

**DISEÑO DE UNA FAMILIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA EL  
DESARROLLO DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES PARA LA  
FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA (FCV)**

**JOSE LUIS ARENAS VÁSQUEZ**

**LESLY YISSET LANDAZABAL RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BUCARAMANGA**

**2015**

**DISEÑO DE UNA FAMILIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA EL  
DESARROLLO DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES PARA LA  
FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA (FCV)**

**JOSE LUIS ARENAS VÁSQUEZ**

**LESLY YISSET LANDAZABAL RODRÍGUEZ**

**Trabajo de Grado para optar el título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director**

**PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## DEDICATORIA

*A dios, por regalarme la vida, salud, sabiduría, fortaleza y una hermosa familia.*

*A mi madre, quien hasta el día de hoy siempre me ha acompañado brindándome amor, regalándome buenos consejos y corrigiéndome cuando es necesario.*

*A mi padre, por enseñarme a tomar decisiones, a ser fuerte y por demostrarme que con sacrificio todo se puede realizar.*

*A mi hermano, quien siempre será mi ejemplo a seguir.*

*A mis demás familiares, quienes con sus buenos consejos aportaron un granito de arena para mi formación como persona.*

*A ella, por ser mi amiga, mi compañera y mi confidente; gracias por regalarme una hermosa sonrisa día tras día.*

*Jose Luis Arenas Vásquez*

## DEDICATORIA

*Infinitamente te doy gracias Dios, porque han sido muchas las  
oportunidades que me has brindado.*

*A mis padres por estar siempre tan pendiente de mí y apoyarme en  
las decisiones que eh tomado.*

*A mi hermano, por regalarme esas conversaciones que arreglan el  
mundo.*

*Gracias a mis trilliz hermosas que me cambiaron y alegraron la  
vida.*

*Gracias a toda mi familia, son la más grandiosa de todas.*

*Y a ti mi amor, te debo muchas enseñanzas, has sido un ángel para  
mí y mi total fortaleza.*

*Lesly Yisset Landazábal Rodríguez*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al profesor Pedro José Díaz Guerrero director del proyecto, por acompañarnos durante todo el desarrollo de este trabajo y regalarnos excelentes consejos para nuestra vida personal y profesional.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por ser nuestros mentores en el proceso de formación como profesionales.

A Bioingeniería FCV, por crear un vínculo familiar con nosotros durante y después del periodo de prácticas.

A cada uno de los integrantes del grupo de profesionales de “Diseño y Desarrollo”, por su colaboración y entrega durante el desarrollo de este proyecto.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>30</b>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	30
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	32
1.3 OBJETIVOS DE TRABAJO DE GRADO.....	34
1.3.1 Objetivo general.....	34
1.3.2 Objetivos específicos.....	35
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	35
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>37</b>
2.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.....	37
2.2 BIOINGENIERÍA FCV.....	39
2.2.1 Proceso de Diseño y Desarrollo de los productos.....	42
2.2.2 Productos desarrollados por Bioingeniería FCV.....	44
2.2.2.1 Electrocardiógrafo digital.....	44
2.2.2.2 Unidad de Cuidado Intensivo Móvil.....	45
2.2.2.3 Unidad de Cuidado Intensivo Neonatal.....	45
2.2.2.4 Monitor de Signos Vitales 1300.....	46
2.2.2.5 Unidad Móvil para diagnóstico para Teleconsultas.....	47
2.3 SALAS DE CIRUGÍA DEL INSTITUTO DEL CORAZÓN DE FLORIDABLANCA.....	47
2.4 ANÁLISIS DE MERCADO.....	56
2.4.1 Identificación de los fabricantes Nacionales.....	56
2.4.2 Identificación de los fabricantes Internacionales.....	56
2.4.2.1 Drager.....	56
2.4.2.2 Starkstrom.....	56
2.4.2.3 Amico.....	57

2.4.2.4	Tedisel medical.....	57
2.4.2.5	Carburos medica .....	57
2.4.2.6	Beacon Medaes.....	57
<b>3.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>	<b>58</b>
3.1	DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO BASADO EN LOS CRITERIOS DE BIOINGENIERÍA FCV .....	58
3.1.1	RDD-BIO-03 “Requerimientos de diseño y gestión de cambio” .....	58
3.1.2	RDD-BIO-12 “Presupuesto para el proyecto de CT+i” .....	58
3.1.3	RDD-BIO-13 “Análisis general de idea propuesta para D&D” .....	58
3.1.4	RDD-BIO-14 “Redacción y aprobación de proyecto CT+i” .....	59
3.1.5	RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto” .....	59
3.2	CREACIÓN DE LA LÍNEA DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES .	59
3.2.1	Descripción del procedimiento .....	63
3.3	DISEÑO DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	64
3.3.1	Etapas de definición .....	65
3.3.2	Etapas preliminar del diseño. ....	66
3.3.3	Etapas del diseño detallado. ....	66
3.3.4	Etapas de documentación .....	66
<b>4.</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL .....</b>	<b>67</b>
4.1	LÍNEA DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES .....	67
4.1.1	Identificación de las características principales .....	67
4.1.1.1	Primer factor principal.....	67
4.1.1.2	Segundo factor principal.....	69
4.1.2	Identificación de las características secundarias.....	70
4.1.3	Generación de las configuraciones. ....	71
4.1.3.1	Primer modelo .....	71
4.1.3.2	Segundo modelo .....	72

4.1.3.3	Tercer modelo .....	73
4.1.3.4	Cuarto modelo .....	74
4.1.3.5	Quinto modelo .....	75
4.1.3.6	Sexto modelo.....	76
4.1.3.7	Séptimo modelo.....	77
4.1.3.8	Octavo modelo .....	78
4.1.4	Selección de las configuraciones .....	79
4.2	<b>MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE .....</b>	<b>82</b>
4.2.1	Sistema Estructural.....	84
4.2.1.1	Subsistema de vigas.....	84
4.2.2	Subsistema de uniones .....	88
4.2.2.1	Unión de muñeca .....	88
4.2.2.2	Unión de codo .....	89
4.2.2.3	Unión de hombro .....	91
4.2.3	Subsistema de empotramiento .....	92
4.2.4	Subsistema de módulos. ....	93
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DE DETALLE.....</b>	<b>95</b>
5.1	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE .....	95
5.1.1	Módulo de soporte de equipos .....	96
5.1.2	Acople de muñeca .....	96
5.1.3	Antebrazo .....	97
5.1.4	Acople de codo.....	98
5.1.5	Brazo .....	99
5.1.6	Acople de hombro .....	100
5.2	SISTEMA ESTRUCTURAL .....	101
5.2.1	Subsistema de vigas.....	101
5.2.1.1	Diagrama de momento flector y cortante para el antebrazo .....	102
5.2.1.2	Diagrama de momento flector y cortante para el brazo .....	103
5.2.1.3	Cálculo de la Inercia a partir del módulo de sección requerido.....	104

5.2.1.4	Cálculo de la Inercia a partir de la deflexión permisible.....	109
5.2.1.5	Identificación de las cargas reales para cada una de las configuraciones de la línea .....	115
5.2.1.6	Revisión de la resistencia por cortante .....	118
5.3	SISTEMA DE UNIONES.....	122
5.3.1	Subsistema de unión de muñeca .....	122
5.3.1.1	Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM4.....	125
5.3.1.2	Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM3.....	128
5.3.1.3	Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM5.....	131
5.3.1.4	Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM2.....	133
5.3.1.5	Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM1.....	136
5.3.2	Subsistema de unión de codo. ....	137
5.3.2.1	Método de cálculo para la fuerza sobre la unión .....	138
5.3.2.2	Características generales de la unión No. 1 .....	141
5.3.2.3	Características generales de la unión No.2.....	144
5.3.2.4	Características generales de la unión No.3.....	147
5.3.2.5	Características generales de la unión No.4.....	149
5.3.2.6	Características generales de la unión No.5.....	152
5.3.2.7	Características generales de la unión No.6.....	155
5.3.2.8	Selección del rodamiento .....	157
5.3.3	Subsistema de unión de hombro .....	159
5.3.3.1	Método de cálculo para la fuerza sobre la unión. ....	159
5.3.3.2	Características generales de la unión No.1 .....	161
5.3.3.3	Características generales de la unión No.2.....	164
5.3.3.4	Características generales de la unión No.3.....	167
5.3.3.5	Características generales de la unión No.4.....	170
5.3.3.6	Características generales de la unión No.5.....	172
5.3.3.7	Características generales de la unión No.6.....	175
5.3.3.8	Selección del rodamiento .....	178
5.4	SISTEMA DE EMPOTRAMIENTO .....	180

5.4.1	Clavícula para “Muebles con dos uniones de codo” .....	180
5.4.1.1	Placa Inferior .....	182
5.4.1.2	Placa Superior .....	193
5.4.1.3	Perfiles en “C” .....	201
5.4.1.4	Vigas de sostenimiento.....	205
5.4.2	Clavícula para “Muebles con una unión de codo” .....	209
5.4.2.1	Placa Inferior .....	209
5.4.2.2	Placa Superior .....	212
5.4.2.3	Perfiles en “C” .....	214
5.4.2.4	Vigas de sostenimiento.....	215
5.5	SISTEMA DE SUMINISTRO .....	217
5.5.1	Módulos .....	217
<b>6.</b>	<b>TAXONOMÍA.....</b>	<b>219</b>
<b>7.</b>	<b>COSTO DE VENTA.....</b>	<b>221</b>
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>224</b>
<b>9.</b>	<b>OBSERVACIONES .....</b>	<b>225</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>227</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>229</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Equipos biomédicos.....	30
Figura 2. Unidades mobiliarias flotantes de la FCV .....	32
Figura 3. Área de cirugía .....	34
Figura 4. Metodología Diseño y Desarrollo .....	43
Figura 5. Electrocardiógrafo digital .....	44
Figura 6. Unidad de cuidado intensivo móvil .....	45
Figura 7. Unidad de cuidado intensivo neonatal .....	46
Figura 8. Monitor de signos vitales 1300 .....	46
Figura 9. Unidad móvil para diagnóstico para tele consultas especializadas .....	47
Figura 10. Sala de cirugía pediátrica .....	48
Figura 11. Sistema actual de suministro de gases medicinales del ICF .....	49
Figura 12. Suministro de energía eléctrica .....	50
Figura 13. Mueble rodante para el electro bisturí.....	51
Figura 14. Montaje improvisado equipos médicos .....	51
Figura 15. Mueble de instrumentación quirúrgica .....	52
Figura 16. Atril para bombas y perfusores .....	52
Figura 17. Sistema de mueble flotante Cirugía .....	55
Figura 18. Sistema de suministro de energía eléctrica del mueble .....	55
Figura 19. Diagrama base para iniciar la metodología para el diseño de la línea..	60
Figura 20. Metodología planteada para el diseño de la línea .....	61
Figura 21. Continuación de la metodología del diseño de la línea de muebles .....	62
Figura 22. Plano en vista superior de unidad de cuidados intensivos por norma ..	68
Figura 23. Plano en vista superior de una sala de cirugía por norma .....	69
Figura 24. Mueble biomédico flotante de un brazo .....	71
Figura 25. Mueble biomédico flotante de una extremidad .....	72
Figura 26. Mueble biomédico flotante de un brazo más una extremidad .....	73

Figura 27. Mueble biomédico flotante de dos brazos.....	75
Figura 28. Mueble biomédico flotante de puente .....	76
Figura 29. Mueble biomédico flotante de dos extremidades.....	77
Figura 30. Mueble biomédico flotante de puente más uno .....	78
Figura 31. Mueble biomédico flotante de tres en una extremidad.....	79
Figura 32. Mueble biomédico flotante - Configuración 1 .....	80
Figura 33. Mueble biomédico flotante - Configuración 2.....	80
Figura 34. Mueble biomédico flotante - Configuración 3.....	81
Figura 35. Mueble biomédico flotante - Configuración 4.....	81
Figura 36. Mueble biomédico flotante - Configuración 5.....	82
Figura 37. Diseño conceptual de Mueble biomédico flotante.....	83
Figura 38. Sistemas mueble biomédico flotante .....	84
Figura 39. Rango de dimensiones para el perfil de aluminio .....	86
Figura 40. Configuración de extremidad totalmente extendida.....	95
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre para el módulo de soporte de equipos.....	96
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre para acople de muñeca .....	97
Figura 43. Diagrama de cuerpo libre para antebrazo.....	97
Figura 44. Diagrama de cuerpo libre para acople de codo .....	99
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre para brazo.....	99
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre para acople de hombro.....	101
Figura 47. Modelo conceptual Brazo - Antebrazo.....	101
Figura 48. Diagrama momento flector y cortante para antebrazo .....	102
Figura 49. Diagrama de momento flector y fuerza cortante para el brazo .....	103
Figura 50. Geometría rectangular para el perfil propuesto .....	107
Figura 51. Sección transversal rectangular.....	119
Figura 52. Vista explosionada unión de muñeca .....	123
Figura 53. Tolerancias en la unión de muñeca e identificación de las sub-uniones .....	124
Figura 54. Diagrama cuerpo libre para Cuerpo- UM4.....	125
Figura 55. Diagrama de fuerzas cortantes Cuerpo -UM4 .....	126

Figura 56. Diagrama momento flector Cuerpo- UM4 .....	126
Figura 57. Representación gráfica unión M1 .....	127
Figura 58. Esquema de la unión Cuerpo-UM3 y Cuerpo-UM4 .....	128
Figura 59. Diagrama de cuerpo libre para la Figura 58.....	129
Figura 60. Diagrama de fuerzas cortantes Cuerpo UM3.....	129
Figura 61. Diagrama de momento flector Cuerpo UM3 .....	129
Figura 62. Representación gráfica unión M2 (Cuerpo UM3 y UM4) .....	130
Figura 63. Reacciones Cuerpo- UM5.....	131
Figura 64. Reacción pernos a cortante .....	132
Figura 65. Diagrama de cuerpo libre Cuerpo UM2 .....	133
Figura 66. Áreas para los pernos que trabajan a cortante .....	135
Figura 67. Sección transversal Cuerpo UM2 .....	135
Figura 68. Esquema de la unión entre Cuerpo-UM1 y Placa INF-ANT.....	136
Figura 69. Condiciones de carga .....	138
Figura 70. Vista explosionada de la unión de codo.....	140
Figura 71. Tolerancias en la unión de codo e identificación de las sub-uniones .	141
Figura 72. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 1 .....	143
Figura 73. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 2.....	146
Figura 74. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 3.....	149
Figura 75. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 4.....	151
Figura 76. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 5.....	154
Figura 77. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 6.....	157
Figura 78. Diagrama posición de rodamiento en Acople de codo.....	158
Figura 79. Vista explosionada de la unión de hombro .....	160
Figura 80. Tolerancias en la unión de hombro e identificación de las sub-uniones .....	161
Figura 81. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 1 .....	163
Figura 82. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 2.....	166
Figura 83. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 3.....	169
Figura 84. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 4.....	172

Figura 85. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 5.....	174
Figura 86. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 6.....	177
Figura 87. Diagrama posición de rodamiento en Acople de hombro .....	179
Figura 88. Vista superior de la posición No.1 para análisis .....	181
Figura 89. Vista superior de la posición No.2 para análisis .....	181
Figura 90. Sistema de empotramiento .....	182
Figura 91. Vista frontal placa inferior cargada totalmente .....	183
Figura 92. Diagrama de cuerpo libre para la Figura 91 .....	183
Figura 93. Diagrama cortante Figura 91 .....	184
Figura 94. Vista frontal placa inferior cargada solo por una extremidad .....	184
Figura 95. Diagrama de cuerpo libre para la Figura 94.....	184
Figura 96. Diagrama cortante Figura 94 .....	185
Figura 97. Vista lateral placa inferior.....	186
Figura 98. Diagrama de cuerpo libre (Vista lateral).....	186
Figura 99. Diagrama cortante Figura 97 .....	186
Figura 100. Diagrama cortante placa cargada totalmente .....	187
Figura 101. Diagrama cortante placa cargada por una sola extremidad.....	188
Figura 102. Diagrama cortante vista lateral .....	188
Figura 103. Dimensiones placa inferior.....	189
Figura 104. Análisis CAD de deflexión y cargada totalmente “Posición No.1” .....	192
Figura 105. Análisis de deflexión en vista lateral y cargada totalmente “Posición No.1” .....	192
Figura 106. Análisis CAD de deflexión y cargada totalmente “Posición No.2” .....	193
Figura 107. Análisis de deflexión en vista lateral y cargada totalmente “Posición No.2” .....	193
Figura 108. Vista frontal placa superior cargada completamente .....	194
Figura 109. Diagrama de cuerpo libre para la Figura 108.....	194
Figura 110. Diagrama cortante – Fig. 108 .....	194
Figura 111. Momento flector – Fig. 108 .....	194
Figura 112. Vista frontal placa superior cargada parcialmente .....	195

Figura 113. Diagrama de cuerpo libre	Figura 112.....	195
Figura 114. Diagrama cortante – Fig. 112 .....		195
Figura 115. Momento flexionante – Fig. 112.....		195
Figura 116. Diagrama cortante – carga totalmente.....		196
Figura 117. Momento flexionante – cargada totalmente .....		196
Figura 118. Diagrama cortante –cargada parcialmente .....		196
Figura 119. Momento flexionante – cargada parcialmente .....		197
Figura 120. Dimensiones placa superior.....		197
Figura 121. Análisis CAD de deflexión (Posición No.1 – Carga completa) .....		198
Figura 122. Análisis de deflexión (Posición No.1 – Carga completa)..		198
Figura 123. Análisis CAD de deflexión (Posición No.1 – Carga parcial) .....		199
Figura 124. Análisis de deflexión (Posición No.1 – Carga parcial).....		199
Figura 125. Análisis CAD de deflexión (Posición No.2 – Carga completa) .....		199
Figura 126. Análisis de deflexión (Posición NO.2 – Carga completa).....		199
Figura 127. Análisis CAD de deflexión (Posición NO.2 – Carga parcial) .....		200
Figura 128. Análisis de deflexión (Posición No.2 – Carga parcial).....		200
Figura 129. Diagrama de carga perfil en "C".....		201
Figura 130. Diagrama cortante (Figura 129).....		202
Figura 131. Análisis de deflexión Perfil UPE80 de alas paralelas.....		202
Figura 132. Análisis CAD Perfil UPE80 de alas paralelas .....		202
Figura 133. Diagrama de carga para perfil en “C” de la mitad .....		203
Figura 134. Diagrama cortante para perfil en "C" de la mitad .....		203
Figura 135. Diagrama de fuerzas para viga de sostenimiento .....		205
Figura 136. Dimensiones placa inferior.....		209
Figura 137. Dimensiones placa superior.....		212
Figura 138. Análisis de deflexión (Posición No.1).....		213
Figura 139. Análisis de deflexión (Posición No.2).....		213
Figura 140. Propuesta módulo zona seca .....		218
Figura 141. Propuesta módulo zona seca -húmeda .....		218
Figura 142. Propuesta módulo zona seca -húmeda .....		218

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Metodología de diseño.....	65
Tabla 2. Peso de los equipos básicos para una cirugía.....	86
Tabla 3. Propiedades del material para la sección transversal.....	87
Tabla 4. Valores para el momento flector $M_{x3}$ del antebrazo .....	98
Tabla 5. Valores para el momento de rotación $M_{y3}$ en el antebrazo .....	98
Tabla 6. Valores para momento flector $M_{x5}$ en el brazo.....	100
Tabla 7. Valores para el momento de rotación $M_{y5}$ en el brazo .....	100
Tabla 8. Valor de inercia encontrado para el antebrazo a partir del módulo de sección requerido.....	106
Tabla 9. Valores de base para el antebrazo a partir de la inercia inicial encontrada .....	107
Tabla 10. Valor de inercia encontrado para el brazo a partir del módulo de sección requerido.....	108
Tabla 11. Valores de base para el antebrazo a partir de la inercia inicial encontrada .....	109
Tabla 12. Dimensiones del perfil, según las Inercias encontradas para el brazo	111
Tabla 13. Dimensiones para el perfil, con un espesor de 15 [mm] .....	112
Tabla 14. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de una extremidad .....	114
Tabla 15. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de un brazo .....	115
Tabla 16. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de dos brazos .....	116
Tabla 17. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante un brazo (1000 mm) más una extremidad .....	116

Tabla 18. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante un brazo (1200 mm) más una extremidad .....	117
Tabla 19. Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de dos extremidades .....	118
Tabla 20. Resistencia mecánica de la sección transversal para la configuración de un brazo .....	120
Tabla 21. Resistencia mecánica de la sección transversal del antebrazo para la configuración de una extremidad .....	120
Tabla 22. Resistencia mecánica de la sección transversal del brazo para la configuración de una extremidad .....	121
Tabla 23. Datos de entrada unión M1 .....	127
Tabla 24. Características del perno de la unión M1 .....	127
Tabla 25. Resultados para unión M1 .....	128
Tabla 26. Datos de entrada unión M2 .....	130
Tabla 27. Características del perno para unión M2 .....	130
Tabla 28. Resultados unión M2 .....	131
Tabla 29. Datos de entrada unión M3 .....	136
Tabla 30. Características del perno para unión M3 .....	137
Tabla 31. Resultados unión M3 .....	137
Tabla 32. Datos de entrada para la unión No.1 .....	141
Tabla 33. Características del perno de la unión No.1 .....	142
Tabla 34. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.1 .....	142
Tabla 35. Distribución de pernos de la unión No.1 .....	143
Tabla 36. Resultados de la unión No.1 .....	144
Tabla 37. Datos de entrada para la unión No.2 .....	144
Tabla 38. Características del perno de la unión No.2 .....	144
Tabla 39. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.2 .....	145
Tabla 40. Distribución de pernos de la unión No.2 .....	146
Tabla 41. Resultados de la unión No.2 .....	146
Tabla 42. Datos de entrada para la unión No.3 .....	147

Tabla 43. Características del perno de la unión No.3 .....	147
Tabla 44. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.3 .....	147
Tabla 45. Distribución de pernos de la unión No.3 .....	148
Tabla 46. Resultados de la unión No.3 .....	149
Tabla 47. Datos de entrada para la unión No.4 .....	149
Tabla 48. Características del perno de la unión No.4 .....	150
Tabla 49. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.4 .....	150
Tabla 50. Distribución de pernos de la unión No.4 .....	151
Tabla 51. Resultados de la unión No.4 .....	152
Tabla 52. Datos de entrada para la unión No.5 .....	152
Tabla 53. Características del perno de la unión No.5 .....	152
Tabla 54. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.5 .....	153
Tabla 55. Distribución de pernos de la unión No.5 .....	154
Tabla 56. Resultados de la unión No.5 .....	154
Tabla 57. Datos de entrada para la unión No.6 .....	155
Tabla 58. Características del perno de la unión No.6 .....	155
Tabla 59. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.6 .....	155
Tabla 60. Distribución de pernos de la unión No.6 .....	156
Tabla 61. Resultados de la unión No.6 .....	157
Tabla 62. Resultado vida útil Rodamiento de codo .....	159
Tabla 63. Datos de entrada para la unión No.1 .....	161
Tabla 64. Características del perno de la unión No.1 .....	162
Tabla 65. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.1 .....	162
Tabla 66. Distribución de pernos de la unión No.1 .....	163
Tabla 67. Resultados de la unión No.1 .....	164
Tabla 68. Datos de entrada para la unión No.2 .....	164
Tabla 69. Características del perno de la unión No.2 .....	164
Tabla 70. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.2 .....	165
Tabla 71. Distribución de pernos de la unión No.2 .....	166
Tabla 72. Resultados de la unión No.2 .....	166

