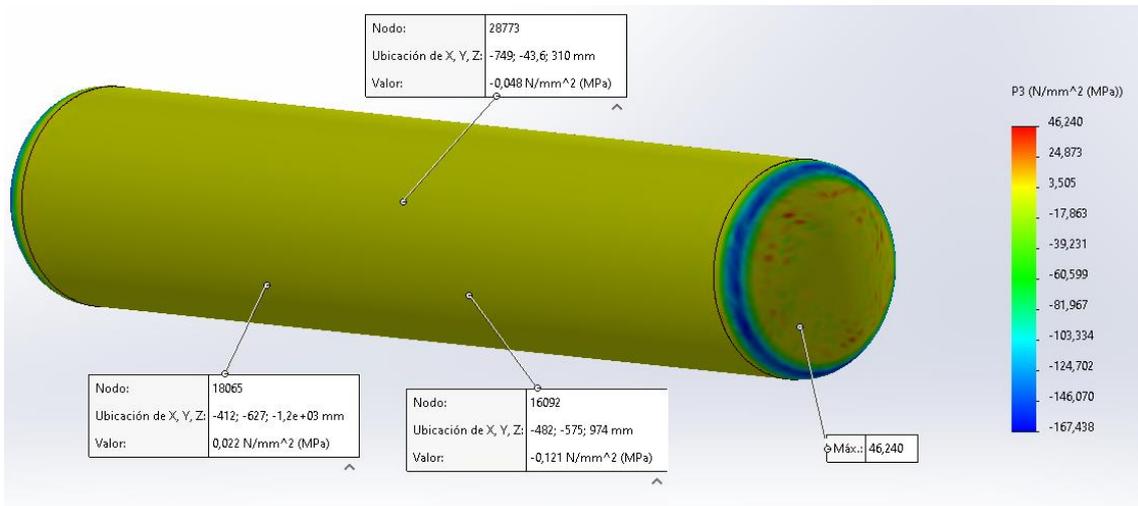


Figura 90. Tensiones radiales en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

- Factor de seguridad (Figuras 92 y 93):

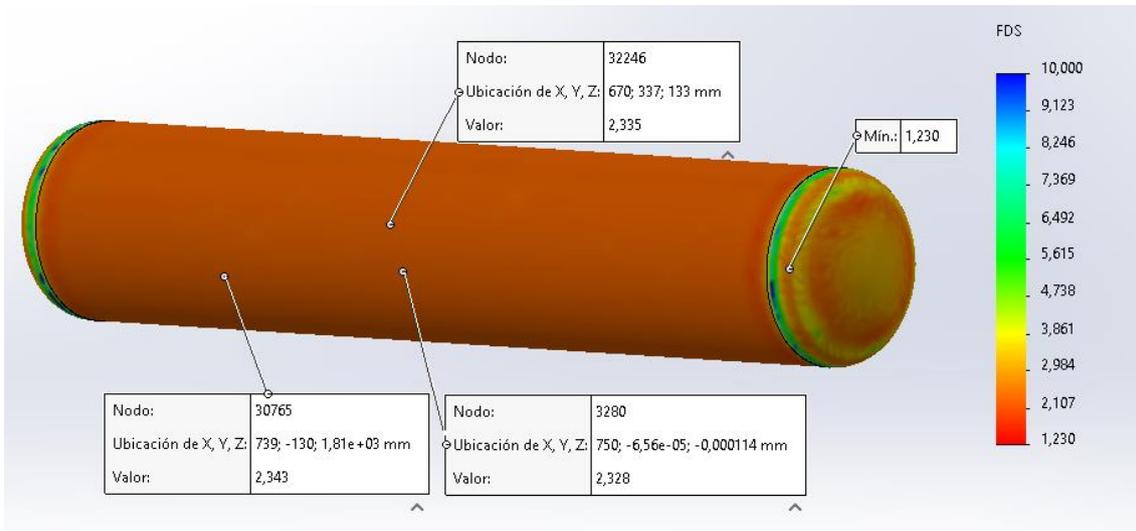


Figura 91. Factor de seguridad en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

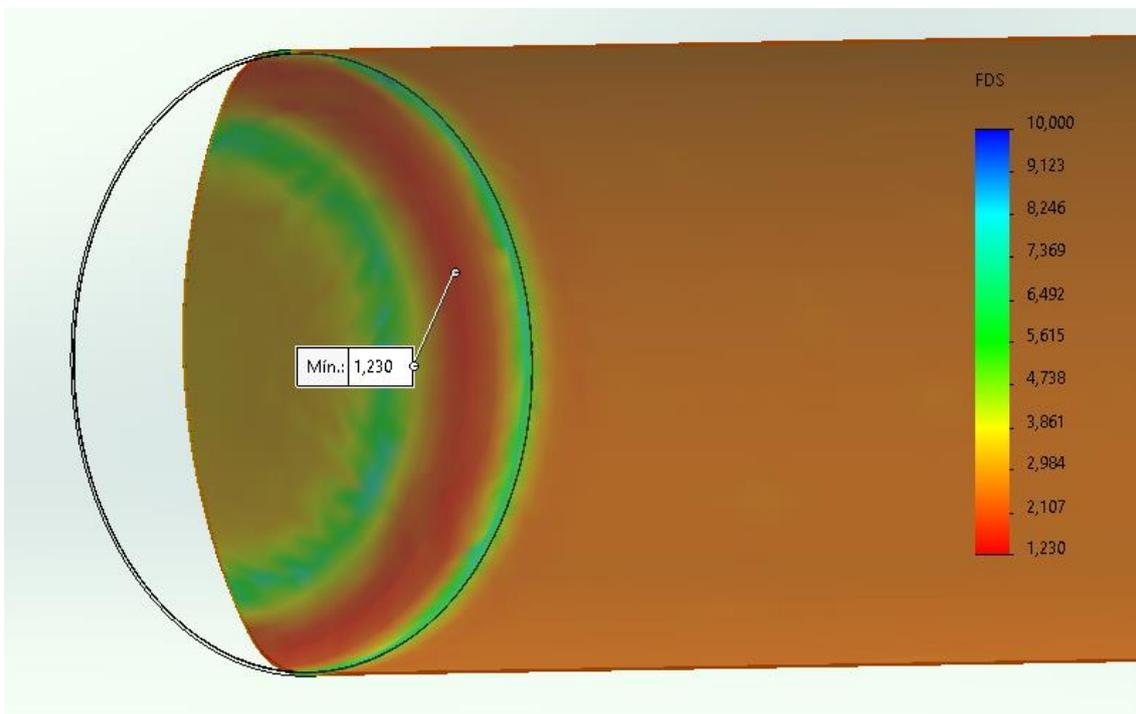


Figura 92. Factor de seguridad en el interior del fondo en la simulación de virola y fondos con SolidWorks.

Virola, fondos y soportes.

- Von Mises (Figura 94):

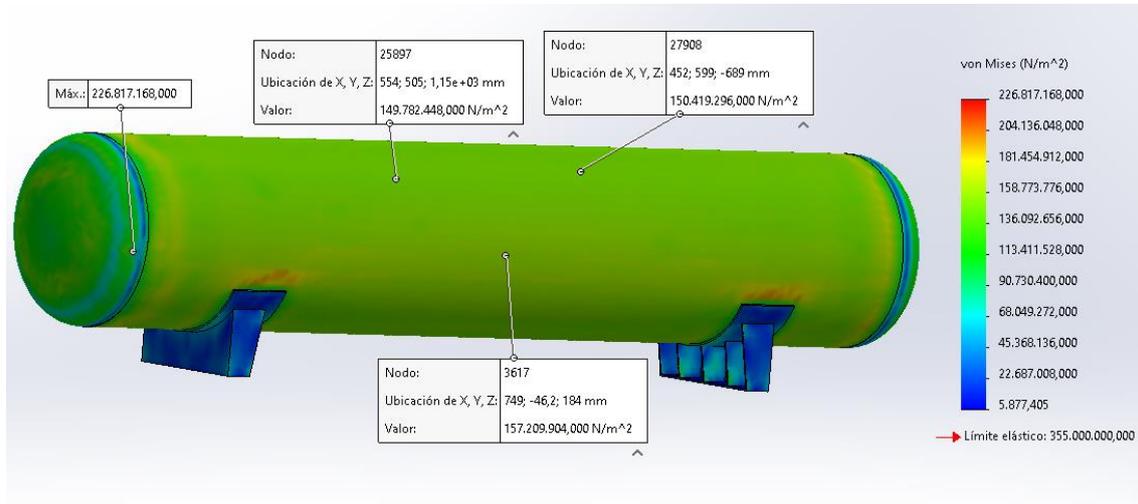


Figura 93. Tensiones de vonMises en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.

- Tensión tangencial (Figura 95):

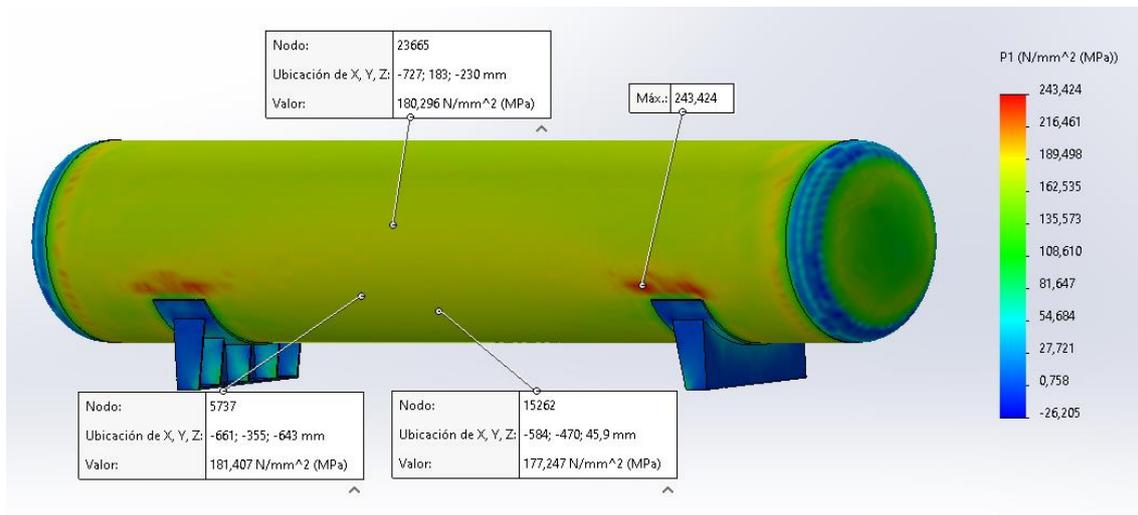


Figura 94. Tensiones tangenciales en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.

- Tensión longitudinal (Figura 96):

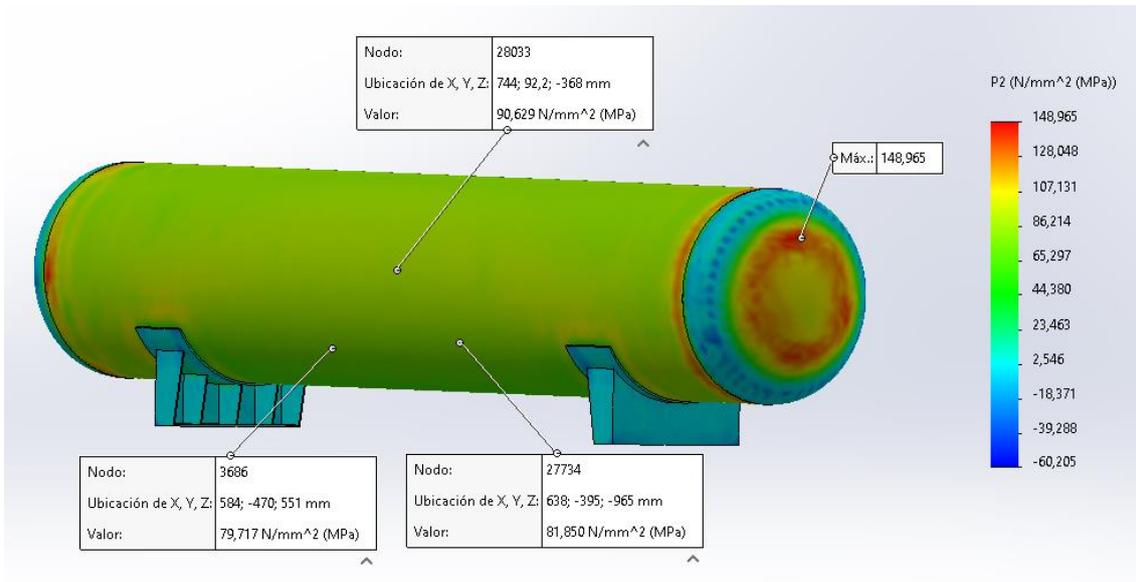


Figura 95. Tensiones longitudinales en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.

- Tensión radial (Figuras 97 y 98):

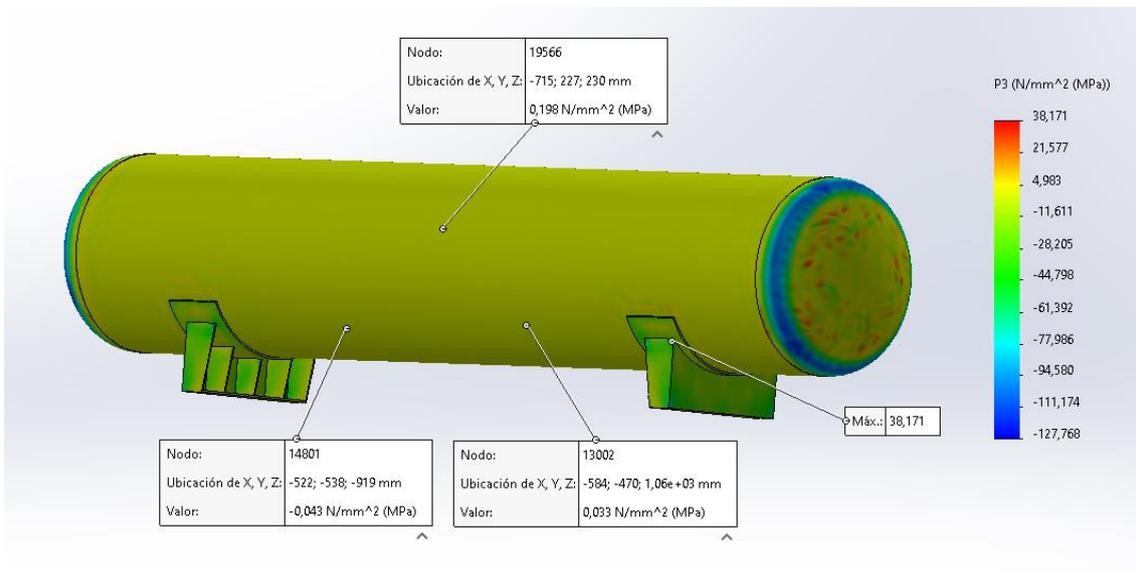
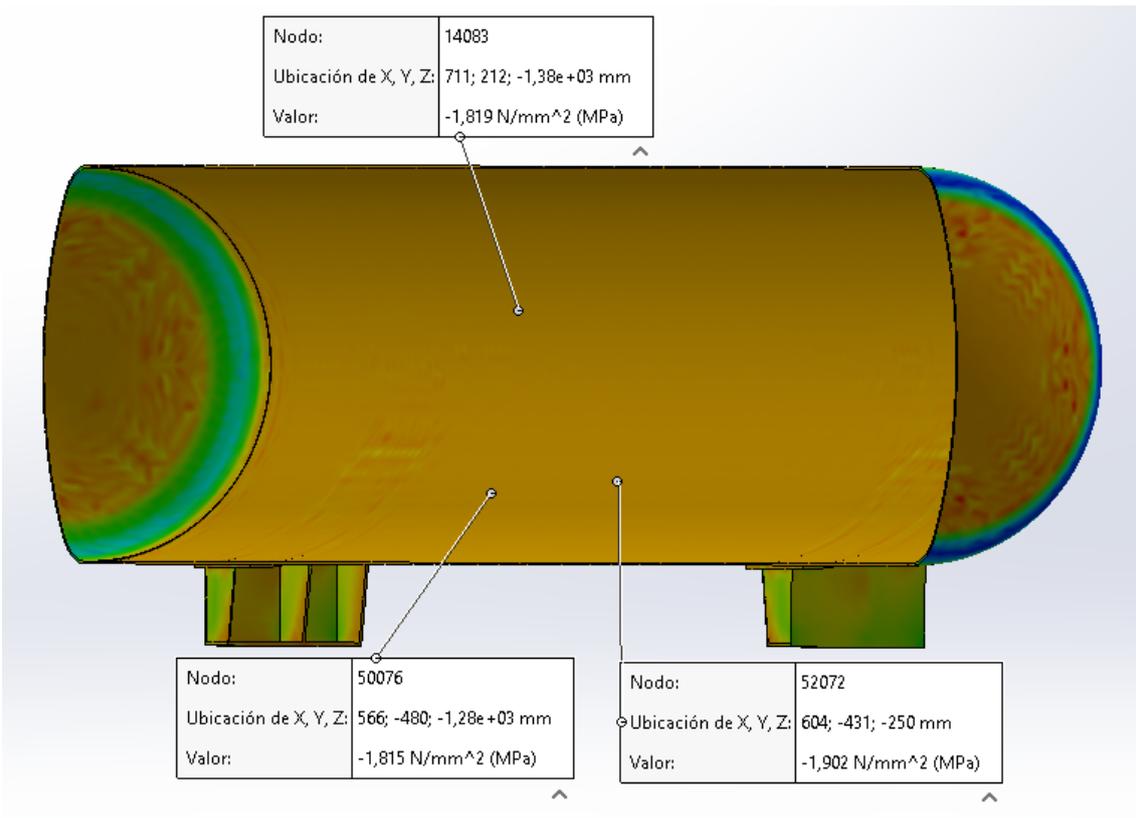


Figura 96. Tensiones radiales en el exterior en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.



Figuras 97. Tensiones radiales en el interior en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.

- Factor de seguridad (Figura 99):

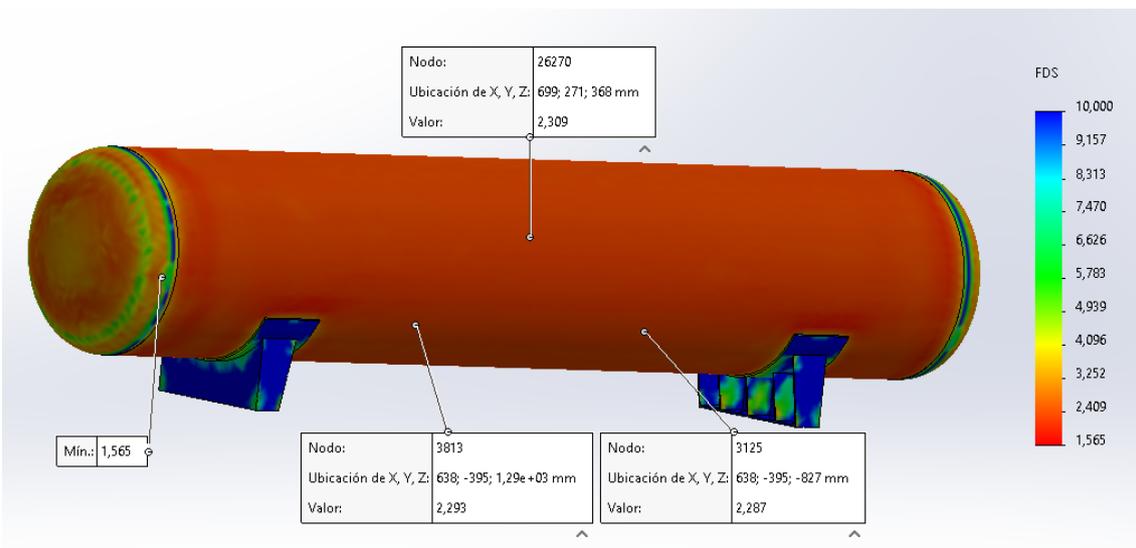


Figura 98. Factor de seguridad en la simulación de virola, fondos y soportes con SolidWorks.

Conclusión.

En principio vemos que los cálculos analíticos de la virola cilíndrica se cumplen con los de las simulaciones con un resultado bastante parecido.

También observamos que los resultados son parecidos en las dos simulaciones, con y sin soportes.

El factor de seguridad mínimo se produce en el radio de acuerdo que existe entre la virola y el fondo, por la zona interior, siendo este coeficiente de un valor de alrededor de “1.5”, justo en la zona donde se produce la mayor tensión de Von Mises.

En la virola cilíndrica tenemos un factor de seguridad que es aproximadamente de “2.3”.

El valor mínimo es suficiente para que se cumplan los requisitos de seguridad deseados en el depósito, comprobando así que los espesores escogidos tanto para fondo como para la virola son válidos.

4.7.2- Cálculo del depósito con la boca de hombre.

Para poder verificar que la boca de hombre cumple con los requisitos de seguridad, realizamos una simulación de la presión en el tanque con la boca de hombre y el refuerzo en la embocadura.

- Von Mises (Figura 100):

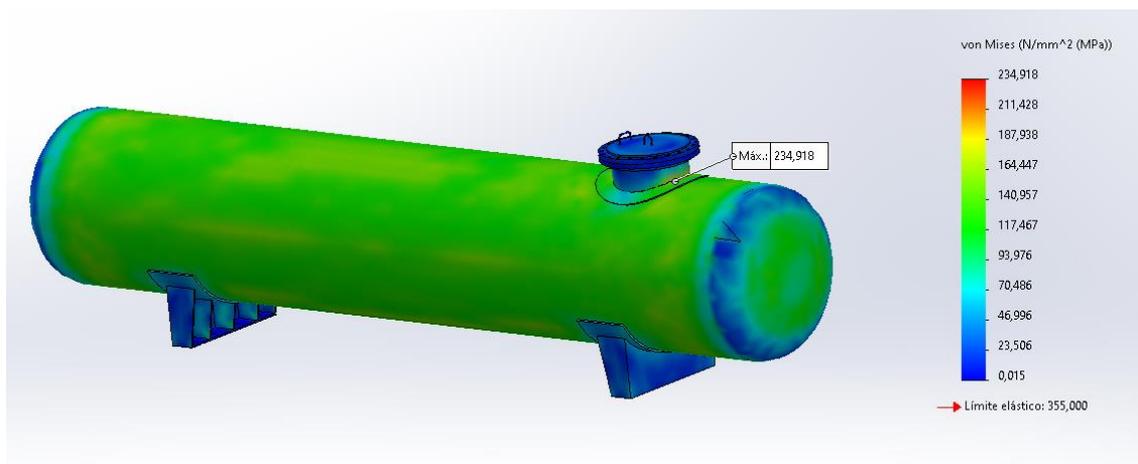


Figura 99. Tensiones de vonMises en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks.

- Desplazamientos (Figura 101):

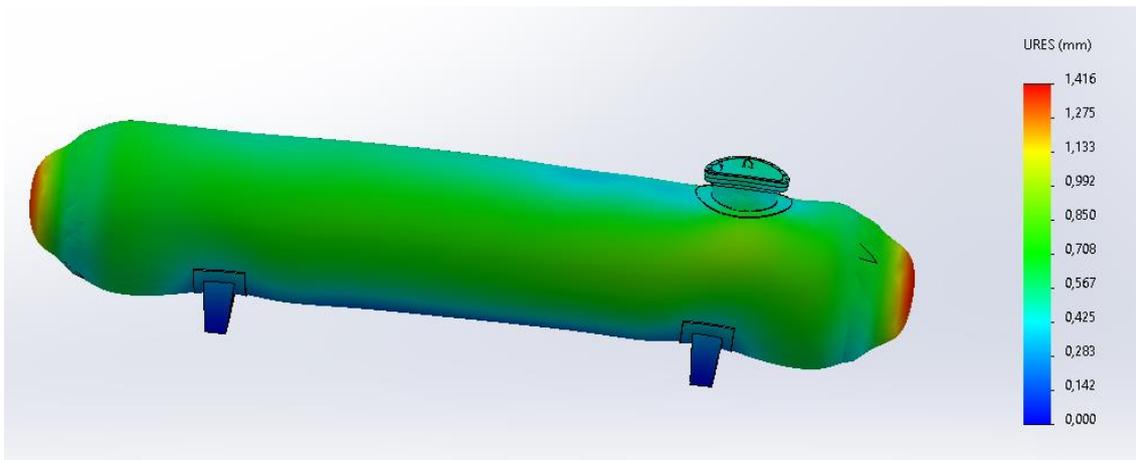


Figura 100. Deformada y desplazamientos en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks.

La deformada en esta simulación está multiplicada por 250 para poder apreciar los desplazamientos producidos en el depósito cuando se somete a la presión de diseño.

- Factor de seguridad (Figuras 102 y 103):

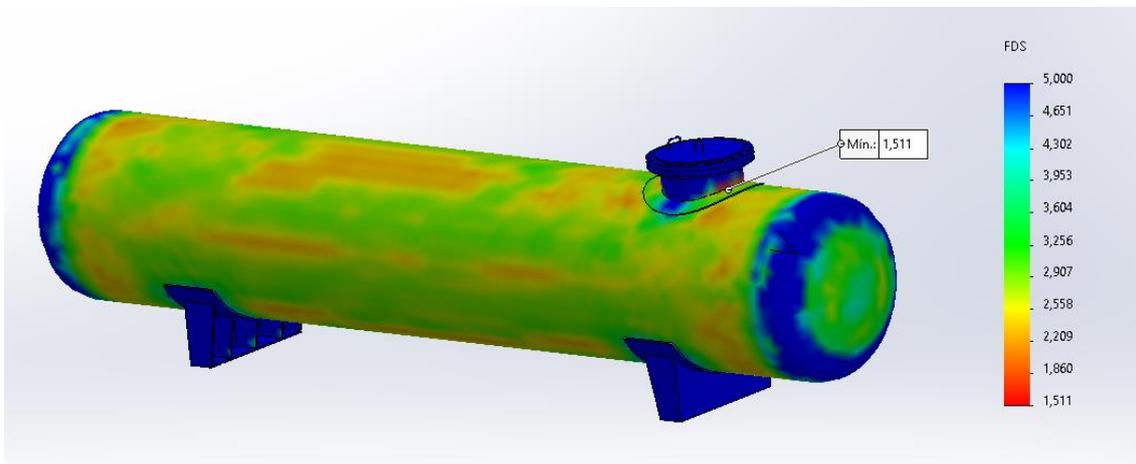


Figura 101. Factor de seguridad en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks.

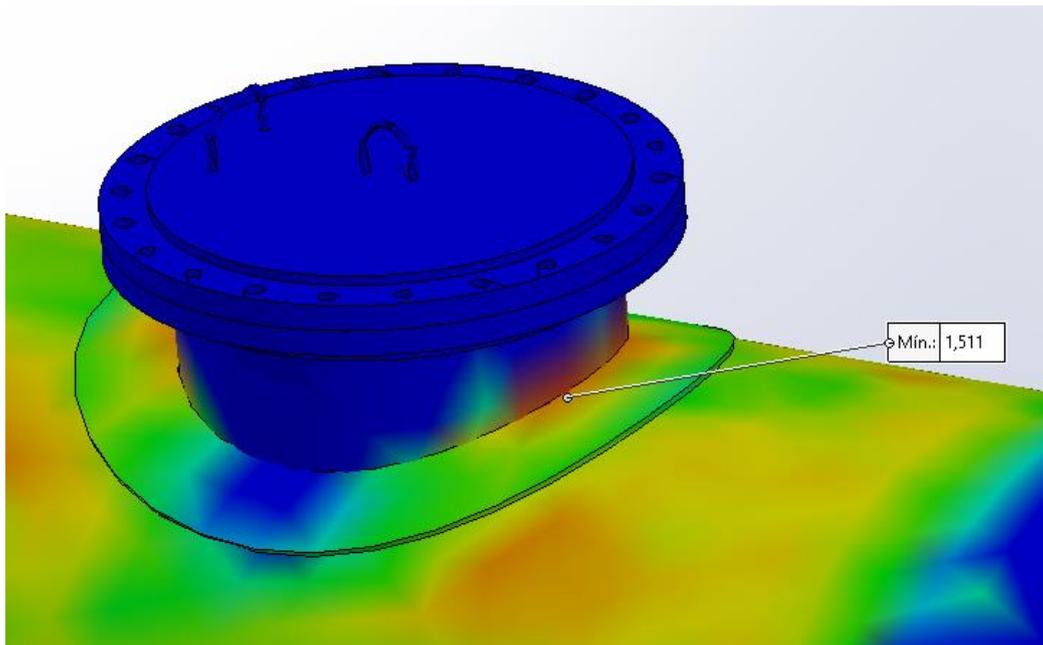


Figura 102. Detalles del Factor de seguridad máximo en la simulación de la boca de hombre con SolidWorks.

Conclusión.

Podemos comprobar que los resultados arrojan una tensión de Von Mises máxima de 234.918 Mpa y un factor de seguridad mínimo en ese punto de 1.511, por lo tanto, la boca de hombre junto con su refuerzo cumpliría los requisitos de seguridad mínimos y estaría correctamente dimensionada.

4.7.3- Cálculo de los soportes del tanque.

Según normativa:

“Para depósitos aéreos, el recipiente y sus soportes deben diseñarse para resistir la carga del depósito lleno de agua.”

Como el depósito tiene 13 m³, que equivalen a 13.000 litros.

La densidad del agua es aproximadamente 1 kg/l, por lo que el peso del agua en el depósito lleno será de 13.000 kg.

El peso del depósito vacío lo calculamos mediante SolidWorks.

Como tenemos 2 soportes, haremos la simulación repartiendo el peso soportado entre ellos, por lo tanto, tendremos que cada uno soporta la mitad del peso total (suma del peso del agua más el del material del propio deposito vacío).

La masa total del depósito completo (sin contar los soportes) es aproximadamente de 3050 Kg.