Tabla 73. Datos de entrada para la unión No.3 .....	167
Tabla 74. Características del perno de la unión No.3 .....	167
Tabla 75. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.3 .....	167
Tabla 76. Distribución de pernos de la unión No.3 .....	169
Tabla 77. Resultados de la unión No.3 .....	169
Tabla 78. Datos de entrada para la unión No.4 .....	170
Tabla 79. Características del perno de la unión No.4 .....	170
Tabla 80. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.4 .....	170
Tabla 81. Distribución de pernos de la unión No.4 .....	171
Tabla 82. Resultados de la unión No.4 .....	172
Tabla 83. Datos de entrada para la unión No.5 .....	172
Tabla 84. Características del perno de la unión No.5 .....	173
Tabla 85. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.5 .....	173
Tabla 86. Distribución de pernos de la unión No.5 .....	174
Tabla 87. Resultados de la unión No.5 .....	175
Tabla 88. Datos de entrada para la unión No.6 .....	175
Tabla 89. Características del perno de la unión No.6 .....	175
Tabla 90. Ecuaciones para el cálculo de la unión No.6 .....	176
Tabla 91. Distribución de pernos de la unión No.6 .....	177
Tabla 92. Resultados de la unión No.6 .....	177
Tabla 93. Resultado vida útil Rodamiento de hombro .....	180
Tabla 94. Características del material.....	190
Tabla 95. Datos de entrada para la unión No.1 .....	204
Tabla 96. Características del perno de la unión No.1 .....	204
Tabla 97. Resultados para la unión No.1 .....	204
Tabla 98. Datos de entrada para la unión.....	207
Tabla 99. Características del perno de la unión No.1 .....	208
Tabla 100. Resultados para la unión No.1 .....	208
Tabla 101. Datos de entrada para la unión No.1 .....	214
Tabla 102. Características del perno de la unión No.1 .....	214

Tabla 103. Resultados para la unión No.1 .....	215
Tabla 104. Datos de entrada para la unión No.2 .....	216
Tabla 105. Características del perno de la unión No.2 .....	216
Tabla 106. Resultados para la unión No.2.....	217
Tabla 107. Especificación taxonomía de la familia de piezas del mueble biomédico flotante .....	219
Tabla 108. Costo de venta del producto .....	221

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. RDD-BIO-03 “Requerimientos de diseño y gestión de cambio” .....	229
Anexo B. RDD-BIO-13 “Análisis general de idea propuesta para D&D” .....	233
Anexo C. RDD-BIO-14 “Redacción y aprobación de proyecto CT+i” .....	252
Anexo D. RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto” .....	270
Anexo E. RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto” .....	290
Anexo F. Ensamble total Mueble biomédico flotante .....	307
Anexo G. Vista explosionada de Unión de muñeca .....	308
Anexo H. Vista explosionada Ante-brazo.....	314
Anexo I. Vista explosionada de Unión de codo.....	315
Anexo J. Vista explosionada brazo .....	322
Anexo K. Vista explosionada unión de codo .....	323
Anexo L. Vista explosionada Clavícula .....	330

## RESUMEN

**TÍTULO:** DISEÑO DE UNA FAMILIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA EL DESARROLLO DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES PARA LA FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA (FCV) \*

**AUTORES:** JOSE LUIS ARENAS VÁSQUEZ  
LESLY YISSET LANDAZABAL RODRÍGUEZ \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Bioingeniería FCV, Mueble biomédico flotante, Brazos, Equipos biomédicos, Ingeniería de detalle, HIC, UEE.

### DESCRIPCIÓN

Por medio de la elaboración de este proyecto de grado, se consigue el fortalecimiento de la relación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander con la Industria Local, diseñando una familia de elementos estructurales para el desarrollo de muebles biomédicos flotantes, los cuales permitirán optimizar el espacio en salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos del proyecto Complejo Médico del Hospital Internacional de Colombia (HIC), promovido y dirigido por la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

El objetivo del proyecto radica en la ingeniería de detalle de cada uno de los elementos estructurales que hacen parte de un mueble biomédico flotante, a su vez generar una línea de este tipo de muebles, según el número de brazos, la capacidad de carga, la longitud de los brazos, entre otros aspectos importantes que conforman en su totalidad el mueble; todo esto con el propósito de crear configuraciones flexibles según las necesidades de equipamiento médico y contribuir con la ampliación de la gama de productos hospitalarios ofrecidos por Bioingeniería FCV.

Este proyecto está liderado por la Unidad Estratégica Empresarial (UEE), Bioingeniería FCV; actualmente esta UEE es la encargada de suplir las necesidades más exigentes del personal médico de la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV), con respecto al desarrollo de dispositivos biomédicos para el amueblamiento de cada una de las áreas hospitalarias.

---

\* Práctica empresarial

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Pedro José Díaz Guerrero

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN OF A FAMILY OF STRUCTURAL ELEMENTS TO DEVELOPMENT OF BIOMEDICAL FLOATING FURNITURE FOR THE CARDIOVASCULAR FOUNDATION OF COLOMBIA (FCV)\*

**AUTHORS:** JOSE LUIS ARENAS VÁSQUEZ  
LESLY YISSET LANDAZABAL RODRÍGUEZ \*\*

**KEYWORDS:** Bioengineering FCV, Biomedical floating furniture, Arms, Biomedical equipment, Detailed engineering, HIC, UEE.

## DESCRIPTION

Through the development of this project we can get the strengthening of relations between the School of Mechanical Engineering at the Universidad Industrial de Santander with the domestic industry, through the process of designing a family of structural components for the development of furniture which will allow to optimize the space in operating rooms and intensive care units, of the Project belonging to Medical Complex – International Hospital of Colombia (HIC), promoted and managed by the Cardiovascular Foundation of Colombia (FCV).

The aim of the project lies in the detailed engineering of each structural elements that are part of a floating biomedical furniture, and at the same time it is looking to generate a line of this type of furniture, based on the number of arms, the load capacity, the length of the arms, among other important aspects which are forming the entire cabinet; the purpose is creating flexibles configurations according to the needs of medical equipment and contribute to expanding the range of products offered by hospital Bioengineering FCV

This project is led by, Bioengineering FCV Strategic Business Unit (EEU); UEE is currently the responsible for meeting the most demanding needs of medical staff of the Cardiovascular Foundation of Colombia (FCV), respect to the development of biomedical devices for furnishing each hospital areas.

---

\* Graduate Project

\*\* Physics and Mechanics Faculty. School of Mechanical Engineering. Director: Ing. Pedro José Díaz Guerrero

## INTRODUCCIÓN

La optimización de espacio es sin duda sinónimo de productividad; algo que puede parecer tan trivial como organizar el espacio de trabajo y amueblarlo convenientemente, se ha convertido en un elemento esencial para el buen desarrollo de las actividades diarias.

La palabra mueble viene del latín *mobilis* que significa “que se puede transportar”; dentro de las salas de cirugía se encuentran varios tipos que son utilizados para el soporte y acondicionamiento de los equipos biomédicos que participan de manera activa y pasiva durante el desarrollo de los procedimientos, estos muebles tienen ruedas y se encuentran situados en el suelo, y generalmente permanecen estáticos durante todo el desarrollo del procedimiento.

En el sector mobiliario Nacional, se encuentran compañías dedicadas al diseño y desarrollo de muebles biomédicos, para el soporte, suministro y movilización de equipos, sin embargo ninguna ha incursionado en el sector mobiliario biomédico flotante; por tal motivo y en búsqueda de extender su línea de productos hospitalarios, Bioingeniería FCV se da a la tarea de emprender y liderar este proyecto, brindando la oportunidad de fortalecer la relación de la Universidad Industrial de Santander con la industria local, en pro del beneficio de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Los muebles biomédicos flotantes, tienen como funciones principales el soporte y suministro de energía eléctrica y gases medicinales a los diferentes equipos con los que se requiere contar dentro de cualquier tipo de cirugía; dentro de sus funciones secundarias cumple con eliminar todo tipo de cableado que se encuentre en el suelo evitando así cualquier tipo de accidente involuntario, siendo esta última de gran importancia en procedimientos que implican el uso de una gran cantidad de equipos médicos.

La implementación de un sistema mobiliario flotante que permita el ordenamiento y la distribución de los equipos biomédicos indispensables dentro de los procedimientos quirúrgicos que se realizan en el Instituto del Corazón de Floridablanca (ICF) y próximamente en el Hospital Internacional de Colombia (HIC), favorecería ampliamente al aprovechamiento de espacio en un área tan trascendental, como lo representa una sala de cirugía.

Como resultado del proyecto de grado, se presenta la ingeniería de detalle de cada una de las sub-familias que componen la familia de elementos estructurales que hacen posible el diseño y desarrollo de los muebles biomédicos flotantes; así mismo se presenta el diseño de una línea de este tipo de muebles para las áreas de cuidados intensivos y salas de cirugía, en beneficio y propiedad de la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

# 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los muebles biomédicos flotantes hacen parte de los principales equipos mecánicos que se utilizan en los procedimientos realizados en las áreas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, optimizan el espacio de trabajo en las zonas de quirófano manteniendo los cables eléctricos y las mangueras de los gases medicinales fuera del entorno de la mesa quirúrgica, aportan mayor seguridad en la colocación de equipos de monitorización, ventiladores, perfusores, bombas de infusión, aparatos de succión y demás dispositivos (Figura 1.) necesarios en un proceso quirúrgico, al mismo tiempo permite posicionar los equipos dentro del radio de giro que abarca la longitud de cada uno de los brazos que conforman el mueble.

**Figura 1.** Equipos biomédicos



**Fuente.** Grupo neotecnia

En el mercado nacional de diseño, desarrollo y producción de muebles, se encuentran empresas especialistas en el sector urbano, comercial y oficina, pero sin embargo, ninguna se da a la iniciativa de incursionar en el campo mobiliario biomédico flotante para las áreas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, dando como única solución la importación de este tipo de muebles.

La importación de equipos de cualquier naturaleza, además de prolongar el consumismo Colombiano, disminuir la producción y debilitar la economía, genera problemas de adaptación frente a el funcionamiento del equipo por la falta de capacitación del usuario, costos elevados de adquisición, problemas de soporte técnico permanente y oportuno, daños y pérdida de piezas en el proceso de transporte, originando incomodidad en el cliente y el usuario; simultáneamente obstruye el camino de convertirlo en un nación generadora de conocimiento y tecnología.

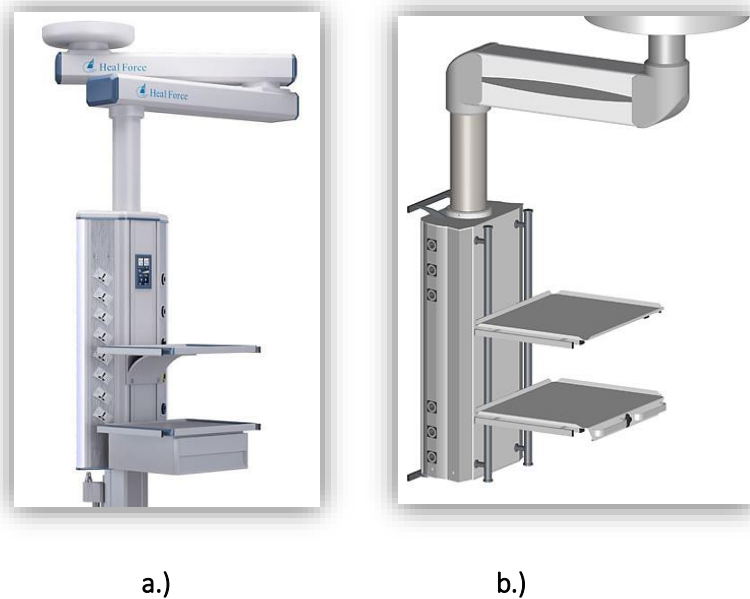
Actualmente la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV) cuenta con dos tipos de muebles biomédicos flotantes en el Instituto del Corazón de Floridablanca (ICF) para el área quirúrgica, uno ubicado en la sala de hemodinamia (Figura 2.a) y el otro en cirugía general (Figura 2.b), estas unidades mobiliarias están conformadas por uno y dos brazos respectivamente.

Cuando se presenta un evento de falla sobre el mueble flotante, se tiene una dependencia de entidades internacionales, ya que los componentes que forman parte del ensamble total del dispositivo no son de origen nacional, lo cual implica el adaptarse a las políticas internas principalmente en los tiempos de entrega y disponibilidad de los componentes afectados, generando contraposición entre el personal médico y de mantenimiento, del Instituto del Corazón de Floridablanca.

El Instituto del Corazón de Floridablanca se ha caracterizado por brindarles a sus pacientes la mejor atención en los diferentes servicios y procedimientos quirúrgicos que allí se realizan, por lo tanto se desea evitar este tipo de inconvenientes que se presentan, por no tener autonomía sobre la producción y el mantenimiento de los

componentes mecánicos que hacen parte del dispositivo, lo que motiva al desarrollo de este proyecto.

**Figura 2.** Unidades mobiliarias flotantes de la FCV



**Fuente.** Bioingeniería FCV

## 1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

La Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV), cuenta con Unidades Estratégicas Empresariales (UEE), las cuales han representado cambios importantes a nivel de estructura y de visión organizacional. Dentro de las UEE, se encuentra FCV Bioingeniería, que tiene como propósito fortalecer la innovación de servicios y productos de equipamiento médico a la medida de las necesidades hospitalarias del país.

El área de Bioingeniería, se encuentra ubicada en el municipio de Floridablanca en el Centro Tecnológico Empresarial (CTE) de la Fundación Cardiovascular de Colombia. Desde el año 2003 se da a la tarea de buscar soluciones a las diferentes exigencias expuestas por parte del personal médico, con respecto a los diversos equipos hospitalarios que se manejan en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

Dentro de los productos desarrollados por el área de Bioingeniería, se encuentran unidades de cuidados intensivos neonatales, monitores de signos vitales, unidades móviles de cuidados intensivos, cámaras de fototerapia, dispositivos de terapia respiratoria entre otros. Con la creación de estos equipos, se va acrecentando la confiabilidad para incursionar en el diseño, desarrollo y producción de muebles biomédicos flotantes, los cuales son ensamblados y constituidos principalmente por componentes mecánicos; generando así una mayor gama de productos para ser ofrecidos en el mercado Nacional.

La generación de una variedad de un grupo de elementos mecánicos útiles para la construcción de mobiliario biomédico flotante en las áreas de cirugía (Figura 3), tiene como propósito configurar su equipo según los requerimientos principalmente de carga y longitud que la sala quirúrgica o unidad de cuidados intensivos demande.

El propósito de ampliar la gama de productos biomédicos ofrecidos, también se encuentra considerablemente relacionado con la creación del complejo médico más importante de América Latina, el Hospital Internacional de Colombia (HIC) promovido y dirigido por la Fundación Cardiovascular de Colombia, en el cual se quiere instalar toda la variedad de equipos desarrollados por el área de Bioingeniería con el motivo de convertirse en una entidad autónoma.

**Figura 3.** Área de cirugía



**Fuente.** Club Gertech – Innovación y tecnología para la gestión sanitaria

### **1.3 OBJETIVOS DE TRABAJO DE GRADO**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, consistente en formar personas de alta calidad ética, política y profesional, en aras de apoyar al crecimiento y progreso de la ciencia, mejorando el vínculo de la Escuela de Ingeniería Mecánica con la Industria local, realizando el proyecto, Diseño de una familia de elementos estructurales para el desarrollo de muebles biomédicos flotantes para la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Diseño de una familia de elementos estructurales que permita el desarrollo de múltiples configuraciones de muebles biomédicos flotantes aplicables a salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, con las siguientes características:
  - Número de vigas (brazo o antebrazo) : 1, 2, 3 o 4
  - Rango de longitudes de las vigas : 600 mm a 1200 mm
  - Rango de giro de las vigas en plano horizontal : 0 a 360°
  - Rango de capacidad de carga para cada uno de los módulos según el número de vigas : 0 a 300 Kg
  - Número de tomas de acceso rápido para gases medicinales por módulo : Máximo 12
  - Número de tomas de energía eléctrica por módulo : Máximo 20
  - Sistema de anclaje a techo para soporte del mueble en un rango de 0 a 1000 Kilogramos.
  
- Establecer la taxonomía de cada uno de los miembros de la familia que permiten llevar a cabo el desarrollo de una línea de muebles biomédicos flotantes.
- Desarrollar una metodología para el diseño y desarrollo de una línea de muebles biomédicos flotantes.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

Mediante este trabajo de grado, como estudiantes de Ingeniería Mecánica se diseñara una familia de elementos estructurales que permitan el desarrollo de muebles biomédicos flotantes que cumpla con los requerimientos de la Fundación Cardiovascular de Colombia.

Con el conocimiento adquirido y apoyados por el personal de Bioingeniería FCV, y bajo la supervisión del director de proyecto, se diseñara una familia de elementos estructurales capaces de generar múltiples configuraciones de muebles biomédicos flotantes, según las necesidades de equipamiento que se requieran suplir.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA**

La Fundación Cardiovascular de Colombia-FCV, entidad sin ánimo de lucro creada en 1986 con el propósito de prestar servicios de salud en el área Cardiovascular, es actualmente la Institución de Salud en Colombia que ostenta el mayor número de reconocimientos.

El sueño forjado en sus inicios, se convirtió en realidad empresarial, y ha evolucionado a tal punto que en tan corto tiempo se ha convertido en centro de referencia internacional en la implementación de modelos de gestión hospitalaria y en el tratamiento de enfermedades de alta complejidad.

Dentro de los reconocimientos y logros más importantes se destacan: Premio Colombiano a la Calidad en la Gestión 2003; Primera IPS acreditada en Colombia (ICONTEC 2005); Primera IPS acreditada en Colombia por la Joint Comission International (JCI 2009); Reconocimiento Plata (Premio Iberoamericano de la Calidad 2011); Octavo puesto en el Ranking de Hospitales de Latinoamérica (Revista América Economía de Chile en 2013; el “Inclusive Business Leader Award 2013 (Internacional Finance Corporation – IFC)” y en 2014 la primera Institución de Salud acreditada como Hospital Universitario (Ley 1438 de 2011).

La FCV se destaca por su proceso de innovación materializado en trece Unidades Estratégicas Empresariales que proveen productos y servicios en el Sector de Salud y por su posicionamiento como uno de los Centros de Investigación en Salud más productivos de Colombia.

Desde los inicios de la FCV, la investigación ha sido un pilar fundamental dentro del desarrollo de la institución. En el proceso de crear una cultura para la investigación científica, la FCV no escatimo esfuerzo alguno; prueba de ello son las constantes

capacitaciones de sus funcionarios; la contratación de científicos de renombre internacional y la participación y realización de eventos académicos nacionales e internacionales. Estas acciones iniciales de la FCV le han otorgado a la institución un cariz de escuela académica ante sus empleados y el público en general. Desde los inicios de la década de los noventa, el interés de la FCV por generar espacios para la investigación en la región nororiental ha sido reconocido a nivel nacional e internacional por la comunidad médica y científica.

En 2001 el antiguo centro de investigaciones se convirtió en la Unidad Estratégica Empresarial (UEE) FCV. Instituto de Investigaciones, encargada de dirigir investigación de excelencia en Ciencias de la Salud, para generar conocimientos útiles en la identificación y tratamiento de enfermedades de alta ocurrencia actual o potencial. Actualmente, funciona adscrita a la Dirección de Investigaciones y tiene una planta de dieciséis personas, de las cuales seis tiene doctorado y se dedican a generar y desarrollar proyectos de investigación biomédica. Por otra parte, con la participación de cerca de treinta y dos médicos especialistas e investigadores del Instituto del Corazón se conducen proyectos de investigación clínica, lo cual permite hacer traslación del conocimiento generado en recomendaciones clínicas que impacten la salud de los pacientes y la sociedad.

En cuanto a los recursos económicos que gestiona esta unidad para su funcionamiento y crecimiento, estos provienen de fuentes propias como: la propia FCV, que se encarga de mantenimiento básico del centro y de las contrapartidas requeridas; y Entidades Gubernamentales y no gubernamentales, nacionales y extranjeras, que financian proyectos de investigación. En el ámbito nacional, la institución ha recibido recursos de Colciencias por medio de la participación en convocatorias para proyectos de investigación en los Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud, Biotecnología, Ciencias Básicas y Electrónica, Telecomunicaciones e Informática.

Un trabajo articulado y enfocado de parte del grupo de investigadores altamente competente, le permitió al Centro de Investigaciones ser reconocido por Colciencias

bajo la resolución 01985 en 2010. Rápidamente, se ubicó como uno de los mejores centros de investigación del país. Así lo demuestran los resultados del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología en 2011, que lo ubican en el puesto 7 entre los 83 centros de investigación y desarrollos tecnológicos evaluados en el país.

En el 2013, el Centro de Investigaciones de la FCV se posiciona como uno de los centros privados en el sector salud más productivos en Colombia con 42 proyectos de Investigación financiados por Colciencias, 226 publicaciones científicas y 10 grupos de investigación reconocidos por Colciencias.

Para el próximo quinquenio, la FCV abrirá las puertas a su proyecto más ambicioso: el Hospital Internacional de Colombia. Para estar a la altura del reto, se ha formulado un Plan de Desarrollo Integrado al 2020, que incluye la articulación de investigación con desarrollo tecnológico e innovación.

## **2.2 BIOINGENIERÍA FCV**

Esta Unidad Estratégica Empresarial se gestó hacia finales de 2003 con el fin de desarrollar una empresa de base tecnológica que innovara en soluciones de equipamiento médico a la medida de las necesidades hospitalarias del país. Adicionalmente, en la región era evidente la necesidad de disponer de una fuente de trabajo para los jóvenes recién egresados de sus universidades en carreras como Ingeniería Biomédica y Electrónica entre otras, quienes emigraban hacia otras ciudades por carecer de empleos donde pudieran poder en práctica el conocimiento adquirido.

Como estrategia para dinamizar su desarrollo, la FCV decidió presentar proyectos a Colciencias, para lo cual requirió como primer paso, la creación de una unidad de investigaciones especializada en el desarrollo de innovación biomédica. Este grupo inicio su trabajo enfocado en hacer desarrollos en el área cardiovascular como el Holter de EKG, las tarjetas de interfaz para monitores de signos vitales, el prototipo

de monitoreo ambulatorio de electrocardiografía y el prototipo de un equipo intercomunicador entre monitores de signos vitales y PC, proyectos que fueron culminados con éxito en el 2005.

La decisión institucional de desarrollar proyectos de investigación en el área de la ingeniería biomédica buscaba integrar los resultados de este grupo de investigación con las demás áreas de la FCV, como el desarrollo de software y el área médica misma para, a partir de esta sinergia, producir soluciones tecnológicas novedosas para el manejo clínico de los pacientes.

El valor de esta unidad radica en saber crear, producir, validar y administrar productos para responder a las necesidades de equipamiento médico en los hospitales del país, aprovechando el conocimiento de los profesionales locales desde una adecuada gestión de la tecnología biomédica.