La fuerza que tienen que soportar los soportes será:

$$M_{total} = 3050 + 13000 = 16050 \text{ Kg}$$

$$F_{total} = 16050 \cdot 9.81 = 157450.5 \text{ N}$$

Entonces la fuerza que soporta cada uno es:

$$F_{cada\ soporte} = \frac{157450.5}{2} = 78725.25 \text{ N}$$

La fuerza que ejerce el peso se produce verticalmente sobre la base del soporte y la sujeción se colocará en la superficie inferior del soporte, donde se anclará mediante tornillos al hormigón (Figura 104).

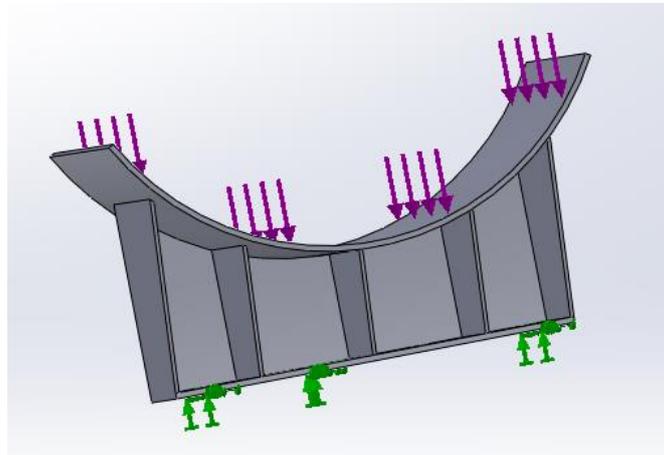


Figura 103. Sujeciones y fuerzas aplicadas en la simulación de los soportes con SolidWorks.

Resultados.

- Von Mises (Figuras 105 y 106):

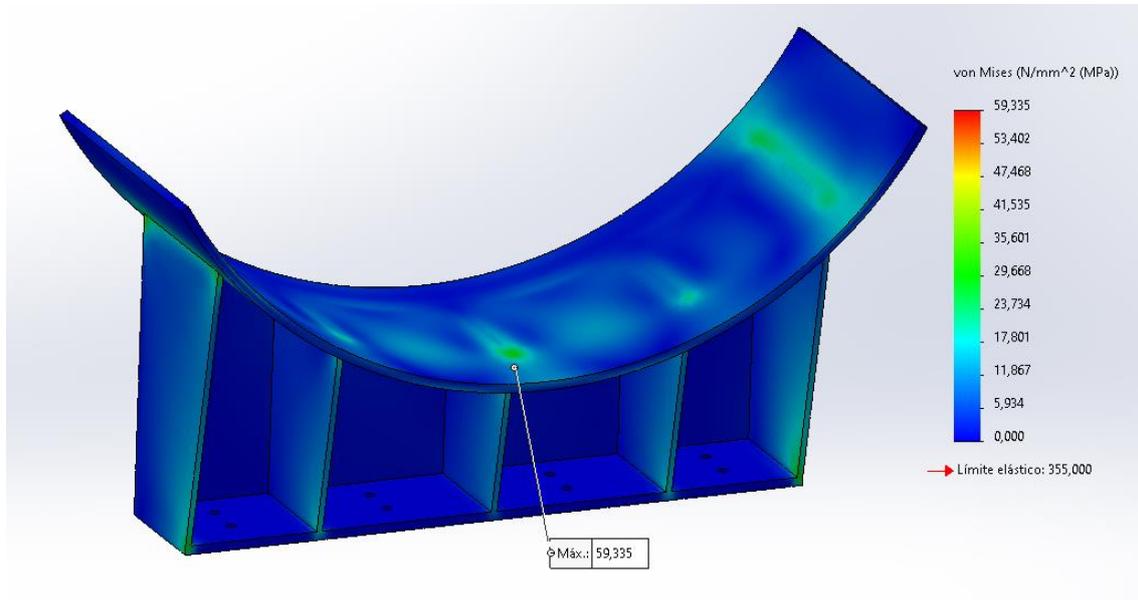


Figura 104. Tensión de vonMises en la simulación de los soportes con SolidWorks.

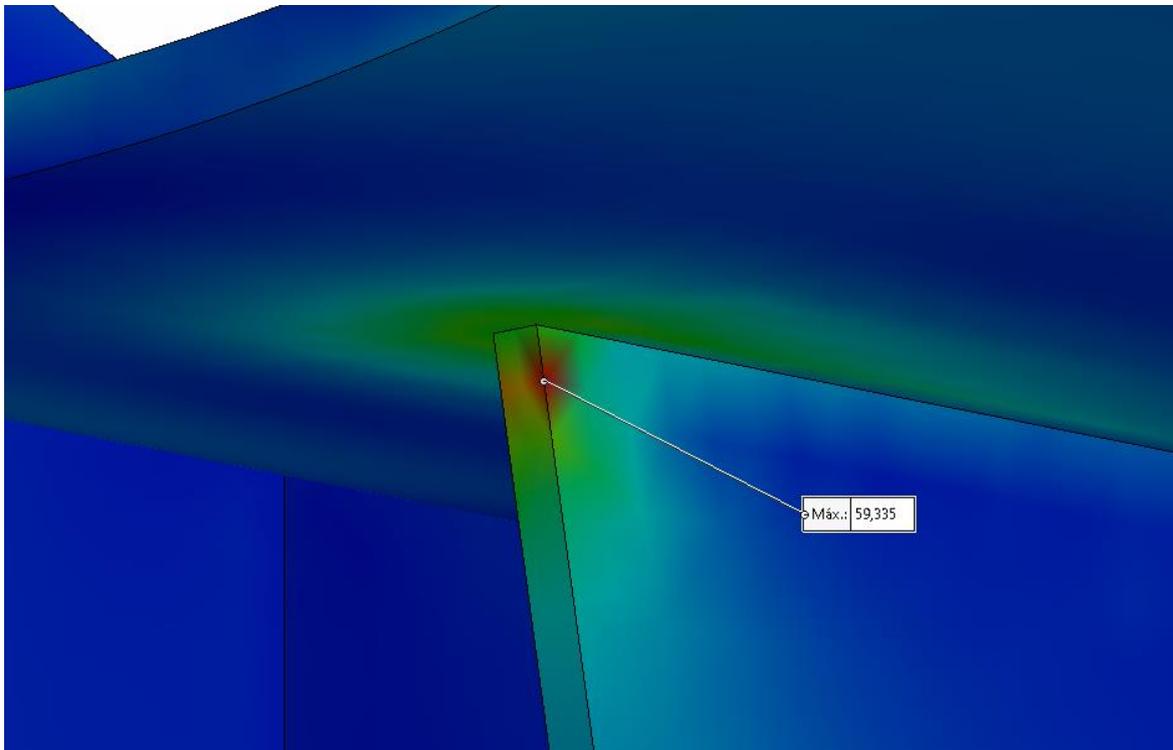


Figura 105. Detalle de la Tensión de vonMises máxima en la simulación de los soportes con SolidWorks.

- Factor de seguridad (Figura 107):

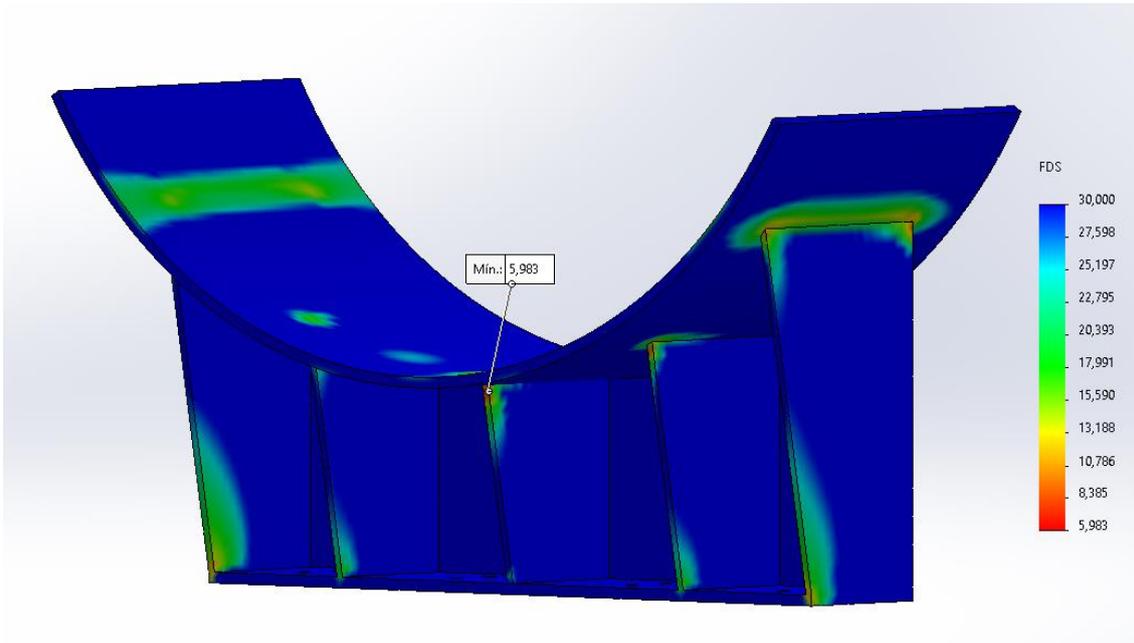


Figura 106. Factor de seguridad en la simulación de los soportes con SolidWorks.

- Desplazamientos (Figura 108):

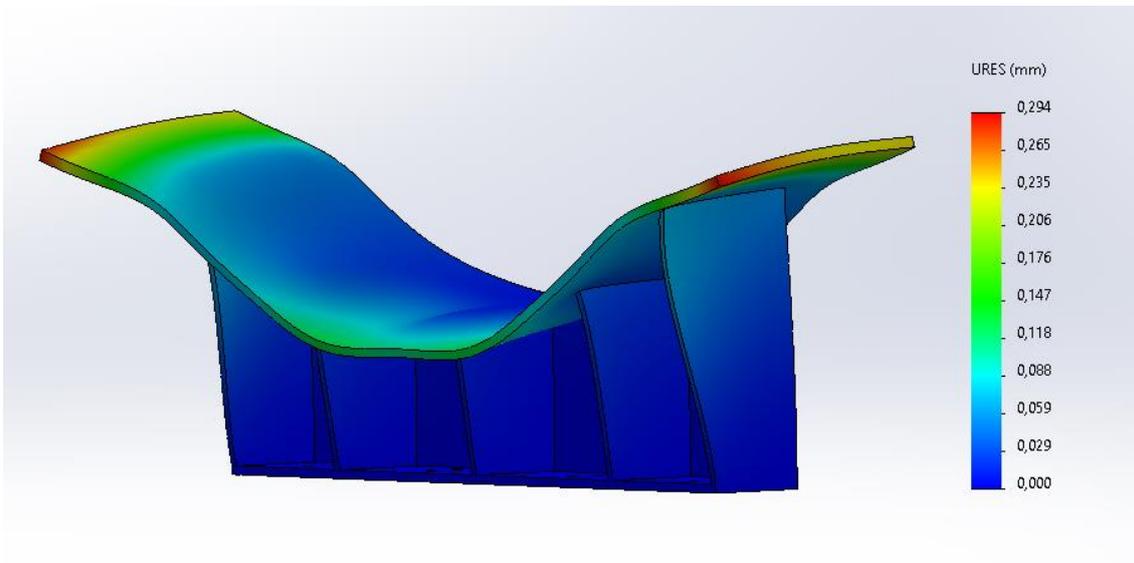


Figura 107. Desplazamientos en la simulación de los soportes con SolidWorks.

Conclusión.

La tensión de Von Mises máxima se produce en el centro del soporte, en la zona de unión entre el refuerzo vertical y la base circular, por lo tanto, en ese punto es donde se producirá el factor de seguridad mínimo con un valor de “5.980”, más que suficiente para soportar tanto el peso del depósito lleno como las presiones producidas en él, cumpliendo perfectamente con los requisitos de seguridad de diseño.

Este soporte estaría sobredimensionado y se podría reducir material y hacerlo de menor espesor o incluso quitar algún refuerzo. Pero en este caso, como el factor de seguridad mínimo no es excesivamente alto se prefiere no cambiar nada dejándolo con un extra de seguridad.

También podemos ver que el desplazamiento máximo es de 0.294 mm en los extremos de la base del depósito.

4.7.1- Cálculo de las orejetas de izado.

Las orejetas de izado tendrán que soportar el peso del depósito vacío, ya que solo se van a usar para el transporte de la fábrica hasta la ubicación donde se instalará.

Calculamos primero la dirección de la fuerza que realizará la tensión de la cuerda en la orejeta.

El peso completo del depósito, contando con los soportes, es de aproximadamente 3050 Kg.

$$M_{total} = 3050 \text{ Kg}$$

$$F_{total} = 3050 \cdot 9.81 = 29920.5 \text{ N}$$

Calculamos entonces la fuerza que tendrá que resistir la pieza, que será la misma que la tensión que ejercerá la cuerda al tirar de ella (Figura 109).

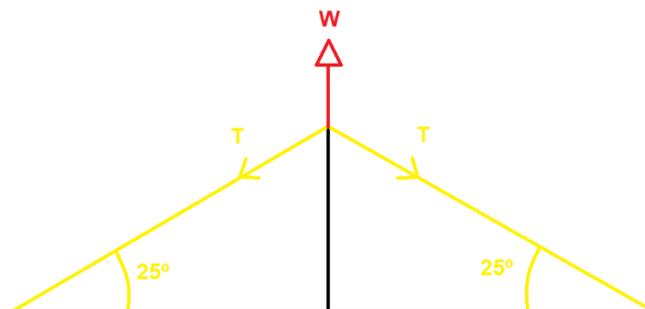


Figura 108. Gráfico de tensiones en las orejetas de izaje..

Para calcular las tensiones de las cuerdas, suponemos equilibrio estático y hacemos el sumatorio de fuerzas en sentido vertical para calcular T.

En este caso tenemos cuatro cuerdas, dos a cada lado, con las mismas distancias y con un ángulo sobre la horizontal de 25°.

$$W = 29920.5 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow 4 \cdot T \cdot \text{sen } 25^\circ - 29920.5 = 0$$

$$T = 17699.48 \text{ N}$$

$$F_{\text{cada orejeta}} = 17699.48 \text{ N}$$

Para hacer la simulación en SolidWorks, tenemos que crear una línea desde el punto de enganche de la orejeta de izado hasta el punto donde se juntaran las cuatro cuerdas, para indicar la dirección de la fuerza (Figuras 110,111 y 112).

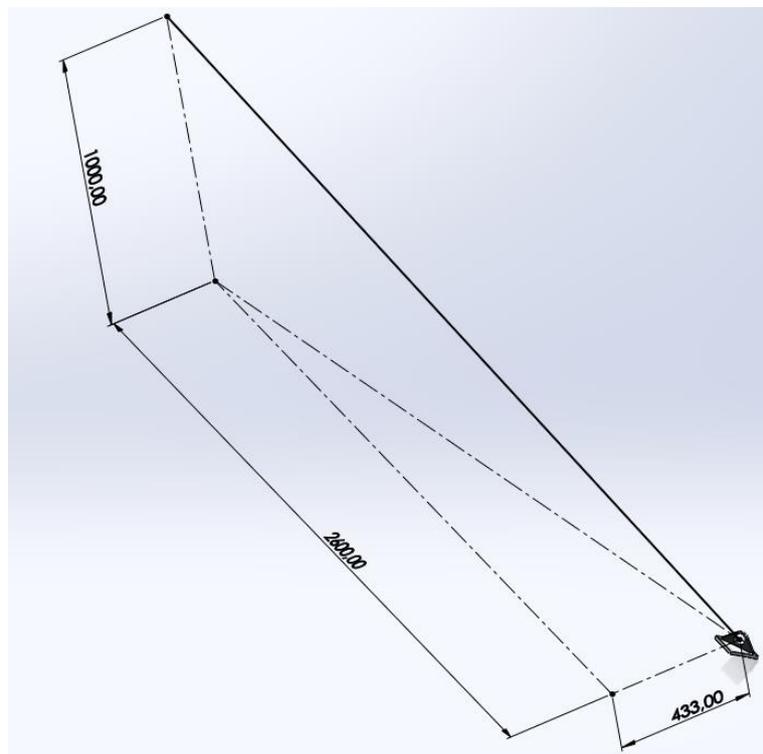


Figura 109. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 1).

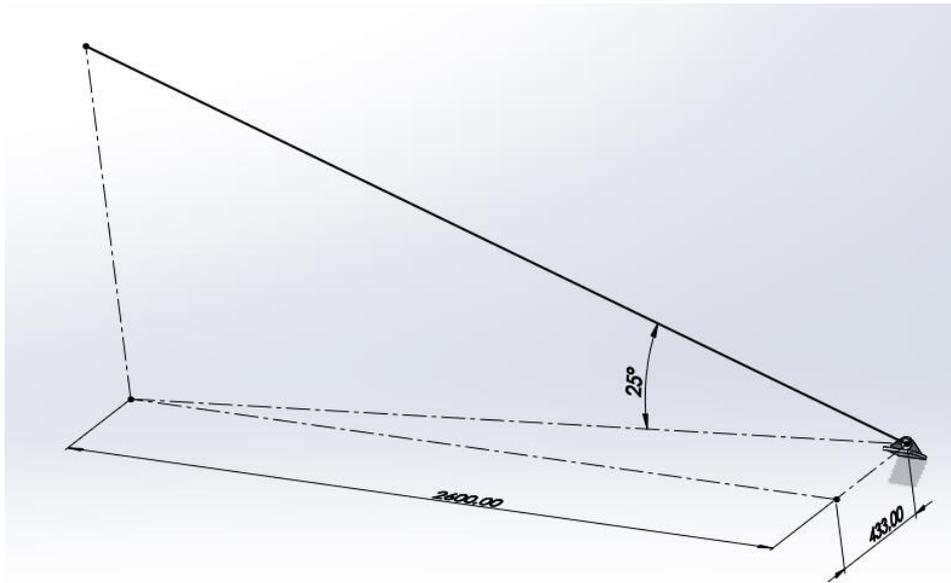


Figura 110. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 2).

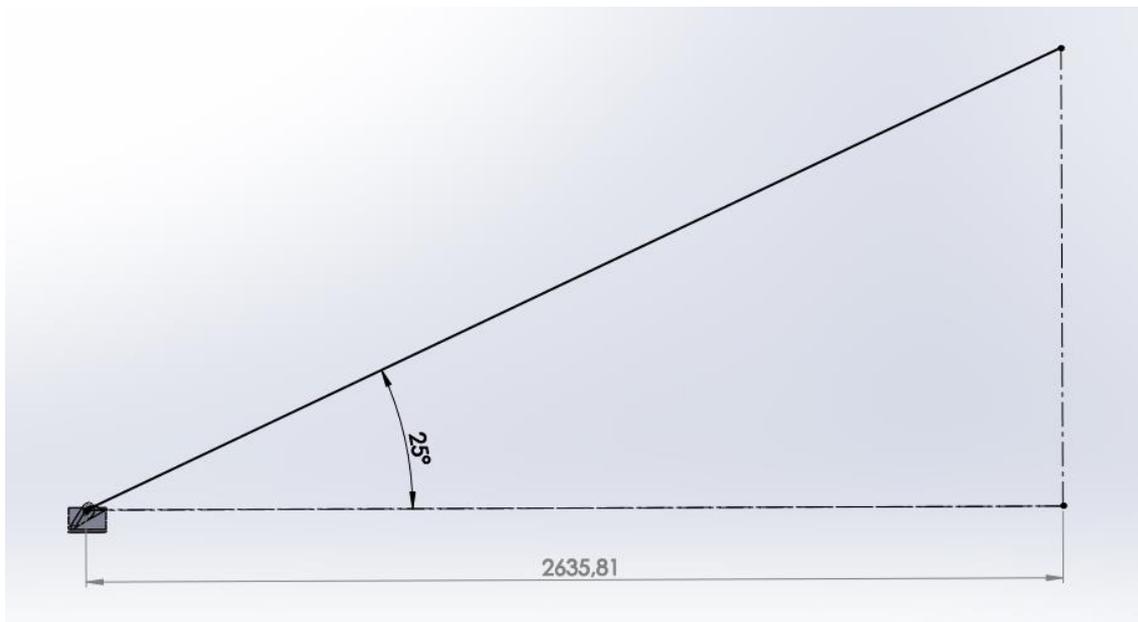


Figura 111. Croquis para crear la dirección de las fuerzas en las orejetas de izaje (Imagen 3).

Una vez tenemos la línea que nos indica la dirección de la fuerza, creamos un plano perpendicular a ella para después cortar en la intersección de ese plano con la superficie interior del agujero de la orejeta, creando así dos superficies, ya que la fuerza solo existirá en la más cercana a la línea de dirección de la fuerza y así nuestro calculo será lo más preciso posible (Figuras 113 y 114).

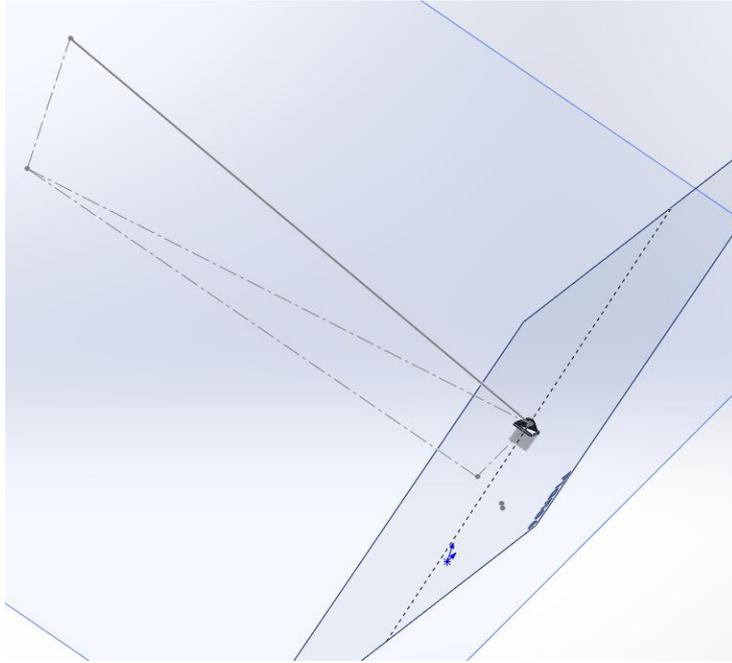


Figura 112. Creacion de plano de partición para crear la superficie en la que se ejerce la fuerza.

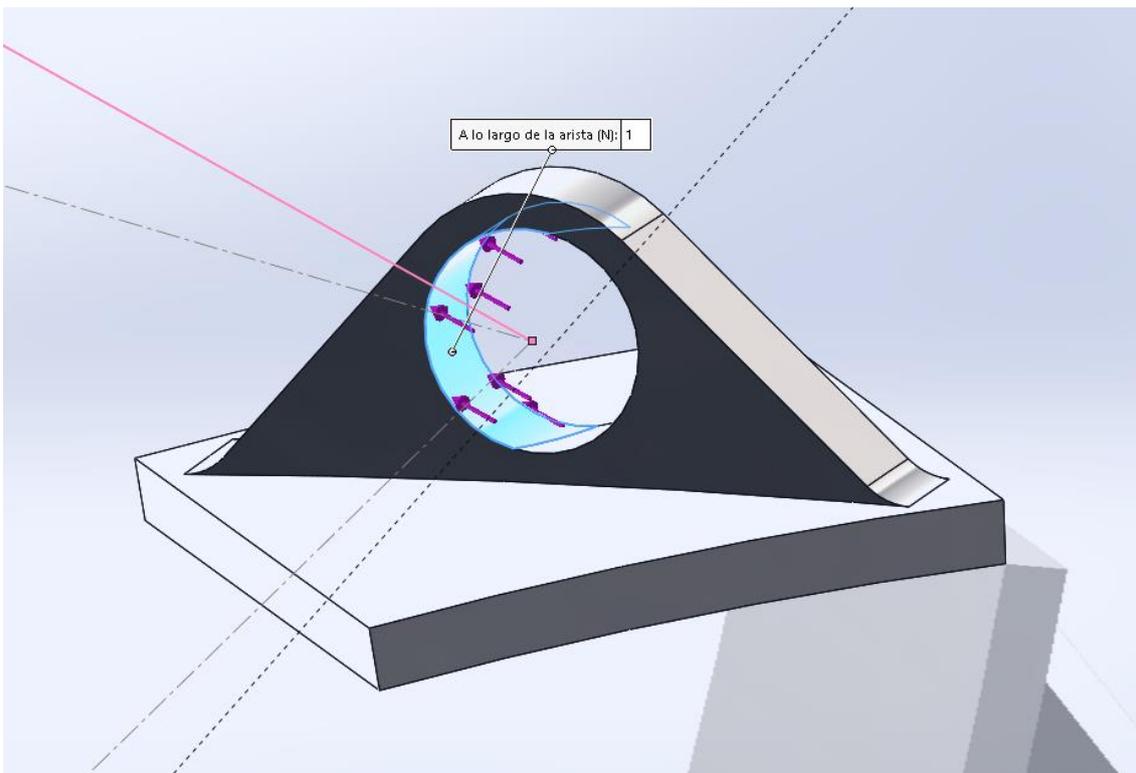


Figura 113. Superficie en la que se ejerce la fuerza en la orejeta de izaje para la simulación.

Para crear la simulación, pondremos la fuerza ejercida en la superficie interior del orificio creada anteriormente y aplicando la sujeción en la superficie inferior de la placa, donde se soldará al depósito (Figura 115).

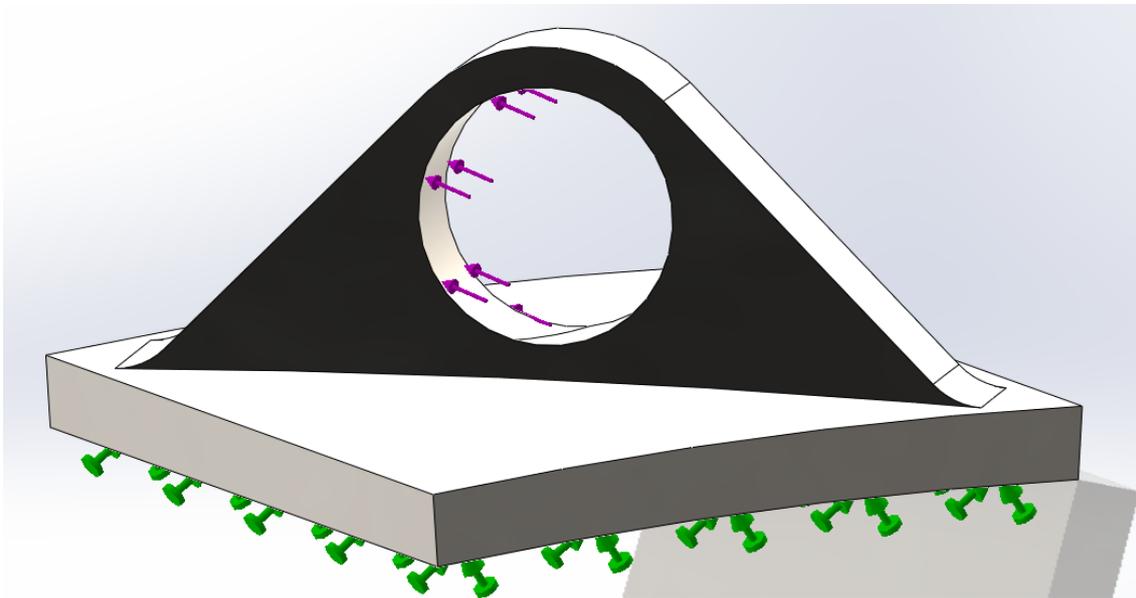


Figura 114. Fuerzas y sujeciones aplicadas en la orejeta de izaje para la simulación.

Resultados.

- Von Mises (Figura 116):

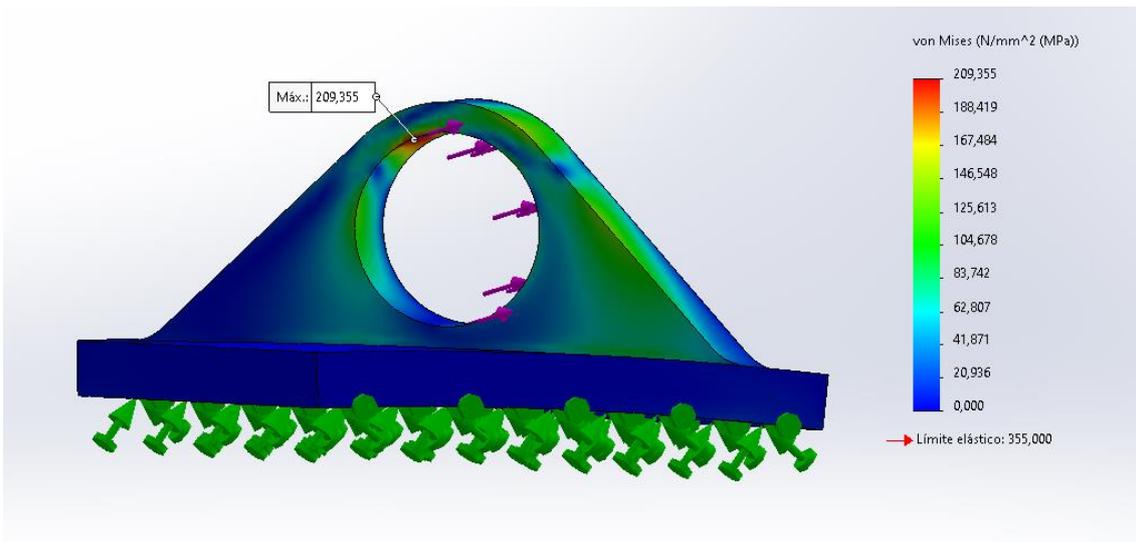


Figura 115. Tensiones de vonMises en la simulación de las orejetas de izaje.

- Factor de seguridad (Figura 117):

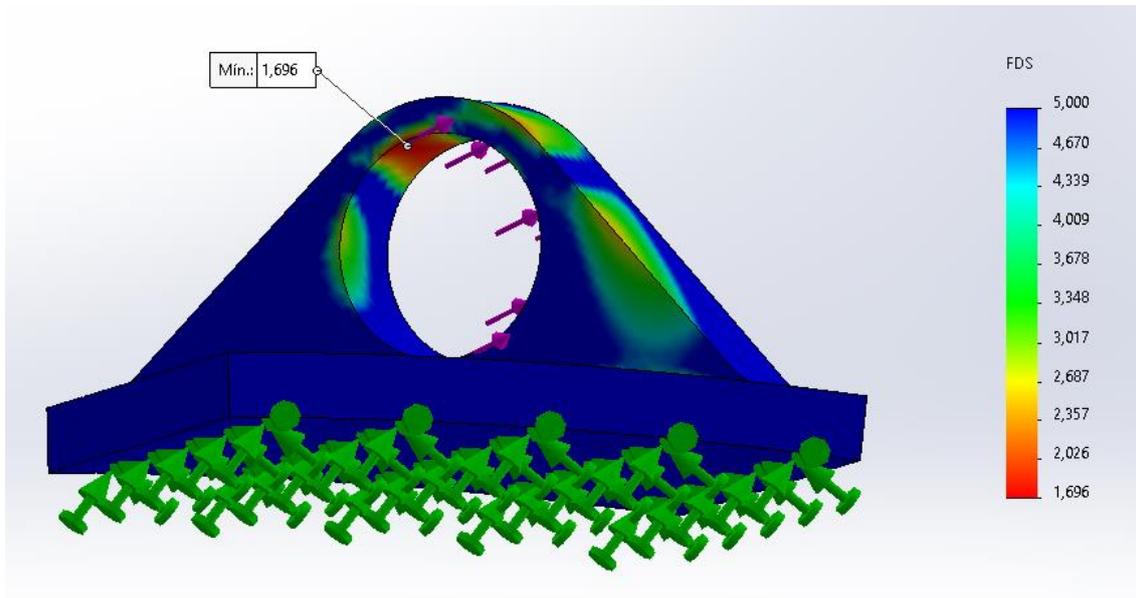


Figura 116. Factor de seguridad en la simulación de las orejetas de izaje.

- Desplazamientos (Figura 118):

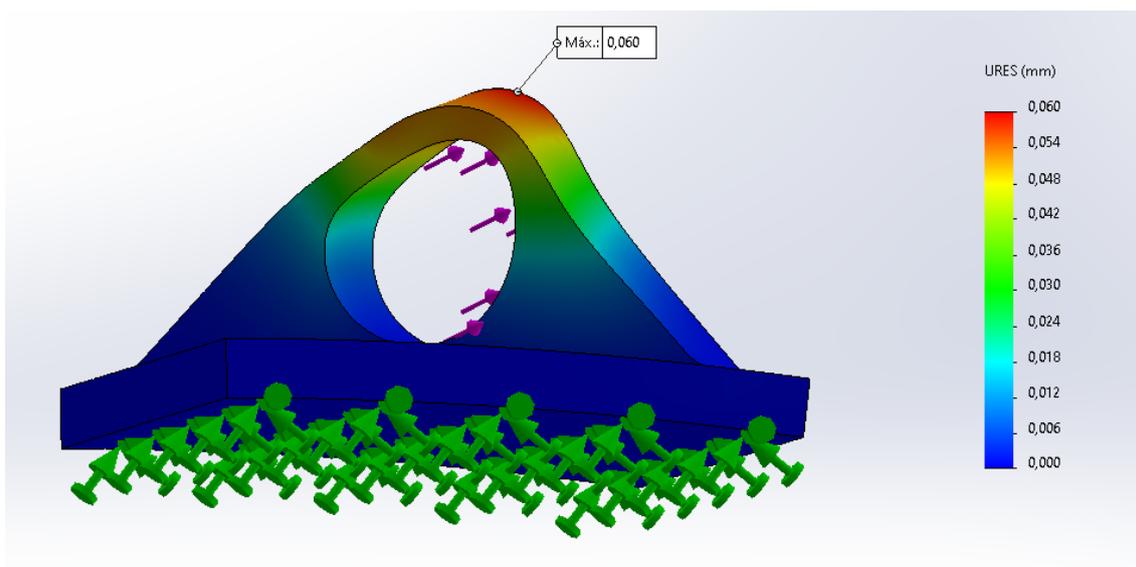


Figura 117. Desplazamientos en la simulación de las orejetas de izaje.

Conclusión.

Como resultado tenemos un valor máximo de Von Mises de alrededor de 209.355 Mpa, que se produce en el interior del orificio circular, de donde tirara el gancho al levantar el depósito en peso para su colocación y transporte.

También vemos que el desplazamiento máximo será de 0.060 mm, es decir, prácticamente no se desplazará nada y por lo tanto casi ni se deformará la pieza, aunque en la imagen los desplazamientos están aumentados para poder apreciar la deformación (Figura 118).

Por último, vemos que el factor de seguridad da un valor mínimo de 1.696, en la zona donde se produce la tensión máxima.

El factor de seguridad mínimo es mayor de 1.5, por lo tanto, la pieza cumpliría con los requisitos de seguridad y es válida para este depósito.

4.7.2- Cálculo de los tornillos de la boca de hombre.

La boca de hombre se hará conforme la “norma UNE-EN 1092-1:2019”:

“a) Tornillos: vástago totalmente roscado (tornillo con cabeza hexagonal) de acuerdo con la Norma EN ISO 4014 con una tuerca, suave y lubricado con un coeficiente de fricción de 0,2.

b) Material de la tornillería:

1) M39: tensión de diseño nominal en funcionamiento 200 MPa, en el montaje y ensayo 285,7 MPa;

NOTA 1 Está cerca de los valores de los tornillos 5.6.

2) > M39: tensión de diseño nominal en funcionamiento 250 MPa, en el montaje y ensayo 419 MPa.

NOTA2 Está cerca de los valores de 25CrMo4.

c) Módulo de elasticidad: 212 000 MPa.

d) Torsor hasta, e inclusive, M20, par de torsión por encima de M20.

e) Valor de dispersión según el anexo C de la Norma EN 1591-1:2013 para un único tornillo máximo

M20: $\pm 0,4$ y para tornillos superiores a M20: $\pm 0,2$.

- f) *Inclinación permitida en la placa de la brida: 1,0°.*
- g) *Categoría de resistencia de los tornillos de acuerdo con la Norma EN 1515-2, resistencia media.*
- h) *Ratio de pretensión de los pernos mínima: Ratio de carga mínimo 0,3.*
- i) *Número de montajes y remontajes a lo largo de la vida útil: 20.*
- j) *Coefficiente integral de expansión térmica α (10-6/K) = 11,9.”*

En un principio tenemos la configuración de 20 tornillos de M30. Para realizar la simulación vamos a elegir un grado de tornillo de 10.9, que es el intermedio compatible con M30.

Para obtener los datos de los tornillos que vamos a usar en SolidWorks, nos ayudaremos de las tablas 15 y 16.

| Diámetro mayor nominal d , mm | Serie de paso grueso | | | Serie de paso fino | | |
|---------------------------------|----------------------|---|---|--------------------|---|---|
| | Paso p , mm | Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ² | Área del diámetro menor A_r , mm ² | Paso p , mm | Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ² | Área del diámetro menor A_r , mm ² |
| 1.6 | 0.35 | 1.27 | 1.07 | | | |
| 2 | 0.40 | 2.07 | 1.79 | | | |
| 2.5 | 0.45 | 3.39 | 2.98 | | | |
| 3 | 0.5 | 5.03 | 4.47 | | | |
| 3.5 | 0.6 | 6.78 | 6.00 | | | |
| 4 | 0.7 | 8.78 | 7.75 | | | |
| 5 | 0.8 | 14.2 | 12.7 | | | |
| 6 | 1 | 20.1 | 17.9 | | | |
| 8 | 1.25 | 36.6 | 32.8 | 1 | 39.2 | 36.0 |
| 10 | 1.5 | 58.0 | 52.3 | 1.25 | 61.2 | 56.3 |
| 12 | 1.75 | 84.3 | 76.3 | 1.25 | 92.1 | 86.0 |
| 14 | 2 | 115 | 104 | 1.5 | 125 | 116 |
| 16 | 2 | 157 | 144 | 1.5 | 167 | 157 |
| 20 | 2.5 | 245 | 225 | 1.5 | 272 | 259 |
| 24 | 3 | 353 | 324 | 2 | 384 | 365 |
| 30 | 3.5 | 561 | 519 | 2 | 621 | 596 |
| 36 | 4 | 817 | 759 | 2 | 915 | 884 |
| 42 | 4.5 | 1 120 | 1 050 | 2 | 1 260 | 1 230 |
| 48 | 5 | 1 470 | 1 380 | 2 | 1 670 | 1 630 |
| 56 | 5.5 | 2 030 | 1 910 | 2 | 2 300 | 2 250 |
| 64 | 6 | 2 680 | 2 520 | 2 | 3 030 | 2 980 |
| 72 | 6 | 3 460 | 3 280 | 2 | 3 860 | 3 800 |
| 80 | 6 | 4 340 | 4 140 | 1.5 | 4 850 | 4 800 |
| 90 | 6 | 5 590 | 5 360 | 2 | 6 100 | 6 020 |
| 100 | 6 | 6 990 | 6 740 | 2 | 7 560 | 7 470 |
| 110 | | | | 2 | 9 180 | 9 080 |

Tabla 15. Tabla de propiedades de tornillos según diámetro nominal "Shigley's".

| Clase de propiedad | Intervalo de tamaños, inclusive | Resistencia de prueba mínima,† MPa | Resistencia mínima a la tensión,† MPa | Resistencia mínima a la fluencia,† MPa | Material | Marca en la cabeza |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|---|---|
| 4.6 | M5-M36 | 225 | 400 | 240 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 4.8 | M1.6-M16 | 310 | 420 | 340 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 5.8 | M5-M24 | 380 | 520 | 420 | Acero de bajo o medio carbono |  |
| 8.8 | M16-M36 | 600 | 830 | 660 | Acero de medio carbono, T y R |  |
| 9.8 | M1.6-M16 | 650 | 900 | 720 | Acero de medio carbono, T y R |  |
| 10.9 | M5-M36 | 830 | 1 040 | 940 | Acero martensítico de bajo carbono, T y R |  |
| 12.9 | M1.6-M36 | 970 | 1 220 | 1 100 | Acero aleado, T y R |  |

Tabla 16. Tabla de resistencias de los tornillos según su grado o clase de propiedad "Shigley's".

En la Tabla 17 se muestran las propiedades y datos obtenidos de los tornillos que se van a utilizar, tanto de métrica 30 como 36.

| Métrica (mm) | Longitud (mm) | Grado | Serie de paso | Área de esfuerzo de tensión. At (mm ²) | Resistencia mínima a fluencia. Smf (Mpa) | Resistencia de prueba mínima. Sp (Mpa) | Fuerza debida al apriete. Fi (N) | Par de apriete. T (Nm) |
|--------------|---------------|-------|---------------|--|--|--|----------------------------------|------------------------|
| 30 | 120 | 10.9 | Grueso | 561 | 940 | 830 | 349222.5 | 1800 |
| 36 | 120 | 10.9 | Grueso | 817 | 940 | 830 | 508582.5 | 3000 |

Tabla 17. Tabla con propiedades para el cálculo de tornillos a utilizar.

Cálculo de la fuerza debida al apriete y el par de apriete.

Para calcular la fuerza debido al apriete (F_i) debemos tener en cuenta que los tornillos deben ser reutilizables y para ello deben cumplir:

$$F_i \leq 0.75 F_p$$

$$F_p = A_t \cdot S_p$$

Siendo F_p la carga de prueba.

$$F_i = 0.75 \cdot A_t \cdot S_p = 0.75 \cdot 561 \cdot 830 = 349222.5 \text{ N}$$

El cálculo del par de apriete se realiza con la siguiente formula y teniendo en cuenta que la condición del perno tendrá un tratamiento de galvanizado para evitar su corrosión al estar a la intemperie, debiendo aplicar una constante para ello (Tabla 18).

$$T = K \cdot F_i \cdot d$$

| Condición del perno | K |
|----------------------------------|------|
| Sin recubrimiento, acabado negro | 0.30 |
| Galvanizado | 0.20 |
| Lubricado | 0.18 |
| Con recubrimiento de cadmio | 0.16 |
| Con Anti-Seize Bowman | 0.12 |
| Con tuercas Bowman-Grip | 0.09 |

Tabla 18. Tabla de la constante "K" según el recubrimiento del tornillo.

$$T = K \cdot F_i \cdot d = 0.20 \cdot 349222.5 \cdot 30 = 2095335 \text{ Nmm} = 2095.335 \text{ Nm}$$

Tenemos que para que sea reutilizable, el par de apriete máximo que podemos ejercer al tornillo sería de 2095.335, pero en nuestro caso, usaremos uno por debajo de este máximo calculado. El par de apriete para los tornillos será de 1800 Nm.

Para la simulación en SolidWorks se muestra la boca de hombre con sus tornillos y tuercas correspondientes y la presión aplicada en la tapa del depósito (Figuras 119 y 120).

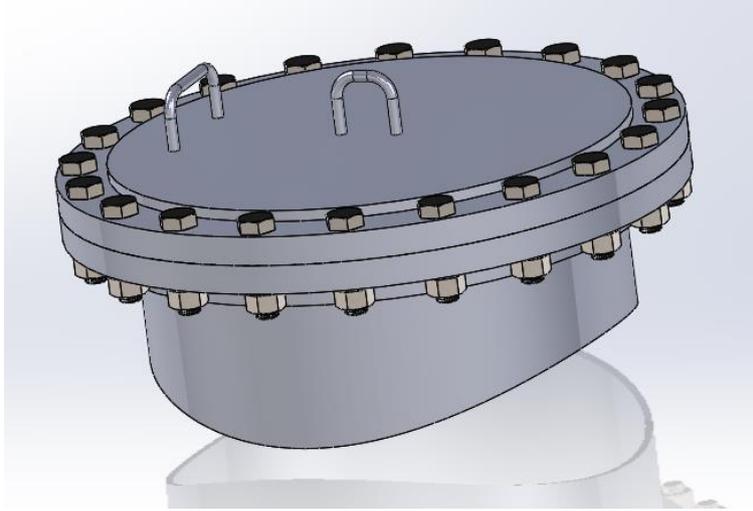


Figura 118. Boca de hombre con tornillos.

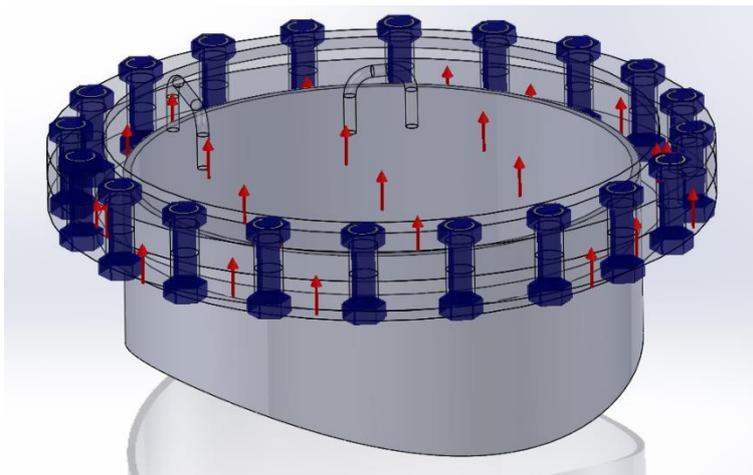


Figura 119. Boca de hombre con las fuerzas de presión aplicadas para la simulación en SolidWorks.

- Von Mises (Figura 121):

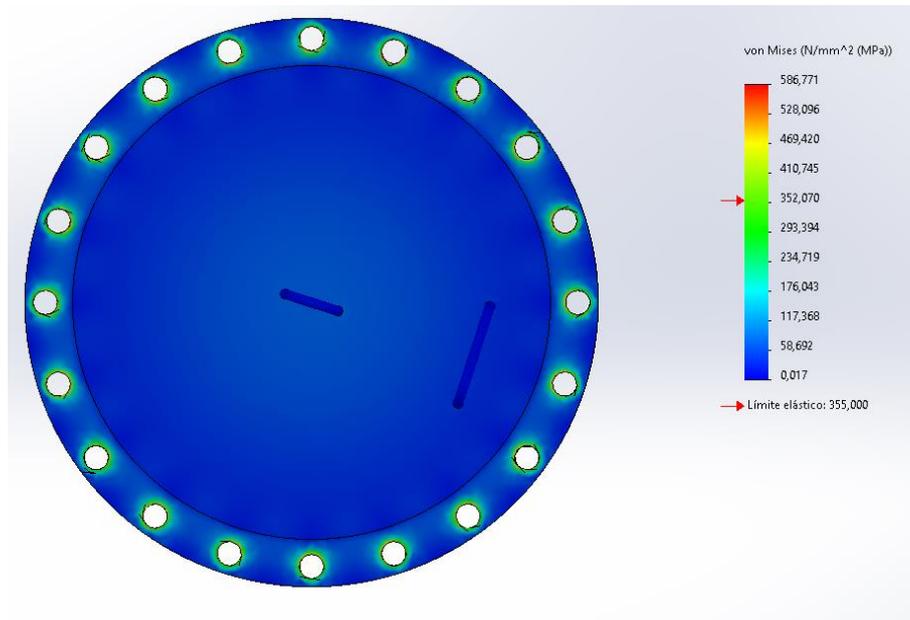


Figura 120. Tensiones de vonMises en la simulación de tornillos en SolidWorks.

- Factor de seguridad (Figura 122):

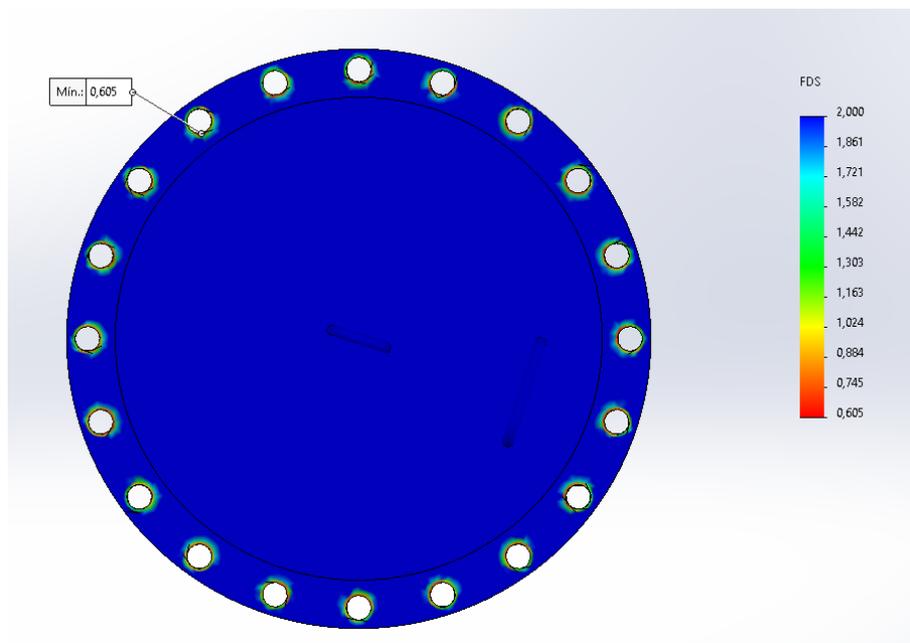


Figura 121. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks.

En las simulaciones de conector perno en SolidWorks se pueden dar resultados incorrectos y concentraciones de tensiones que no se ajustan a la realidad en el cálculo de tensiones en las proximidades del conector.

Por ello, vemos que la pieza resistirá la presión ejercida sobre la tapa y sólo tendremos un factor de seguridad bajo en algunos puntos alrededor de la cabeza de los tornillos, que no tendremos en cuenta.

Vemos entonces si los tornillos cumplen el requisito de factor de seguridad que precisamos, que será al menos de 1.5, para garantizar la estanqueidad de las piezas.

En la comprobación de perno de SolidWorks, el programa nos indica que los tornillos no cumplen el requisito de factor de seguridad de 1.5 que necesitamos en nuestro caso (Figura 123).

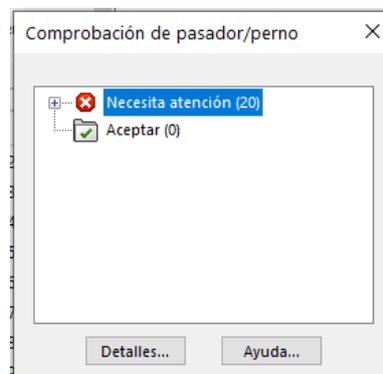


Figura 122. Comprobación de perno en SolidWorks.

Los 20 tornillos tendrán un resultado parecido y vemos que ninguno de ellos cumpliría, aunque tienen un factor de seguridad aproximado de 1.4 (Figura 124).

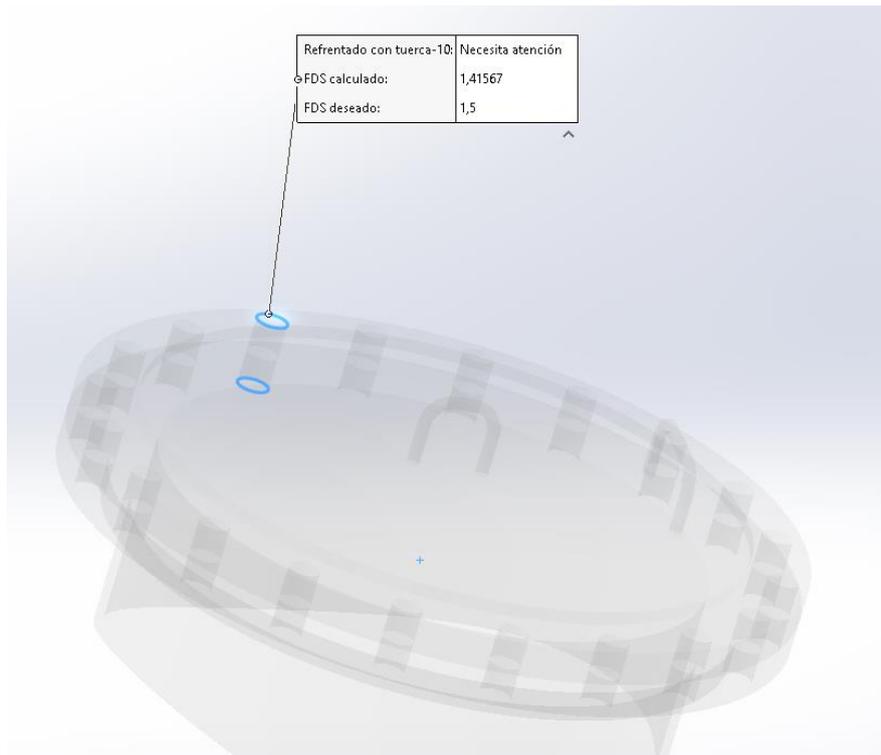


Figura 123. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks.

Al no cumplir los requisitos, se realiza un cambio en la configuración de los tornillos, cambiando la métrica de 30 a 36.

Al cambiar la métrica debemos cambiar los datos del tornillo y volver a calcular el par de apriete para esta medida de tornillo con el mismo grado.

$$F_i = 0.75 \cdot A_t \cdot S_p = 0.75 \cdot 817 \cdot 830 = 508582.5 \text{ N}$$

$$T = K \cdot F_i \cdot d = 0.20 \cdot 508582.5 \cdot 36 = 3661794 \text{ Nmm} = 3661.794 \text{ Nm}$$

El par de apriete entonces, similar al caso anterior, será un poco más bajo que el máximo con 3000 Nm.

- Von Mises (Figura 125):

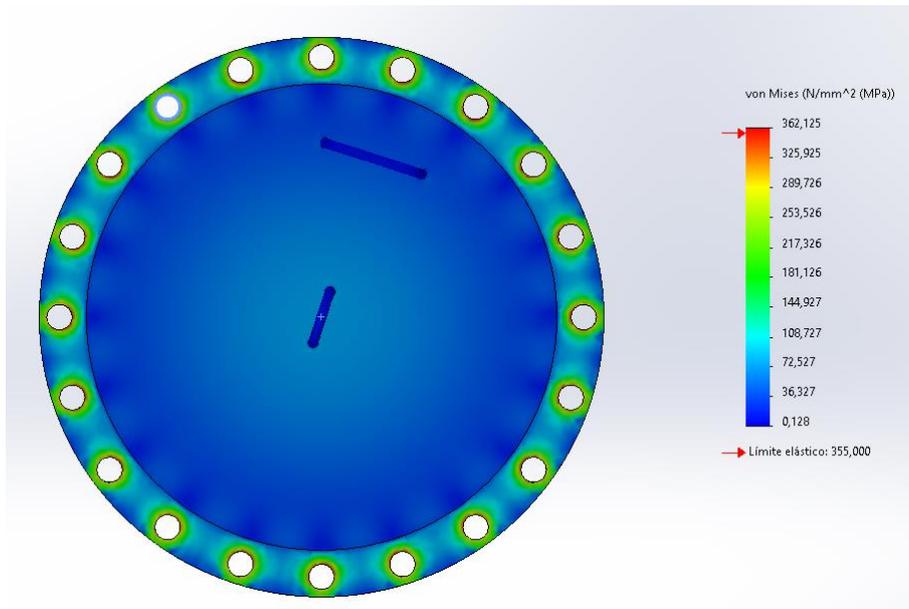


Figura 124. Von Mises en la tapa de boca de hombre con tornillos.

- Factor de seguridad (Figura 126):

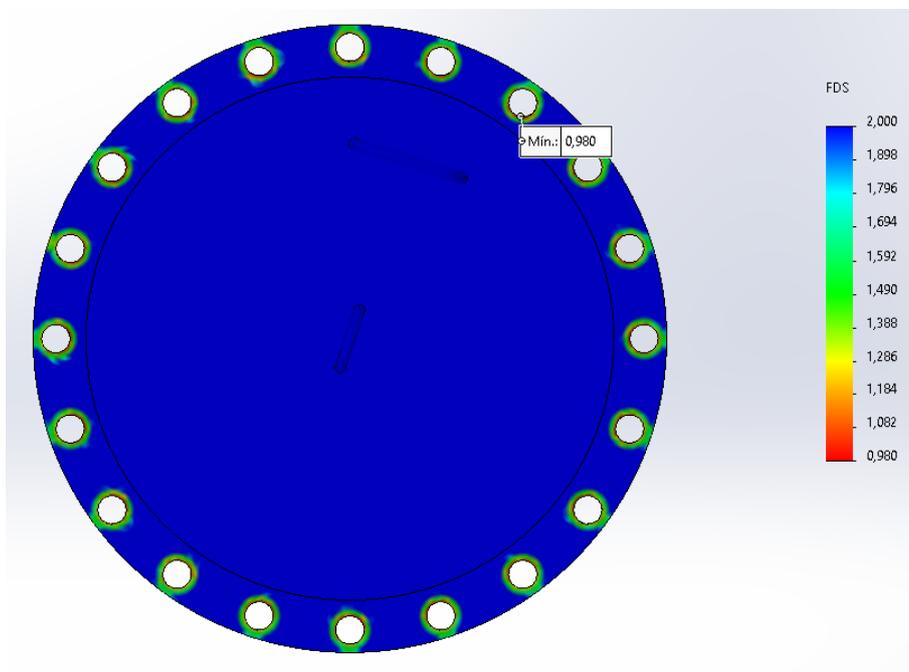


Figura 125. Factor de seguridad en la tapa de boca de hombre con tornillos.

Al igual que en el caso anterior ningún tornillo cumple, por lo que tampoco valdría esta configuración para nuestro depósito (Figura 127).

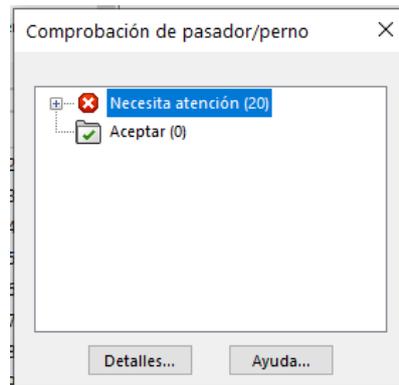


Figura 126. Comprobación de perno en SolidWorks.

En la Figura 128 se puede comprobar que el factor de seguridad aproximado de los tornillos es de 1.35, por lo que no llega al deseado.

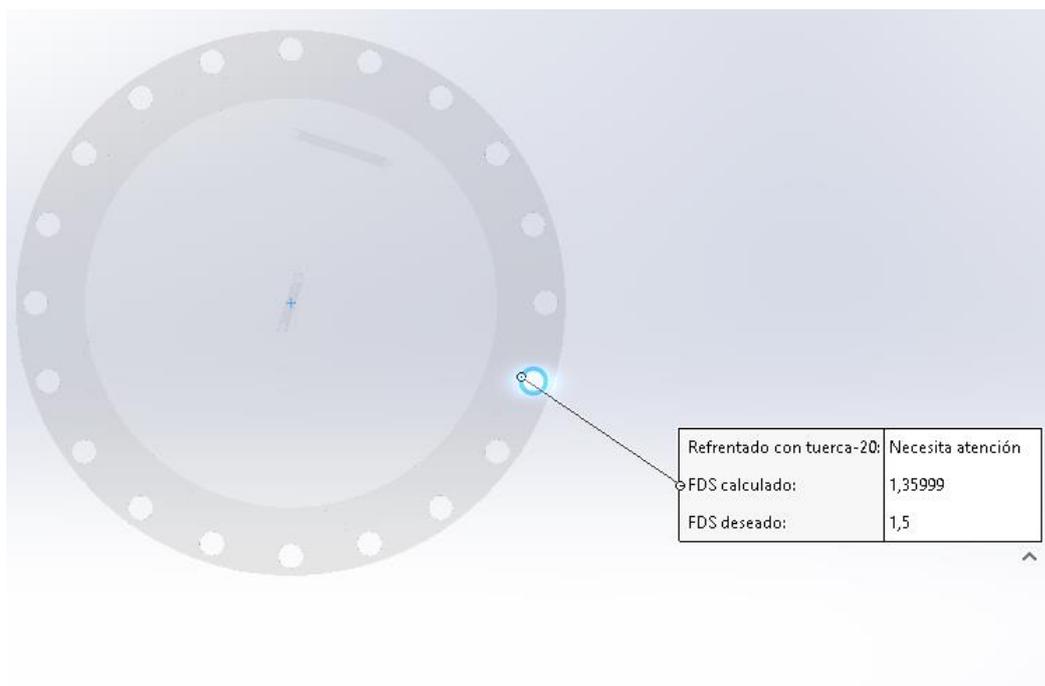


Figura 127. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks.