En la actualidad, Bioingeniería esta soportada sobre tres ejes principales: el primero es la gestión de los recursos con base en altos estándares de calidad; el segundo gran eje es la anticipación, que consiste en evaluar claramente las necesidades del sector, la región y la comunidad médica para generar desarrollos que brinden soluciones reales y ajustadas a los requerimientos de la medicina actual; y, el tercer eje es la innovación que permitió desarrollar en el último año cinco nuevos proyectos, dos en el área de metrología, uno en monitoreo de signos vitales y dos dispositivos médicos para el tratamiento de problemas respiratorios.

Hoy por hoy, Bioingeniería cuenta con una estructura que consta de cinco procesos:

- **Diseño y Desarrollo:** esta área es la encargada del desarrollo de nuevos dispositivos médicos. Para el 2014 iniciará la comercialización de cuatro dispositivos nuevos de diseño propio que son: el monitor de signos vitales SingCare, la manta térmica BeWarm y los dispositivos para terapia respiratoria Burter y Controlizer. En este momento, está culminando el proyecto denominado “Monitor Critical Care” que cuenta con tecnología de

punta y conectividad para transmisión de datos. Adicionalmente, está a las puertas de iniciar tres proyectos nuevos de desarrollo tecnológico.

- **Validación y Metrología:** Bioingeniería cuenta con el único laboratorio de metrología existente en la región para la calibración de variables biomédicas, acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación (ONAC) bajo la norma ISO 17025:2005, lo cual le permite validar sus propios dispositivos. El laboratorio está ejecutando tres proyectos de investigación en el área de metrología así: 1. Calibración de equipos ultrasonido terapéutico y diagnósticos; 2. Calibración de equipos patrones; 3. Calibración de equipos rayos X.

Con esta iniciativa, se pretende implementar mejoras prácticas que brinden mayor seguridad a los pacientes y a los usuarios de la tecnología biomédica.

- **Producción:** Para convertir los diseños en realidad es necesario contar con un área adecuada y validada para realizar el ensamble de los dispositivos. FCV Bioingeniería está certificada para el ensamble de dispositivos médicos bajo la norma ISO 13485, además de contar con permiso del INVIMA para la producción de los mismos.
- **Soporte técnico:** FCV Bioingeniería cuenta con personal altamente capacitado y acreditado por el INVIMA para prestar servicios de capacitación, instalación, evaluación y mantenimiento tanto correctivo como preventivo de equipos médicos en instituciones de salud.
- **Infraestructura y mantenimiento:** Desde hace un año y medio, a través de Bioingeniería, se inició un proceso de administración de áreas de mantenimiento de planta física de hospitales y clínicas con resultados muy positivos que abarcan no solo la gestión, sino la creación de soluciones en esta área. De hecho, en el 2013 empezó la producción de la primera versión de un sistema inalámbrico de llamado de enfermería. Para 2014 se dispondrá del primer prototipo de columnas multifuncionales inteligentes para quirófano.

Como esta unidad está orientada a la alta tecnología, permanentemente tecnifica sus procesos, productos y servicios, los acopla a estándares internacionales y los adapta a las necesidades del usuario. Su alto nivel de diversificación le permite nutrirse de diferentes fuentes de investigación y conocimientos en el campo de la salud. Esta combinación de factores le ha permitido a otros hospitales acceder a avances tecnológicos a un bajo costo, lo cual redundo en una mayor seguridad, una menor mortalidad y un mejor servicio para sus pacientes, incluyendo la posibilidad de ofrecer servicios en la modalidad de Telemedicina.

**2.2.1 Proceso de Diseño y Desarrollo de los productos:** La metodología de Diseño & Desarrollo de FCV Bioingeniería (D&D) consiste en un proceso cíclico cuyo principal objetivo es brindar una solución contundente y completa a una necesidad específica, la cual básicamente consiste en un problema clínico a resolver. Para un problema específico y complejo como son los problemas clínicos, las soluciones usualmente también son complejas y difíciles de desarrollar si no se tiene una estrategia definida.

En D&D, se plantean los requerimientos que conformarán la solución global y de esta forma se tiene la percepción general del target a alcanzar. La estrategia consiste en agrupar estos requerimientos en subsistemas, targets o soluciones más pequeñas que puedan ser Diseñadas, simuladas, construidas, verificadas, rediseñadas, para posteriormente dar con un prototipo. Por medio de esta estrategia se obtendrán los prototipos de las soluciones pequeñas, para que una vez agrupadas y por medio de la misma metodología, se conforme la solución global.

**Figura 4.** Metodología Diseño y Desarrollo



**Fuente.** Bioingeniería FCV

En la etapa de Diseño, cada profesional desde su formación e investigación, plantean soluciones que podrían dar una buena respuesta a los requerimientos que se desean alcanzar, ya sea por medio de circuitos electrónicos, mecánicos, formulas químicas, etc.

La etapa de simulación es muy importante, aunque depende en muchos casos de la complejidad del sistema que se requiere implementar. Lamentablemente no todos los sistemas son simulables y no todas las simulaciones tienen el peso necesario para realizarlas, pues algunos sistemas son tan complejos, algunos software de simulación son tan costosos y la respuesta del sistema es tan obvia que como conclusión se evidencia que tiene un alto costo para el valor agregado que pudiese brindar.

En la fase de construcción es donde se invierte la mayor cantidad de recursos económicos, y consiste en materializar los diseños realizados y preferiblemente simulados. Por tanto en esta etapa se requiere que haya una alta probabilidad de éxito en lo que se construye, que aunque los sistemas no puedan ser simulados, los diseños planteados desde su teoría contengan una base científica comprobada para cumplir con los requerimientos de diseño.

Aunque en cada etapa se realiza la verificación, la cual consiste en comprobar que los diseños propuestos, simulados y construidos, cumplen cabalmente los requerimientos planteados, en esta fase se realizan pruebas exhaustivas a los diseños construidos, evidenciando la oportunidad de mejora en los mismos para la etapa cíclica conocida como Re-Diseño.

Por medio del Rediseño se obtiene un sistema específico o incluso el sistema global sintonizado con los requerimientos establecidos al inicio del proyecto, es la última fase que conllevará a tener el prototipo en primera instancia de las soluciones individuales, así como en la integración final, el prototipo última versión o solución global.

## **2.2.2 Productos desarrollados por Bioingeniería FCV**

**2.2.2.1 Electrocardiógrafo digital:** Herramienta útil para el registro de la actividad eléctrica del corazón, basándose en la medición de los distintos potenciales a través de electrodos que se ubican en el tórax.

**Figura 5.** Electrocardiógrafo digital



**Fuente.** Bioingeniería FCV

**2.2.2.2 Unidad de Cuidado Intensivo Móvil:** Diseñada para responder a las necesidades de los pacientes en estado crítico. Esta unidad adaptable integra monitores de signos vitales, ventilación con presión controlada y un sistema de gases medicinales.

**Figura 6.** Unidad de cuidado intensivo móvil



**Fuente.** Bioingeniería FCV

**2.2.2.3 Unidad de Cuidado Intensivo Neonatal:** Consta de los sistemas básicos necesarios para convertir cualquier espacio en un lugar apto para el tratamiento de recién nacidos: monitoreo de signos vitales, ventilación mecánica pulmonar, control automático de la temperatura ambiente y fototerapia.

**Figura 7.** Unidad de cuidado intensivo neonatal



**Fuente.** Bioingeniería FCV

**2.2.2.4 Monitor de Signos Vitales 1300:** Equipo diseñado para monitorizar los signos vitales de pacientes en su estado crítico. Su uso está destinado a Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) y salas de cirugía de clínicas y hospitales

**Figura 8.** Monitor de signos vitales 1300



**Fuente.** Bioingeniería FCV

**2.2.2.5 Unidad Móvil para diagnóstico para Teleconsultas:** Esta unidad, también llamada Tele móvil, es una herramienta biomédica desarrollada para el uso interno en ambientes hospitalarios, que brinda la posibilidad de generar consultas especializadas a distancia a través de internet.

**Figura 9.** Unidad móvil para diagnóstico para tele consultas especializadas



**Fuente.** Bioingeniería FCV

### **2.3 SALAS DE CIRUGÍA DEL INSTITUTO DEL CORAZÓN DE FLORIDABLANCA**

Dentro de las visitas realizadas a las salas de cirugía del piso 4 del ICF (Figura 4), se emprendió un análisis del comportamiento del personal médico y asistencial dentro de procedimientos complejos (cirugía a corazón abierto, neurocirugía, entre otras) y no complejos (laparoscopias, laringoscopia, entre otros), con el propósito

de conocer el movimiento del personal dentro de la sala y la interacción con los diferentes dispositivos, equipos, instrumentos y muebles presentes dentro de un ambiente de este tipo.

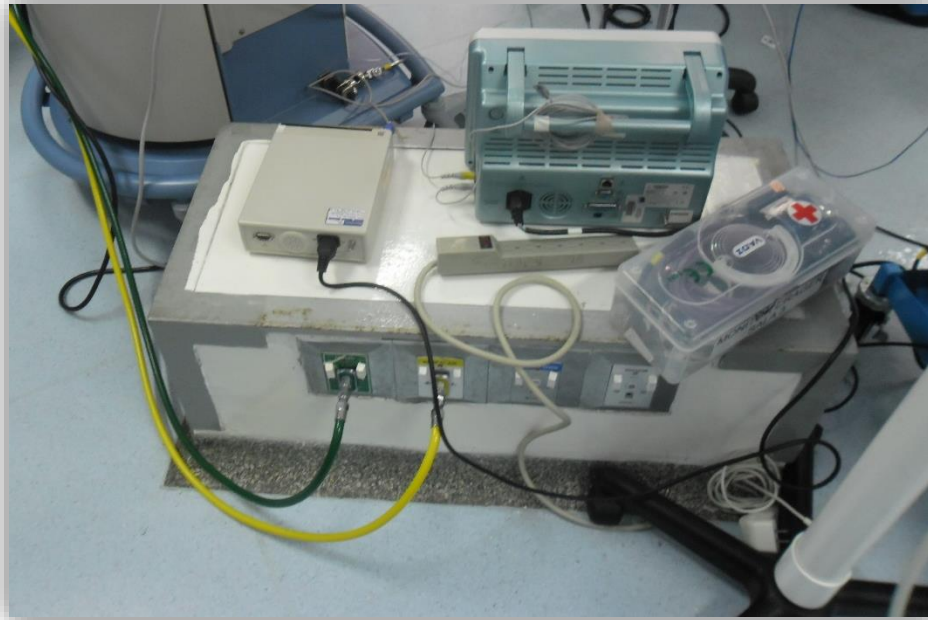
**Figura 10.** Sala de cirugía pediátrica



**Fuente.** Autores

En primera instancia cabe resaltar que dentro de las salas visitadas, el actual sistema de suministro de energía eléctrica y gases medicinales, sobresale de una pequeña columna empotrada en el suelo (Figura 5), de la cual es evidente que siempre estará ubicada en un mismo punto, lo que conlleva a que los equipos que necesiten de estos gases o de energía eléctrica, deberán estar cerca de ella o por el contrario utilizar mangueras con longitudes extensas, las cuales en ocasiones generan obstrucción del espacio y acrecientan el riesgo de accidente por enredos o desconexiones accidentales.

**Figura 11.** Sistema actual de suministro de gases medicinales del ICF



**Fuente.** Autores

Consecuentemente como se puede observar en la figura 6, el número de tomas de energía eléctrica suministradas por la pequeña columna indudablemente no cubre la demanda de equipos que necesitan de energía para su funcionamiento dentro de un ambiente quirúrgico, lo que acarrea adquirir dispositivos eléctricos que permitan conectar varios equipos por medio de un solo toma, generando así la ocupación de más espacio y adicionalmente como se muestra en la fotografía, una confusión de cables. Esta confusión de cables genera un riesgo permanente para el paciente, el personal médico y el asistencial presentes en la sala, por tal motivo es uno de los principales factores a mejorar con la implementación de las columnas móviles hospitalarias, teniendo en cuenta que un 99% de los equipos utilizados en estas áreas necesitan de energía eléctrica para su funcionamiento.

**Figura 12.** Suministro de energía eléctrica



**Fuente.** Autores

En ocasiones, cada uno de los equipos utilizados en estos procedimientos cuentan con su propio mueble que en a su vez presenta espacio para albergar otros equipos (Figura 7), o por el contrario no cuentan con ningún tipo de estructura para albergarlos y deben ser ubicados unos sobre otros (Figura 8), esta última distribución se realiza teniendo en cuenta que estos equipos biomédicos no necesariamente son esenciales durante el procedimiento, pero si se deben tener cerca en situaciones de emergencia. Este montaje improvisado colabora con el aprovechamiento de espacio, sin ser un método adecuado para la colocación de estos dispositivos.

**Figura 13.** Mueble rodante para el electro bisturí



**Fuente.** Autores

**Figura 14.** Montaje improvisado equipos médicos



**Fuente.** Autores

Como se puede observar de momento, es fundamental ocupar el menor espacio posible por parte de los equipos y sus conexiones utilizados en los ambientes quirúrgicos y así posibilitar más libertad de movimiento al personal médico y asistencial, augurando una situación de emergencia o movimiento apresurado.

Adicionalmente tener que posicionar los equipos cerca de la fuente de suministro de gases medicinales y energía eléctrica por el hecho de que este fija y no pueda ser trasladada, hace que el personal que se encuentre dentro de la sala, se vea forzado a acomodarse a el entorno laboral y no sea el entorno quien se acomode a los requerimientos del usuario, teniendo en cuenta que se trata de un lugar tan crucial donde el personal médico solo debería estar al tanto del paciente de turno.

**Figura 15.** Mueble de instrumentación quirúrgica



Fuente. **Autores**

**Figura 16.** Atril para bombas y perfusores



Fuente. **Autores**

La instrumentación quirúrgica (Figura 9), se encuentra ubicada en un mueble de uso exclusivo para todos aquellos utensilios que requieren de la máxima higiene, por esto se utilizan paquetes quirúrgicos (tela no tejida de color azul); este conjunto es manipulado únicamente por el (la) instrumentador (a) quirúrgico (a) y según comentarios de las personas competentes, no se recomendaría el uso sobre un mueble de tipo flotante.

Los perfusores y bombas de infusión utilizados durante la práctica de este tipo de procedimientos (Figura 10), se acoplan sobre atriles con arañas giratorias en su parte inferior, el uso de este mecanismo se debe a que en ocasiones después de finalizado el procedimiento el paciente permanece conectado y es movilizado a la zona de recuperación acompañado de estos equipos.

Durante el desarrollo de los procedimientos es poco probable que este atril sea movilizado, sin descartar que requiera ser trasladado por alguna eventualidad durante el desarrollo de la cirugía. Teniendo en cuenta la fotografía, un movimiento eventual del atril no resultaría viable debido a la gran cantidad de cables que de él sobresalen y adicionalmente las conexiones de los demás equipos médicos que se encuentran situadas en el suelo, de esta manera se imposibilita el movimiento del atril y consecuentemente como estos dispositivos requieren de energía eléctrica para su funcionamiento (solo durante el desarrollo del procedimiento, pues cuentan con batería adicional sino se tiene una fuente de energía cerca) deberán estar próximos a las tomas de suministro de corriente, generando así acumulación de equipos alrededor de la pequeña columna empotrada en el suelo.

En el recorrido por las salas de cirugía, se contempló que en un 75% los equipos necesarios dentro del procedimiento son situados sobre muebles con una característica similar entre ellos; cada uno tiene la posibilidad de ser movilizados gracias a las ruedas que tienen en la parte inferior de su estructura; esta característica repercute favorablemente en la limpieza del lugar después de finalizado el procedimiento, debido a que se pueden trasladar de un lado a otro fácilmente y sin ningún esfuerzo físico. Cabe recordar que la limpieza de un sitio de

esta envergadura, se debe realizar de manera estricta y minuciosa, sobre toda el área de la sala ya sea que se hubiera visto afectada o no durante el procedimiento, lo que conlleva a la movilización de estos muebles para realizar una mejor labor.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, reemplazar en la mayor parte posible los muebles que se encuentra ubicados en el suelo por un mueble de tipo flotante para el soporte de equipos, facilitaría las labores de limpieza, de las cuales en ocasiones no se cuenta con el tiempo suficiente debido a el flujo de pacientes y movilizar estos muebles actuales repercuten en los tiempos establecidos para el inicio de un procedimiento y por lo tanto en la admisión de pacientes.

Un aspecto de gran importancia que se observó referente a la comodidad del personal médico durante procedimientos complejos y no complejos, es el uso de dispositivos electrónicos para ambientar con música el área de trabajo. Según comentarios, este factor es relevante durante el desarrollo de todo tipo de cirugías, dando cabida a la creación de un ambiente laboral grato inclusive en un área donde la tensión es la constante principal. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho, se podría considerar un valor agregado el incluir en el diseño de la columna móvil un sistema electrónico que permita la reproducción de música, sin afectar los componentes esenciales de ella. Como conclusión de la visita realizada, un sistema mueble biomédico flotante de techo fomentaría una mejor organización del ambiente quirúrgico, facilitaría labores de limpieza, generaría mayor espacio para el tránsito del personal médico y disminuiría el riesgo desconexiones accidentales o movimientos involuntarios de los equipos allí presentes.

En las salas de cirugía del piso 11, se encuentran dos muebles biomédicos flotantes (Figura 11 y 12) de iguales características y se encuentran ubicados en salas diferentes. Como se puede observar en la fotografía el mueble está conformado por una extremidad (brazo – antebrazo) y un módulo de suministro de gases medicinales y energía eléctrica. De la imagen cabe resaltar que el antebrazo en una de sus caras laterales no presenta tapa debido a cuestiones de ensamble, siendo esto un aspecto a tener en cuenta para el diseño del mueble.

**Figura 17.** Sistema de mueble flotante Cirugía



**Fuente.** Autores

**Figura 18.** Sistema de suministro de energía eléctrica del mueble



**Fuente.** Autores

## 2.4 ANÁLISIS DE MERCADO

**2.4.1 Identificación de los fabricantes Nacionales:** Según lo expuesto en la identificación del problema del documento, se establece que no se encuentra entidad nacional alguna que se dedique al diseño y desarrollo de este tipo de muebles biomédicos, considerándose una camisa de fuerza el tener que importar esta clase de equipo.

**2.4.2 Identificación de los fabricantes Internacionales:** Dentro del mercado Internacional, se encuentra una serie de entidades dedicadas al diseño de equipamiento hospitalario relacionado con: monitores de signos vitales, ventiladores mecánicos, camas hospitalarias, cunas neonatales, muebles flotantes, entre otros equipos relacionados con la industria hospitalaria.

A continuación se describen 5 entidades internacionales, que fabrican este tipo de mueble flotante.

**2.4.2.1 Drager:** Esta entidad de origen Alemán, elabora una serie de muebles biomédicos flotantes con diversas características. Cuenta con una subsidiaria en Colombia "*Draeger Colombia S.A*", la cual es la encargada de gestionar las importaciones de los equipos.

**2.4.2.2 Starkstrom:** Es una entidad de origen Británico y fabrica tres modelos de mueble biomédico flotante. No hay una subsidiaria directa con Colombia, y los pedidos de importación se tienen que realizar por medio de *Biotronitech Colombia*.

**2.4.2.3 Amico:** Es una organización de origen Estadounidense, de la cual se pueden detallar dos modelos de mueble biomédico flotante que desarrollan. No hay una subsidiaria directa para Colombia y algunos de sus productos pueden ser importados por medio de *Cryogas*.

**2.4.2.4 Tedisel medical:** Esta entidad es de origen Español y en este documento describimos algunos de los modelos ofrecidos por ellos. No hay un proveedor para Colombia y los productos deben de ser importados mediante contacto directo.

**2.4.2.5 Carbuos medica:** Se encuentra ubicada en España y presenta tres modelos característicos de muebles flotantes. No tiene subsidiaria alguna para Colombia, por lo que todos sus productos deben de ser pedidos por contacto directo con la entidad.

**2.4.2.6 Beacon Medaes:** Esta organización es de origen Americano y cuenta con cuatro modelos destacados de muebles biomédicos flotantes. La importación de sus equipos para Colombia se realiza por medio de *Atlascopco*.

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO BASADO EN LOS CRITERIOS DE BIOINGENIERÍA FCV

A continuación se describen los registros que se deben diligenciar para dar inicio al desarrollo de un proyecto en Bioingeniería FCV.

**3.1.1 RDD-BIO-03 “Requerimientos de diseño y gestión de cambio”:** En este registro quedaran establecidas las características específicas que debe de tener el producto final. Se encuentra dividido por secciones, y en cada una de ellas se describirán los respectivos requerimientos según la categoría a la cual aplique. Este documento es la base del proyecto, ya que por medio de él se corroboraran las características finales del producto ya construido, por lo tanto los parámetros allí planteados deberán estar bastante detallados. (Anexo A)

**3.1.2 RDD-BIO-12 “Presupuesto para el proyecto de CT+i” :** En este documento se describirán de manera aproximada y teniendo en cuenta la experiencia del personal de Bioingeniería FCV con relación al desarrollo de proyectos y las cotizaciones formales previamente adquiridas, los costos totales del proyecto. Todo esto con el fin de que el proyecto sea estudiado por la Gerencia para su posterior aprobación.