Configuración de 22 tornillos M30.

- Von Mises (Figura 129):

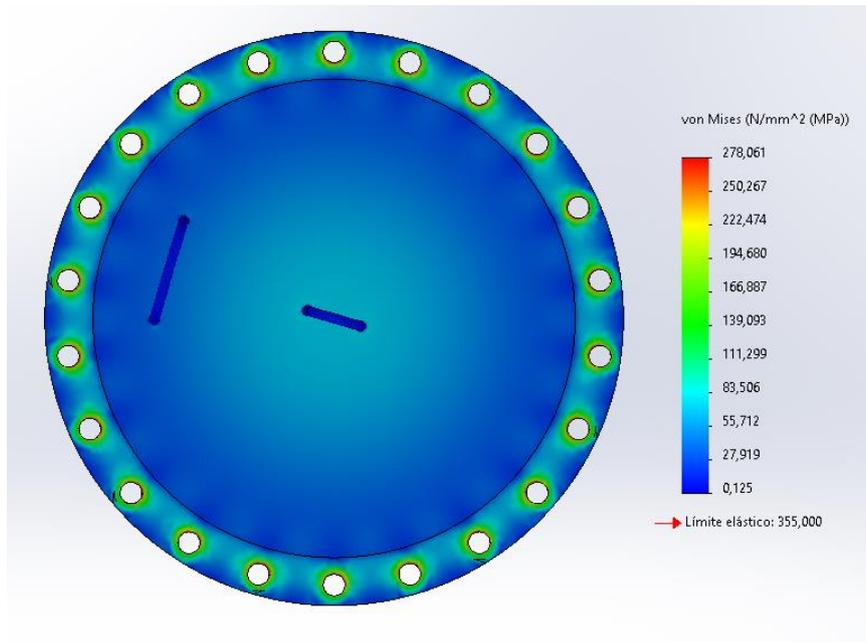


Figura 128. Von Mises en la tapa de boca de hombre con tornillos.

- Factor de seguridad (Figura 130):

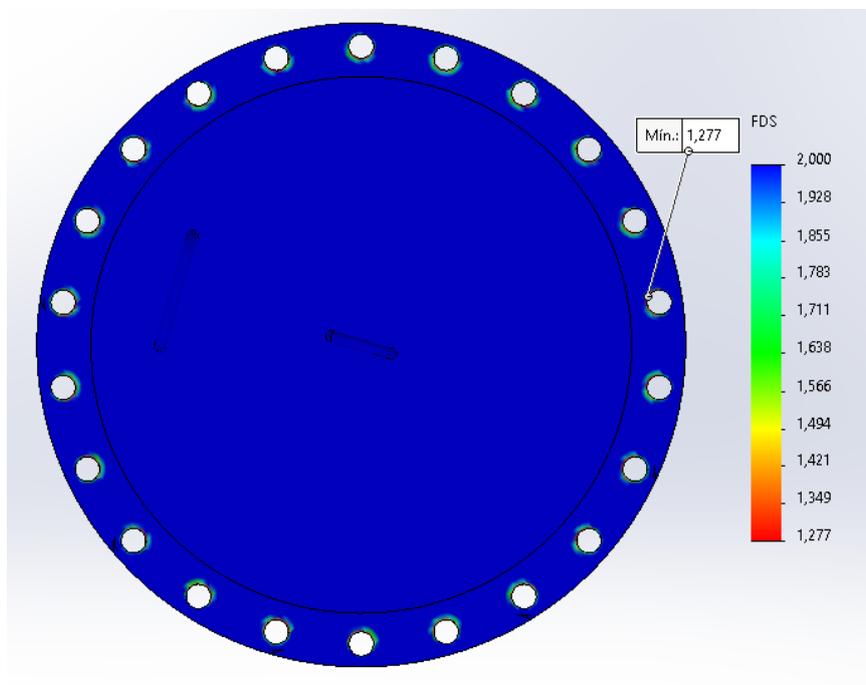


Figura 129. Factor de seguridad en la tapa de boca de hombre con tornillos.

Vemos que en este caso si cumplirían el factor de seguridad deseados todos los tornillos, por lo tanto, esta configuración con métrica 30 si sería válida para garantizar la seguridad en este depósito (Figura 131), con un factor de seguridad aproximado de 1,85 en cada tornillo (Figura 132).

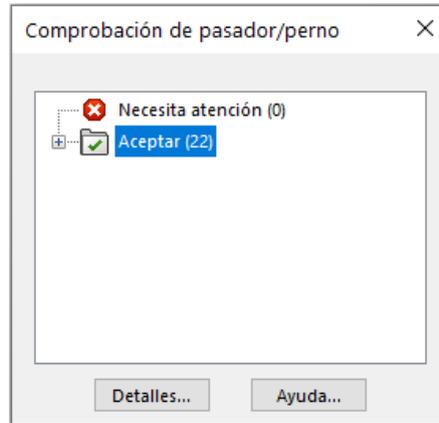


Figura 130. Comprobación de perno en SolidWorks.

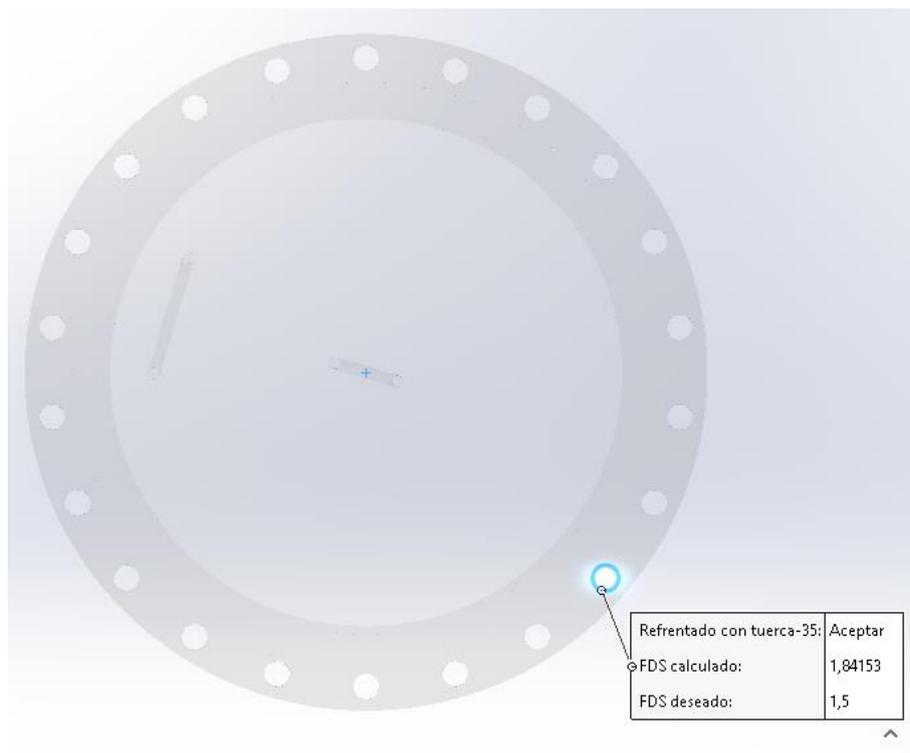


Figura 131. Factor de seguridad en la simulación de tornillos en SolidWorks.

Conclusión

Se elige la configuración de 22 tornillos de rosca métrica con un diámetro de 30 mm.

El tornillo será con el vástago totalmente roscado, con cabeza hexagonal y tuerca, de acuerdo con la Norma EN ISO 4014. La calidad del tornillo será de grado 10.9.

Características del tornillo:

- ISO 4014.
- Cabeza hexagonal con tuerca.
- Calidad de grado 10.9.
- Rosca métrica de diámetro 30mm (M30)
- Longitud de 120mm.
- Vástago totalmente roscado.
- Acabado galvanizado.

4.7.3- Cálculo de esfuerzos en la escalera.

En la escalera se realizarán dos simulaciones, una con la carga horizontal aplicada en un peldaño y otra simulación con la misma carga, pero en la base superior de la escalera. La carga establecida será la simulación del peso de una persona media, alrededor de 80 kg, y por lo tanto, la fuerza ejercida por ese peso sería de 784.8 N.

$$F = 80 \cdot 9.81 = 784.8 \text{ N}$$

Para realizar la simulación sobredimensionaremos la fuerza ejercida multiplicándola por 2.5.

$$F = 784.8 \cdot 2.5 = 1962 \text{ N}$$

Y para redondear, la fuerza de simulación será de 2000 N.

$$F = 2000 \text{ N}$$

Los tornillos usados en la escalera serán de M12 y GRADO 5.8. Sus propiedades y características se muestran en la Tabla 19.

| Métrica (mm) | Longitud (mm) | Grado | Serie de paso | Área de esfuerzo de tensión. At (mm ²) | Resistencia mínima a fluencia. Smf (Mpa) | Resistencia de prueba mínima. Sp (Mpa) | Fuerza debida al apriete. Fi (N) | Par de apriete. T (Nm) |
|--------------|---------------|-------|---------------|--|--|--|----------------------------------|------------------------|
| 12 | 50 | 5.8 | Grueso | 84.3 | 420 | 380 | 24025 | 50 |

Tabla 19. Tabla de propiedades y características de los tornillos de la escalera.

$$F_i = 0.75 \cdot A_t \cdot S_p = 0.75 \cdot 84.3 \cdot 380 = 24025 \text{ N}$$

$$T = K \cdot F_i \cdot d = 0.20 \cdot 24025 \cdot 12 = 57661.2 \text{ Nmm} = 57.6612 \text{ Nm}$$

El par de apriete será un poco menos del máximo para que sea reutilizable.

$$T = 50 \text{ Nm}$$

En primer lugar, se realiza la simulación de los tornillos para ver si cumplen con el factor de seguridad, tanto para la fuerza en el peldaño como para la fuerza en la base superior y después realizamos las simulaciones con las respectivas fuerzas para ver las tensiones en la escalera.

Simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño.

Para la simulación pondremos la fuerza ejercida verticalmente en el peldaño y las sujeciones donde se colocarán los tornillos, uniendo la escalera al depósito (Figura 133).

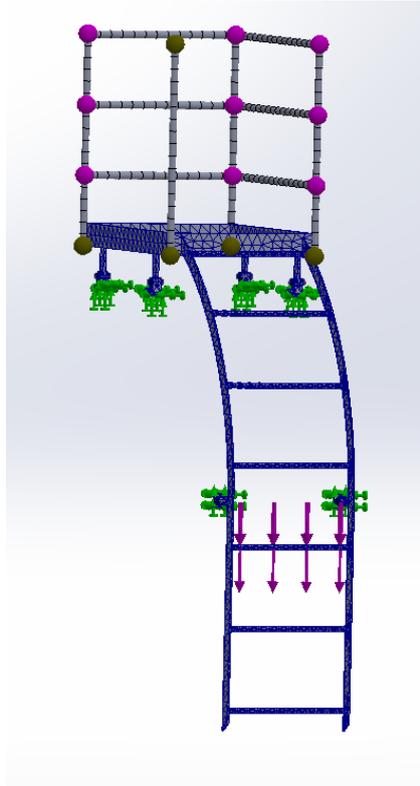


Figura 132. Sujeciones y fuerzas para la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño.

Vemos que cumplen todos los tornillos con un factor de seguridad mínimo de 2.394 en los tornillos inferiores y un factor mayor de alrededor de 11 en los superiores (Figuras 134 y 135).

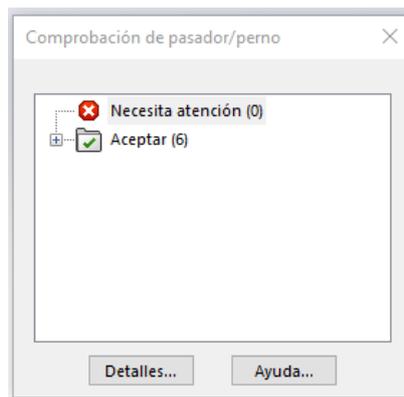


Figura 133. Comprobación de pernos en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño.

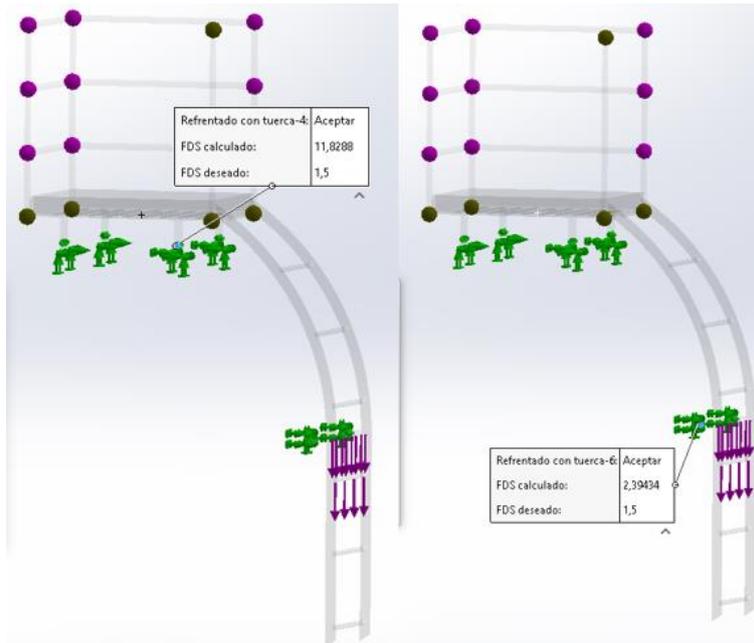


Figura 134. Factor de seguridad en los tornillos de la escalera en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en el peldaño.

Simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en la base superior.

Para la simulación tendremos una fuerza ejercida verticalmente en sentido descendente sobre la superficie de la base superior y las sujeciones donde se colocarán los tornillos, uniendo la escalera al depósito (Figura 136).

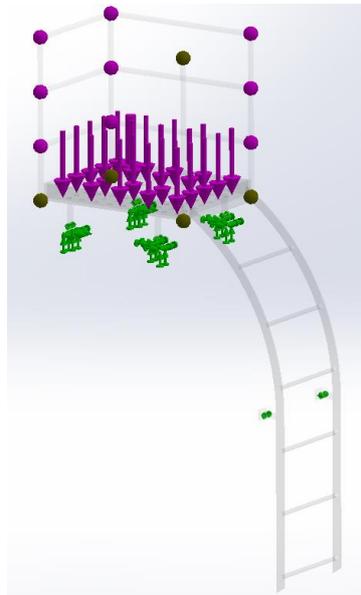


Figura 135. Sujeciones y fuerzas ejercidas en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en la base superior.

En este caso también cumplen el factor de seguridad, obteniendo un índice alto en todos los tornillos de aproximadamente 12 (Figura 137).

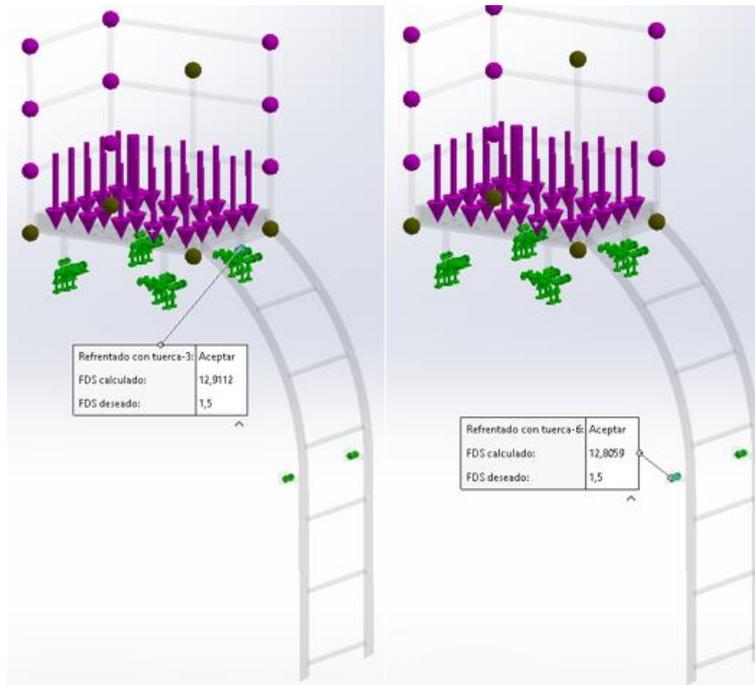


Figura 136. Factor de seguridad en los tornillos en la simulación de los tornillos con la fuerza ejercida en la base superior.

Simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en el peldaño.

- Von Mises (Figura 138):

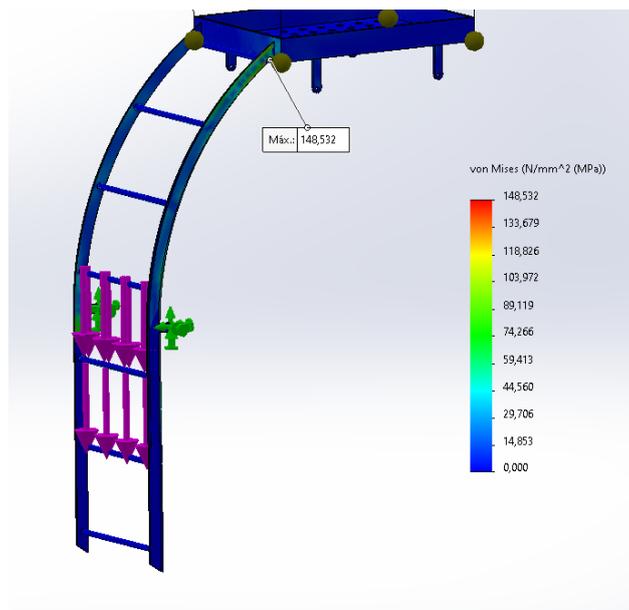


Figura 137. Von Mises en simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en el peldaño.

- Factor de seguridad (Figura 139):

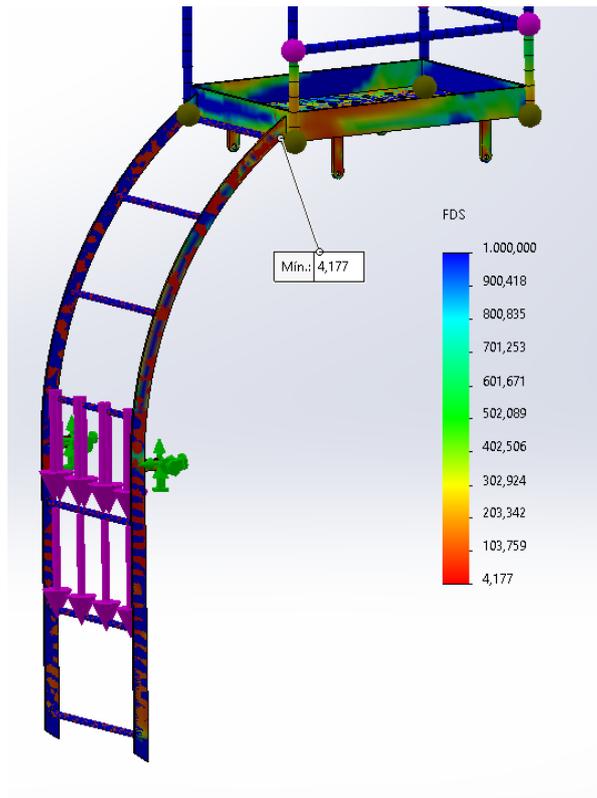


Figura 138. Fator de seguridad en simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en el peldaño.

El factor de seguridad mínimo que obtenemos en la simulación es de 4.177 en la unión de las guías de la escalera con la base superior, que es donde se produce la máxima tensión de Von Misses, y la escalera cumple perfectamente los requisitos de seguridad.

Simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en la base superior.

- Von Mises (Figura 140):

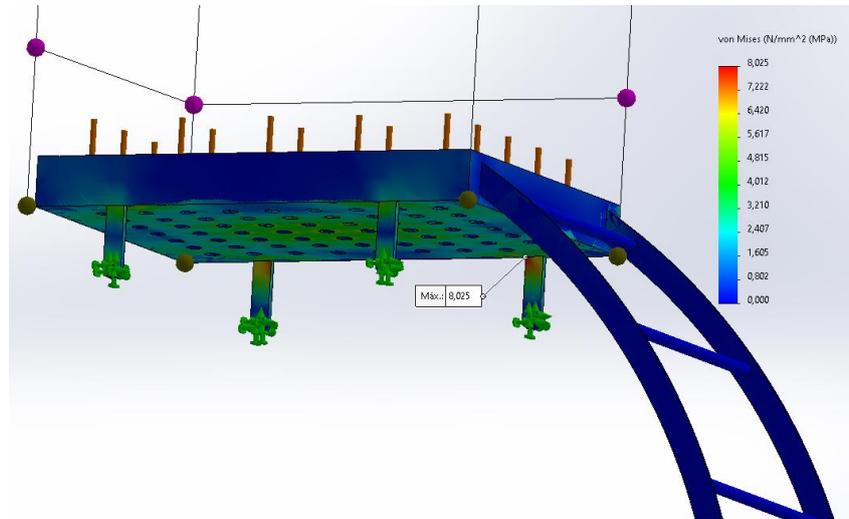


Figura 139. Von Mises en la simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en la base superior.

- Factor de seguridad (Figura 141):

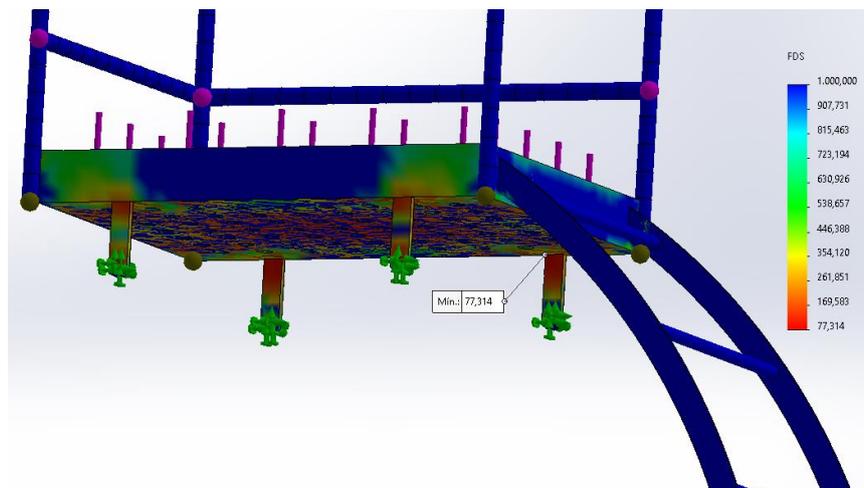


Figura 140. Factor de seguridad en la simulación de la estructura de la escalera con la fuerza ejercida en la base superior.

En este caso, el factor de seguridad es bastante más alto, al estar la fuerza repartida en los 4 soportes, restando sufrimiento al resto de la escalera.

El factor de seguridad mínimo es de 77.314 producido en la unión de los soportes con la base, por lo tanto cumpliría perfectamente con los parámetros.

4.8- Acabado superficial.

Según norma UNE-EN 12542:

Los depósitos deben estar protegidos contra la corrosión externa debida a las condiciones atmosféricas mediante un revestimiento protector. El sistema de protección aplicado debe considerar:

- las condiciones locales del entorno de operación;*
- la duración entre las inspecciones periódicas y de mantenimiento;*
- cualquier revestimiento de protección contra el fuego, o cualquier otro revestimiento.*

Los detalles del sistema de protección aplicado, su vida útil estimada, y las recomendaciones de mantenimiento del revestimiento, deben estar incluidos en las instrucciones de operación.

El acabado superficial que tendrá este depósito será de un granallado por toda la superficie externa, una aplicación de imprimación epoxi-poliamida de gran capacidad de protección y acabado en poliuretano.

- Granallado: El proceso de granallado es una técnica de tratamiento superficial por impacto con el cual se puede lograr un excelente grado de limpieza y simultáneamente una correcta terminación superficial en una amplia gama de piezas metálicas y no metálicas.

El granallado se usa en piezas de nueva fabricación ya que éstas contienen escorias y calaminas de fundición, aceites de mecanizado, etc.

Las piezas pintadas que han sido tratadas con granalla resisten mucho mejor los ensayos de adherencia de la pintura, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión.

- Epoxi-poliamida: Es un producto industrial formulado a base de resina epóxica poli-amida que es utilizado como imprimación en estructuras metálicas donde se requiere alta resistencia a productos químicos.

Consiste en un recubrimiento Epoxi de dos componentes, curado con poli-amida. Constituye el acabado final de sistemas de alto desempeño, de larga durabilidad excepcionalmente resistente a la corrosión y a la humedad.

- Acabado en poliuretano: Los acabados de poliuretano son esencialmente revestimientos de plástico líquido que se endurecen.

Es un esmalte de gran dureza con buenas propiedades mecánicas y resistencia a productos químicos y disolventes, con una excelente estabilidad a la luz y a la intemperie y proporciona un acabado de alta calidad.

4.8.1- Reflectividad.

Según “norma UNE-EN 12542”:

“El acabado exterior debe ser de color pálido, y debe tener una reflectividad elevada. Sólo se deben autorizar los colores con un índice de reflexión de 1, 2, o 3.”

| Índice | Color |
|---------------|--|
| 1 | blanco, marfil, zinc, aluminio, y plata |
| 2 | amarillo hasta la gama RAL 1021 gris hasta la gama RAL 7035 verde hasta la gama RAL 6019 |
| 3 | todo el resto de colores a excepción del azul oscuro y el negro |

Tabla 20. Tabla de índice de reflexión según “norma UNE-EN 12542”.

En nuestro caso, se ha elegido el color blanco para el depósito por su índice de reflexión (Tabla 20), al ser uno de los colores con mayor reflectividad, que nos ayudará a que tenga una buena visibilidad y a bajar las temperaturas del metal absorbiendo menos calor de los rayos solares.

4.9- Tornillería.

El método de unión elegido para la tapa de la boca de hombre y para las escaleras es de tornillo con tuerca de cabeza hexagonal.

Para la sujeción de los soportes del depósito con la base de hormigón, usaremos espárragos roscados con tuerca hexagonal. Este método consiste en perforar el hormigón e introducir una varilla roscada con taco químico, de modo que sobresalga para después poder encajar los soportes en esas varillas y unirlos mediante tuercas hexagonales.

Las características de cada unión se muestran en la Tabla 21.

| | Boca de hombre | Soportes de escalera | Soportes depósito |
|-----------------------|---------------------|----------------------|--------------------------------|
| Tipo | Tornillo con tuerca | Tornillo con tuerca | Espárragos roscados con tuerca |
| Métrica | 30 | 12 | 16 |
| Norma | ISO 4014 | ISO 4162 | DIN 975 |
| Calidad | 10.9 | 5.8 | 8.8 |
| Longitud del tornillo | 120mm | 50mm | 150mm |
| Longitud de rosca | 120mm | 30mm | 150mm |
| Paso de rosca | Grueso | Grueso | Grueso |
| Acabado | Galvanizado | Galvanizado | Galvanizado |
| Cantidad de tornillos | 22 | 6 | 16 |

Tabla 21. Tabla de las características de los tornillos y pernos usados en este depósito.

4.10- Etiquetado.

Según “norma UNE 60250”:

“En la estación de GLP se debe disponer del siguiente material:

- *Carteles indicadores con el siguiente texto: "Gas inflamable" "Prohibido fumar y encender fuego", que se deben situar en la proximidad de los depósitos, y en caso de existir cerramiento al menos en cada uno de los lados del mismo y en las puertas de acceso (Figura 142).”*



Figura 141. Carteles indicadores para el depósito.

4.11- Marcado y certificación.

Según “norma UNE-EN 12542”:

“Los depósitos deben estar marcados de forma indeleble con una placa de características resistente a la corrosión, u otro elemento apropiado, fijado de forma permanente en una parte no sometida a presión. La posición de este marcado debe permanecer visible cuando el depósito esté instalado. Este marcado debe incluir como mínimo la siguiente información:

- nombre y dirección, o cualquier otro medio de identificación del fabricante;*
- número de serie;*
- número del tipo o lote;*
- límites admisibles superior e inferior de temperatura (TS) y de presión (PS);*
- capacidad nominal en agua, en litros;*
- fecha de fabricación;*
- código de diseño;*
- presión de prueba (PP) en bar y fecha del ensayo.*

Las letras deben tener una altura igual o superior a 4 mm.

NOTA: Cuando sea de aplicación, podría ser necesario añadir el símbolo CE, la marca o identificación del organismo notificado, y cualquier otra información solicitada por el comprador. La altura mínima del símbolo CE es de 5 mm.

Con cada depósito o lote de depósitos debe suministrarse un certificado, en el que se indique su conformidad con los requisitos de esta norma.”