**3.1.3 RDD-BIO-13 “Análisis general de idea propuesta para D&D”:** En este documento se plasmara de manera global, la propuesta del proyecto que se pretende desarrollar. (Anexo B)

**3.1.4 RDD-BIO-14 “Redacción y aprobación de proyecto CT+i”:** En este registro se describirá más a detalle los parámetros ya expuestos en el RDD-BIO-13, y se incluirá un cronograma de actividades que permita llevar el seguimiento al proyecto. (Anexo C)

**3.1.5 RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto”:** Por medio de este registro, se presentaran los avances técnicos en relación al desarrollo del proyecto. (Anexo D y E)

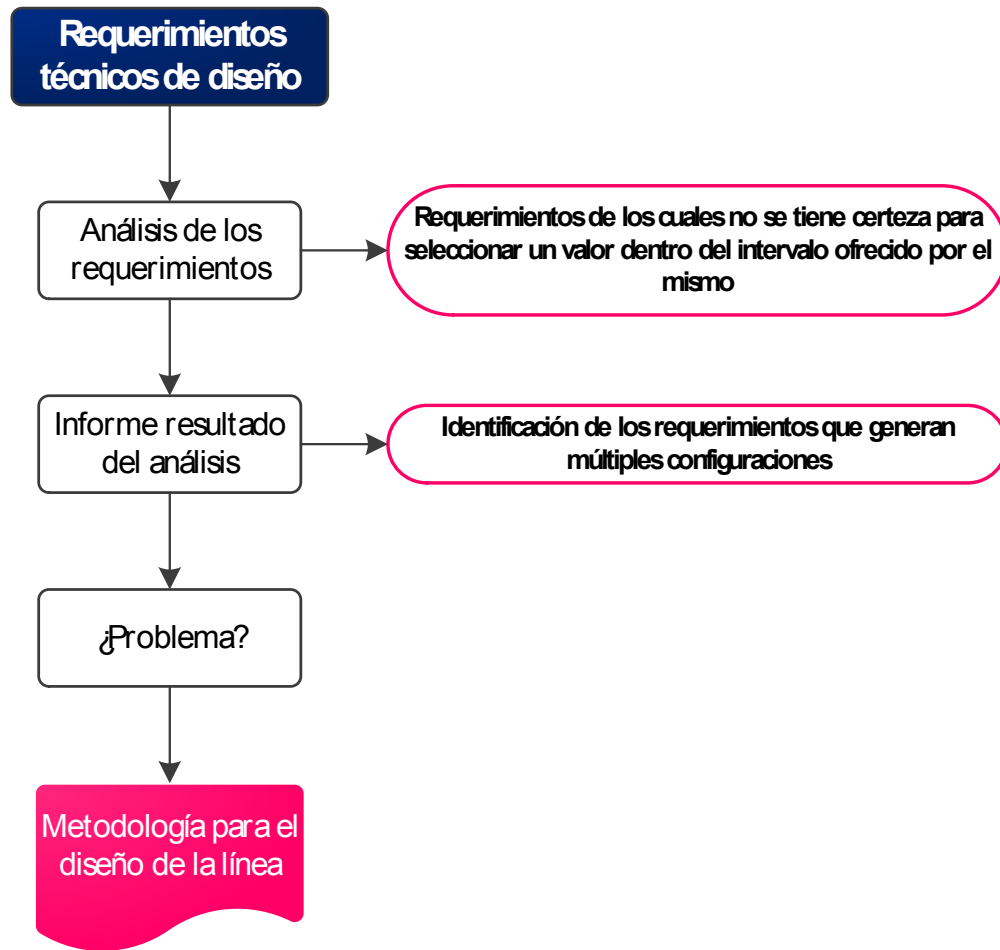
## **3.2 CREACIÓN DE LA LÍNEA DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES**

De los requerimientos técnicos establecidos (Anexo A), se identificaron algunos que presentan un intervalo muy amplio para la selección de un valor dentro del mismo, por lo tanto se hace un análisis de estos con el propósito de identificar cuáles de ellos presentan la opción de establecer diferentes configuraciones a partir de su interacción con los demás requerimientos establecidos, el resultado de este análisis genera una no conformidad para el cumplimiento de los amplios rangos presentados con el desarrollo de un único mueble flotante.

A partir de lo anteriormente mencionado, se encuentra la posibilidad de establecer no solo un diseño de mueble, si no buscar la manera de procrear configuraciones que permitan alcanzar al máximo todos los rangos propuestos.

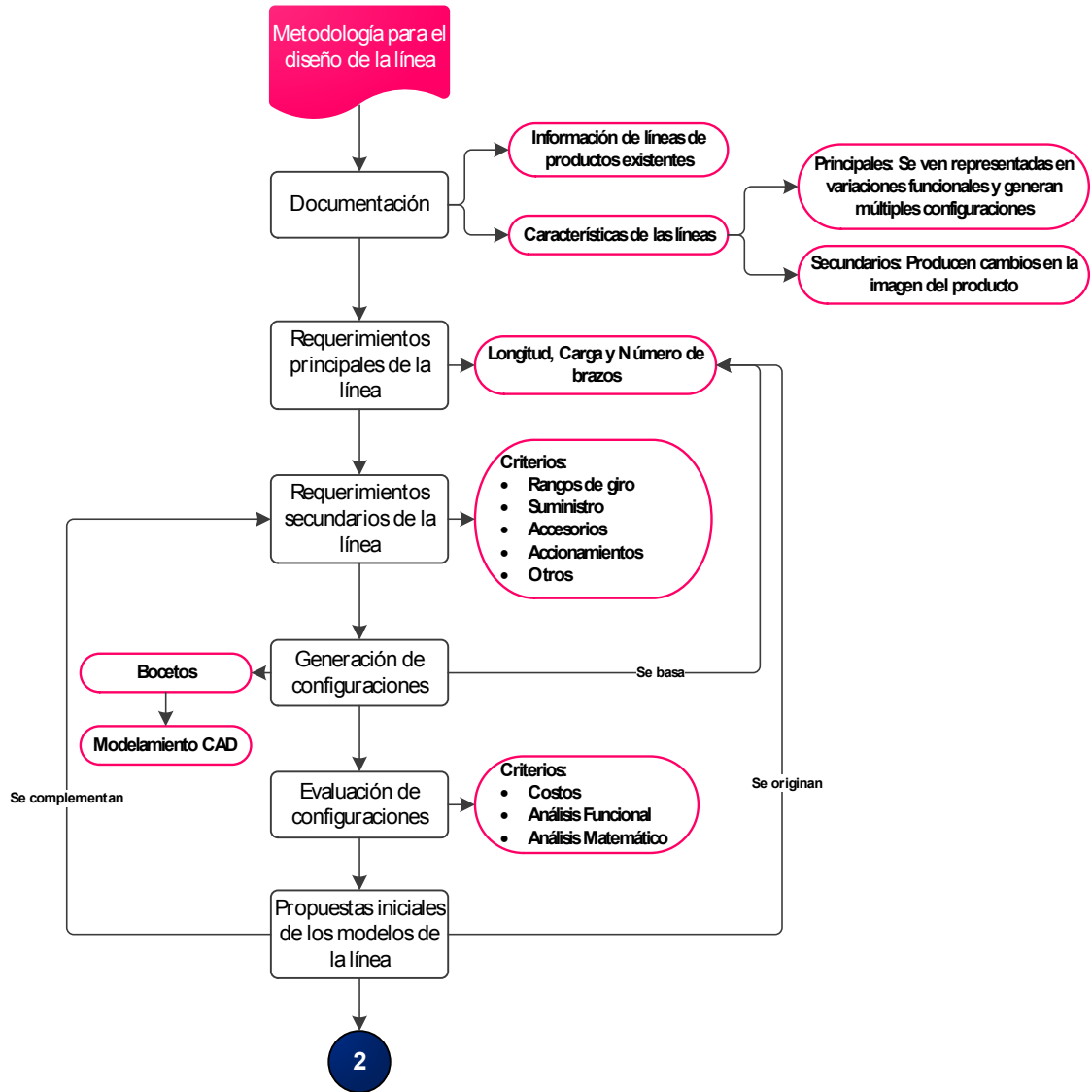
Partiendo del problema generado, por no contar con un único diseño que cumpla a cabalidad los requerimientos constituidos, se presenta una luz para establecer una serie de métodos que permitan generar configuraciones a partir de los amplios intervalos planteados en algunos de los requerimientos. Esta serie de métodos o pasos para lograr distribuciones que satisfagan al máximo estos requisitos, se conocerá como metodología para el diseño de una línea de muebles biomédicos flotantes.

**Figura 19.** Diagrama base para iniciar la metodología para el diseño de la línea



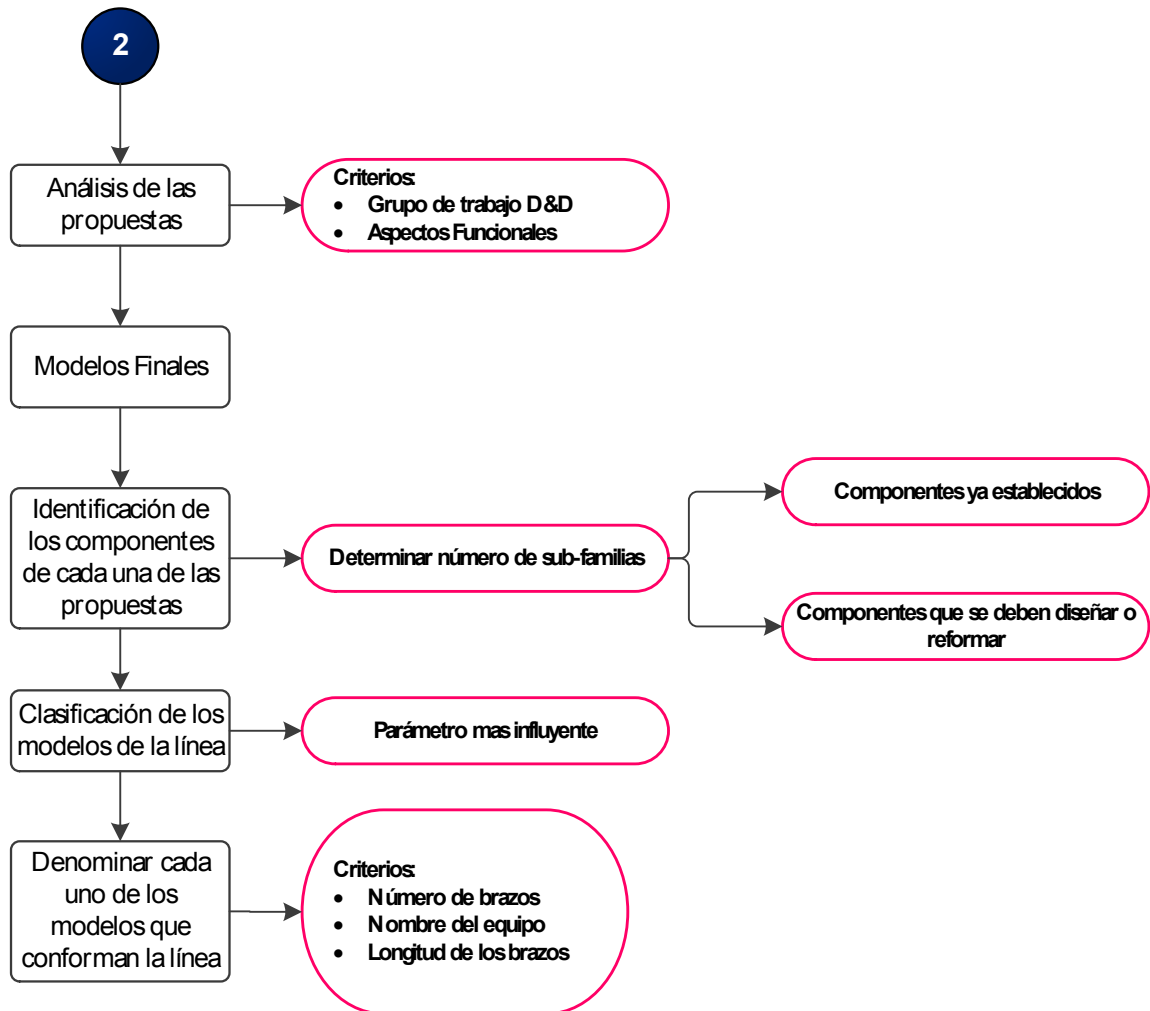
**Fuente.** Autores

**Figura 20.** Metodología planteada para el diseño de la línea



**Fuente.** Autores

**Figura 21.** Continuación de la metodología del diseño de la línea de muebles



**Fuente.** Autores

**3.2.1 Descripción del procedimiento :** Para iniciar con la metodología del diseño de la línea del equipo, se hace una exploración de líneas de productos comerciales ( línea blanca electrodomésticos, línea marrón electrodomésticos, línea de monitores de signos vitales, línea de camas hospitalarias, etc.) que permitan establecer con claridad las características que se tienen en cuenta para la creación de las mismas, este tipo de características se clasificarán en principales (aquellas que generan variaciones funcionales y múltiples configuraciones) y secundarias (aquellas que producen variaciones minuciosas en su funcionamiento y cambios en la imagen del equipo).

Basados en las características ya identificadas de la exploración del paso anterior, se retoman los requerimientos que presentan intervalos muy amplios y a su vez generan variaciones funcionales y múltiples configuraciones (longitud del brazo, número de brazos, entre otros), este tipo de requerimientos se conocerán como principales para la configuración de la línea. Seguidamente se identificarán los requerimientos que presenten cambios en la imagen del mueble flotante o que generen variaciones minuciosas en su funcionamiento (número de conexiones eléctricas, número de tomas rápidas de gases medicinales, elementos de agarre manual, entre otros) y se conocerán como requerimientos secundarios de la línea.

Ya identificados los requerimientos principales y secundarios para el diseño de la línea, se procede a generar las posibles configuraciones que estos puedan conformar, para esto se realizarán en primera instancia bocetos que permitan materializar las ideas planteadas. Estos bocetos generados serán modelados en un software CAD para que seguidamente se evalúen uno a uno de manera funcional, matemática y económica; estos parámetros o criterios seleccionados para la evaluación de las configuraciones, se escogieron como filtro inicial para descartar los modelos propuestos que se encuentran salidos de contexto.

Con la selección de las configuraciones evaluadas, se originan las propuestas iniciales de los modelos de la línea de muebles biomédicos flotantes, los cuales como se mencionó anteriormente están originados con respecto a los

requerimientos principales y se complementan con los requerimientos secundarios. A estas propuestas iniciales se les realizará un análisis detallado con el grupo de trabajo de “Diseño y Desarrollo”, teniendo en cuenta aspectos funcionales y a su vez los requerimientos descritos por el personal médico-asistencial principalmente; todo esto se realiza con el objetivo de proporcionar un modelo final.

Ya con los modelos finales seleccionados, se iniciará una etapa de identificación de componentes de cada uno de los modelos planteados, la intención de esta etapa es: determinar el número de sub – familias que son necesarias para el diseño del mueble, determinar los componentes que ya se encuentran establecidos y que pueden ser usados sin llevar a cabo ninguna modificación y acordar que componentes deben ser reformados o nuevamente diseñados, sin que su principio de funcionamiento se vea afectado.

Las líneas exploradas inicialmente, presentan una clasificación que permite seleccionar fácilmente los productos que se encuentran dentro de ellas; todo esto se hace teniendo en cuenta el parámetro más influyente (aquel que causa un mayor efecto para las configuraciones funcionales del equipo) y que estará presente en cada uno de los productos. Asociando al desarrollo de la metodología que se está plateando, se deberá seleccionar el parámetro de mayor influencia, de manera que permita la clasificación de los muebles biomédicos flotantes y así establecer la conformación de la línea. Dentro de la clasificación se hace necesario bautizar cada modelo planteado, de manera que sea más sencillo encontrar lo que se quiere sin necesidad de deambular para la selección del mismo, este bautizo estará basado en el número de brazos, nombre del equipo y longitud de los brazos.

### **3.3 DISEÑO DE LOS COMPONENTES ESTRUCTURALES**

La metodología a aplicar para el diseño de los elementos estructurales, está fundamentada en la ya establecida por la literatura experimentada en el tema, y

para este documento se hará referencia a la descrita en el libro de *Diseño de Maquinas de Robert .L Norton*.

**Tabla 1.** Metodología de diseño

<b>METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO</b>		
<b>1</b>	<i>Defina el problema</i>	<i>Etapa de definición</i>
<b>2</b>	<i>Enuncie los datos conocidos</i>	
<b>3</b>	<i>Efectué las hipótesis apropiadas</i>	
<b>4</b>	<i>Decisiones preliminares del diseño</i>	<i>Etapa preliminar del diseño</i>
<b>5</b>	<i>Diseñar bosquejos</i>	
<b>6</b>	<i>Modelos matemáticos</i>	<i>Etapa del diseño detallado</i>
<b>7</b>	<i>Análisis del diseño</i>	
<b>8</b>	<i>Evaluación</i>	
<b>9</b>	<i>Documentar resultados</i>	<i>Etapa de documentación</i>

**Fuente.** Robert L. NORTON. Diseño de Máquinas. México, 1999

A continuación se describirán brevemente los pasos planteados en la tabla.

**3.3.1 Etapa de definición:** Para esta etapa se deberá definir inicialmente el problema con claridad. Los datos conocidos deben de quedar completamente establecidos y serán complementados con un registro de hipótesis hechas por el diseñador con relación al problema ya identificado. El propósito de las hipótesis es limitar más el problema asumiendo información conocida.

**3.3.2 Etapa preliminar del diseño:** Con las limitaciones generales ya definidas, se deberán tomar algunas decisiones preliminares del diseño, quedando previamente documentado las razones y justificaciones de estas determinaciones. Estas decisiones de diseño pueden tener un efecto de importancia en los resultados, y a menudo, tendrán que ser modificadas o abandonadas al efectuarse las iteraciones a lo largo del proceso de diseño. El resultado de esta etapa debe estar documentado mediante bosquejos del diseño, los cuales deben poder ser claramente identificados por cualquier integrante del grupo de diseño.

**3.3.3 Etapa del diseño detallado:** Partiendo de un diseño tentativo ya establecido, se pueden crear uno o más modelos matemáticos de ingeniería con el fin de analizarlos. Estos modelos pueden incluir modelos de carga a partir de diagramas de cuerpo libre y modelos de estados de esfuerzos y deflexiones, cada uno definidos mediante ecuaciones apropiadas para el entorno establecido. Seguidamente se llevara a cabo el análisis de diseño con estos modelos y se tendrá como conclusión la seguridad o la falla del diseño. Estos resultados se evaluarán en conjunto con las propiedades de los materiales seleccionados y según los resultados obtenidos se tomara una decisión acerca de continuar con el diseño o hacer una iteración en busca de una mejor solución.

**3.3.4 Etapa de documentación:** Para continuar y finalizar con este proceso, una vez identificado un diseño con resultados satisfactorios, deberá completarse la documentación del diseño del elemento o sistema mediante diseños detallados de ingeniería, especificaciones de materiales y de manufactura, etc.

## 4. DISEÑO CONCEPTUAL

Las familias de piezas para el mueble biomédico flotante se deberán identificar partiendo de la creación de las configuraciones que conformarán la línea, esto con el fin de detallar los componentes comunes para cada una de ellas y así desglosar los elementos necesarios para la conformación de un mueble.

### 4.1 LÍNEA DE MUEBLES BIOMÉDICOS FLOTANTES

**4.1.1 Identificación de las características principales:** Para el diseño de la línea de muebles biomédicos flotantes se identificaron dos factores importantes que marcaran la pauta para la generación de diferentes configuraciones.

**4.1.1.1 Primer factor principal:** El primer factor para la creación de la línea, es la identificación de los lugares donde serán utilizados estos tipos de muebles:

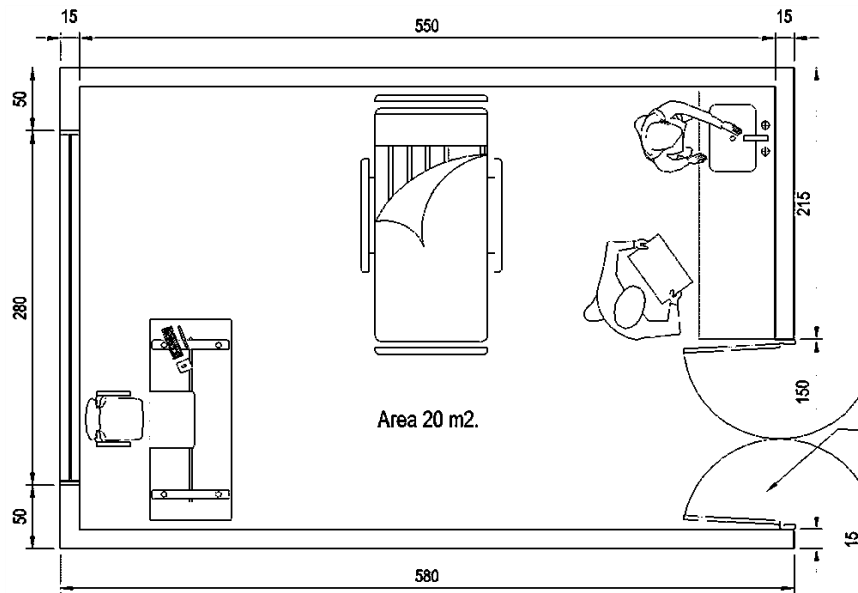
#### ➤ Unidades de cuidados intensivos

“Espacio destinado a la atención de pacientes, que debe contar con un área mínima de 12 m<sup>2</sup> por norma, un prelavado, un área administrativa en la que se adelanta el informe del procedimiento realizado, disponibilidad de tomas de redes de gases especiales, tomas eléctricas necesarias para conectar los equipos requeridos”.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Secretaria Distrital de Salud D.C, Manual guía para el diseño arquitectónico de unidades de cuidados intensivos e intermedios, Santa Fe de Bogotá, 2010. p. 38.

**Figura 22.** Plano en vista superior de unidad de cuidados intensivos por norma



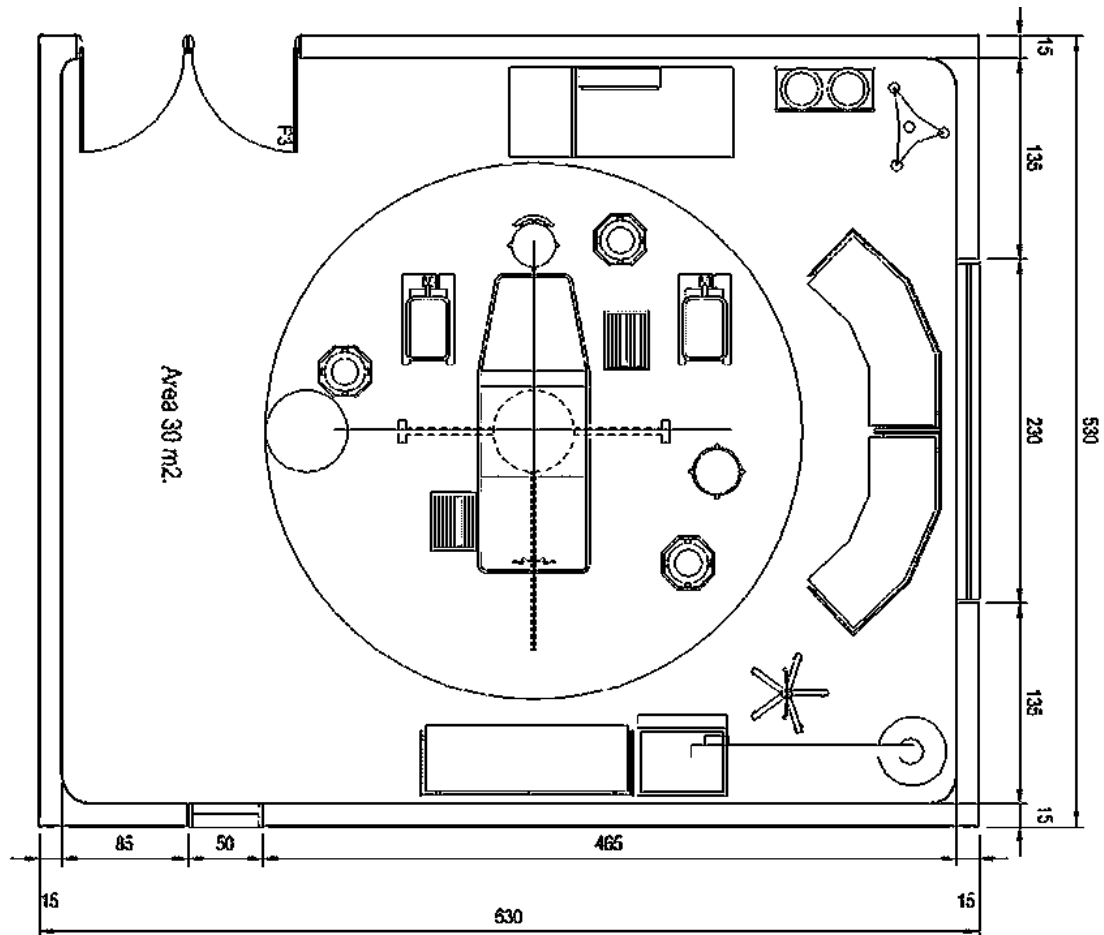
**Fuente.** Manual guía para el diseño arquitectónico de unidades de cuidados intensivos e intermedios

### ➤ Salas de cirugía

“Ambiente destinado a la realización de procedimiento e intervenciones quirúrgicas, que requieren total asepsia, debe estar localizada en el área aséptica, debe tener un área mínima de 20 m<sup>2</sup> y altura mínima de 2.80 m, que permita el fácil desplazamiento alrededor del paciente para facilitar su atención, debe contar en lo posible con una lámpara cielítica tipo quirófano, con todas las redes de gases especiales, tomas eléctricas suficientes para conectar los equipos requeridos”.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Secretaria Distrital de Salud D.C, Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de cirugía, Santa Fe de Bogotá, 2010. p. 20.

**Figura 23.** Plano en vista superior de una sala de cirugía por norma



**Fuente.** Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de cirugía

**4.1.1.2 Segundo factor principal:** El segundo factor importante es la cantidad de vigas que contiene el mueble de acuerdo al espacio que se requiriera para la acomodación de los dispositivos biomédicos:

- 1 viga
- 2 vigas
- 3 vigas
- 4 vigas

**4.1.2 Identificación de las características secundarias:** Complementando los primeros factores para la creación de la línea se derivan nuevas características que influyen en la obtención de las configuraciones:

Las vigas del mueble deberán estar dentro de un rango de longitud el cual va de 0 a 1200 [mm] este rango se subdividirá en longitudes de brazos estándar con los siguientes valores:

- 600 milímetros
- 800 milímetros
- 1000 milímetros
- 1200 milímetros

Estos valores se seleccionan de acuerdo a la utilidad que se puede obtener y de manera que el material se pueda aprovechar significativamente.

Partiendo de la cantidad de brazos el factor que continúa es la capacidad de carga admisible el cual se dividirá de la siguiente forma:

- 0 a 150 Kilogramos
- 150 a 300 Kilogramos

El mueble biomédico al identificarse como un medio de suministro de gases medicinales y de energía eléctrica se deberá clasificar según su capacidad de suministro con la cantidad de acceso rápido que pueda brindar entonces se cataloga de la siguiente forma en cuanto a gases medicinales por módulo:

- 4 (Oxígeno medicinal, Aire medicinal y vacío)
- 8 (Oxígeno medicinal, Aire medicinal y vacío)
- 12 (Oxígeno medicinal, Aire medicinal y vacío)

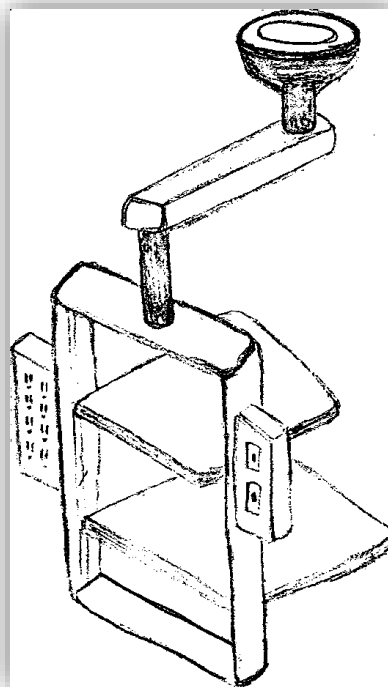
Cantidad de tomas de energía eléctrica por módulo:

- 5 (tipo doble)
- 10 (tipo doble)

**4.1.3 Generación de las configuraciones:** A continuación se presentan bocetos de las configuraciones propuestas para el desarrollo de un mueble biomédico flotante en concordación con las características descritas.

#### 4.1.3.1 Primer modelo

**Figura 24.** Mueble biomédico flotante de un brazo



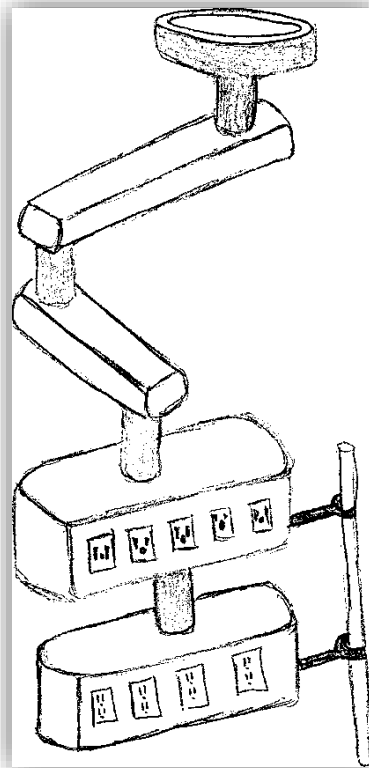
**Fuente. Autores**

Este primer modelo (Figura 24), se designara como mueble biomédico flotante de un brazo. Presentará movimiento de rotación de su módulo y adicionalmente en el punto de fijación a techo (exclusivamente en plano horizontal); por lo que le permitirá poder ubicarse a lo largo del perímetro que dependerá de la longitud de su brazo.

Esta longitud de brazo, deberá de poder escogerse entre 600, 800, 1000 y 1200 según se requiera. El módulo podrá adoptar diversas configuraciones, con respecto al número de tomas de corriente, número de tomas de gases medicinales, forma geométrica y los diferentes accesorios que se requieran para el soporte o suministro de los equipos que se pretendan colocar.

#### 4.1.3.2 Segundo modelo

**Figura 25.** Mueble biomédico flotante de una extremidad

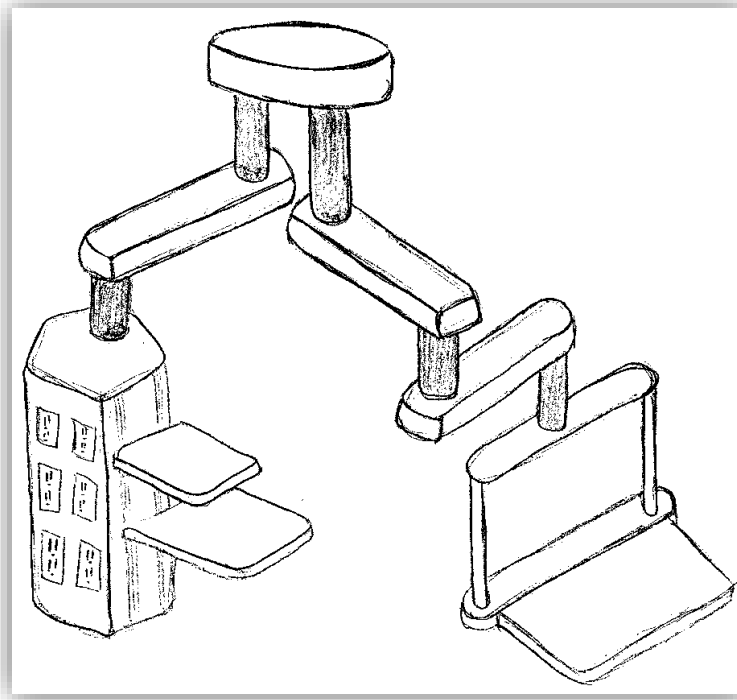


**Fuente. Autores**

La segunda propuesta (Figura 25) estará conformada por una extremidad (brazo y antebrazo respectivamente). Por tener doble articulación, proporcionará un área para el movimiento rotacional en plano horizontal del módulo, la cual dependerá de las configuraciones brindadas por la longitud total del brazo y antebrazo. La longitud de estos componentes al igual que en el segundo modelo, se deberá de poder escoger entre 600, 800, 1000 y 1200 mm. Con la combinación de estas longitudes, se lograrán obtener 10 configuraciones posibles, de las cuales solo se tendrán en cuenta las que den por longitud total de extremidad menor o igual a 2000 mm (valor dado en los requerimientos de diseño).

#### 4.1.3.3 Tercer modelo

**Figura 26.** Mueble biomédico flotante de un brazo más una extremidad



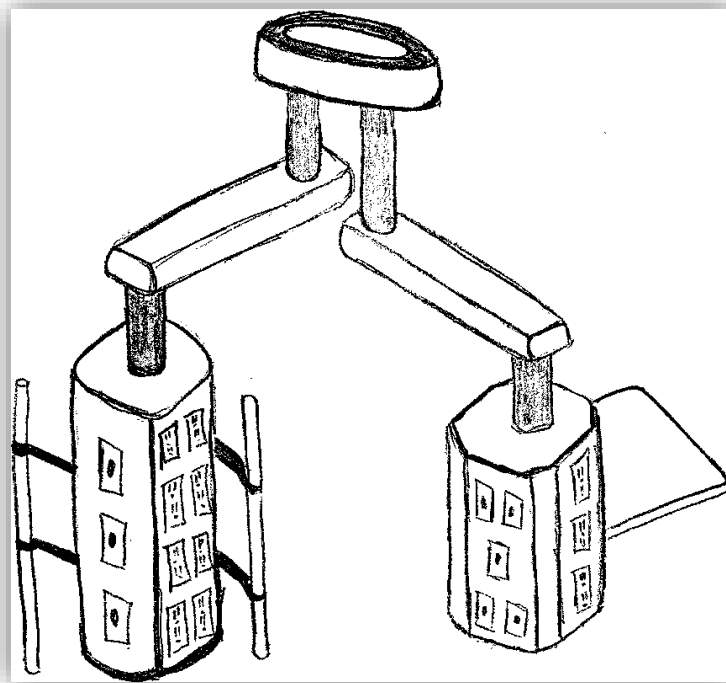
**Fuente. Autores**

Esta tercera configuración (Figura 26) estará conformada por una extremidad (brazo y antebrazo) y un brazo. Como se puede observar es el acoplamiento de dos propuestas anteriormente establecidas. Por un lado brindará un alcance en términos del perímetro (brazo) y otro en términos de área (extremidad). De igual manera por ser la unión de dos configuraciones ya planteadas, se estipula que la capacidad de carga a soportar tendrá un valor más alto que las anteriores. Por último las características del módulo al igual que en todas las anteriores, podrán adoptar diferentes configuraciones referentes a las tomas de acceso rápido para gases medicinales, tomas de energía eléctrica, bandejas de soporte y demás componentes necesarios para el soporte y suministro de los equipos.

En cuanto al movimiento rotacional de los brazos acoplados al sistema de fijación a techo por medio de las articulaciones, se determina que solo uno tendrá la opción de rotar los 360° debido a que por la longitud de los “cilindros” se restringirá este movimiento para uno de los dos brazos.

**4.1.3.4 Cuarto modelo:** Para la cuarta configuración (Figura 27), se tiene una combinación del modelo de mueble de un brazo, cada uno con su respectivo sistema de fijación a techo. En esta propuesta se cuenta con dos módulos disponibles para el suministro de gases medicinales y energía eléctrica y/o soporte de equipos. Cada brazo estará disponible en las longitudes ya mencionadas y su recorrido estará dado por el perímetro de la circunferencia formada por cada uno de los brazos; de igual manera como en el modelo anterior, solo uno de los dos brazos tendrá la opción de poder girar los 360° sin ser obstruido por los “cilindros” de las articulaciones al sistema de fijación de techo. Como en todas las propuestas anteriores el diseño de los módulos no afectara la función del sistema estructural del mueble.

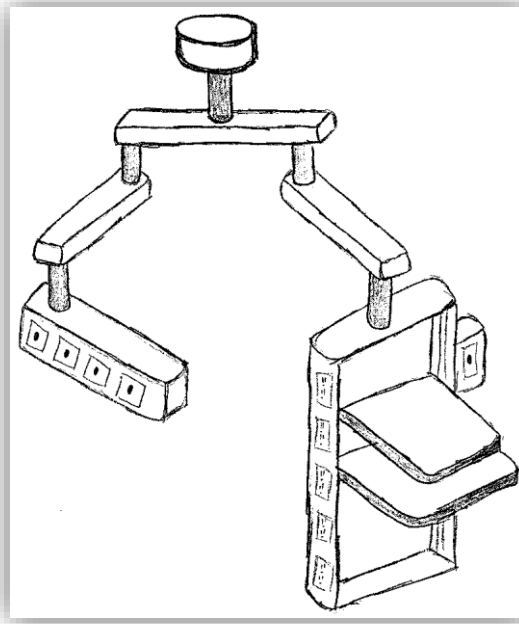
**Figura 27.** Mueble biomédico flotante de dos brazos



**Fuente.** Autores

**4.1.3.5 Quinto modelo:** Esta quinta propuesta (Figura 28) está compuesta por tres vigas y se designará como mueble biomédico flotante de puente. El movimiento de los dos módulos podrá ir coordinado por la viga que se encuentra acoplada al sistema de fijación a techo. Cada uno de los brazos que sostienen a los módulos tendrá la opción de realizar un giro de 360° siempre y cuando se seleccionen las longitudes adecuadas para las vigas (600, 800, 100 o 1200 milímetros).

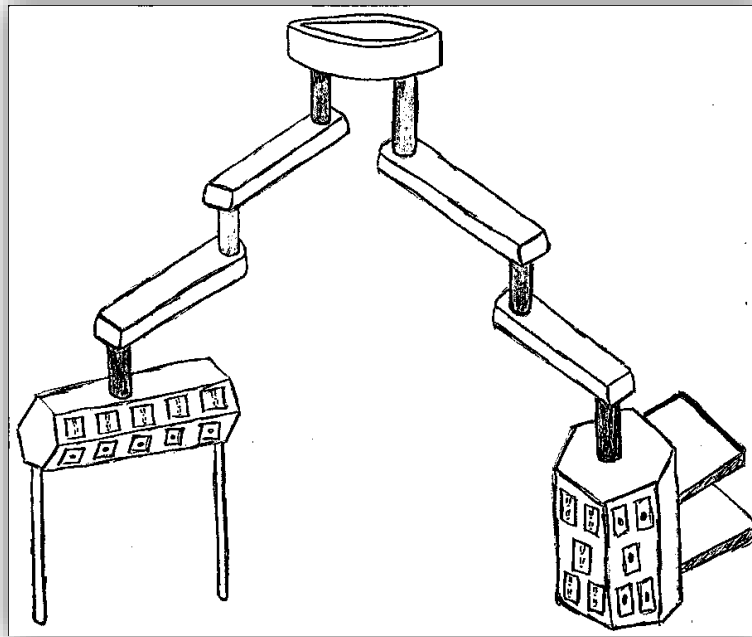
**Figura 28.** Mueble biomédico flotante de puente



**Fuente.** Autores

**4.1.3.6 Sexto modelo:** En la séptima propuesta (Figura 29) se puede observar la unión de dos muebles conformados por brazo y antebrazo (extremidad), por consiguiente se denominara como mueble biomédico flotante de dos extremidades. Por estar compuesto por dos extremidades beneficiara la capacidad de posicionar los módulos en diversos puntos dentro del área conformada por la longitud total de la extremidad; y evidentemente aumentara su capacidad de carga. Las posibles configuraciones al igual que en el mueble de una extremidad, se escogerán de longitudes para brazo y antebrazo entre 600, 800, 1000 y 1200 milímetros y se tendrán en cuenta solamente las que proporcionen una longitud total de extremidad menor o igual a 2000 milímetros. Al igual que en algunas de las propuestas anteriores, solo una de sus extremidades contará con la opción de realizar un giro completo.

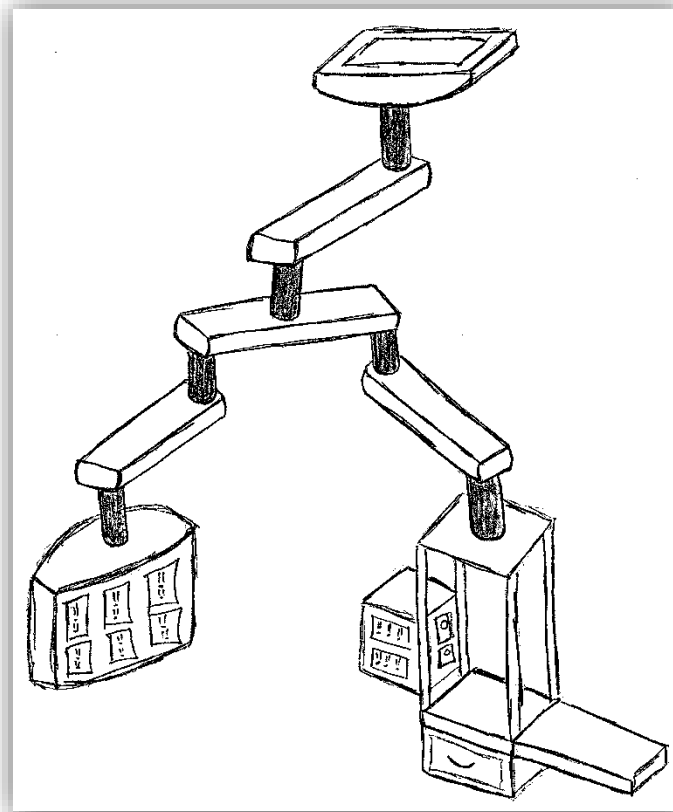
**Figura 29.** Mueble biomédico flotante de dos extremidades



**Fuente.** Autores

**4.1.3.7 Séptimo modelo:** Como octava propuesta (Figura 30), se tiene una configuración de puente con dos brazos más una viga adicional. Por su configuración tendrá diversos grados de libertad dentro de su funcionamiento. Las vigas más cercanas al sistema de fijación de techo (las dos superiores), deberán tener longitudes menores con respecto a las que soportan cada uno de los módulos, teniendo en cuenta que se requiere una capacidad de carga generosa para el soporte del equipo; por este motivo las longitudes para estas deberán de escogerse entre 600 u 800 milímetros.

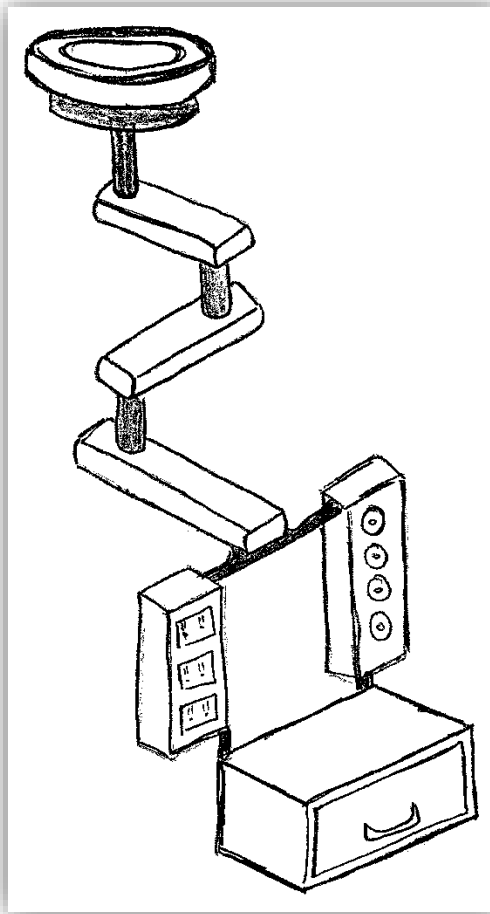
**Figura 30.** Mueble biomédico flotante de puente más uno



**Fuente.** Autores

**4.1.3.8 Octavo modelo:** Para la propuesta número nueve (Figura 31) se presenta un mueble de tres vigas en una, es decir, cuenta con tres puntos de articulación. Este mueble podría determinarse como una evolución del mueble de una extremidad o simplemente la adición de una viga que finalmente no beneficie en gran cantidad su funcionalidad. Como en todas las demás propuestas, el diseño del módulo con respecto al número de tomas eléctrica y de gases medicinales, será totalmente independiente de la configuración de las vigas.

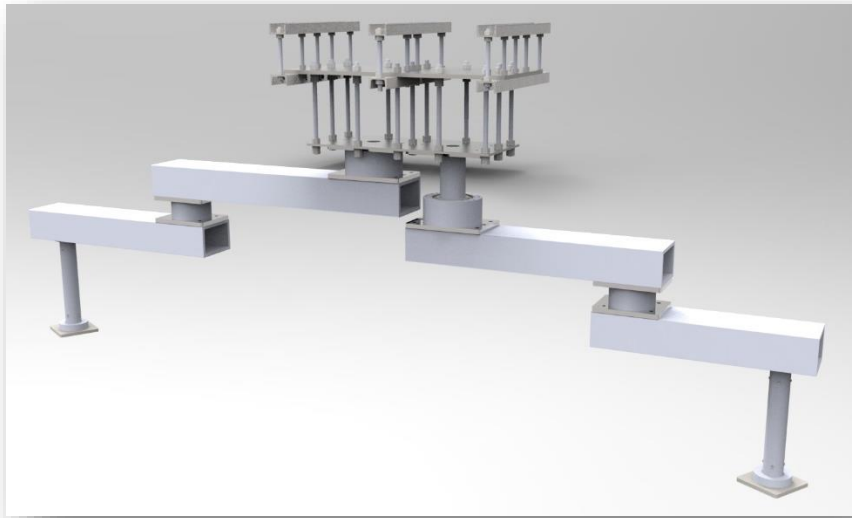
**Figura 31.** Mueble biomédico flotante de tres en una extremidad



**Fuente.** Autores

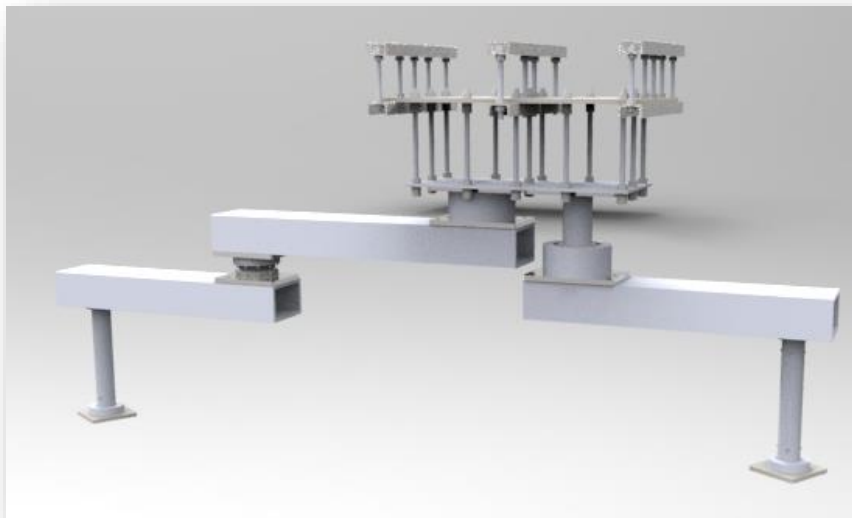
**4.1.4 Selección de las configuraciones:** Con el fin de determinar configuraciones que cumplirán eficientemente su función, de acuerdo a la capacidad de carga y de movimiento en las diferentes áreas hospitalarias donde se implementarán. Se realiza un análisis espacial, evaluado por medio de porcentajes de áreas efectivas (área útil para el movimiento del módulo), este análisis se verá plasmado dentro de un RDD-BIO-05 (Anexo D).