Este depósito, como podemos ver en el extracto de la normativa vigente, debe ir marcado con una placa de características indeleble y resistente a la corrosión, fijada en una parte no sometida a presión. Esta placa debe contener la información detallada en la normativa.

5- Proceso de soldadura.

Para la elección de los procesos de soldadura adecuados para este depósito y para garantizar un mínimo de calidad y de seguridad en nuestro proyecto, se realizará de acuerdo con la “norma UNE 12542” y con las normas que nos enlace en la misma.

Sobre el proceso de soldadura, lo que indica la “norma UNE 12542” es:

“El soldeo debe cumplir las siguientes condiciones:

- el fabricante debe seleccionar los procedimientos de soldeo para las aplicaciones previstas, y los soldadores y operadores de soldeo deben estar cualificados para los trabajos que tengan que desarrollar;*
- las soldaduras longitudinales deben estar realizadas siguiendo un proceso de soldeo mecanizado/automático. Todas las soldaduras circunferenciales realizadas en depósitos de diámetro inferior o igual a 1 250 mm deben estar realizadas siguiendo un proceso de soldeo mecanizado/automático.*

Especificación del procedimiento de soldeo (WPS).

El fabricante debe elaborar las especificaciones del procedimiento de soldeo para todas las uniones, de acuerdo con la Norma EN ISO 15609-1.

Cualificación de la especificación de los procedimientos de soldeo.

Para cualificar las especificaciones del procedimiento de soldeo deben realizarse ensayos de cualificación de acuerdo con la Norma EN ISO 15614-1, o EN ISO 15613.

Cualificación de los soldadores y operadores de soldeo.

Los soldadores deben estar cualificados de acuerdo con la Norma EN 287-1, y los operadores de soldeo de acuerdo con la Norma EN 1418.

Preparación de los bordes a soldar.

La superficie a soldar debe estar totalmente limpia de restos de óxido, de aceite, de grasa, y otras materias extrañas, con el fin de evitar cualquier efecto perjudicial para la calidad de las soldaduras.

Los bordes a soldar deben mantenerse en su posición, mediante un dispositivo mecánico, o mediante soldadura de punteo, o por una combinación de ambos. Las soldaduras de punteo deben retirarse o fundirse de nuevo en el cordón de soldadura.

En ambos casos, el fabricante debe tomar precauciones para que la soldadura de punteo no origine imperfecciones metalúrgicas o falta de homogeneidad.

En el caso de soldeo sin pasada de sellado, el fabricante debe asegurarse de que la alineación y la separación entre los bordes a soldar permiten la penetración requerida al nivel de la raíz de soldadura. Durante toda la operación de soldeo, los bordes a soldar deben mantenerse de forma adecuada con el fin de conservar la geometría requerida para la soldadura.

Ejecución de las uniones soldadas.

Después de cada pasada, deben retirarse los residuos, si es necesario, debe limpiarse la soldadura y eliminar los defectos superficiales de superficie.

A menos que el procedimiento de soldeo no asegure una penetración efectiva y homogénea, el reverso de la unión soldada debe eliminarse hasta alcanzar el metal inalterado mediante un procedimiento mecánico, térmico o por amolado.

Se deben evitar los arcos perdidos en las piezas a presión del depósito fuera de las zonas de preparación de la soldadura.

Cuando se produce un arco perdido de forma accidental, la zona afectada (incluida la zona afectada térmicamente) debe repararse por los medios apropiados.”

5.1- Método de soldeo.

Para elegir el método de soldeo tendremos en cuenta las posibilidades que tenemos con respecto al material que vamos a soldar.

En nuestro caso, tenemos un acero estructural de grano fino P355NL1 y contamos con la ventaja de poder soldar por medio de la mayoría de procesos de soldadura conocidos, tanto manualmente como utilizando un equipo automático.

En este depósito, las uniones soldadas deben tener una penetración total y garantizar la estanqueidad del conjunto sometido a presión.

Para poder cumplir este requisito, además de un correcto diseño y preparación de bordes, necesitamos un proceso de soldeo que nos garantice una soldadura con penetración total sobre las piezas a unir. Para este proyecto se elegirán dos procesos de soldadura, uno para el punteo de sujeción de las piezas y otro para la pasada de raíz y de relleno.

5.1.1- Proceso Tungsten Inert Gas (TIG) para el punteo de sujeción de las piezas.

El proceso de soldadura que ofrece mayor garantía sobre la penetración de la soldadura es el proceso TIG (Figura 143). Con este proceso se consiguen soldaduras de alta calidad y con una elevada pureza metalúrgica, exentas de defectos y con un buen acabado superficial, con la ventaja de que con este proceso no hay escoria y minimiza las tareas de limpieza posterior al soldeo.

El soldeo se realizará de forma manual y utiliza como fuente de energía el arco eléctrico que se establece entre un electrodo no consumible de tungsteno y la pieza a soldar, mientras un gas inerte, generalmente argón puro, protege el baño de fusión. Como material de aporte también es posible el uso de varillas.

Los inconvenientes principales de este proceso son su baja tasa de deposición, lo cual lo ralentiza y en consecuencia es menos rentable. Por otro lado, debido a la dificultad de ejecución se requiere personal técnico cualificado para la realización de las soldaduras.

Por ello se realizará mediante este proceso solo el punteo de las piezas para su sujeción antes de realizar las pasadas correspondientes mediante otro proceso de soldeo más adecuado y con mejor capacidad de ser automatizado como es la soldadura MIG.

El punteo de las piezas a unir se realizará manualmente por un operario cualificado y sin metal de aporte. La finalidad de este procedimiento es garantizar la sujeción de las piezas a unir y su posible desplazamiento por dilataciones producidas por la temperatura adquirida mediante el proceso de soldeo posterior, con la ventaja de poder realizarlo sin metal de aporte y sin escorias, agilizando así el trabajo a realizar. Las soldaduras de punteo deben fundirse de nuevo en el cordón de soldadura posterior.

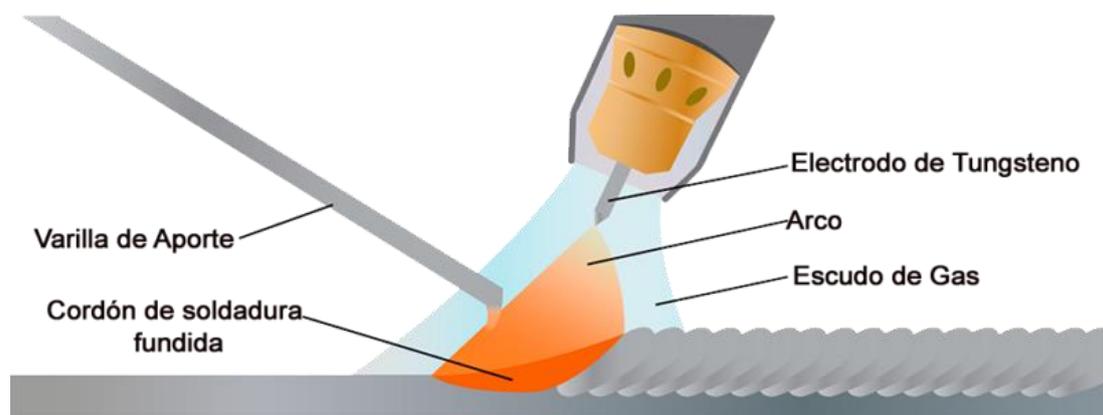


Figura 142. Esquema de procedimiento de soldeo TIG.

5.1.2- Proceso Gas Metal Arc Welding (GMAW) para las pasadas de raíz y relleno.

El proceso de soldadura GMAW (Figura 144) se usará después del punteo de la pieza, tanto para la pasada de raíz como para el relleno total de la junta. El arco eléctrico se establece entre un electrodo consumible y el metal a soldar, siendo el electrodo un alambre sólido desnudo que se alimenta de forma continua y se convierte en el metal depositado según se consume, a la vez que se protege con un gas inerte aportado por la boquilla de la pistola.

Tiene la ventaja de permitir mayores velocidades de soldadura y de deposición, no tener escoria que eliminar y facilidad en el proceso de automatización.

Para este proyecto, como indica la norma, esta soldadura debe ser automatizada tanto para las soldaduras longitudinales como circunferenciales.

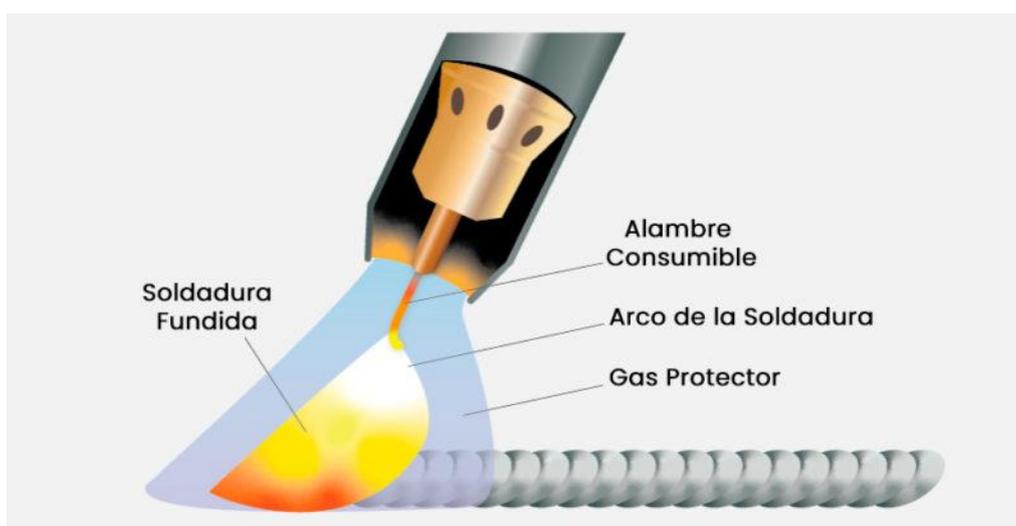


Figura 143. Esquema del procedimiento de soldeo GMAW.

5.2- Diseño de uniones.

El diseño de uniones o bordes para soldadura se realizará conforme a la norma UNE 12542.

5.2.1- Unión en la soldadura longitudinal de la virola.

La soldadura longitudinal de la virola se realizará mediante una unión a tope en V (Figuras 145 y 146).

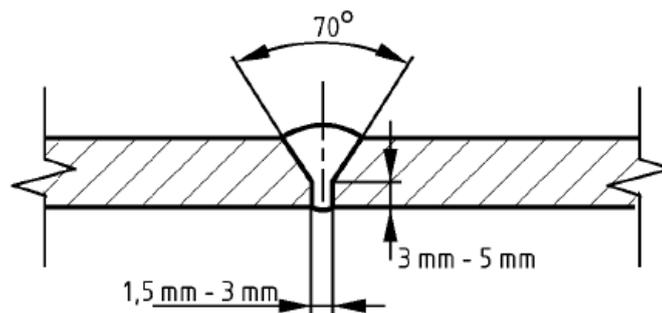


Figura 144. Diseño de bordes según normativa para la soldadura longitudinal de la virola.

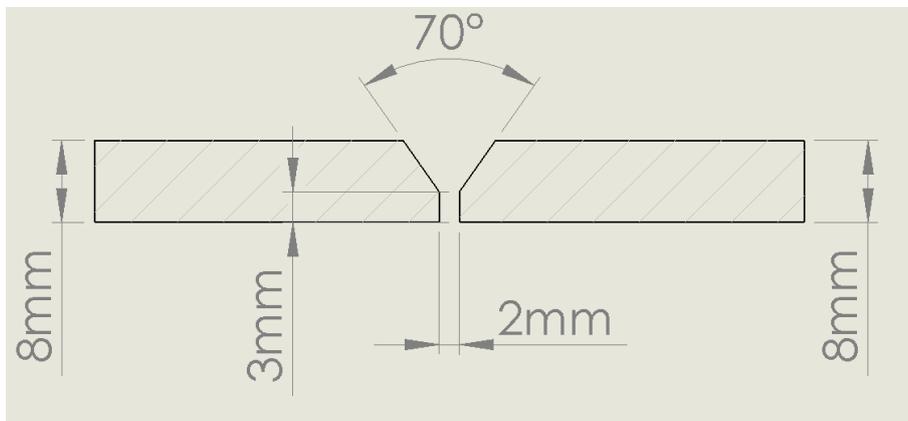


Figura 145. Diseño de bordes elegido para la soldadura longitudinal de la virola.

5.2.2- Unión en la soldadura circular entre virola y fondos.

Para la soldadura circular de la virola con los fondos tenemos espesores diferentes, por ello tenemos que realizar una transición de 1/5 del espesor mayor al menor, con esto evitamos un salto brusco entre espesores que puedan ser más propensos a sufrir concentración de tensiones (Figura 147).

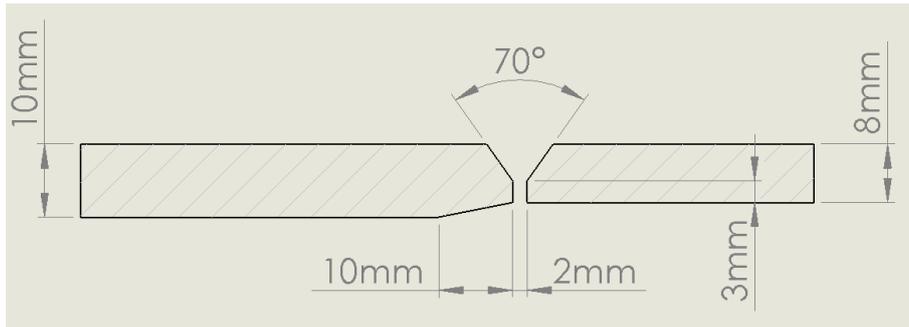


Figura 146. Diseño de bordes elegido para la soldadura circular entre virola y fondos.

5.2.3- Unión en la soldadura de las embocaduras.

Las embocaduras tendrán el diseño apoyadas sobre la virola (Figuras 148 y 149).

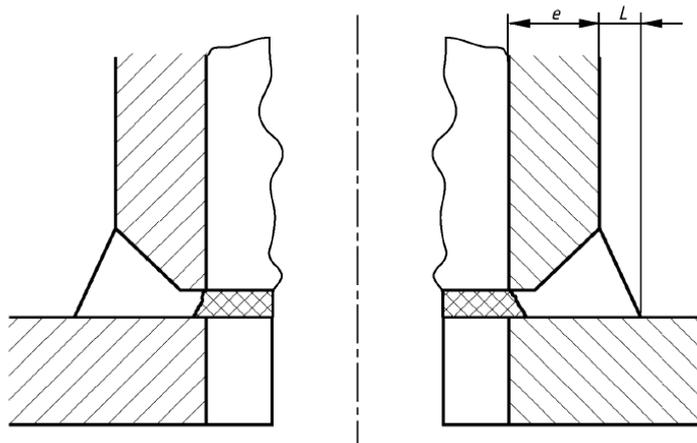


Figura 147. Diseño de bordes para la soldadura de embocadura apoyada sobre la virola según normativa.

Según la norma:

$L = \text{Mínimo } e/3, \text{ pero igual o superior a } 6 \text{ mm}$

$$\text{Como } L = \frac{e}{3} = \frac{8}{3} = 2.666 \text{ mm} \rightarrow L = 6 \text{ mm}$$

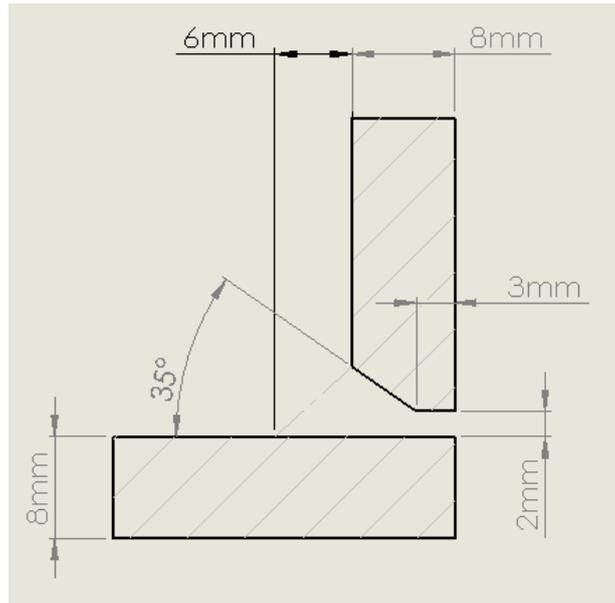


Figura 148. Diseño de bordes elegido para la soldadura de emboadura apoyada sobre la virola.

5.2.4- Unión en la placa de refuerzo de la boca de hombre.

Para la unión de la placa de refuerzo se realizarán dos soldaduras circunferenciales a lo largo de los bordes que unen la placa con la virola y la placa con la emboadura, como se muestra en la Figura 150.

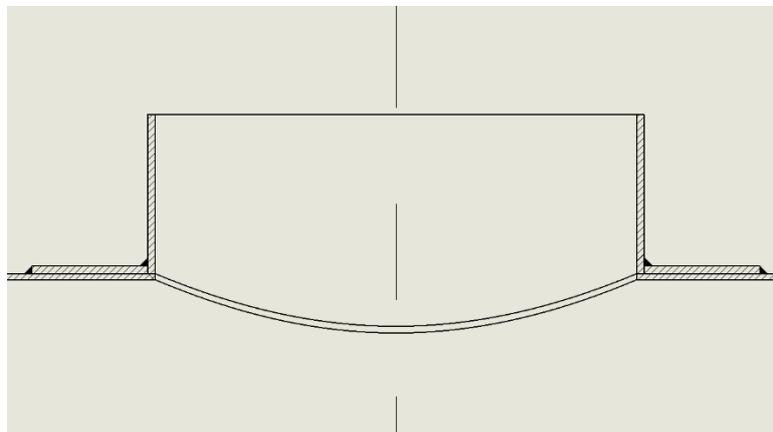


Figura 149. Diseño de bordes elegido para la soldadura de unión en la placa de refuerzo de la boca de hombre.

5.3- Material de aporte.

Elegimos para material de aporte un alambre macizo de baja aleación para soldadura Gas Metal Arc Welding (GMAW), proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible.

El consumible elegido es de la marca Lincoln Electric y vemos que en su hoja de características indica como uno de los metales base admitidos es el acero de grano fino P355NL1, material del que está compuesto el depósito (Figura 151).

También indica las posiciones de soldadura en las que se puede utilizar, siendo adecuado para nuestro proceso, ya que solo tendremos una posición de soldeo, indicada con las siglas PA/1G (soldadura horizontal).

En el proceso de soldadura longitudinal el movimiento de avance lo realizara la antorcha, quedando el depósito fijo y en la soldadura circunferencial la antorcha quedara fija en la parte superior del depósito y éste a su vez realizara un movimiento de rotación o revolución.

ALAMBRE MACIZO BAJA ALEACIÓN

LNM Ni1

CLASIFICACIÓN

| | | | |
|----------------|---------------|---------|----|
| AWS A5.28 | ER805-Ni1 | A-Nr | 10 |
| EN ISO 14341-A | G 46 5 M 3Ni1 | F-Nr | 6 |
| | | 9606 FM | 2 |

DESCRIPCIÓN GENERAL

Hilo macizo para la soldadura de aceros de grano fino y de baja aleación al níquel.
 Altos valores de impacto a baja temperatura (-60°C).
 Para aplicaciones típicas en offshore.
 Arco estable y excelente alimentación.

POSICIONES DE SOLDADURA ISO/ASME


GASES DE PROTECCIÓN (ACC. ISO 14175)
M21 Gas Mezcla Ar+ >15-25% CO₂

HOMOLOGACIONES

| | |
|----|-----|
| DB | TÜV |
| + | + |

COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO) TÍPICA, METAL DEPOSITADO

| | | | |
|------|-----|-----|-----|
| C | Mn | Si | Ni |
| 0.09 | 1.2 | 0.6 | 0.9 |

PROPIEDADES MECÁNICAS, TÍPICAS, METAL DEPOSITADO

| | Gas de protección | Condición | Lim. Elástico [N/mm ²] | R.Tracción [N/mm ²] | Alargamiento [%] | Impacto ISO-VU [-60°C] |
|-----------------|-------------------|-----------|------------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|
| Valores típicos | M21 | AW | 480 | 580 | 30 | 60 |

MATERIALES A SOLDAR

| Grados Acero | Standard | Tipo |
|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| Acero estructural general | EN 10025 | S275, S355 |
| Chapa naval | ASTM A131 | ASTM A131 |
| Acero fundido | EN 10213-2 | GP240R |
| Acero tubería | EN 10208-1 | L290 GA, L360GA |
| | EN 10208-2 | L290, L360, L415 |
| | API 5LX | X42, X46, X52, X60, X65 |
| | EN 10216-1 | P275T1 |
| | EN 10217-1 | P275 T2, P355 N |
| Acero grano fino | EN 10025 part 3/4 | S275, S355, S420, S460 |
| | EN 10028 | P355NL-1, P460NL-1 |

DIÁMETROS/EMPAQUETADO

| Diámetro (mm) | 1.0 | 1.2 |
|-------------------|-----|-----|
| Bobina 5 kg S200 | X | |
| Bobina 15 kg B300 | X | X |

Otros tamaños y empaquetado consultar

Lincoln Electric Iberia S.L. se reserva el derecho de modificar sin previo aviso las características de los productos presentados en este documento, y puede considerarse únicamente como guía de consulta.

www.lincolnelectric.es

LNM Ni1 rev. C-ES27-0103/16



315

Figura 150. Hoja de características técnicas del material de aporte.

5.4- Gas protector.

Después de haber elegido el material de aporte debemos mirar en su ficha de información que gas es el adecuado, siendo en este caso sólo admisible el gas M21, mezcla de argón con aproximadamente un 20 % de CO₂.

Las características del gas de protección M21 se muestran en las Figuras 152 y 153.

Euromix M21 (ISO14175: M21)

Higher productivity for welding steel

Specially designed for metal active gas welding (MAG) of carbon steels and gas shielded flux cored arc welding of carbon steels and stainless steels, gives superb weld quality and excellent penetration, together with minimal spatter and low fume levels.

Euromix M21 is a mixture of 20% carbon dioxide (CO₂) in pure argon (Ar), formulated to weld carbon steels and stainless steels.

Integra® cylinder

The Integra® cylinder delivers similar gas contents to a traditional shoulder high cylinder but it is 23% lighter as well as being shorter and more stable. Integra® cylinders are ideally suited for use on the back of a welding machine, or for site work.

- Smaller
- Lighter
- Easier and safer to handle
- Often lasts longer than a traditional cylinder
- No need for spanners and bottle keys
- With built-in regulator, eliminates cost associated with regulator purchase and repair



Integra® cylinder **Shoulder height cylinder**

Figuras 151. Características del gas de protección para soldadura.

Packs

- 18-cylinder 300 bar multiple cylinder packs (MCP) which contain 70% more gas than a 15-cylinder 230 bar pack and 95% more gas than a conventional 200 bar pack.
- Fewer pack change-overs
- Less frequent cylinder deliveries
- Cuts cylinder stocks
- NEVOC regulator with hand-tight connection eliminates the need for spanners and cylinder keys

| Product name | Integra® cylinder | Packs |
|---------------------|---------------------|--|
| | | 18x50S |
| ISO14175 | M21 | M21 |
| Pressure | 300 bar | 300 bar |
| Valve outlet type | Quick-fit connector | Nevoc |
| Contents | 9.23m ³ | 295.2m ³ |
| Dimensions | 230mm Ø x 110mm | 2.1m (H) x 1.25m (W) x 0.93m (D) |
| Approx gross weight | 72kg | 2010 kg |

Figura 152. Características del gas de protección para soldadura.

En la Tabla 22 se muestra cómo afecta a las propiedades de la soldadura el aumento o disminución del CO₂ y NO en el gas Ar/CO₂.

| Propiedades | Ar/CO ₂ |
|-----------------------------|---|
| Penetración | Buena |
| Calentamiento de la pistola | Disminuye con el aumento de CO ₂ |
| Grado de oxidación | Aumenta con el incremento de CO ₂ |
| Porosidad | Disminuye aumentando el contenido de CO ₂ |
| Relleno de chaflán | Mejora si disminuye el CO ₂ |
| Salpicaduras | Aumenta con el incremento de CO ₂ |
| Aporte térmico | Moderado Aumenta con el contenido de CO ₂ |
| Emisión de ozono | Baja con aportaciones de NO |
| Estabilidad del arco | Mejora con la adición de NO |

Tabla 22. Propiedades del gas Ar/CO₂.

5.5- Documentos reglamentarios.

5.5.1- Especificación Procedimiento de Soldadura (WPS):

Es un documento escrito que suministran las directrices al soldador u operador de soldadura para realizar soldaduras de producción de acuerdo con los requerimientos del Código (Figura 154).

| | | | | | | | |
|--|------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------|--------------|--------------------------------|
| | | NOMBRE PROYECTO | | | | LOGO CLIENTE | |
| | | WPS: Welding Procedure Specification | | | | | |
| Mastranza | | | | Código | WPS-000X | | |
| Cliente | | NOMBRE CLIENTE | | Revisión | 0 | | |
| Orden de Compra | | N° OC | | Fecha | XX-XX-XXXX | | |
| Calificado | Proceso | | PQR Apoyado | PQR-000X | | | |
| Precalificado | Posición | | | | | | |
| 1. Proceso de Soldadura | | | | | | | |
| Tipo (Manual - Automático) | | | | | | | |
| Electrodo Doble o Simple | | | | | | | |
| Corriente polaridad | | | | | | | |
| 2. Diseño de la Unión Soldada | | | | | | | |
| A tope | De filete | Talón | | | | | |
| Tipo Bisel | Simple | Doble | | | | | |
| Penetración | Parcial | Completa | | | | | |
| Angulo del Bisel | Separación | | | | | | |
| Progresión | Ascendente | Descendente | | | | | |
| Limpieza entre pasadas | | | Método Limp. | | | | |
| Limpieza de raíz | | | Método Limp. | | | | |
| 3. Especificación Material Base | | | | | | | |
| Plancha | | Tipo Acero | | Diámetro | | | |
| Cañería | | Grupo | | Espesor | | | |
| 4. Material de Aporte | | | | | | | |
| Protección Arco | | Clasificación AWS | | Lts-min. | | | |
| GAS | | Especificación AWS | | | | | |
| 5. Prealemtamiento | | | | | | | |
| Prealemtamiento | | Temp. Prealemtamiento | | Temp. Entre pases. | | | |
| Tratamiento Térmico | | Temperatura | | Tiempo | | | |
| 6. Ejecución del Proceso | | | | | | | |
| Nº pases | Proceso | Φ mm | Corriente Polaridad | Amp. (±10%) | Volt. (±7%) | Vel. in/mm. | Transf. GMAW Globular Spray |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Elaborado por | | | | Revisado por | | | |
| | | | | | | | |

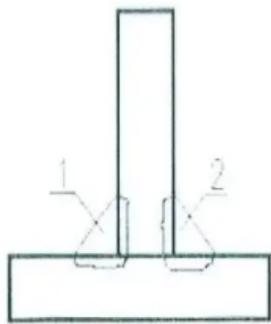


Figura 153. Ejemplo de documento WPS.

5.5.2- Registro de Calibración de Procedimiento (PQR):

Este documento corresponde al anexo de la WPS. En él están relacionadas las diferentes pruebas o ensayos realizados y la certificación de aprobación o rechazo firmada por inspector certificado en soldadura.

5.6- Control y ensayos.

5.6.1- Examen visual de las soldaduras.

Todas las uniones soldadas deben examinarse visualmente al término de la soldadura para detectar las imperfecciones superficiales de acuerdo con la Norma EN 970, y los defectos deben evaluarse utilizando los criterios establecidos.

La superficie examinada debe estar bien iluminada, exenta de grasa, suciedad, capa de óxido, residuos, o revestimiento de protección de cualquier clase.

Si se encuentra algún defecto inaceptable según criterio, deben repararse o rechazar el depósito.

5.6.2- Exámenes no destructivos (END).

La elección de las técnicas de ensayo no destructivo debe cumplir la Norma EN ISO 17635. Pueden utilizarse otros métodos y técnicas siempre que se consiga el mismo nivel de detección de imperfecciones.

5.6.2.2- Técnica radiográfica.

Se trata de un método de absorción diferenciada de la radiación en la pieza que queremos examinar. En función de las discontinuidades que pudieran existir en la pieza, la radiación será absorbida en mayor o menor medida por el material.

En la radiografía podremos diferenciar un sobre espesor de la pieza cuando en ella exista una zona más clara que el resto y por el contrario podremos distinguir cualquier discontinuidad, poros, grietas o cualquier defecto, si se observa en ella una zona más oscura (Figura 155).

El examen radiográfico debe llevarse a cabo según la “Norma EN 1435:1997”, para clase B, y de acuerdo con las “Normas EN 14784-1 y EN 14784-2”, cuando sea de aplicación.

Cada zona de soldadura radiografiada debe estar provista de símbolos apropiados que permitan identificar lo que se indica a continuación:

- El número de serie de la pieza u orden de trabajo, el número de pedido, o cualquier otro número de referencia identificativo.
- la unión.
- la zona de la unión.
- el límite exterior de la unión.

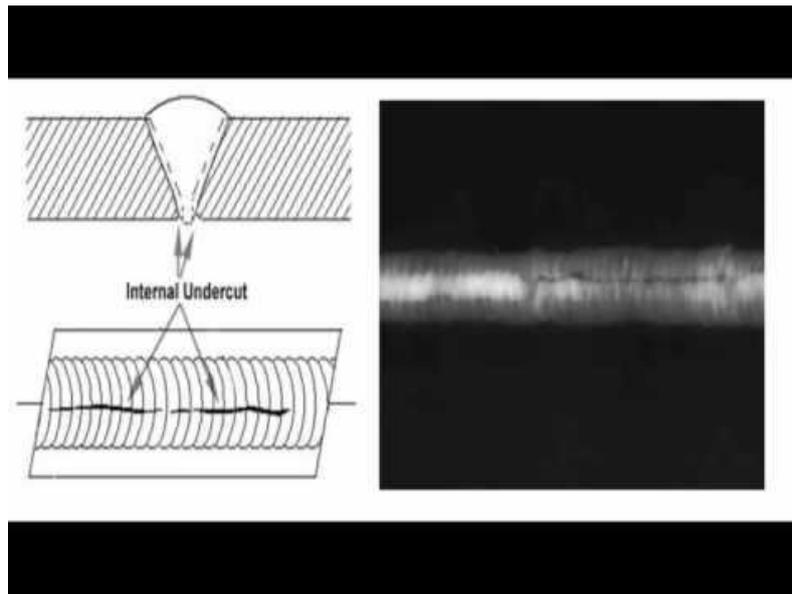


Figura 154. Técnica radiográfica.

5.6.2.3- Técnicas por ultrasonidos.

La verificación de errores se realiza mediante procesamiento acústico en el cual una sonda transmite ondas sonoras a través de materiales conductores de ultrasonido en un rango de frecuencia aproximado de entre 500 kHz y 50 MHz. Al encontrarse con materiales de distinta densidad e impedancia de onda el ultrasonido rebota. Estas capas límite se encuentran por ejemplo en cavidades, fisuras, etc. (Figura 156).

Mediante la medición del tiempo de tránsito del ultrasonido, es posible determinar el tamaño y la posición de la falla en prácticamente toda la pieza.

Las técnicas de examen por ultrasonidos deben cumplir la “Norma EN 1714:1997”, como mínimo la clase B.

Antes de realizar un examen de las soldaduras por ultrasonidos, el metal de base adyacente también debe someterse a un examen por ultrasonidos para determinar el espesor del material, y localizar cualquier defecto susceptible de dificultar el examen de la soldadura.

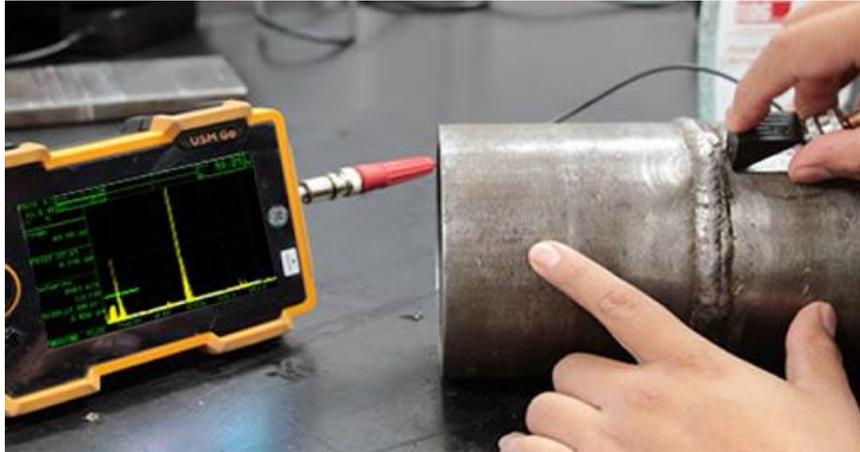


Figura 155. Técnica por ultrasonidos.

5.6.2.4- Técnicas por partículas magnéticas.

Esta técnica es capaz de detectar grietas y otras discontinuidades tanto superficiales como próximas a la superficie pudiéndose usar solo en materiales ferromagnéticos. Tiene una precisión muy buena para las discontinuidades más superficiales disminuyendo drásticamente al aumentar su profundidad (Figura 157).

Si una pieza está expuesta a un campo magnético y existe una discontinuidad en su superficie, cuyo plano sea perpendicular a las líneas de fuerza del campo, éstas tenderán a salvar dicho plano como si se tratara de un obstáculo, ya que tendrá menor permeabilidad que el propio metal.

Las técnicas de examen por partículas magnéticas deben cumplir la “Norma EN ISO 17638”.

Deben tomarse precauciones especiales para evitar deteriorar las superficies por la mala utilización del equipo magnético, y en el caso de aparecer deterioro se debe reparar o descartar el depósito.



Figura 156. Técnica por partículas magnéticas.

5.6.2.5- Técnicas por líquidos penetrantes.

En este procedimiento se aplica un líquido coloreado o fluorescente sobre la superficie de estudio, este líquido penetra por capilaridad en cualquier discontinuidad que pueda existir. Cuando pasa un determinado tiempo se procede a la eliminación del exceso de líquido y acto seguido se aplica un compuesto revelador que se encarga de absorber el líquido que ha penetrado en las discontinuidades, perfilando sobre la capa del revelador el contorno de cada una de ellas (Figura 158).

El examen por líquidos penetrantes de las soldaduras debe realizarse de acuerdo con la Norma EN 571-1.

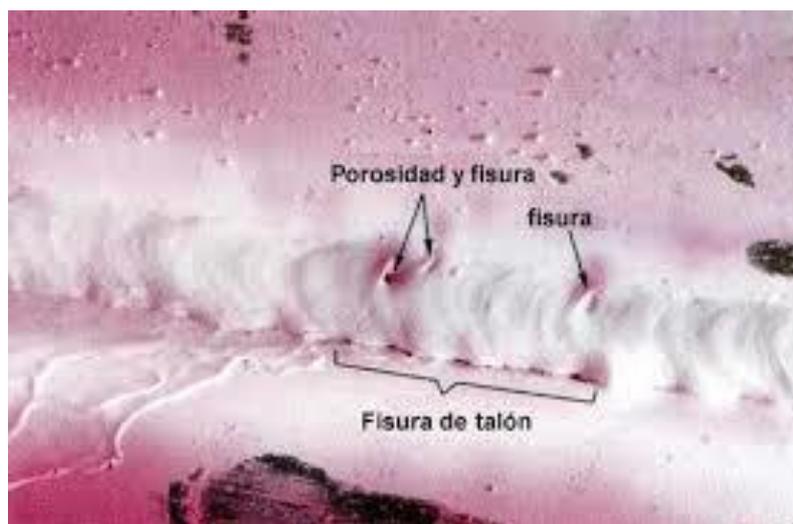


Figura 157. Técnica por líquidos penetrantes.

5.6.3- Criterios de aceptación.

Los defectos detectados mediante examen visual y ensayos no destructivos deben caracterizarse y evaluarse siguiendo los criterios de las normas nombradas en la Tabla 23.

| Examen/Método de ensayo | Caracterización | Criterio de aceptación |
|-----------------------------------|--|--|
| Examen visual | EN ISO 5817:2007 (defectos superficiales) | EN ISO 5817:2007 (nivel C de defectos superficiales), más tabla D.1 de esta norma. |
| Radiográfico/radioscópico | EN 12517-1:2006 y tabla D.2 de esta norma | EN 12517-1:2006. Nivel 2 de aceptación, más tabla D.2 de esta norma. |
| Técnica por ultrasonidos | EN 1713:1998 (Nota: sólo recomendaciones) | EN 1712:1997. Nivel 2 de aceptación. No se permiten defectos planares. |
| Técnica por partículas magnéticas | EN ISO 23278:2009 | EN ISO 23278:2009. Nivel 2X de aceptación. |
| Técnica por líquidos penetrantes | EN ISO 23277:2009 | EN ISO 23277:2009. Nivel 2X de aceptación. |

Tabla 23. Tabla con criterios de aceptación para exámenes y ensayos de soldaduras.

5.7- Evaluación final.

5.7.1- Prueba de presión.

En todos los depósitos debe realizarse una prueba de presión hidráulica.

Los depósitos no deben presentar señales de fuga, o de deformación plástica general, ni caída de presión cuando están aislados de la fuente de presión. Después del ensayo, los depósitos no deben presentar deformación permanente.

Los que hayan sido reparados después de la prueba de presión, cuando afecta a las propiedades de las partes a presión, deben someterse a un ensayo complementario al finalizar las reparaciones.

La presión mínima aplicada durante la prueba debe ser 1,43 veces la presión de diseño. Sin embargo, deben realizarse cálculos para verificar que la tensión aplicada en la membrana sometida a la presión de prueba es inferior o igual al 95% del límite elástico ReH. Cuando se sobrepasa el límite, debe disminuirse la presión de prueba en consecuencia.

La duración del ensayo debe ser suficiente para verificar que el depósito no presenta signos de fugas o de deformación plástica general, pero debe ser igual o superior a 10 minutos.

5.7.2- Examen final.

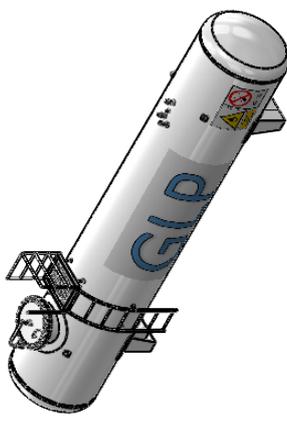
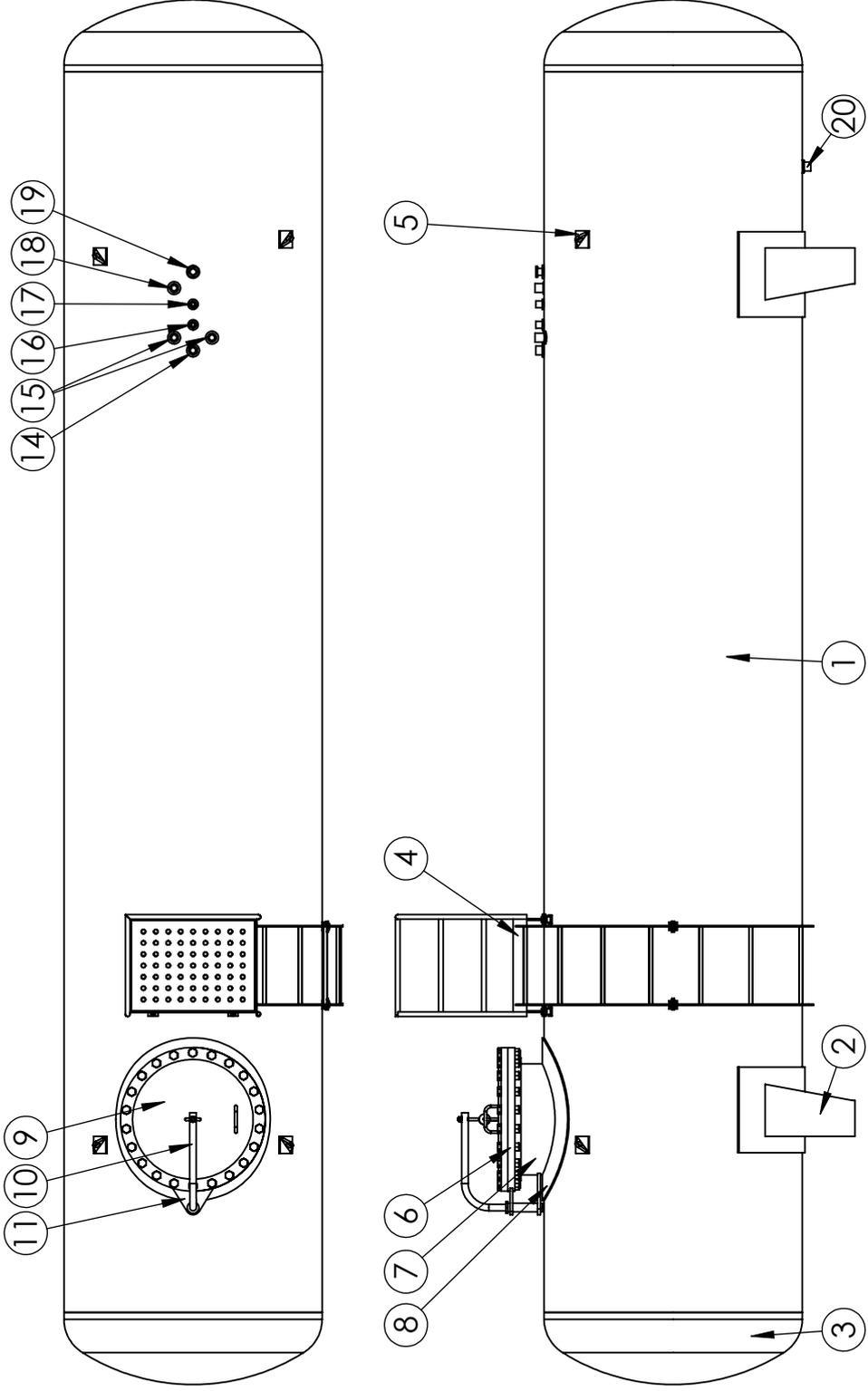
Los depósitos diseñados y fabricados de acuerdo con la “norma UNE-EN 12542”, deben ser objeto de un examen externo e interno con el fin de asegurar su conformidad con los requisitos de los planos de fabricación.

Si en función de las dimensiones de las aberturas no es posible el examen interno cuando el depósito está acabado, el fabricante debe asegurarse de que las superficies internas han sido examinadas antes de su ensamblaje final.

El examen final debe realizarse después de finalizar todas las operaciones de soldeo, cualquier tratamiento térmico después del soldeo, cualquier reparación y la prueba de presión hidráulica, pero antes de la aplicación del revestimiento.

6- Planos.

A continuación, se detallarán los planos para cada una de las piezas diseñadas en este proyecto.



| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD |
|-----------------|-------------------------------|----------|
| 1 | virola | 1 |
| 2 | sobantes depósito | 2 |
| 3 | fondos | 2 |
| 4 | escalera | 4 |
| 5 | orejetas de izaje | 4 |
| 6 | brida inferior boca de hombre | 1 |
| 7 | lamina boca de hombre | 1 |
| 8 | refuerzo boca de hombre | 1 |
| 9 | tapa boca de hombre | 1 |
| 10 | barra pescante | 1 |
| 11 | base pescante | 1 |
| 12 | soporte interior escalera | 2 |
| 13 | soporte superior escalera | 4 |
| 14 | conexión valvula de llenado | 1 |
| 15 | conexión valvula de seguridad | 2 |
| 16 | conexión multivalvula | 1 |
| 17 | conexión valvula de purga | 1 |
| 18 | conexión fase liquida | 1 |
| 19 | conexión nivel magnético | 1 |
| 20 | conexión salida interior | 1 |

ENSAMBLAJE

PLANO Nº: 1

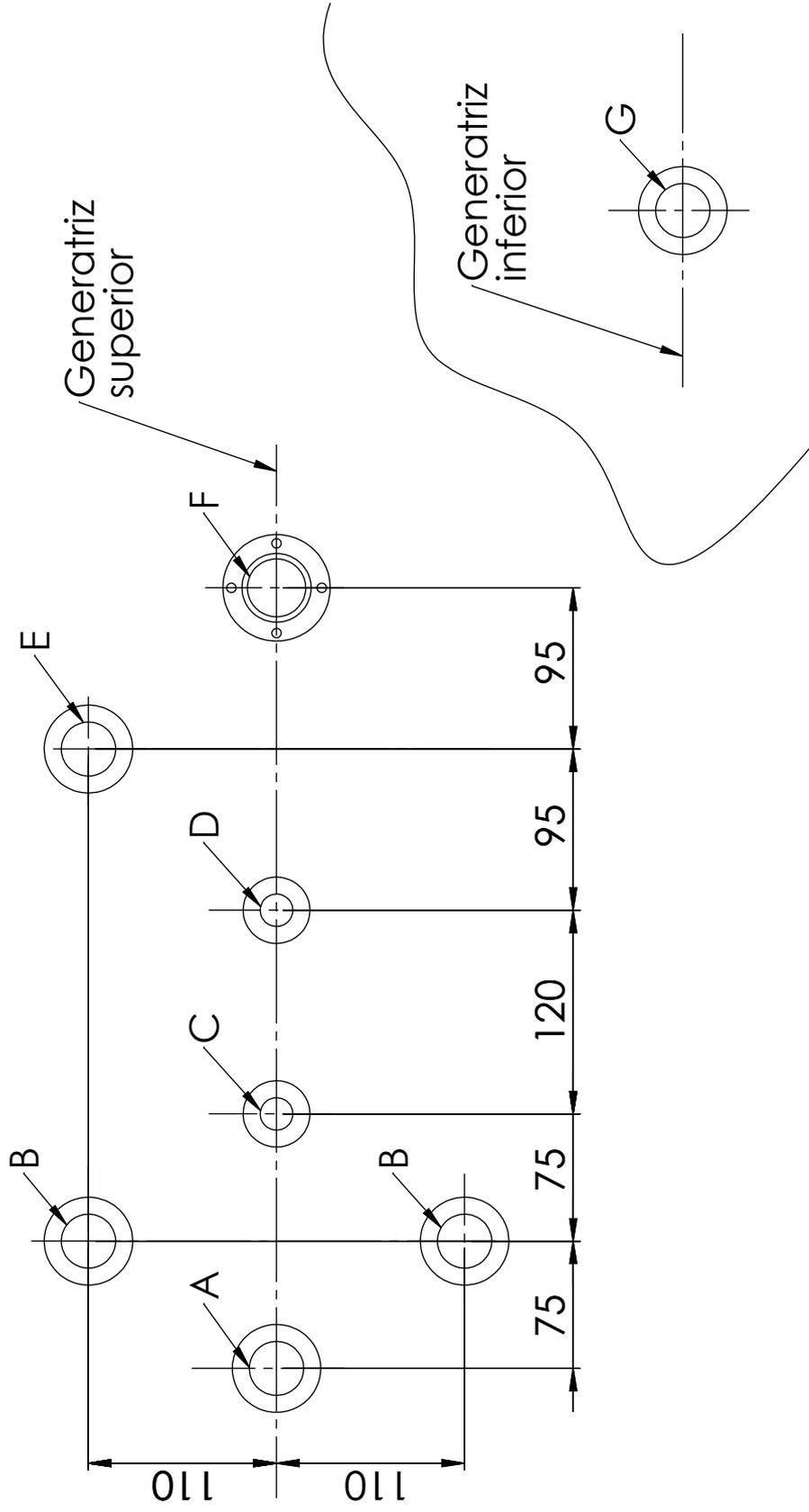
MATERIAL: P355NLI

ESCALA: 1/40

Jesús Ginés Martínez Madrid

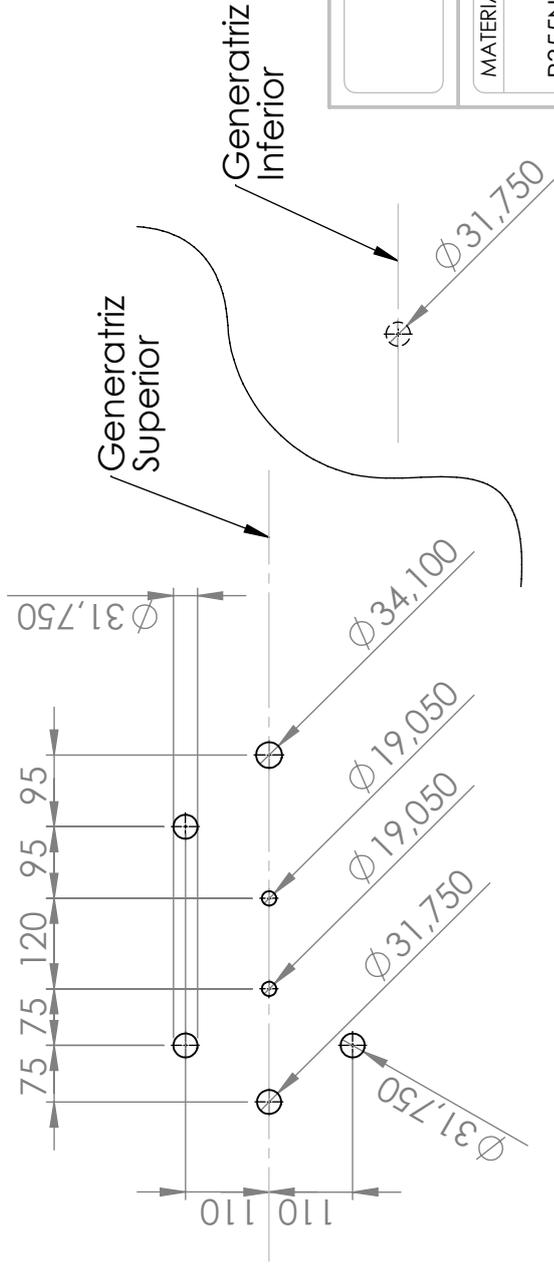
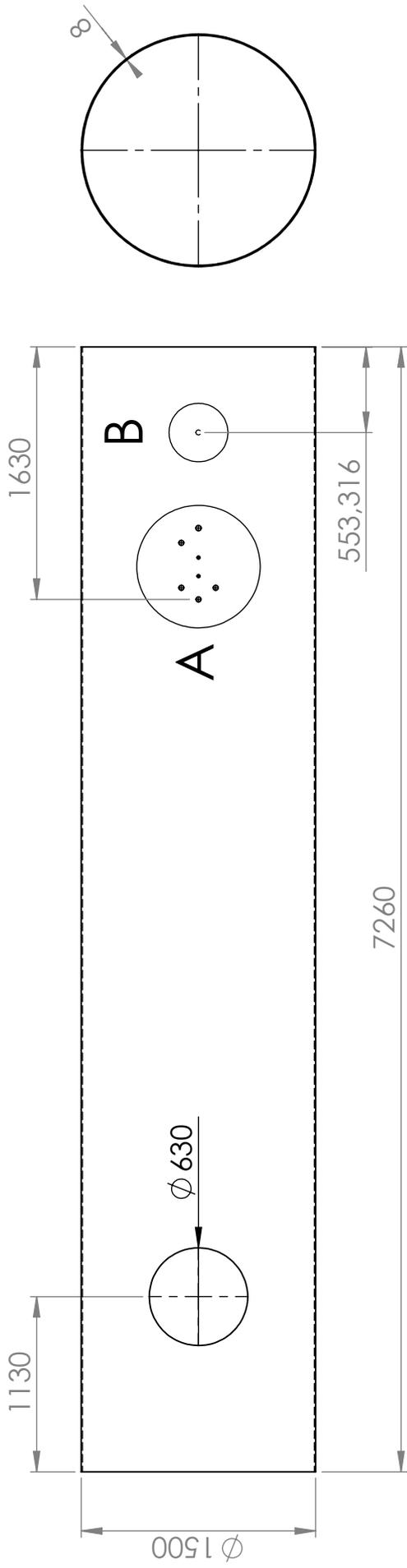
01/02/2021

Ingeniería Mecánica



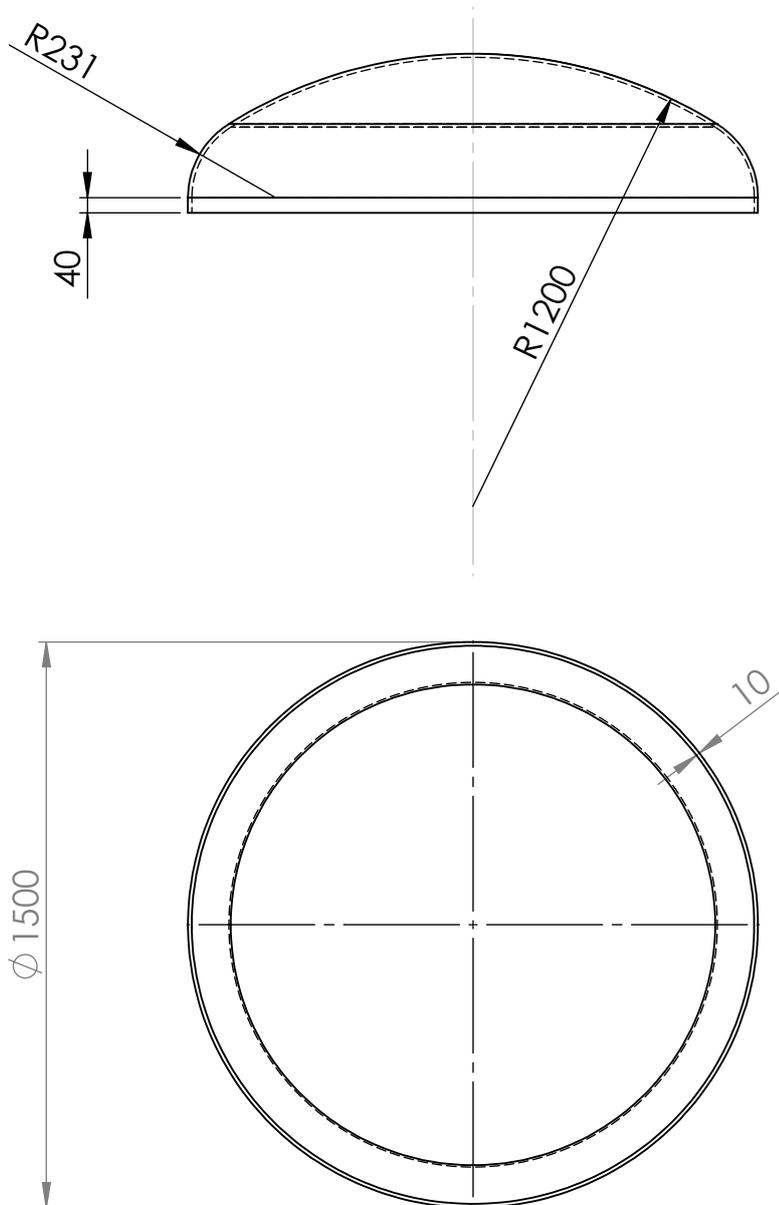
| IDENTIFICACIÓN | ELEMENTO | CONEXIÓN |
|----------------|--|------------------|
| A | Válvula de llenado | 1-1/4" NPTH |
| B | Válvulas de seguridad (X2) | 1-1/4" NPTH |
| C | multiválvula para fase gaseosa | 3/4" NPTH |
| D | Purga (Check-lok) | 3/4" NPTH |
| E | Llave de corte con limitador interno y tapón para fase líquida | 1-1/4" NPTH |
| F | Nivel magnético | Rochester junior |
| G | Tapón ciego para salida inferior. | 1-1/4" NPTH |

| | |
|----------------------|---|
| <h1>EMBOCADURAS</h1> | PLANO Nº: 1 |
| | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| MATERIAL: P355NLI | ESCALA: 1/4 |
| 01/02/2021 | |
| Ingeniería Mecánica |  |

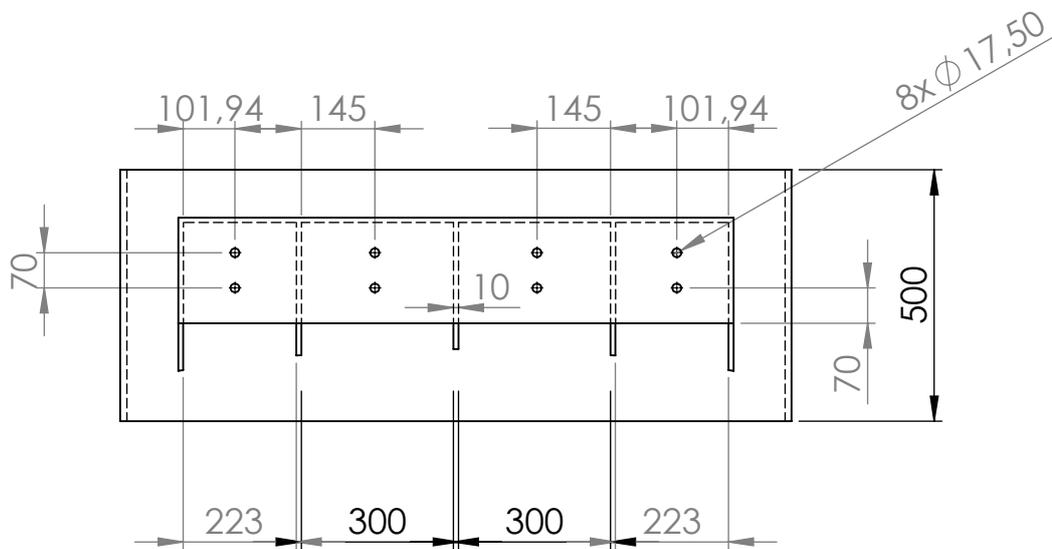
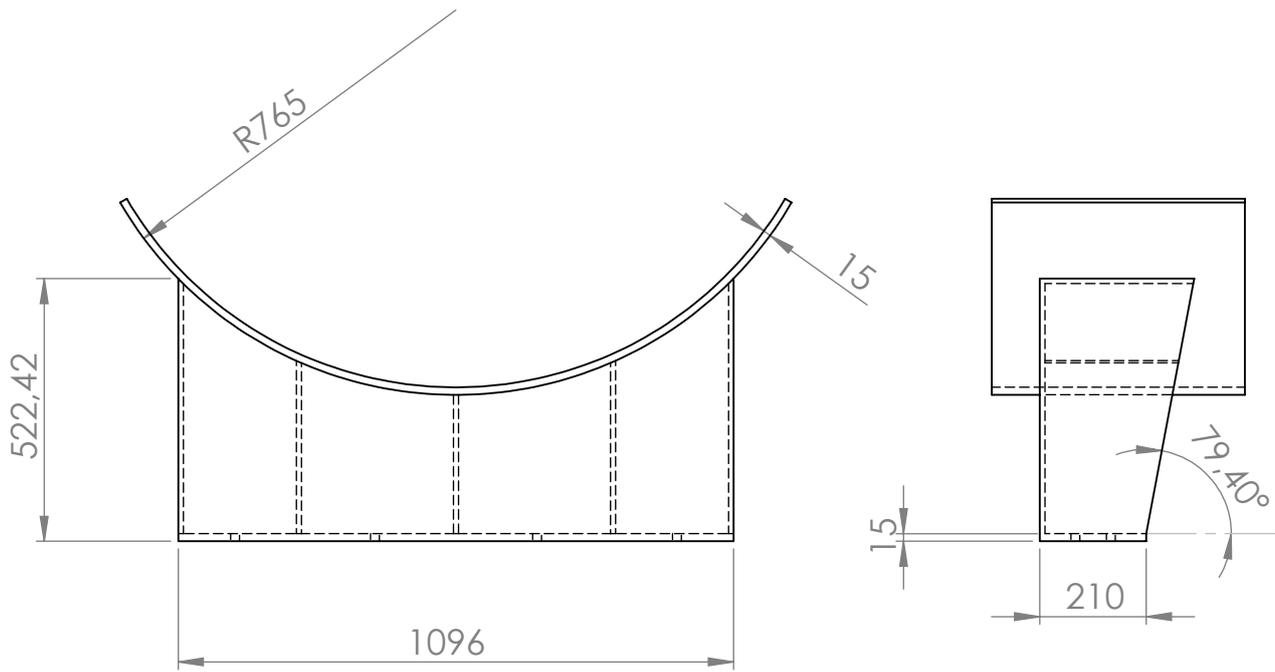