**Figura 32.** Mueble biomédico flotante - Configuración 1



**Fuente.** Autores

**Figura 33.** Mueble biomédico flotante - Configuración 2



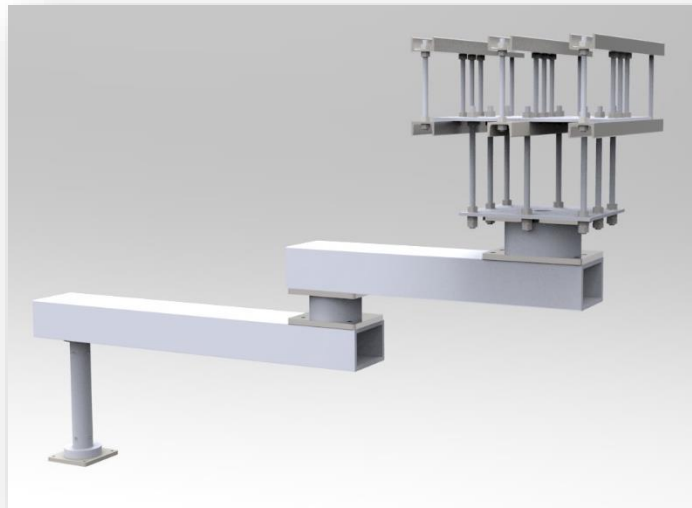
**Fuente.** Autores

**Figura 34.** Mueble biomédico flotante - Configuración 3



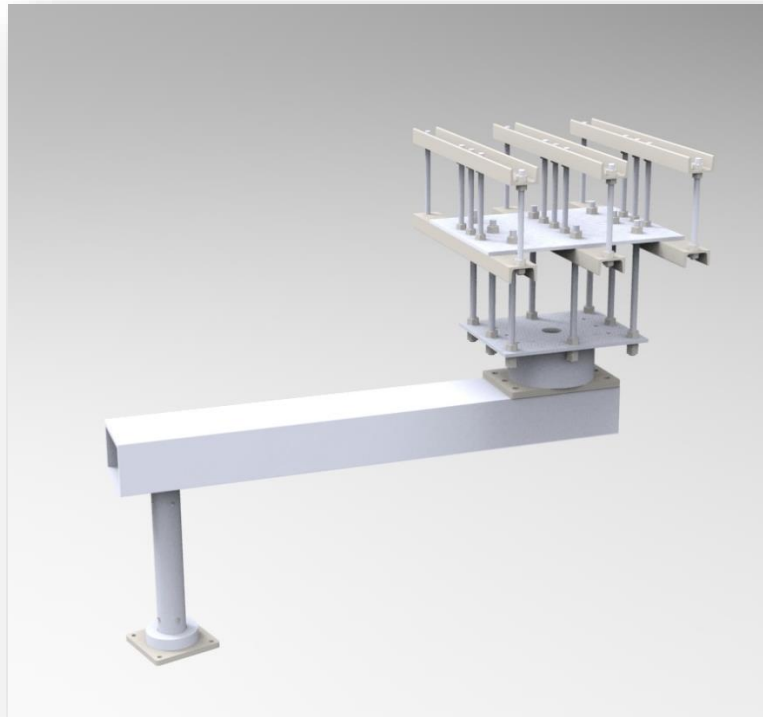
**Fuente.** Autores

**Figura 35.** Mueble biomédico flotante - Configuración 4



**Fuente.** Autores

**Figura 36.** Mueble biomédico flotante - Configuración 5

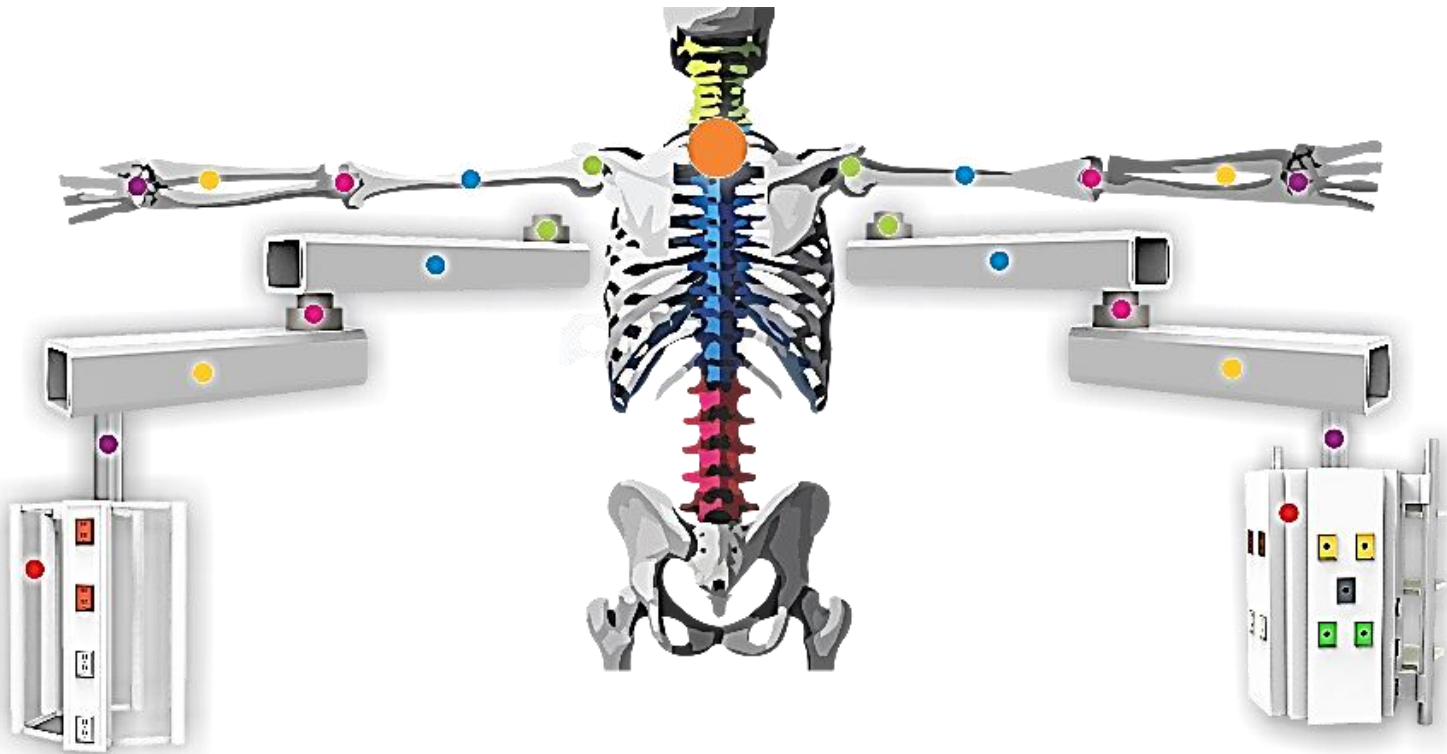


**Fuente.** Autores

## **4.2 MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE**

Para la identificación de los elementos que conforman un mueble biomédico flotante, se parte de detallar todos los componentes que puede tener un mueble conformado por 2 vigas seguidas, ya que a partir de los elementos de esta configuración, se podrá armar cualquiera de las otras disposiciones. El mueble biomédico de dos vigas se relacionará con las extremidades superiores del cuerpo humano como se muestra en la figura 32.

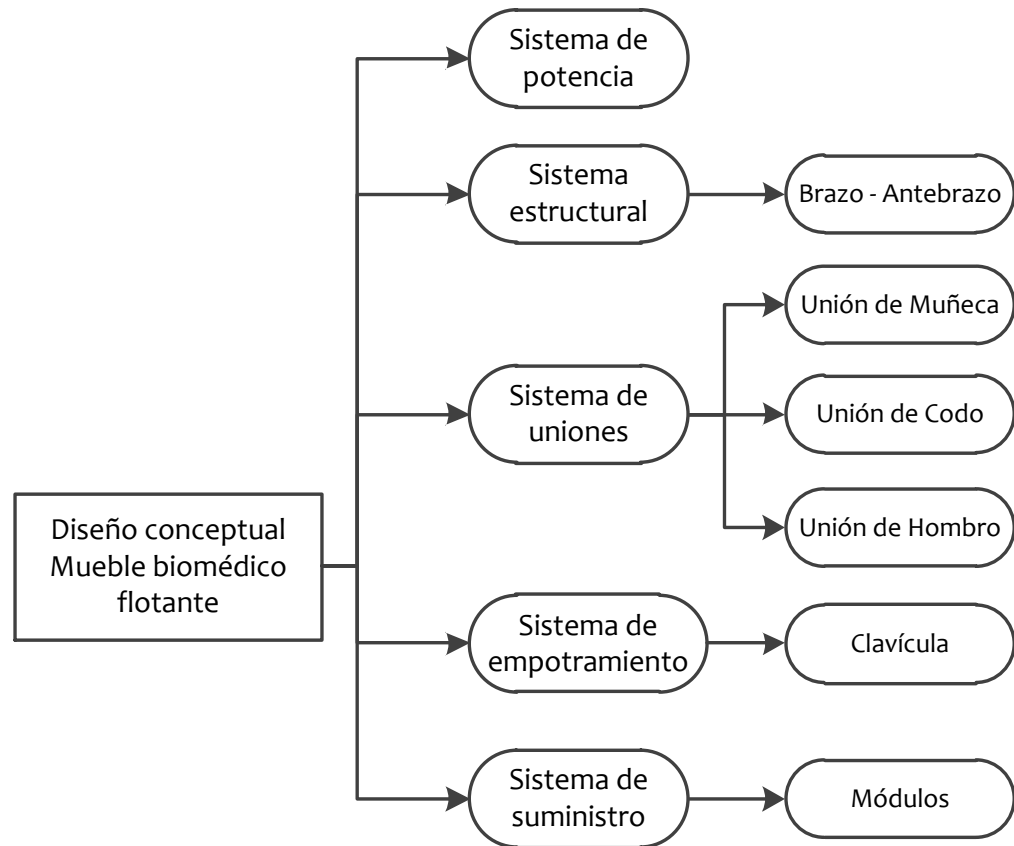
**Figura 37.** Diseño conceptual de Mueble biomédico flotante



**Fuente.** Autores

Para la clasificación de las partes que conforman el mueble se identifican cada una de las familias de piezas, las cuales corresponderán a los sub-sistemas en los que se divide el mueble biomédico flotante:

**Figura 38.** Sistemas mueble biomédico flotante



**Fuente.** Autores

#### 4.2.1 Sistema Estructural

**4.2.1.1 Subsistema de vigas:** De acuerdo a la figura 32, el mueble biomédico flotante estará compuesto por vigas que se denotarán como:

- Brazos
- Antebrazo

### ***Función***

---

- Soportar el peso de los módulos y a su vez el peso de los dispositivos biomédicos.
- Ser un canal de dirección y protección de las mangueras de gases medicinales y cableado eléctrico.
- Darle al mueble biomédico flotante el alcance de longitud necesario para la ubicación del módulo.

### ***Requerimientos***

---

- No debe flectarse más de  $10^\circ$  respecto a la horizontal, cuando se le sea aplicada 2 veces la carga establecida para el mueble.<sup>3</sup>
- El material deberá ser una aleación de aluminio.
- Las longitudes para los brazos y antebrazos podrán ser escogidas entre 600 - 800 - 1000 y 1200 [mm].
- La longitud de la extremidad para el mueble será máximo de 2000 [mm].
- Según las visitas realizadas al Instituto del Corazón de Floridablanca y la comunicación establecida con el personal médico y asistencial, determinaremos el peso mínimo a soportar, según los equipos básicos necesarios para el desarrollo de una cirugía básica. Cualquiera sea su configuración, deberá soportar como mínimo 90 Kg de carga (Tabla 2)
- Las dimensiones del perfil deberán estar dentro del siguiente rango (Figura 34) (Se revisa viabilidad para un cuadrado con dimensiones máximas de 200 mm)

---

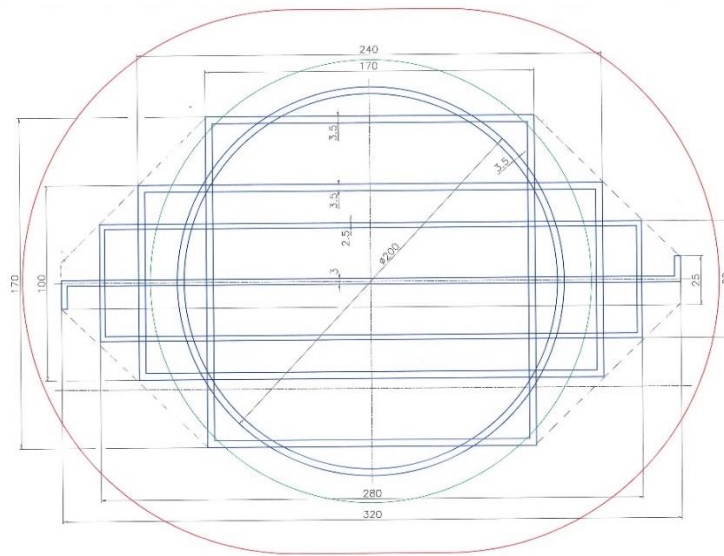
<sup>3</sup> BS-EN6061 Medical Electrical Equipment and Systems

**Tabla 2.** Peso de los equipos básicos para una cirugía

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Peso unitario</b>	<b>Peso total</b>
3	Bombas de infusión	1,5 [Kg]	4,5 [Kg]
3	Perfusores	3,5 [kg]	10,5 [Kg]
1	Monitor de Signos vitales	6,8 [kg]	6,8 [Kg]
1	Electro bisturí	12 [kg]	12 [Kg]
1	Desfibrilador	4,9 [kg]	4,9 [Kg]
2	Ventilador	25 [kg]	50 [Kg]
<b>Carga TOTAL</b>			<b>88,7 [Kg]</b>

**Fuente.** Autores

**Figura 39.** Rango de dimensiones para el perfil de aluminio



**Fuente.** Extrucol

### Decisiones preliminares

- El material a utilizar para el diseño del perfil, tiene las siguientes características.

**Tabla 3.** Propiedades del material para la sección transversal

<b><i>Aleación de Aluminio 6063-T6</i></b>	
<i>Módulo de elasticidad [Mpa]</i>	69000
<i>Coef. de poisson</i>	0,33
<i>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</i>	2700
<i>Límite de tracción [Mpa]</i>	240
<i>Límite elástico [Mpa]</i>	215

**Fuente.** Autores

- Se trabajara como una viga en voladizo
- Se establece una geometría rectangular como sección transversal del perfil, en pro de favorecer al ensamble entre las uniones de codo y de hombro del sistema y teniendo en cuenta lo mencionado en el marco teórico de este documento.
- El perfil se tratara como un tubo de pared gruesa.
- La deflexión permitida para una configuración de mueble de una extremidad, será de 2 [mm]
- La deflexión permitida para una configuración de mueble de un solo brazo, será de 1 [mm].
- Se escoge un valor de 4 para el factor de seguridad, teniendo en cuenta el peso de la estructura y las extralimitaciones de carga en el uso del mueble biomédico flotante por parte del usuario.
- Con el fin de que la mano pueda acceder en la parte interior del perfil para realizar el adecuado ensamble, la mínima altura será de 100 milímetros para un percentil de 50%, según la norma DIN 33.402 Segunda parte.
- Se determina un valor de inercia para el perfil, aplicando una carga de 300 Kg, en una extremidad de 2000 [mm] con antebrazo de 1200 [mm].

## **Componentes**

---

- Vigas tipo cajón de sección doblemente simétrica.

**4.2.2 Subsistema de uniones:** Las uniones del mueble biomédico flotante serán de 3 tipos en relación al cuerpo humano:

- **Unión de Muñeca**
- **Unión de Codo**
- **Unión de Hombro**

### **4.2.2.1 Unión de muñeca**

#### ***Función***

---

- Unir el módulo al brazo o antebrazo dependiendo de la configuración adquirida por el mueble.
- Permitir el giro independiente entre el brazo o antebrazo y el módulo, según sea la configuración.

#### ***Requerimientos***

---

- El módulo debe girar 360 grados.
- El módulo deberá tener la opción de permanecer fijo en un punto deseado.
- La unión de muñeca en su interior, deberá permitir el paso de las mangueras de gases medicinales y el cableado eléctrico, hacia el modulo.
- Contará con un espacio en forma anular para la ubicación de componentes electromagnéticos

### ***Decisiones preliminares***

---

- Se usará un rodamiento que soporte cargas axiales y radiales, de manera que permita el movimiento giratorio del módulo.
- Los materiales de los componentes de la unión serán de aleaciones de acero.
- El agujero interno de la unión será de 50 [mm], permitiendo el paso de 8 mangueras de ½ in (gases medicinales).

### ***Componentes***

---

- Rodamiento de bolas de contacto angular.
- Pernos de acero de alta resistencia de cabeza hexagonal o tipo allen.
- Placas de aleación de acero de espesor normalizado.
- Ejes verticales en aleación de aluminio

#### **4.2.2.2 Unión de codo**

### ***Función***

---

- Acoplar el antebrazo al brazo.
- Permitir el giro en plano horizontal, entre el brazo y el antebrazo para las extremidades del mueble.

### ***Requerimientos***

---

- La articulación debe girar 360 grados.
- El antebrazo deberá tener la opción de permanecer fijo en un punto deseado.
- La unión de codo en su interior, deberá permitir el paso de las mangueras de gases medicinales y el cableado eléctrico, hacia el modulo.

- Debe ser una unión desmontable con elementos roscados.
- Contará con un espacio en forma anular para la ubicación de componentes electromagnéticos

### ***Decisiones preliminares de diseño***

---

- “La longitud ideal del tornillo es aquella donde solo sobresalen uno o dos hilos de la rosca de la tuerca después de que se aprieta”.<sup>4</sup>
- El diámetro interno de la unión de codo, debe permitir el paso de las mangueras que transportan los gases medicinales, el cableado eléctrico y de datos. Para el transporte de los gases medicinales se cuenta con mangueras de ½ in por norma y los gases son oxígeno medicinal, aire medicinal, óxido nitroso y vacío. Por lo tanto, teniendo en cuenta estas dimensiones y las del cableado eléctrico y de datos, se establece 50 mm como diámetro interno, con un aproximado de 8 diámetros de ½ in.
- La unión de codo estará unido por medio de pernos a la placa inferior del brazo del mueble biomédico flotante, la cual tiene un espesor de 15 [mm] como se determinó en los cálculos de la sección transversal del perfil y su material es aluminio.
- “Los pernos no deben estar más cerca de un borde de alrededor de 1,5 a 2 diámetros de perno”<sup>5</sup>.
- Todos los pernos que se utilizaran deberán ser de rosca ordinaria, debido a que tienen menor riesgo del arrancado del roscado.
- Los pernos a utilizar para estas uniones serán de cabeza tipo Allen.

---

<sup>4</sup> Martínez Jose A. Cálculo de uniones atornilladas en el diseño de maquinaria. Proyecto de grado, Universidad Politécnica de Cartagena. Pág. 19

<sup>5</sup> Robert L. Norton. Diseño de Maquinas, Capítulo 14, Tornillos y sujetadores. Pág. 935

### ***Componentes***

---

- Elementos de acero para unión
- Pernos de alta resistencia de cabeza hexagonal o tipo allen
- Rodamientos de contacto angular
- Piezas en acero
- Placas de aleación de acero de espesor normalizado.

#### **4.2.2.3 Unión de hombro**

### ***Función***

---

- Acoplar el brazo al sistema de fijación a techo o empotramiento
- Permitir el giro en plano horizontal del brazo

### ***Requerimientos***

---

- La articulación debe girar 360 grados.
- El brazo deberá tener la opción de permanecer fijo en un punto deseado.
- La unión de hombro en su interior, deberá permitir el paso de las mangueras de gases medicinales y el cableado eléctrico, hacia el modulo.
- Debe ser una unión desmontable con elementos roscados.
- Contará con un espacio en forma anular para la ubicación de componentes electromagnéticos

### ***Decisiones preliminares***

---

Refiérase a Decisiones preliminares para la unión de codo

## ***Componentes***

---

- Elementos de acero para unión
- Pernos de alta resistencia de cabeza hexagonal o tipo allen
- Rodamientos de contacto angular
- Piezas en acero
- Placas de aleación de acero de espesor normalizado

**4.2.3 Subsistema de empotramiento:** El empotramiento realizará la tarea que cumple la clavícula en el cuerpo humano de sostener las extremidades superiores.

### ● **Clavícula**

#### ***Función***

---

- Soportar el peso de la estructura del mueble biomédico flotante y el peso de los dispositivos médicos allí albergados.

#### ***Requerimientos***

---

- El empotramiento se deberá fijar a dos vigas estructurales de perfil en I
- La distancia entre el plato inicial y el secundario del empotramiento, dependerá de la distancia que habrá entre las vigas IPE y el techo falso. En este caso esa distancia será de 300 [mm].

#### ***Decisiones preliminares***

---

- La unión de cada uno de los elementos se realizará por medio de varillas roscadas de alta resistencia.

- El diseño se fundamentara en un puente grúa

### ***Componentes***

---

- Varillas roscadas de alta resistencia
- Perfiles comerciales en C
- Perfiles comerciales en I
- Placas de acero normalizadas

**4.2.4 Subsistema de módulos:** Es la estructura encargada de soportar los equipos biomédicos que se alojarán en el mueble biomédico flotante, cumplirán la función de las manos en el cuerpo humano.

- **Módulo de zona seca**
- **Módulo de zona seca - húmeda**

### ***Función***

---

- Soporte de dispositivos biomédicos
- Suministrar energía eléctrica y gases medicinales a los equipos médicos que allí se alberguen.

### ***Requerimientos***

---

- Tendrá divisiones para la instalación de tomas de acceso rápido de energía eléctrica y gases medicinales.
- Un módulo estará dedicado al suministro exclusivamente de energía eléctrica

- Un módulo estará dedicado al suministro de energía eléctrica y gases medicinales
- El material de diseño será aluminio anodizado

### ***Decisiones preliminares***

---

- El diseño de los módulos del mueble biomédico flotante, se encuentra enfocado en un diseño básico sin tener en cuenta aspectos ergonómicos, ya que este componente por entrar en contacto directo con el usuario, el grupo de trabajo de “Diseño y desarrollo FCV” asigna al personal idóneo para el diseño en detalle de estos componentes.

### ***Componentes***

---

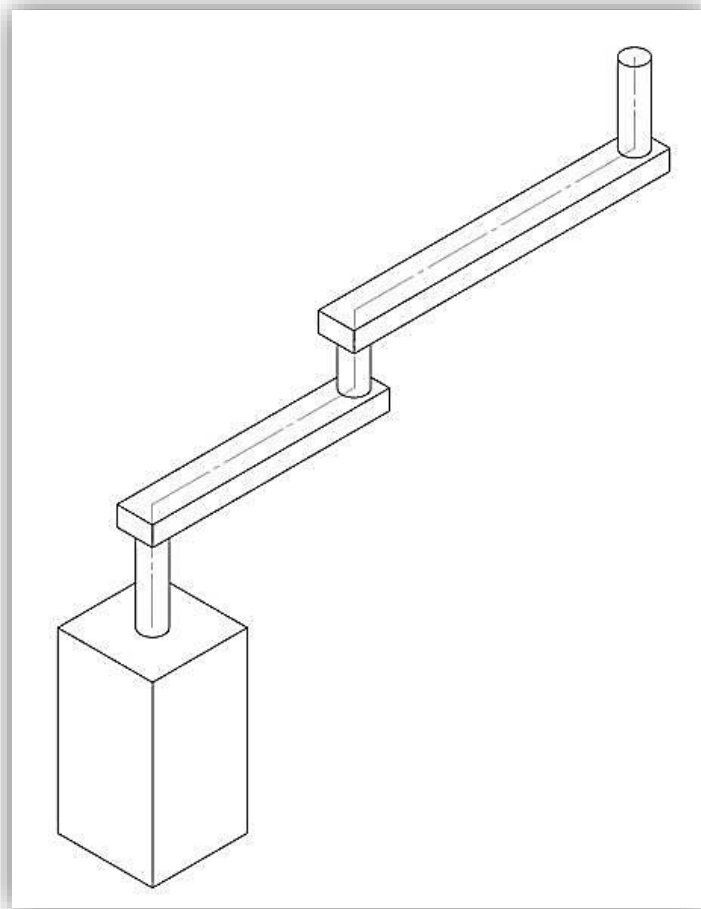
- Perfiles de aluminio
- Tornillería acero inoxidable
- Manijas aluminio

## 5. DISEÑO DE DETALLE

### 5.1 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE

Se analizará la configuración de dos vigas con el brazo y antebrazo totalmente extendido, siendo esta la posición más crítica de esta configuración de mueble. La extremidad máxima medirá 2000 [mm], se variara el brazo y antebrazo entre 800 – 1000 – 1200 [mm].