DETALLE A **DETALLE B**
ESCALA 1 : 10 **ESCALA 1 : 10**

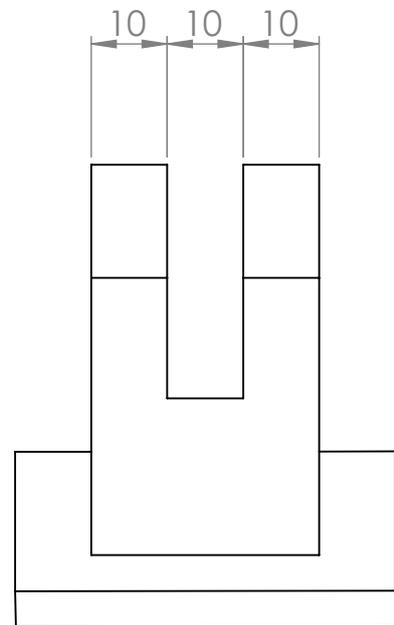
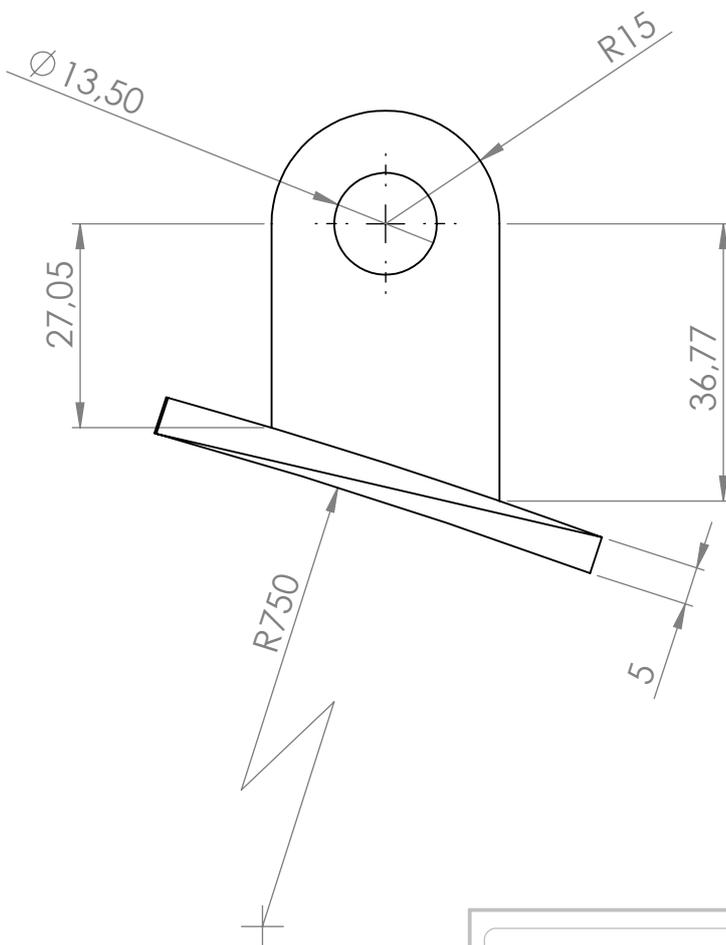
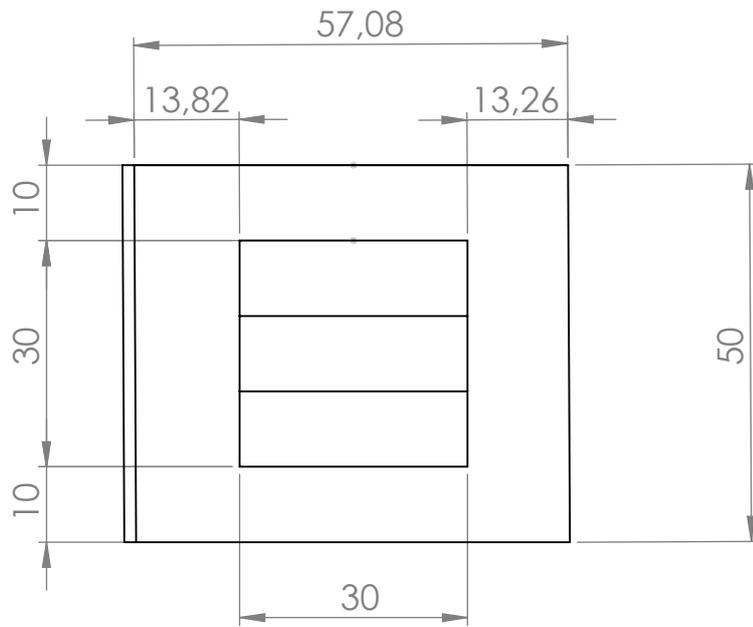
| | | |
|-----------------------------|--|---|
| VIROLA | | PLANO Nº: 1 |
| MATERIAL: P355NLI | | ESCALA: 1/40 |
| Jesús Ginés Martínez Madrid | | |
| 01/02/2021 | | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional |



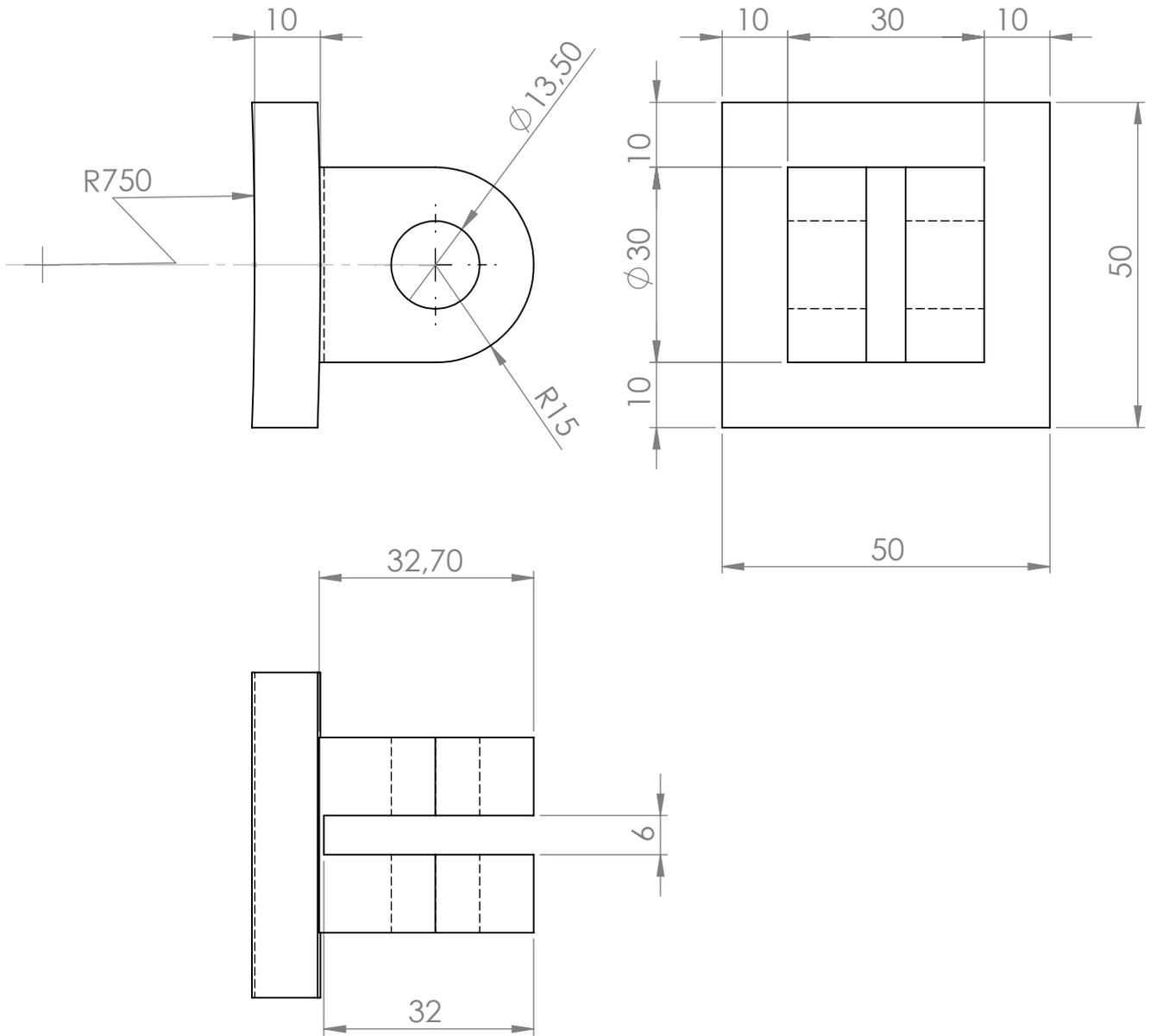
| | | | |
|---------------------|---------|--|--|
| FONDO | | PLANO N°: 1 | |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid 01/02/2021 | |
| P355NL1 | 1/20 | | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



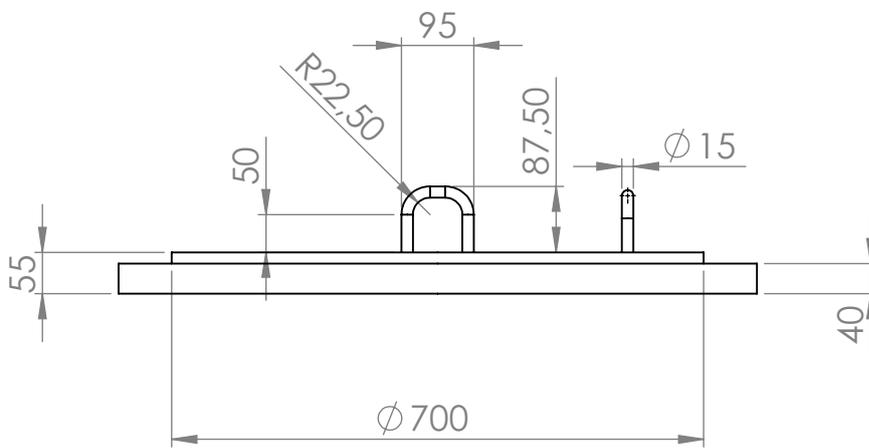
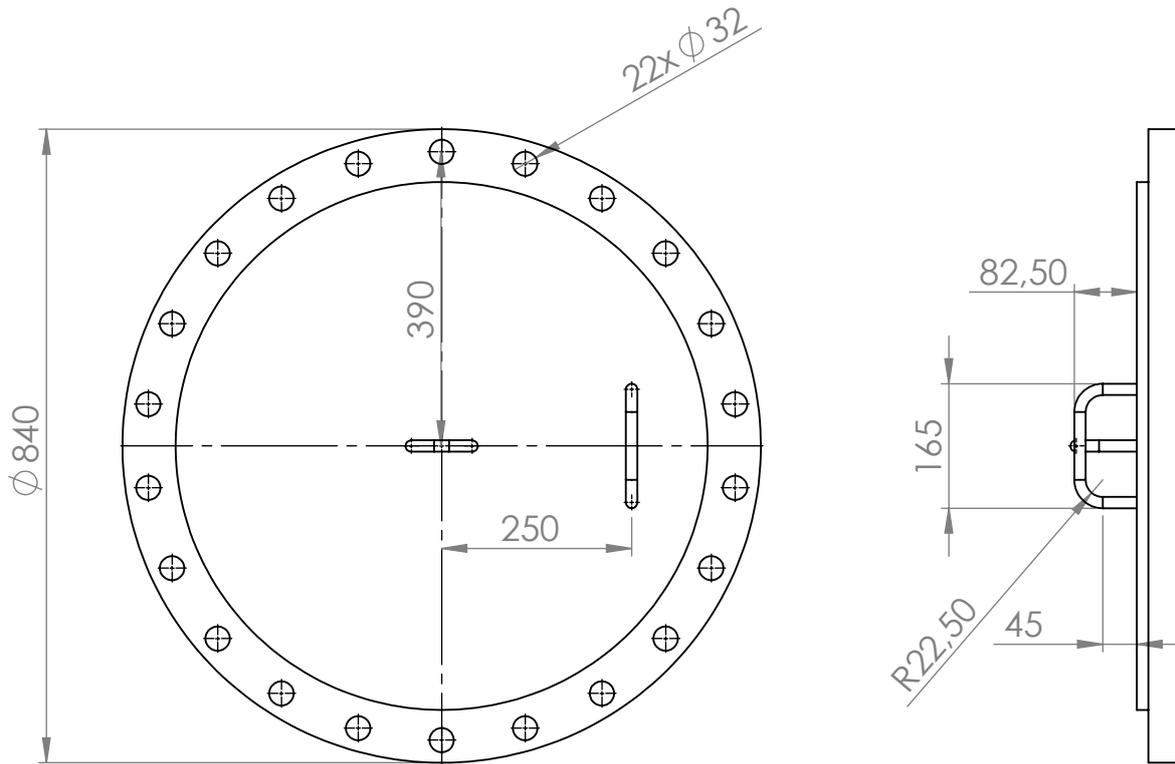
| | | | |
|----------------------------|---------|---|--|
| SOPORTE DE DEPÓSITO | | PLANO Nº: 1 | |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid 01/02/2021 | |
| P355NL1 | 1/15 | | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| SOPORTE SUPERIOR DE ESCALERA | | PLANO Nº: 1 |
| MATERIAL: P355NL1 | ESCALA: 1/1 | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica |  Universidad Politécnica de Cartagena | Campus de Excelencia Internacional |



| | | |
|------------------------------|---------|--|
| SOPORTE INFERIOR DE ESCALERA | | PLANO Nº: 1 |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| P355NL1 | 1/1 | |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional |



TAPA BOCA DE HOMBRE

PLANO Nº:

1

MATERIAL:

ESCALA:

P355NL1

1/10

Jesús Ginés Martínez Madrid

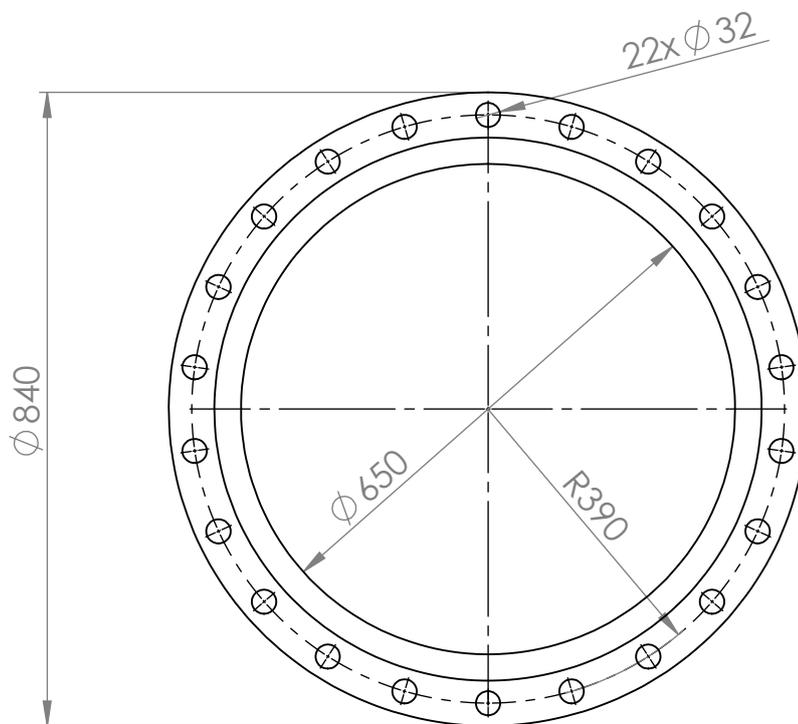
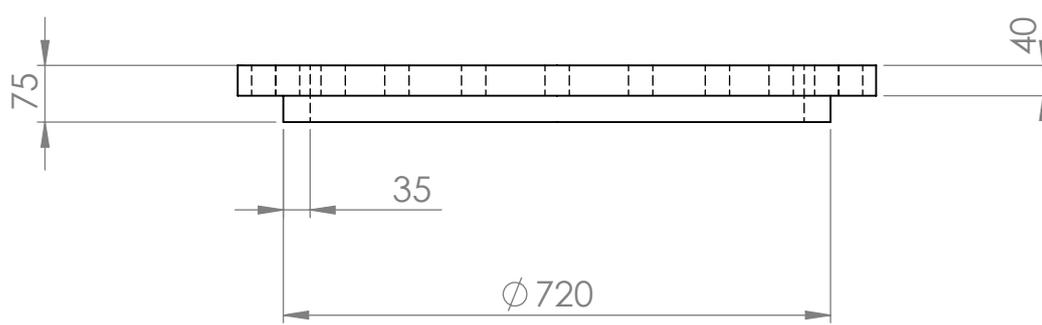
01/02/2021

Ingeniería
Mecánica



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional



BRIDA INFERIOR BOCA DE HOMBRE

PLANO Nº:

1

MATERIAL: ESCALA:

P355NL1 1/10

Jesús Ginés Martínez Madrid

01/02/2021

Ingeniería
Mecánica



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional

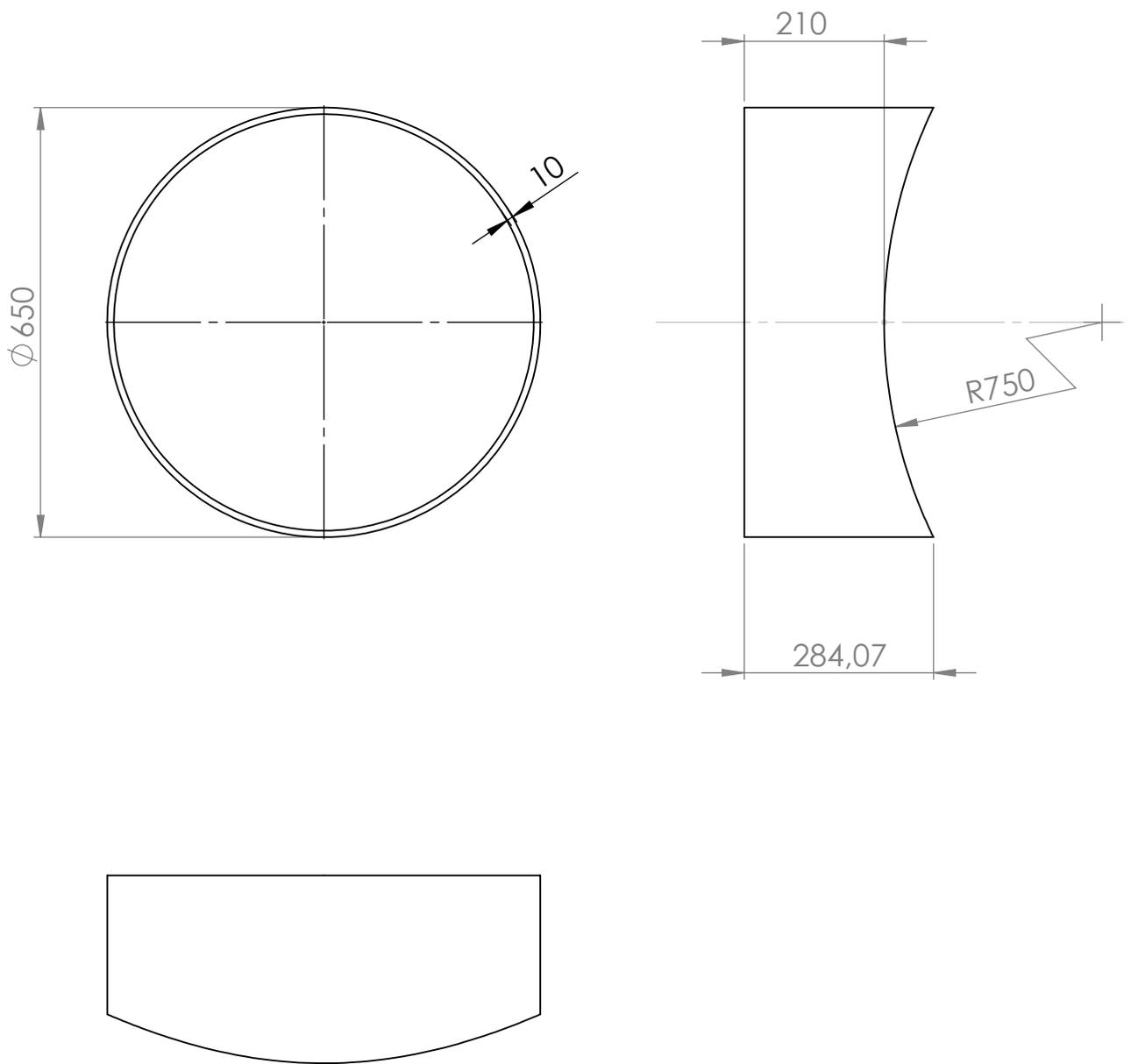


LÁMINA BOCA DE HOMBRE

PLANO Nº:

1

MATERIAL:

ESCALA:

P355NL1

1/10

Jesús Ginés Martínez Madrid

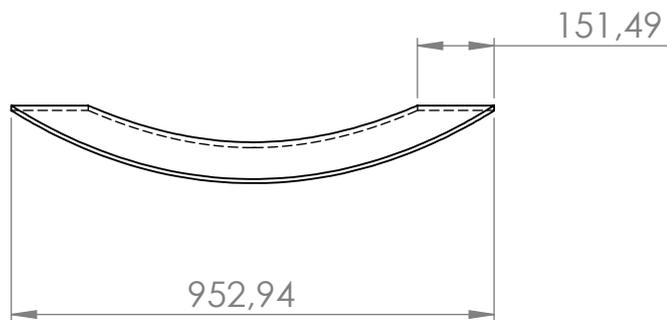
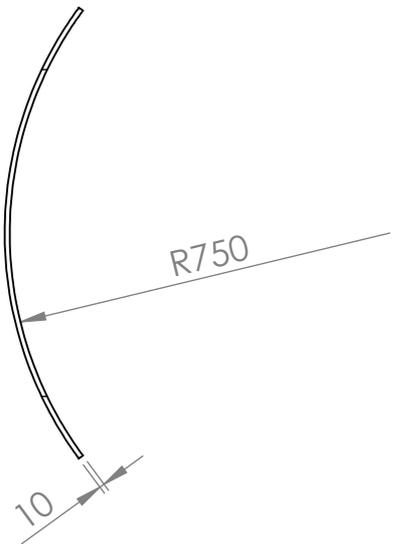
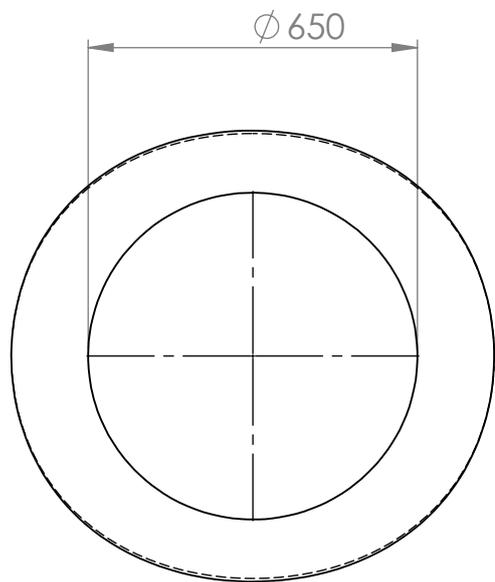
01/02/2021

Ingeniería
Mecánica



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional



REFUERZO BOCA DE HOMBRE

PLANO N°:

1

MATERIAL:

ESCALA:

P355NL1

1/15

Jesús Ginés Martínez Madrid

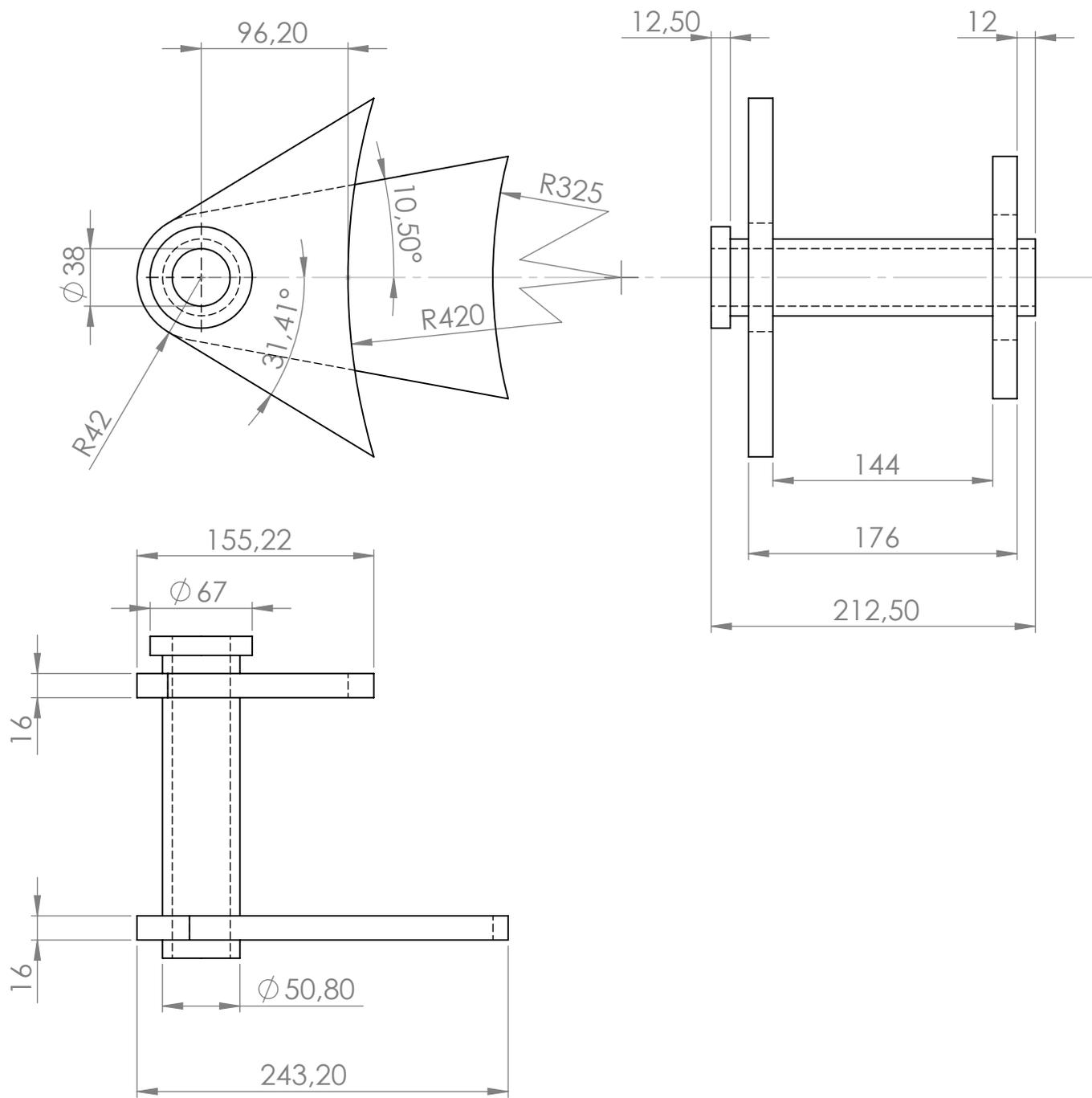
01/02/2021

Ingeniería
Mecánica

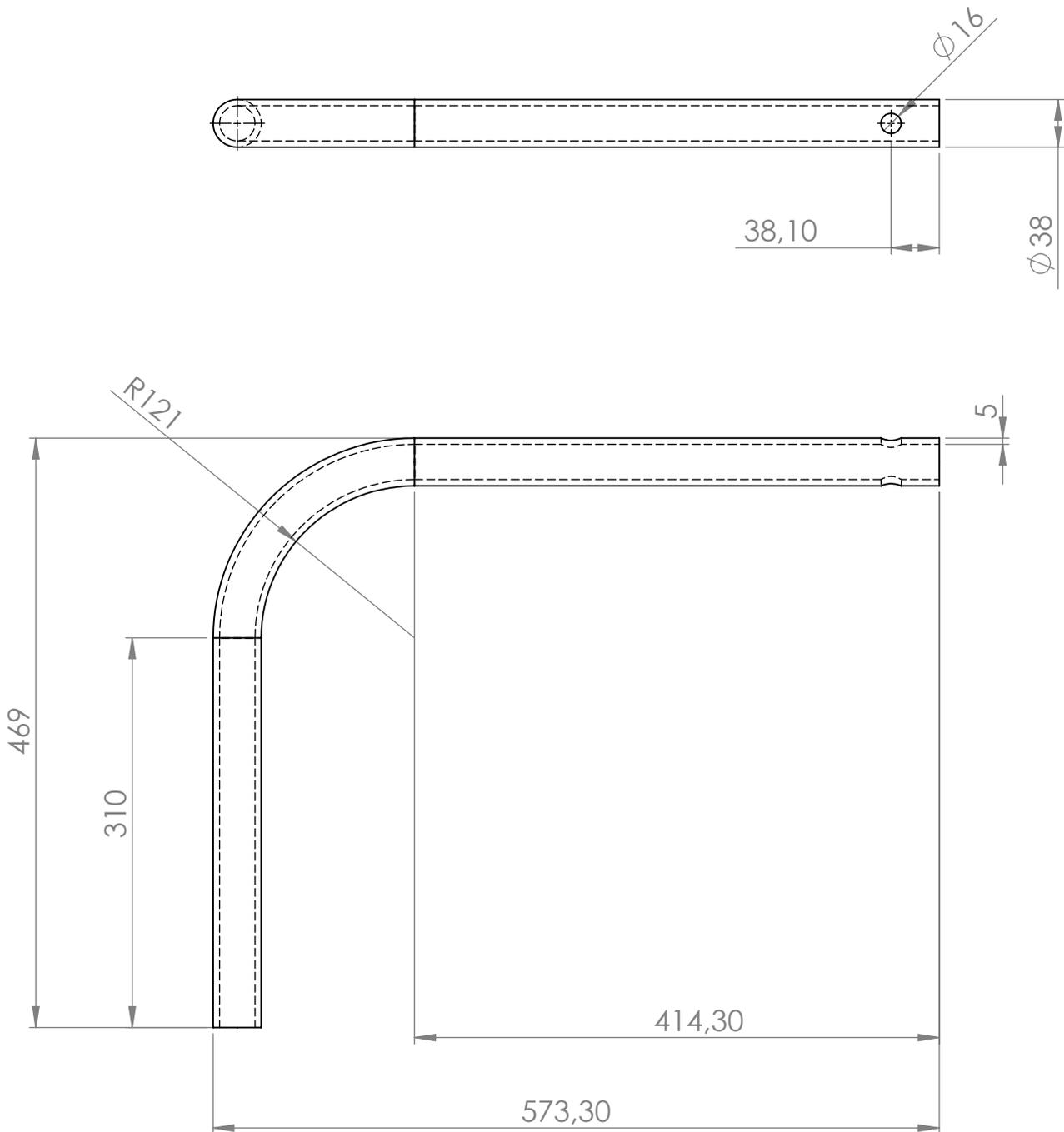


Universidad
Politécnica
de Cartagena

Campus
de Excelencia
Internacional



| | | | |
|------------------------|---------|--|--|
| BASE PESCANTE | | PLANO Nº: 1 | |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid | |
| P355NL1 | 1/4 | 01/02/2021 | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



BARRA PESCANTE

PLANO Nº:

1

MATERIAL:

ESCALA:

P355NL1

1/5

Jesús Ginés Martínez Madrid

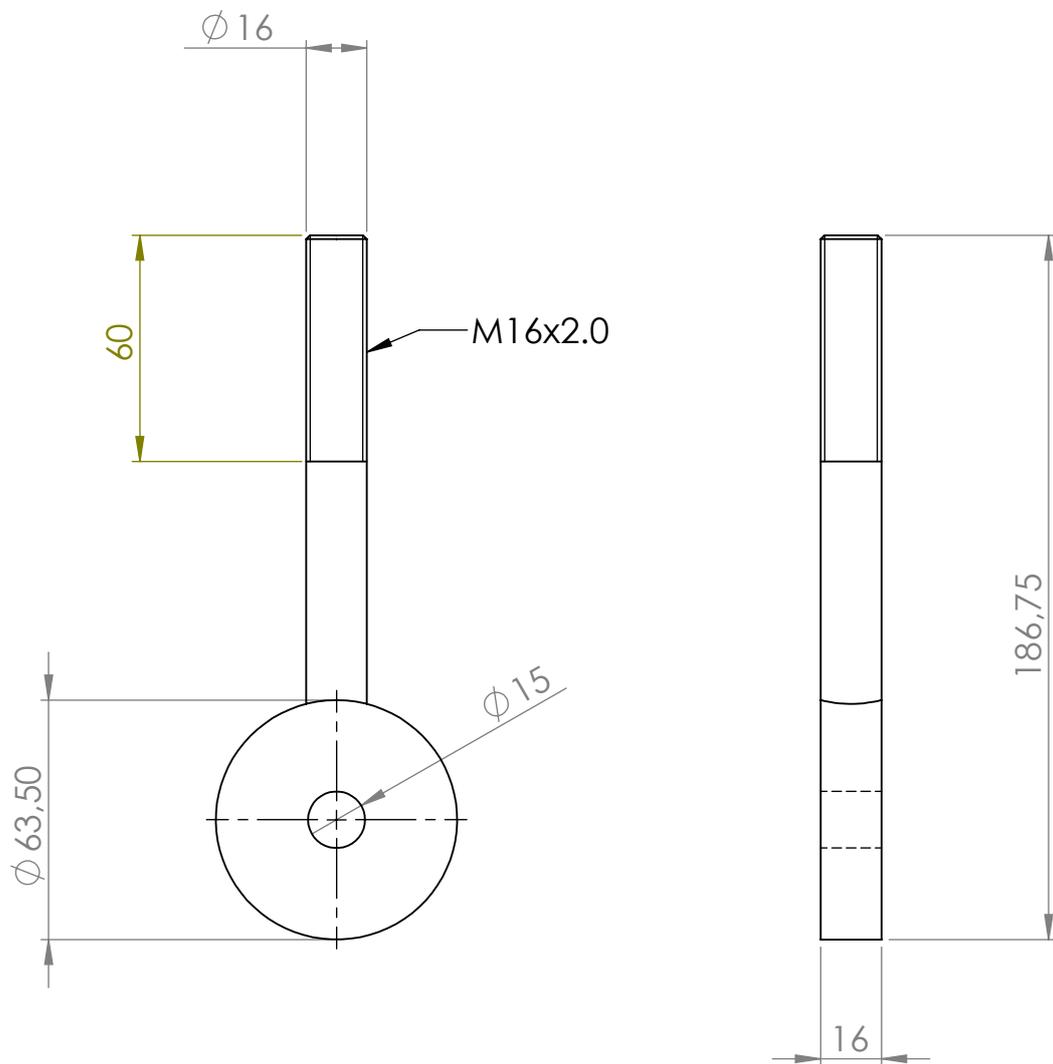
01/02/2021

Ingeniería
Mecánica

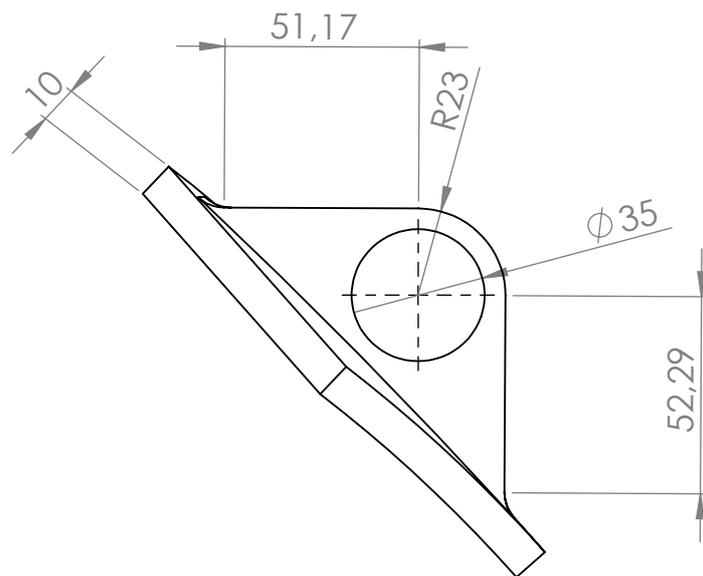
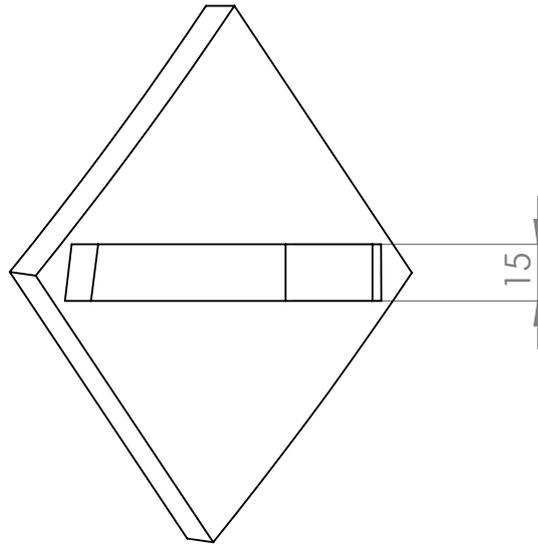


Universidad
Politécnica
de Cartagena

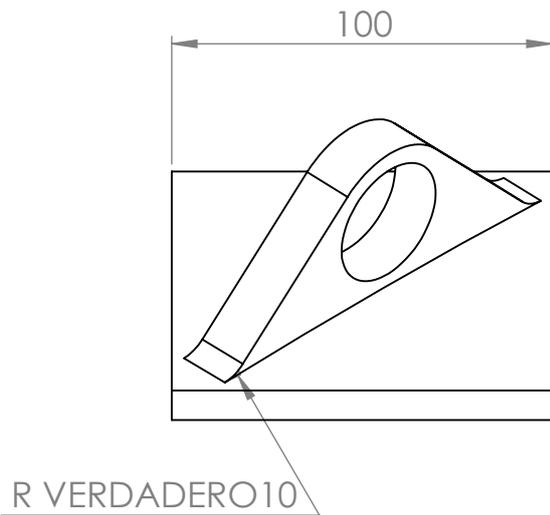
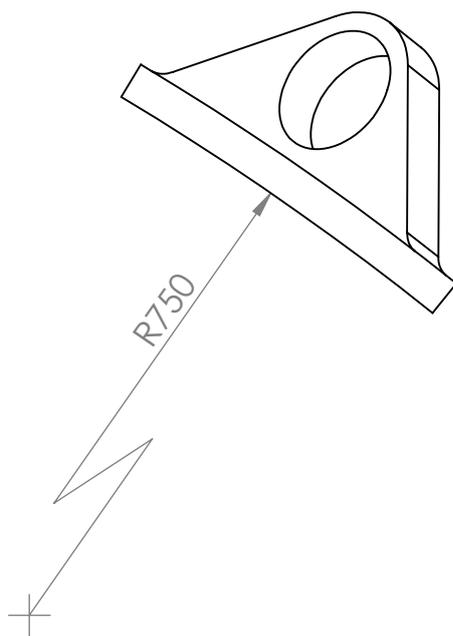
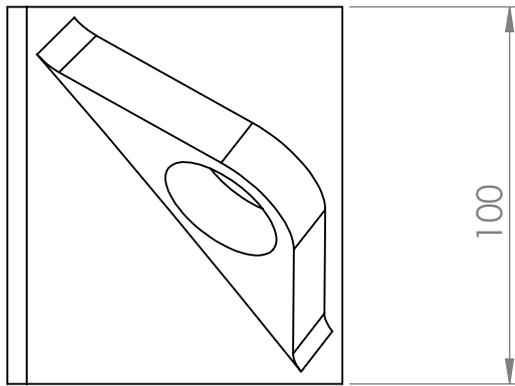
Campus
de Excelencia
Internacional



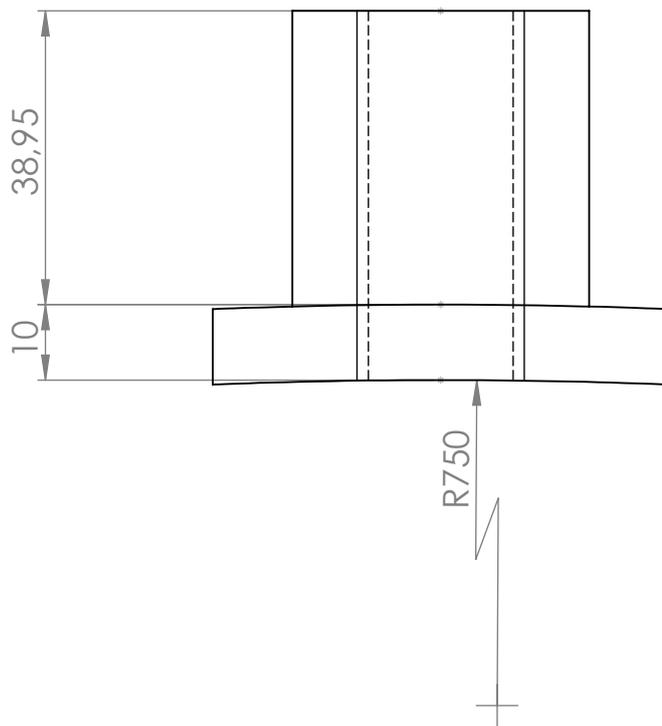
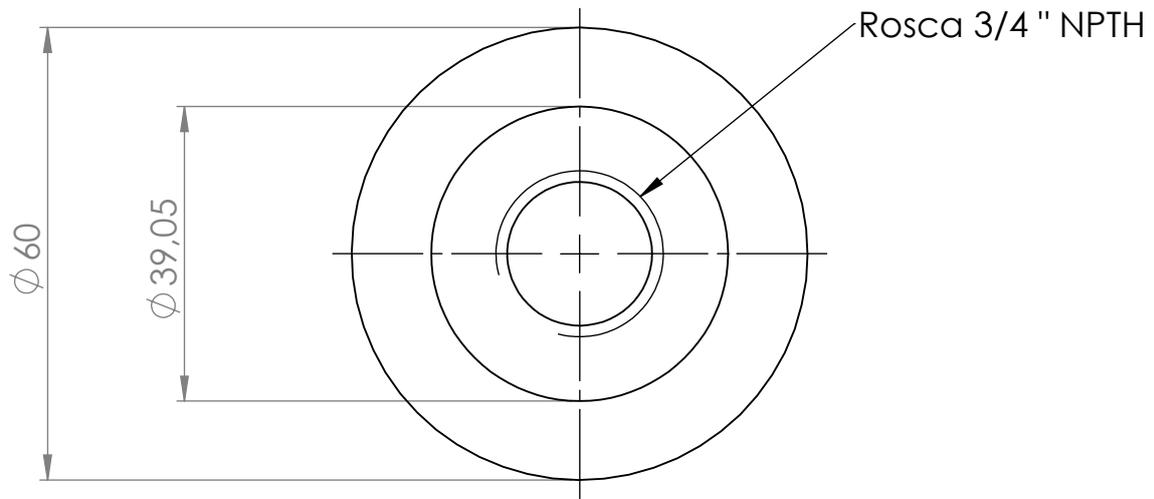
| | | |
|------------------------------|----------------|--|
| PERNO DE OJO PESCANTE | | PLANO Nº: 1 |
| MATERIAL: P355NL1 | ESCALA: 1/2 | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional |



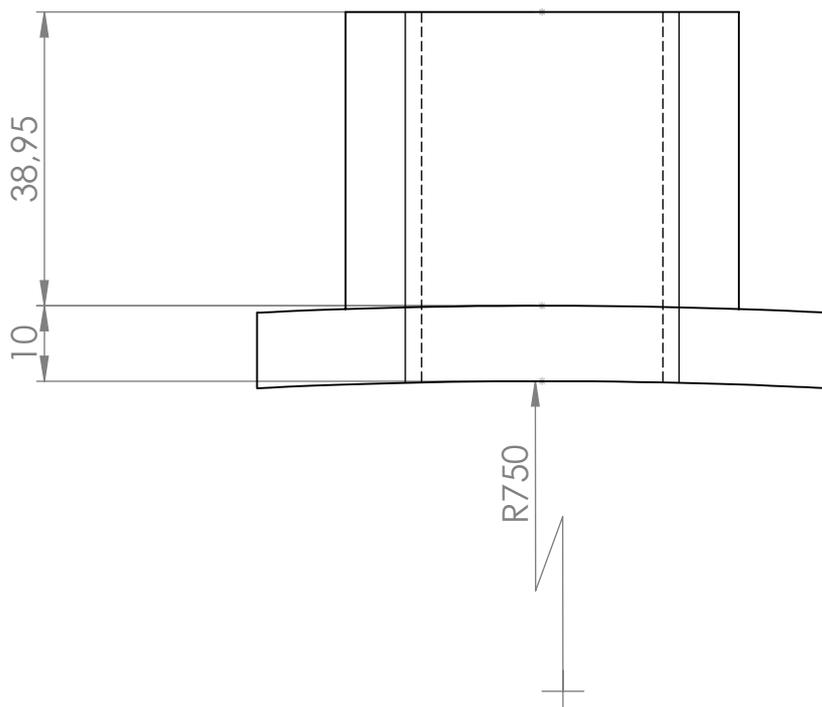
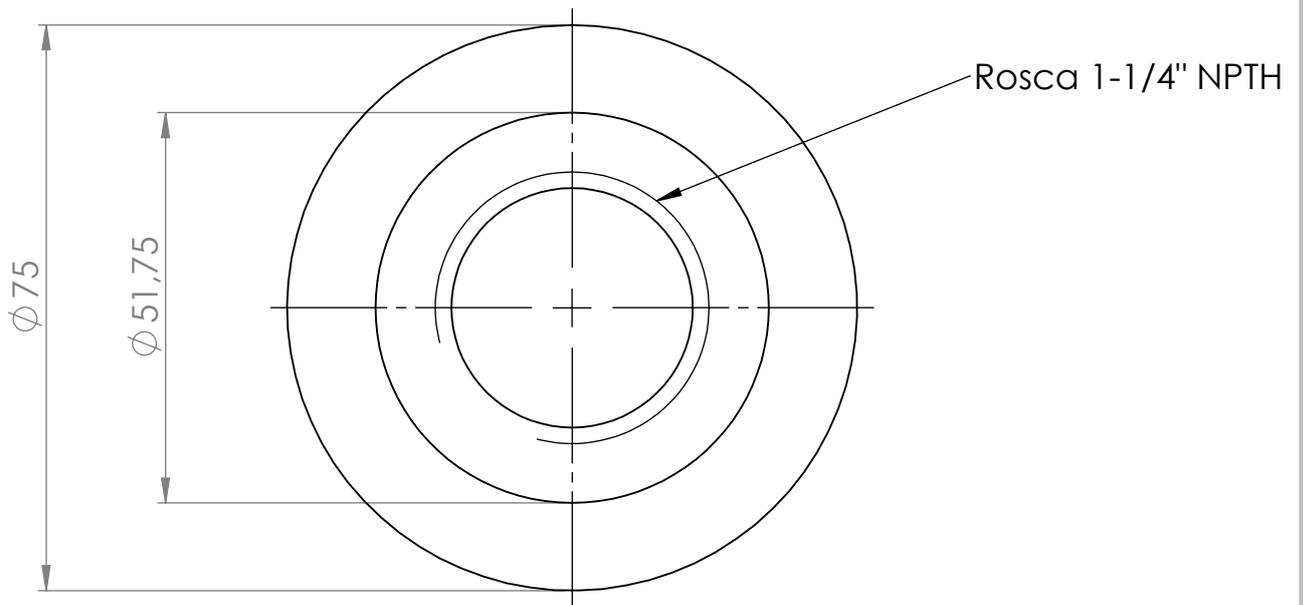
| | | | |
|-------------------------|---------|--|--|
| OREJETA DE IZAJE | | PLANO Nº: 1 | |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid | |
| P355NL1 | 1/2 | 01/02/2021 | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



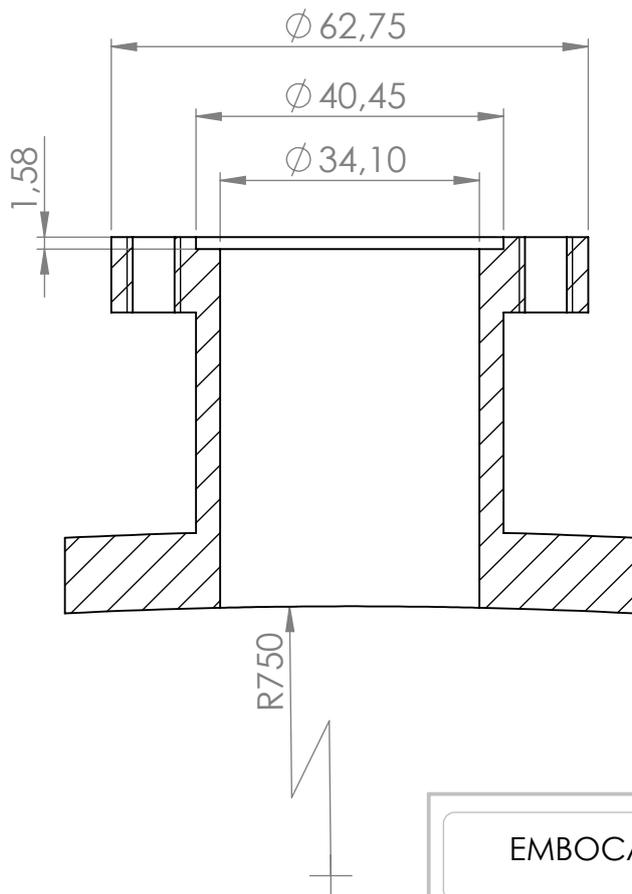
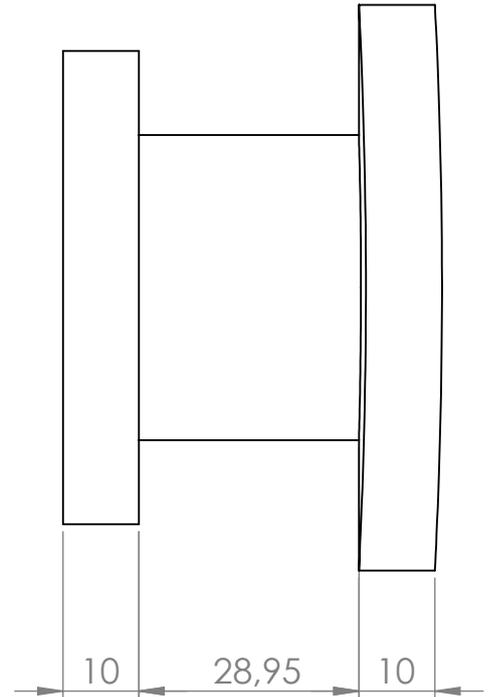
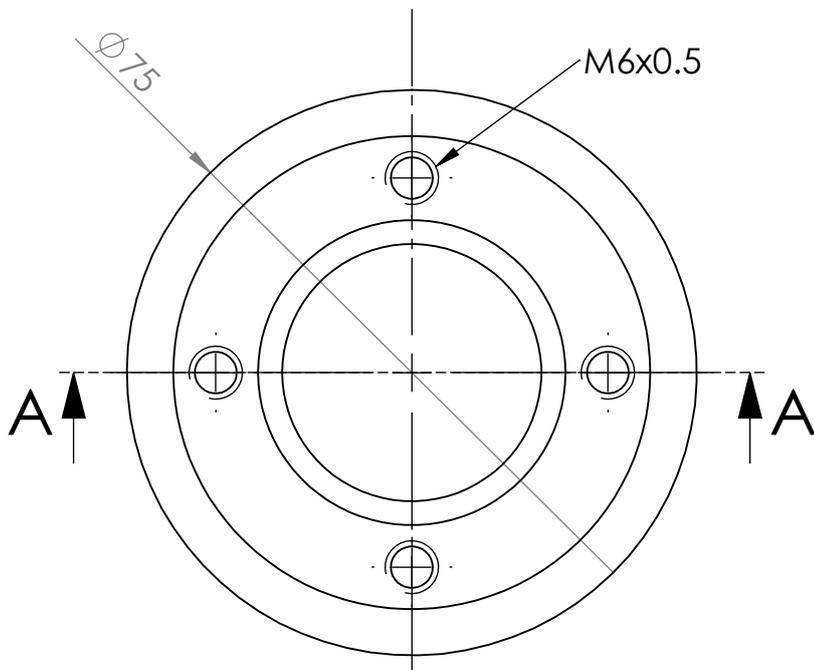
| | | |
|-------------------------|--|-----------------------------|
| OREJETA DE IZAJE | | PLANO Nº: 2 |
| MATERIAL: P355NL1 | ESCALA: 1/2 | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



| | | |
|------------------------|---------|--|
| EMBOCADURA 3/4" | | PLANO N°: 1 |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| P355NL1 | 1/1 | |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional |



| | | | |
|---------------------------|---------|--|--|
| EMBOCADURA 1-1/4 " | | PLANO Nº: 1 | |
| MATERIAL: | ESCALA: | Jesús Ginés Martínez Madrid | |
| P355NL1 | 1/1 | | |
| | | 01/02/2021 | |
| Ingeniería Mecánica | |  Universidad Politécnica de Cartagena Campus de Excelencia Internacional | |



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

| | | |
|----------------------------|---|------------------------------------|
| EMBOCADURA NIVEL MAGNÉTICO | | PLANO Nº: 1 |
| MATERIAL: P355NL1 | ESCALA: 1/1 | Jesús Ginés Martínez Madrid |
| | | 01/02/2021 |
| Ingeniería Mecánica |  Universidad Politécnica de Cartagena | Campus de Excelencia Internacional |

7- Bibliografía y referencias.

7.1- Normativa.

- **“UNE 60250:2008”**
“Instalaciones de almacenamiento de gases licuados del petróleo (GLP) en depósitos fijos para su consumo en instalaciones receptoras.”
- **“UNE-CEN/TS 16765:2015 (RATIFICADA)”**
“Equipos para GLP y sus accesorios. Consideraciones medioambientales para las normas del CEN/TC 286 (Ratificada por AENOR en julio de 2015.)”
- **“UNE-CEN/TS 16769:2019 (RATIFICADA)”**
“Equipos para GLP y sus accesorios. Terminología (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en julio de 2019.)”
- **“UNE-EN ISO 4256:1999”**
“Gases licuados de petróleo. Determinación de la presión de vapor. Método GLP. (ISO 4256:1996).”
- **“UNE-EN 12542:2011”**
“Equipos y accesorios para GLP. Depósitos cilíndricos estáticos, en acero soldado, fabricados en serie para el almacenaje de gas licuado de petróleo (GLP) de volumen inferior o igual a 13 m³. Diseño y fabricación.”
- **“UNE-EN 12817:2020”**
“Equipos y accesorios para GLP. Inspección y recalificación de los depósitos a presión para GLP de capacidad inferior o igual a 13 m³.”
- **“UNE-EN 13109:2011”**
“Equipos y accesorios para GLP. Depósitos y bidones para GLP. Eliminación.”
- **“UNE-EN 13175:2020”**
“Equipos y accesorios para GLP. Especificaciones y ensayos de las válvulas y accesorios de los depósitos a presión para gases licuados de petróleo (GLP).”
- **“UNE-EN 13799:2012”**
“Equipos y accesorios para GLP. Indicadores de nivel para recipientes a presión de gases licuados del petróleo (GLP).”
- **“UNE-EN 14071:2015+A1:2019”**
“Equipos y accesorios para GLP. Válvulas de alivio de presión para recipientes a presión de GLP. Equipos auxiliares.”

- **“UNE-EN 14129:2014”**
“Equipos y accesorios para GLP. Válvulas de alivio de presión para recipientes a presión de GLP.”
- **“UNE-EN 14570:2014”**
“Equipos y accesorios para GLP. Equipamiento de recipientes de GLP aéreos y enterrados.”
- **“UNE-EN 14894:2013”**
“Equipos y accesorios para GLP. Marcado de botellas y bidones.”
- **“UNE-EN 16119:2013”**
“Equipos y accesorios para GLP. Caperuzas y tapones de estanquidad para las válvulas de botellas de GLP y de tanques. Especificación y ensayo.”
- **“UNE-EN 16125:2020”**
“Equipos y accesorios para GLP. Sistemas de tuberías y soportes. GLP en fase líquida y fase de presión de vapor.”
- **“UNE-EN 16631:2015”**
“Equipos y accesorios para GLP. Válvulas de alivio de presión para recipientes a presión de GLP. Requisitos de reacondicionamiento.”
- **“UNE-EN 15614-1:2018”**
“Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Ensayo de procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldero por arco y con gas de aceros y soldero por arco de níquel y sus aleaciones. (ISO 15614-1:2017, Versión corregida 2017-10-01).”
- **“UNE-EN 15609-1:2005”**
“Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Especificación del procedimiento de soldeo. Parte 1: Soldero por arco. (ISO 15609-1:2004).”
- **“UNE-EN ISO 4063:2011”**
“Soldero y técnicas conexas. Nomenclatura de procesos y números de referencia. (ISO 4063:2009, versión corregida 2010-03-01).”
- **“UNE-EN 1092-1:2019”**
“Bridas y sus uniones. Bridas circulares para tuberías, grifería, accesorios y piezas especiales, designación PN. Parte 1: Bridas de acero.”

7.2- Páginas de internet.

- <http://www.osinerg.gob.pe/> (Información sobre GLP).
- <https://propanogas.com/> (Información sobre Propano).
- <https://www.lapesa.es> (Catálogo de depósitos Lapesa de GLP).
- <https://www.cepsa.es> (Información sobre GLP y catálogo depósitos Cepsa de GLP).
- <https://issuu.com> (Información sobre diseño de instalaciones de GLP).
- <https://www.vitogas.es/> (Información sobre instalaciones de GLP)
- <https://www.casider.com> (Información sobre aceros).
- <http://www.legris.com> (Información sobre tipos de roscas).
- <https://www.cavagnagroup.com/> (Información sobre válvulas y accesorios para depósitos de GLP).
- <https://rochestergauges.com> (Ficha técnica nivel Rochester Junior).
- <http://www.regoproducts.com/> (Ficha técnica de productos Rego).
- <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/> “Especificaciones técnicas CONAIF-SEDIGAS para la certificación de instaladores de gas. Materias específicas Tipo A. Parte 19. Depósitos fijos de GLP”
- <https://aenor.upct.es> (Normativa).
- <https://www.wikipedia.es> (Información varia).
- <https://repositorio.upct.es>.

7.3- Libros.

- RAP. Reglamento de aparatos a presión. 2002. Liteam ediciones.
- Budynas, R. y Nisbett, J. Shigley's Mechanical Engineering Design. 2012. McGraw-Hill Series (9ª ed).