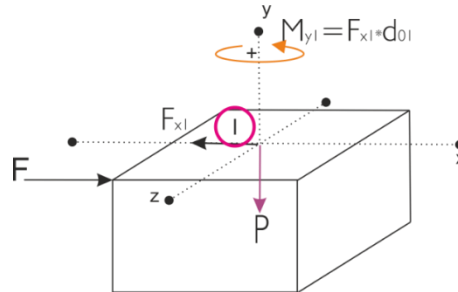
**Figura 40.** Configuración de extremidad totalmente extendida



**Fuente.** Autores

### 5.1.1 Módulo de soporte de equipos

Figura 41. Diagrama de cuerpo libre para el módulo de soporte de equipos



Fuente. Autores

$P$  = Capacidad de carga para el soporte de equipos biomédicos

$$P = 3000 \text{ [N]}$$

$F$  = Fuerza aplicada por el usuario, para el giro del módulo

$$F = 120 \text{ [N]}$$

$d_{01}$  = distancia del centro del módulo al punto donde se aplica la fuerza

$$d_{01} = 250 \text{ [mm]}$$

$M_{y1}$  = Momento en dirección y para el giro del módulo

$$M_{y1} = F * d_{01} = 30000 \text{ [N * mm]}$$

### 5.1.2 Acople de muñeca

$$M_{y1} = M_{y2}$$

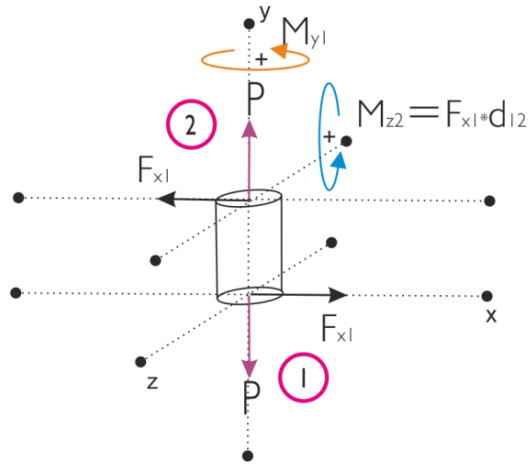
$d_{12}$  = Longitud del acople de muñeca

$$d_{12} = 10 \text{ [mm]}$$

$$M_{z2} = F * d_{12}$$

$$M_{z2} = 12000 [N * mm]$$

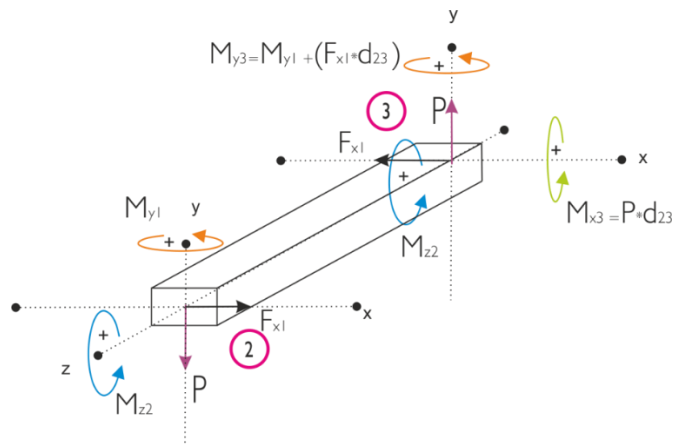
**Figura 42.** Diagrama de cuerpo libre para acople de muñeca



**Fuente.** Autores

### 5.1.3 Antebrazo

**Figura 43.** Diagrama de cuerpo libre para antebrazo



**Fuente.** Autores

$d_{23} = \text{Longitud del antebrazo}$

$$M_{x3} = P * d_{23}$$

**Tabla 4.** Valores para el momento flector  $M_{x3}$  del antebrazo

$d_{23}$ [mm]	$M_{x3}$ [N*mm]
800	2400000
1000	3000000
1200	3600000

Fuente. Autores

$$M_{y3} = M_{y2} + (F * d_{23})$$

**Tabla 5.** Valores para el momento de rotación  $M_{y3}$  en el antebrazo

$d_{23}$ [mm]	$M_{y3}$ [N*mm]
800	126000
1000	150000
1200	174000

Fuente. Autores

$$M_{z2} = M_{z3}$$

#### 5.1.4 Acople de codo

$$M_{x3} = M_{x4}$$

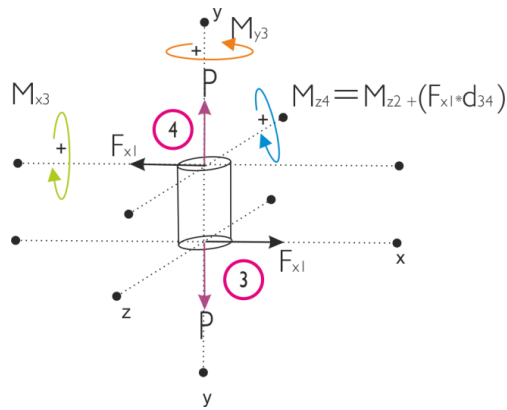
$$M_{y3} = M_{y4}$$

$$M_{z4} = M_{z2} + (F * d_{34})$$

$d_{34}$  = Longitud del acople de codo

$$M_{z4} = 24000 [N * mm]$$

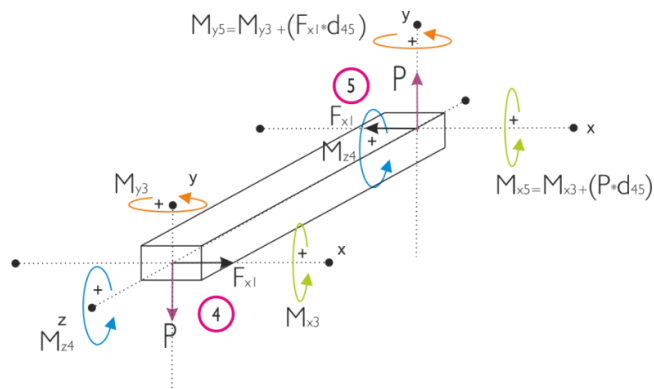
**Figura 44.** Diagrama de cuerpo libre para acople de codo



**Fuente.** Autores

### 5.1.5 Brazo

**Figura 45.** Diagrama de cuerpo libre para brazo



**Fuente.** Autores

$$M_{x5} = M_{x4} + (P * d_{45})$$

$d_{45} =$  Longitud del brazo

**Tabla 6.** Valores para momento flector  $M_{x5}$  en el brazo

$d_{45}$ [mm]	$M_{x5}$ [N*mm]
800	6000000
1000	6000000
1200	6000000

Fuente. Autores

$$M_{y5} = M_{y4} + (F * d_{45})$$

**Tabla 7.** Valores para el momento de rotación  $M_{y5}$  en el brazo

$d_{45}$ [mm]	$M_{y5}$ [N*mm]
800	222000
1000	270000
1200	318000

Fuente. Autores

$$M_{z4} = M_{z5}$$

### 5.1.6 Acople de hombro

$$M_{x5} = M_{x6}$$

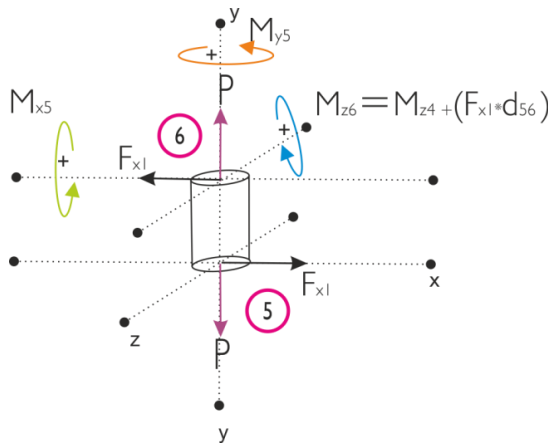
$$M_{y5} = M_{y6}$$

$d_{56} =$  Longitud del acople de codo

$$M_{z6} = M_{z4} + (F * d_{56})$$

$$M_{z6} = 36000 [N * mm]$$

**Figura 46.** Diagrama de cuerpo libre para acople de hombro

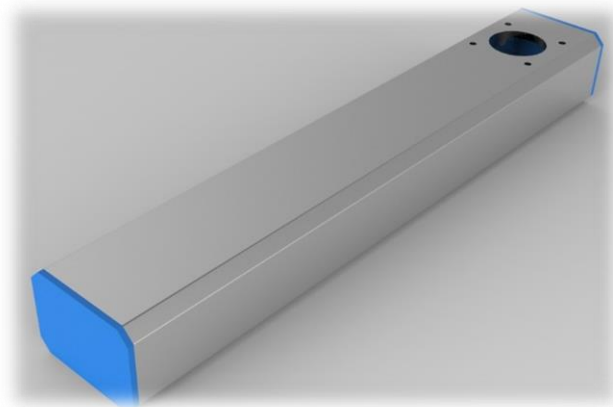


**Fuente.** Autores

## 5.2 SISTEMA ESTRUCTURAL

**5.2.1 Subsistema de vigas:** Para el desarrollo del diseño en detalle se parte de la identificación de las fuerzas que soportan un brazo y un antebrazo, según la configuración que se vaya a implementar.

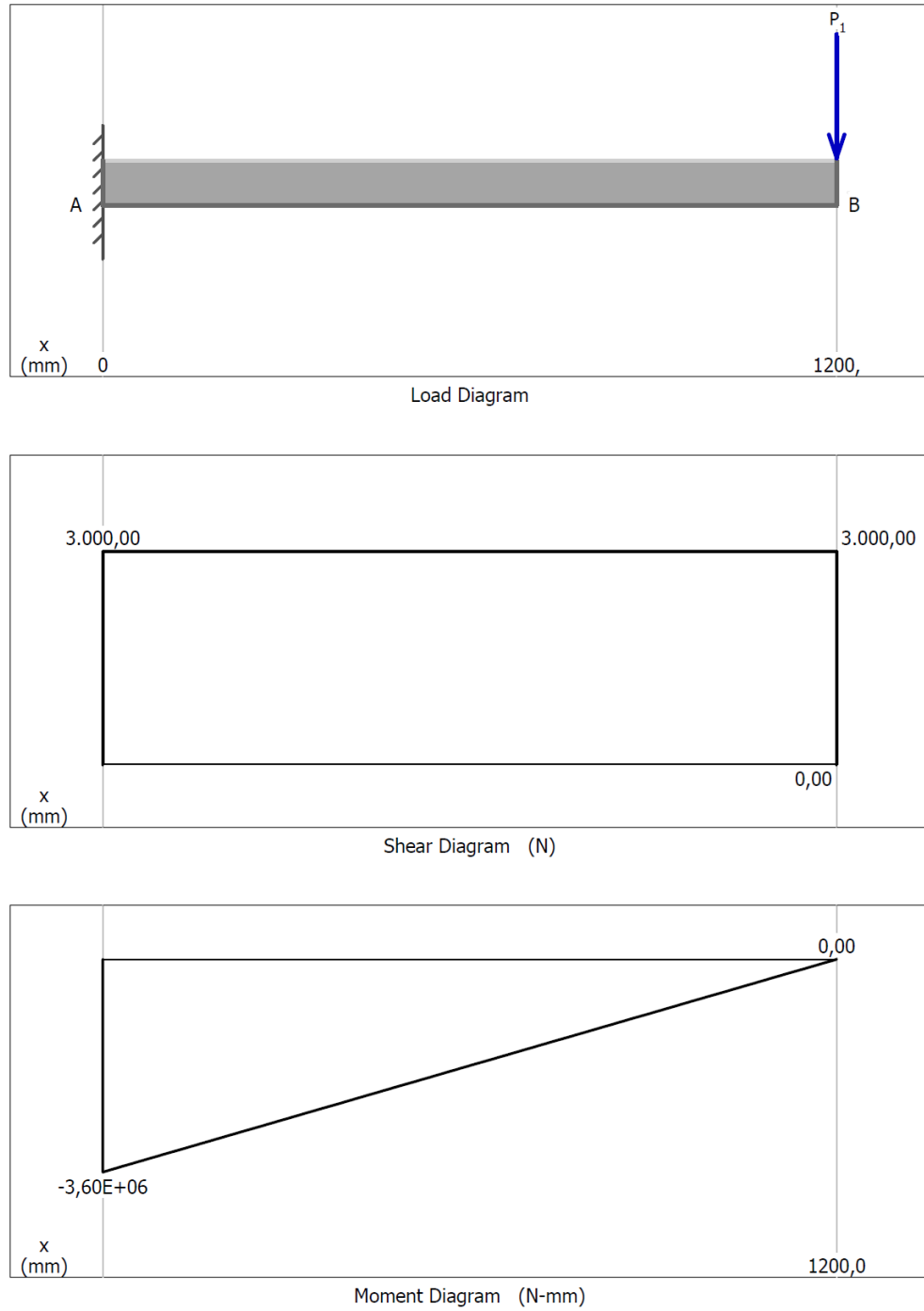
**Figura 47.** Modelo conceptual Brazo - Antebrazo



**Fuente.** Autores

### 5.2.1.1 Diagrama de momento flector y cortante para el antebrazo

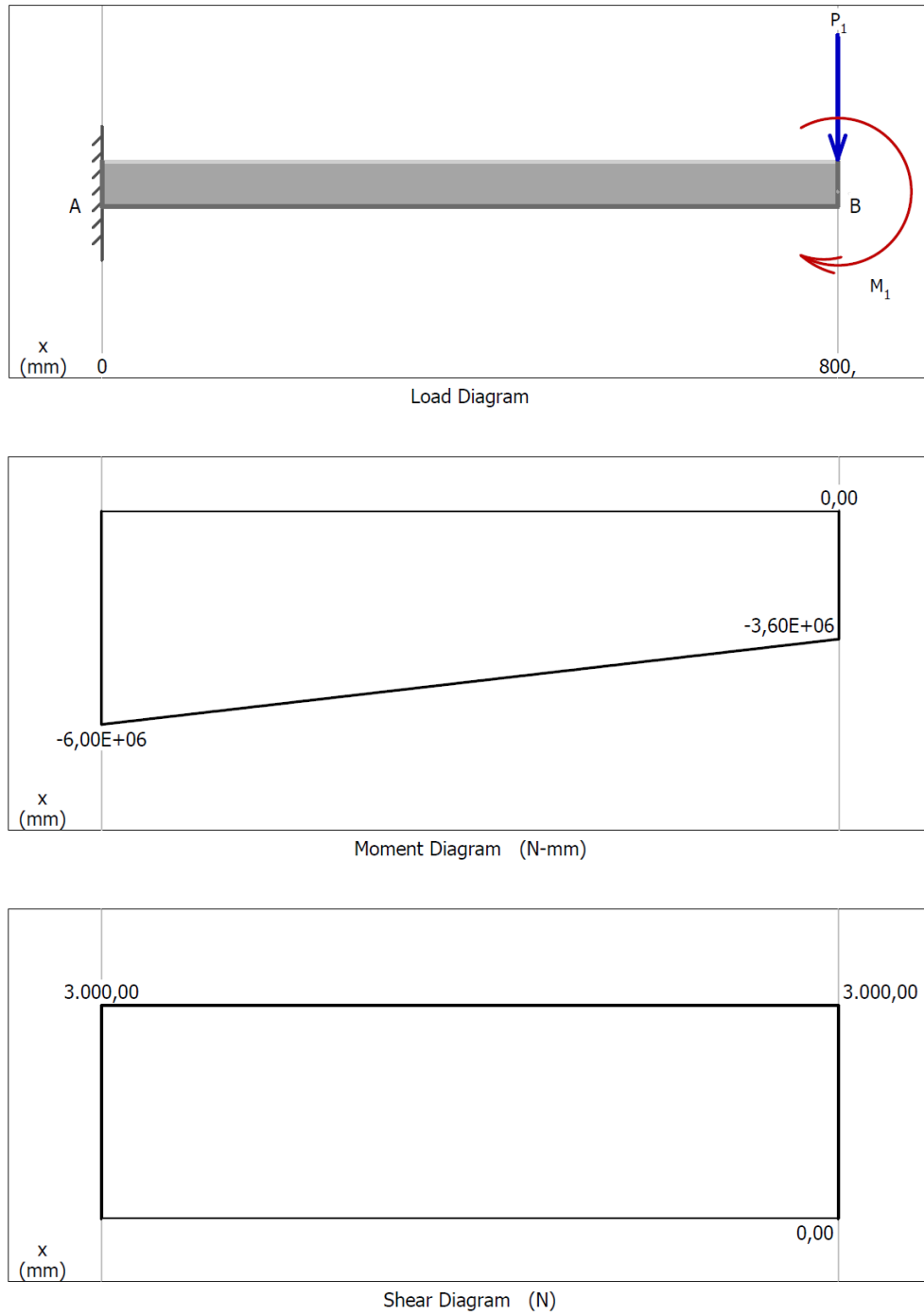
Figura 48. Diagrama momento flector y cortante para antebrazo



Fuente. Autores

### 5.2.1.2 Diagrama de momento flector y cortante para el brazo

Figura 49. Diagrama de momento flector y fuerza cortante para el brazo



Fuente. Autores

**5.2.1.3 Cálculo de la Inercia a partir del módulo de sección requerido:** “Al diseñar una viga para resistir esfuerzos cortantes, es usual iniciar calculando el módulo de sección requerido (S). Por ejemplo, si la viga tiene una sección transversal doblemente simétrica y los esfuerzos permisibles son iguales tanto en tensión como en compresión, podemos calcular el módulo requerido dividiendo el momento flexionante máximo entre el esfuerzo de flexión permisible para el material”<sup>6</sup>

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} \quad Ec. 1$$

$$S = \frac{Inercia}{Centroide} \quad Ec. 2$$

“El esfuerzo permisible se basa en las propiedades del material y en el factor de seguridad deseado. Para tener seguridad que no se sobrepasa este esfuerzo, debemos elegir una viga que proporcione un módulo de sección al menos tan grande como el obtenido con la ecuación 1”<sup>7</sup>

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{material}}{Factor\ de\ seguridad} \quad Ec. 3$$

$$Factor\ de\ seguridad = 4$$

$$\sigma_{material} = 215 [Mpa]$$

$$\sigma_{perm} = \frac{215}{4} = 53,75 [Mpa]$$

---

<sup>6</sup> Mecánica de materiales. James. M. Gere y Barry J. 7ma Edición, Diseño de vigas para esfuerzos de flexión. Pág. 374.

<sup>7</sup> Mecánica de materiales. James. M. Gere y Barry J. 7ma Edición, Diseño de vigas para esfuerzos de flexión. Pág. 374.

- **Análisis para antebrazo**

La longitud mayor para el **antebrazo** es de 1200 mm y la carga máxima 300 kilogramos, por tanto tenemos un momento flexionante en x ( $M_{x3}$ ):

$$M_{m\acute{a}x} = Carga_{m\acute{a}x} * Longitud_{m\acute{a}x} \quad Ec. 4$$

$$Longitud_{m\acute{a}x} = 1200 [mm]$$

$$M_{m\acute{a}x} = 3,6 E6 [N - mm] \quad (\text{Tabla 4.})$$

Calculado el momento máximo, nos dirigimos a la **Ec.1** para determinar el módulo de sección requerido:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = \frac{3,6 E6}{53,75} = 66977 [mm^3]$$

Con el módulo de sección requerido ya determinado, establecemos las posibles dimensiones para la altura del perfil, según los criterios de diseño.

Cumpliendo con la norma para facilitar el ensamble la altura del hueco del perfil tendrá un valor mínimo de:

$$h_{m\acute{i}nima_{hueco}} = 100 [mm]$$

Como se mencionó anteriormente se maneja un perfil de pared gruesa, para cumplir esta decisión se determina un espesor mínimo:

$$\frac{h_{medio}}{t} \leq 10$$

$$\frac{h_{m\acute{i}nimo_{hueco}} + t}{t} \leq 10$$

$$t \geq 10 [mm]$$

$$H_{\text{mínima perfil}} = h_{\text{mínimo hueco}} + (2 * t) \quad \text{Ec. 5}$$

$$H_{\text{mínima perfil}} = 100 + (2 * t) = 120 \text{ [mm]}$$

A partir de la altura mínima encontrada se comienzan a variar los valores de esta dimensión hasta una medida de 170 [mm] como máxima altura según especificaciones ya dadas, para determinar la Inercia.

La inercia se calcula según la **Ec.2**. En este caso el centroide está determinado por la mitad de la altura, al ser una sección cerrada doblemente simétrica.

**Tabla 8.** Valor de inercia encontrado para el antebrazo a partir del módulo de sección requerido

Altura total [mm]	Centroide [mm]	Inercia [mm <sup>4</sup> ]
120	60	4018620
130	65	4353505
140	70	4688390
150	75	5023275
160	80	5358160
170	85	5693045

**Fuente.** Autores

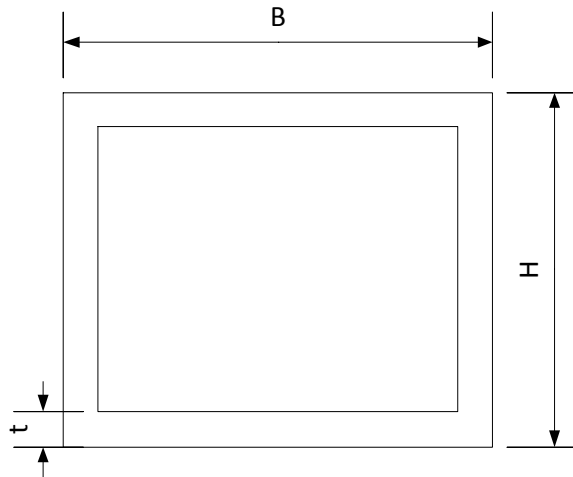
A partir de los valores de inercia encontrados para el rango de alturas totales establecidas, se determina el valor de la **base** teniendo en cuenta la ecuación para el cálculo de la inercia de un rectángulo hueco. (Ec. 6)

$$Inercia = \frac{(B * H^3) - ((B - 2t) * (H - 2t)^3)}{12} \quad \text{Ec. 6}$$

Despejando el valor de B, obtenemos lo siguiente

$$B = -\frac{(t * h^3) - (6 * h^2 * t^2) + (12 * h * t^3) - (6 * I) - (8 * t^4)}{t * ((3 * h^2) - (6 * h * t) + (4 * t^2))} \quad Ec.7$$

**Figura 50.** Geometría rectangular para el perfil propuesto



**Fuente.** Autores

**Tabla 9.** Valores de base para el antebrazo a partir de la inercia inicial encontrada

Altura [mm]	Base [mm]
120	38,76846154
130	29,58667436
140	21,35893701
150	13,87037351
160	6,96591716
170	0,530910273

**Fuente.** Autores

De los valores encontrados y registrados en la tabla para la base del perfil del **antebrazo**, se puede determinar que se necesitan magnitudes muy pequeñas para cumplir con las condiciones de esfuerzo permisible; e inclusive para alturas que sobrepasen los 170 milímetros se presentan valores incongruentes.

- **Análisis para brazo**

Como paso siguiente, se realizará el mismo procedimiento para el **brazo** en el cual el momento máximo será mayor.

Para iniciar el procedimiento de cálculo, se determina identifica el momento flector máximo que siente el brazo, consecuente con el cálculo anterior si el antebrazo se tomó de 1200 [mm] el brazo será de 800 [mm] y el valor de momento se tomará de la (Tabla 6):

$$M_{m\acute{a}x} = 6 E6 [N - mm]$$

Seguidamente se acude a la **Ec.1** para determinar el módulo de sección requerido:

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = \frac{6E6}{53,75} = 111628 [mm^3]$$

A partir del módulo de sección requerido, se comenzará a determinar los valores de inercia a partir de la **Ec.2** y según las condiciones de altura ya establecidas.

**Tabla 10.** Valor de inercia encontrado para el brazo a partir del módulo de sección requerido

Altura [mm]	Centroide [mm]	Inercia [mm <sup>4</sup> ]
120	60	6697680
130	65	7255820
140	70	7813960
150	75	8372100
160	80	8930240
170	85	9488380

**Fuente.** Autores

Continuando con el procedimiento de cálculo, se comenzará a determinar los valores de la base según la **Ec.7** para cada uno de los datos de inercia registrados.

**Tabla 11.** Valores de base para el antebrazo a partir de la inercia inicial encontrada

<b>Altura [mm]</b>	<b>Base [mm]</b>
<b>120</b>	82,92879121
<b>130</b>	69,80351039
<b>140</b>	58,27511811
<b>150</b>	47,98404075
<b>160</b>	38,67076923
<b>170</b>	30,14340702

**Fuente.** Autores

Similarmente que en el **antebrazo**, las dimensiones de la base para el **brazo** son pequeñas en comparación con la altura. En conclusión no se requieren magnitudes muy grandes para cumplir con las condiciones de esfuerzo.

Al realizar el mismo procedimiento para la carga mínima establecida en las decisiones preliminares, se obtuvieron dimensiones de base muy inferiores a las encontradas en las Tablas 9 y 11, ya que el valor de carga disminuye en gran proporción.

#### **5.2.1.4 Cálculo de la Inercia a partir de la deflexión permisible**

- **Análisis para la extremidad**

Según las decisiones preliminares, **la carga mínima** que deberá soportar el mueble biomédico flotante independiente de su configuración es de 90 [Kg] y la deflexión máxima permisible para toda la extremidad será de 2 [mm], por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$\delta_{antebrazo} + \delta_{brazo} = \delta_{extremidad} \quad Ec.8$$

$$\delta_{brazo} = \frac{P * F . S * L_{brazo}^3}{3 * E * I} + \frac{M * F . S * L_{brazo}^2}{2 * E * I} \quad Ec. 9$$

$$M = P * L_{antebrazo} \quad Ec. 10$$

$$\delta_{antebrazo} = \frac{P * F . S * L_{antebrazo}^3}{3 * E * I} \quad Ec. 11$$

Reemplazando en la **Ec.8** y despejando el valor de Inercia, obtenemos lo siguiente (**Ec. 12**)

$$I = \frac{1}{\delta_{extremidad}} \left( \left( \frac{P * F . S * L_{antebrazo}^3}{3 * E} \right) + \left( \frac{P * F . S * L_{brazo}^3}{3 * E} + \frac{P * L_{antebrazo} * F . S * L_{brazo}^2}{2 * E} \right) \right)$$

Con la **Ec.12** procedemos a realizar el cálculo de la inercia, con los siguientes datos:

Longitud brazo:

$$L_{1b} = 800 [mm]; L_{2b} = 1000 [mm]; L_{3b} = 1200 [mm]$$

Longitud antebrazo:

$$L_{1a} = 1200 [mm]; L_{2a} = 1000 [mm]; L_{3a} = 800 [mm]$$

$$E = 69000 [Mpa]$$

Reemplazando los datos en la **Ec.12** obtenemos tres valores de inercia,

$$I_1 = 29495652,168 [mm^4]$$

$$I_2 = 30434782,607 [mm^4]$$

$$I_3 = 34504343,004 \text{ [mm}^4\text{]}$$

El valor de **Inercia No.1**, tiene una configuración de antebrazo de 1200 milímetros y 800 milímetros de longitud del brazo. La **Inercia No.2**, tiene una configuración de antebrazo de 1000 milímetros y 1000 milímetros de longitud del brazo. Para la **Inercia No.3** el antebrazo es de 800 milímetros y el brazo de 1200 milímetros.

A partir de los valores de inercia encontrados, se determinaran los valores de la base del perfil según la **Ec.7**.

**Tabla 12.** Dimensiones del perfil, según las Inercias encontradas para el brazo

Inercia No.1		Inercia No.2		Inercia No.3	
Altura [mm]	Base [mm]	Altura [mm]	Base [mm]	Altura [mm]	Base [mm]
120	458,7195412	120	474,1997133	120	541,2803792
130	377,9767044	130	390,9900592	130	447,3811964
140	314,3580965	140	325,4501883	140	373,5158623
150	263,1645382	150	272,731232	150	314,1868557
160	221,2040133	160	229,5394906	160	265,6598491
170	186,246961	170	193,5743766	170	225,3264734

**Fuente.** Autores

Los valores encontrados en este análisis de la **extremidad**, se ajustan a magnitudes coherentes con las cuales se podría trabajar, teniendo en cuenta que no se desea un perfil muy grande, y que el valor de la base deberá ser un tanto mayor a la altura para la comodidad de ajustar la unión de codo y hombro, y contribuir de manera positiva en el aspecto estético del mismo.

De los valores registrados en la **Tabla. 12** podemos observar que para la configuración de la **Inercia No.3**, se necesitan magnitudes mayores de **base** en comparación con las otras dos configuraciones, es decir, esta configuración será la que menos capacidad de carga tendrá.

De los valores registrados para la configuración de **brazo** 1200 milímetros y **antebrazo** 800 milímetros (**Inercia No.3**), se deben de escoger los valores que cumplan con los requerimientos de diseño establecidos; sin embargo para que estas

dimensiones estén dentro de lo estipulado, se requiere realizar un cambio de una dimensión geométrica para obtener valores un poco menores; por consiguiente el valor del espesor tendrá que ser modificado.

**Tabla 13.** Dimensiones para el perfil, con un espesor de 15 [mm]

<b>Inercia No.3</b>	
<b>Altura [mm]</b>	<b>Base [mm]</b>
<b>130</b>	320,8455439
<b>140</b>	264,7714905
<b>150</b>	219,9223534
<b>160</b>	183,3291817
<b>170</b>	152,9424233

**Fuente.** Autores

De la tabla 13, se escogen los siguientes valores:

$$Alto = 150 [mm]$$

$$Base = 220 [mm]$$

$$Espesor = 15 [mm]$$

Estos valores determinados, están dentro de las magnitudes estipuladas por la compañía extrusora de aluminio, sin embargo cabe resaltar que la figura geométrica que se está tomando como base (rectángulo hueco de espesor constante) puede ser alterada (forma y dimensiones internas) para obtener un valor similar de inercia.

Como se escogió un nuevo valor de dimensión para la base, se determinará la inercia a partir de la **Ec.6**

$$Inercia = \frac{(220 * 150^3) - ((220 - (2 * 15)) * (150 - (2 * 15))^3)}{15}$$

$$Inercia = 34515000 [mm^4]$$

Con estos valores encontrados, determinamos el módulo de sección requerido según la **Ec.2**

$$S = \frac{34515000}{75}$$

$$S = 460200 [mm^3]$$

Este valor obtenido para el módulo de sección requerido, se debe de comparar con el hallado por la **Ec.1**, de manera que el hallado por la **Ec.2** se mayor o igual al de la **Ec.1**. Para poder hallar el módulo por la **Ec.1**, es necesario determinar el momento máximo el cual se encontrará a continuación.

A partir del valor de inercia establecido, se determina la capacidad de carga para cada una de las configuraciones.

➤ **Configuración No.1**

Antebrazo de 800 milímetros y Brazo de 1200 milímetros

Según la Ec.12 se despejará el valor de P y se emplearan los siguientes datos

$$I = 34515000 [mm^4]$$

$$L_{brazo} = 1200 [mm]$$

$$L_{antebrazo} = 800 [mm]$$

Reemplazando los datos en la **ecuación despejada**, obtenemos el valor de carga real.

$$P_{real} = 900 [N]$$

Para cada una de las configuraciones restantes para una longitud total de 2000 milímetros, se realizara el mismo procedimiento para determinar el valor de carga real del mueble, variando las longitudes de antebrazo y brazo respectivamente.

Según los criterios de diseño establecidos, el valor de la longitud para el **brazo** y **antebrazo** pueden ser escogidas entre 600, 800, 1000 y 1200 milímetros. Por lo tanto son múltiples configuraciones que se pueden conformar para un mueble biomédico flotante de una extremidad. A continuación se presentan los valores de carga reales para cada una de las configuraciones que se pretenden establecer: (Tabla 14).

De esta tabla se determinan los valores de carga para cada configuración posible; de estos también podemos determinar que todos los que cuenten con la misma longitud total de la extremidad (**brazo + antebrazo**) soportaran la misma carga, ya que dependerá únicamente de las configuraciones que adopten los componentes que conforman la extremidad.

**Tabla 14.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de una extremidad

L. Brazo [mm]	L. Antebrazo [mm]	Capacidad de carga TOTAL [N]	Carga real [kg]
<b>600</b>	600	1500	<b>150</b>
	800	1286	<b>128,6</b>
	1000	1125	<b>112,5</b>
	1200	1000	<b>100</b>
<b>800</b>	600	1286	<b>128,6</b>
	800	1125	<b>112,5</b>
	1000	1000	<b>100</b>
	1200	900	<b>90</b>
<b>1000</b>	600	1125	<b>112,5</b>
	800	1000	<b>100</b>
	1000	900	<b>90</b>
<b>1200</b>	600	1000	<b>100</b>
	800	900	<b>90</b>

**Fuente.** Autores

Determinados los valores de carga para cada configuración, podemos observar que el mayor momento se presenta con una longitud de brazo de 600 milímetros y longitud de antebrazo de 600 milímetros, por lo tanto con este valor de momento máximo será con el que se determine el módulo de sección requerido a partir de la **Ec.1**, para posteriormente ser comparado por el hallado previamente por la **Ec.2**.

$$S = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = \frac{5670000}{53,75}$$

$$S = 105488 [mm^3]$$

“De los resultados obtenidos, observamos que el valor del módulo de sección requerido da mayor por la **Ec.2**, lo que indica que no sobrepasara el esfuerzo permisible del material.”

#### 5.2.1.5 Identificación de las cargas reales para cada una de las configuraciones de la línea

➤ **Mueble biomédico flotante de un brazo:**

**Tabla 15.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de un brazo

Longitud Brazo [mm]	Capacidad de carga REAL [N]	Carga real [kg]
1000	1786	<b>178</b>
1200	1033	<b>103</b>

**Fuente.** Autores

➤ **Mueble biomédico flotante de dos brazos**

**Tabla 16.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de dos brazos

Longitud Brazo Izquierdo [mm]	Longitud Brazo Derecho [mm]	Capacidad de carga TOTAL [N]	Carga real [kg]
1000	1000	3572	<b>357</b>
	1200	2819	<b>281</b>
1200	1200	2067	<b>206</b>

**Fuente.** Autores

➤ ***Mueble biomédico flotante de dos brazos conformando una extremidad***

Las capacidades de carga para este tipo de configuración, se ven representadas en la Tabla 13.

➤ ***Mueble biomédico flotante de un brazo más una extremidad***

**Tabla 17.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante un brazo (1000 mm) más una extremidad

Longitud Brazo Izquierdo [mm]	EXTREMIDAD		Capacidad de carga TOTAL [N]	Carga real [Kg]	
	Longitud Brazo [mm]	Longitud Antebrazo [mm]			
1000	600	600	3286	<b>329</b>	
		800	3072	<b>307</b>	
		1000	2911	<b>291</b>	
		1200	2786	<b>279</b>	
	800	600	3072	<b>307</b>	
		800	2911	<b>291</b>	
		1000	2786	<b>279</b>	
		1200	2686	<b>269</b>	
	1000	1000	600	2911	<b>291</b>
			800	2786	<b>279</b>
			1000	2686	<b>269</b>
	1200	1200	600	2786	<b>279</b>
800			2686	<b>269</b>	

**Fuente.** Autores

**Tabla 18.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante un brazo (1200 mm) más una extremidad

Longitud Brazo Izquierdo [mm]	EXTREMIDAD		Capacidad de carga TOTAL [N]	Carga real [Kg]
	Longitud Brazo [mm]	Longitud Antebrazo [mm]		
1200	600	600	2533	<b>253</b>
		800	2319	<b>232</b>
		1000	2158	<b>216</b>
		1200	2033	<b>203</b>
	800	600	2319	<b>232</b>
		800	2158	<b>216</b>
		1000	2033	<b>203</b>
		1200	1933	<b>193</b>
	1000	600	2158	<b>216</b>
		800	2033	<b>203</b>
		1000	1933	<b>193</b>
	1200	600	2033	<b>203</b>
800		1933	<b>193</b>	

**Fuente.** Autores

➤ ***Mueble biomédico flotante de dos extremidades***

Las configuraciones registradas en la tabla 19, son simplemente un pequeño porcentaje de las posibles para un mueble de dos extremidades; sin embargo no se limita a establecer solamente las mencionadas, ya que todo depende de las dimensiones de espacio con que se cuente en el lugar que requiera ser instalada, es decir, la persona interesada en adquirir el mueble será el encargado de escoger cual se acomoda a las necesidades de equipamiento de las áreas críticas del establecimiento.

**Tabla 19.** Capacidades de carga para el mueble biomédico flotante de dos extremidades

EXTREMIDAD Izquierda		EXTREMIDAD Derecha		Capacidad de carga REAL [N]	Carga real [Kg]
L. Brazo [mm]	L. Antebrazo [mm]	L. Brazo [mm]	L. Antebrazo [mm]		
1200	800	600	600	2400	<b>240</b>
1000	800	800	600	2286	<b>228</b>
	1000		800	2025	<b>202</b>
800	800	1000	600	2250	<b>225</b>
	1200		800	1900	<b>190</b>
	600		1000	2186	<b>218</b>

**Fuente.** Autores

### 5.2.1.6 Revisión de la resistencia por cortante

Complementando el diseño del perfil de viga, se verificarán los esfuerzos cortantes. Para determinar este tipo de esfuerzos en un punto de una sección transversal rectangular como la ya planteada, se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x} * Q}{I * b} \quad Ec. 13$$

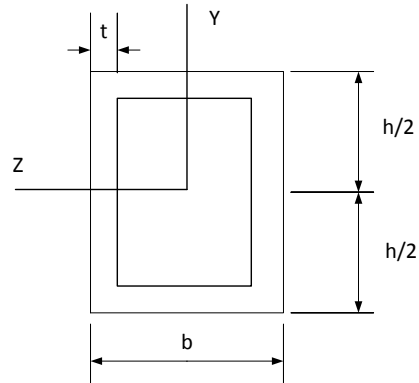
$V$  = Fuerza cortante [N]

$I$  = Momento de inercia [ $mm^4$ ]

$b$  = ancho [mm]

$Q$  = Momento estático [ $mm^3$ ]

**Figura 51.** Sección transversal rectangular



**Figura.** Autores

El momento estático se define como el producto entre el área y la distancia desde su propio centroide hasta el eje neutro.

$$Q = \left( \left( b * \left( \frac{h}{2} \right) \right) * \left( \frac{h}{4} \right) \right) - \left( (b * 2t) * \left( \frac{h}{2} - t \right) * \left( \frac{1}{2} * \left( \frac{h}{2} - t \right) \right) \right)$$

El valor máximo del esfuerzo cortante se tiene en el eje neutro, donde el momento estático tiene su valor máximo.

➤ **MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE DE UN BRAZO (Configuración 5)**

(Ver Tabla 20)

➤ **MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE DE DOS BRAZOS (Configuración 3)**

Para esta configuración, las características de resistencia de perfil tienen el mismo comportamiento que el mueble de un solo brazo, ya que está conformada por dos muebles flotantes de un brazo independientes.

**Tabla 20.** Resistencia mecánica de la sección transversal para la configuración de un brazo

<b>Resistencia mecánica</b>		
<b>Carga</b>	1786	N
<b>Longitud</b>	1000	mm
<b>Momento</b>	1786000	N-mm
<b>Sigma</b>	3,88	Mpa
<b>Sigma material</b>	215	Mpa
<b>F.s</b>	55,39	-
<b>Q</b>	276750	mm <sup>3</sup>
<b>Tao</b>	0,477	Mpa
<b>Tao material</b>	107,5	Mpa
<b>F.s</b>	225,2	-

**Fuente.** Autores

➤ **MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE DE UNA EXTREMIDAD (Configuración 4)**

**Tabla 21.** Resistencia mecánica de la sección transversal del antebrazo para la configuración de una extremidad

<b>Resistencia mecánica Antebrazo</b>		
<b>Carga</b>	1500	N
<b>Longitud</b>	600	mm
<b>Momento</b>	900000	N-mm
<b>Sigma</b>	1,9556	Mpa
<b>Sigma material</b>	215	Mpa
<b>F.S</b>	109,93	-
<b>Q</b>	276750	mm <sup>3</sup>
<b>Tao</b>	0,400	Mpa
<b>Tao material</b>	107,5	Mpa
<b>F.s</b>	268,13	-

**Fuente.** Autores

**Tabla 22.** Resistencia mecánica de la sección transversal del brazo para la configuración de una extremidad

<b>Resistencia mecánica Brazo</b>		
<b>Carga</b>	1500	N
<b>Longitud</b>	600	mm
<b>Momento</b>	1800000	N-mm
<b>Sigma</b>	3,911	Mpa
<b>Sigma material</b>	215	Mpa
<b>F.S</b>	54,96	-
<b>Q</b>	276750	mm <sup>3</sup>
<b>Tao</b>	0,400	Mpa
<b>Tao material</b>	107,5	Mpa
<b>F.s</b>	268,1	-

**Fuente.** Autores

➤ **MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE DE UN BRAZO MÁS UNA EXTREMIDAD (Configuración 2)**

Para esta configuración, se tiene en cuenta la resistencia mecánica para un brazo y para una extremidad mencionada anteriormente.

➤ **MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE DE DOS EXTREMIDADES (Configuración 1)**

Esta última configuración, es la combinación de dos muebles biomédicos flotantes de una extremidad, por lo tanto las propiedades de la sección transversal se ven representadas en la Tabla 21 y 22.

### 5.3 SISTEMA DE UNIONES

Como en la mayor parte de los problemas de diseño, hay demasiadas variables desconocidas para resolver en una sola pasada las ecuaciones necesarias. Por tal motivo, para varios parámetros deberán seleccionarse valores de prueba y utilizarse iteraciones para encontrar una solución adecuada.

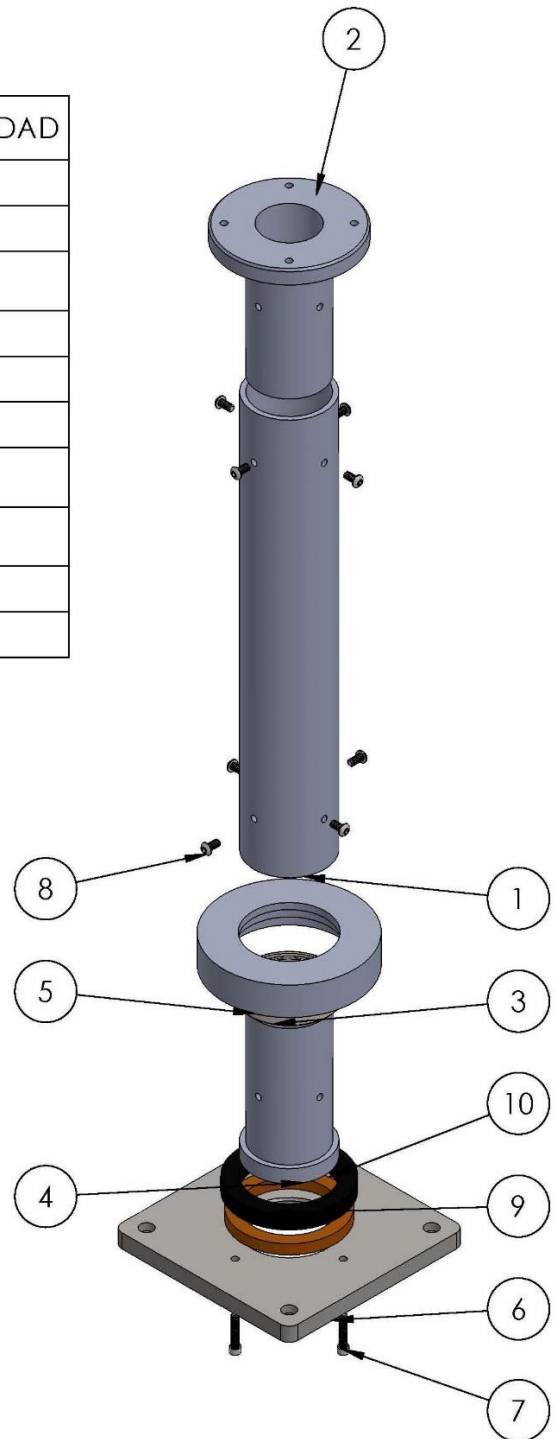
**5.3.1 Subsistema de unión de muñeca:** El procedimiento para el diseño de estas uniones es de forma iterativa, por lo que se deberá probar una y otra vez aspectos como la distribución de pernos, número de pernos, diámetro de perno, longitud de perno, grado del perno, entre otras; todo esto para encontrar la solución adecuada, en esta solución el factor de seguridad deberá ser mayor o igual a 4.

Para determinar la fuerza aplicada sobre el perno, se tiene en cuenta la carga axial a soportar y/o la fuerza cortante, esta se tendrá que dividir en el número de pernos según la posición que tomen en la unión de muñeca.

Esta unión deberá estar compuesta por varias partes, que a su vez se ensamblaran mediante pernos que aseguren el correcto funcionamiento del conjunto. Por tratarse de un proceso iterativo, en el cual no se cuenta con un parámetro de diseño estable, se presentará la solución ya escogida para posteriormente ser comprobada.

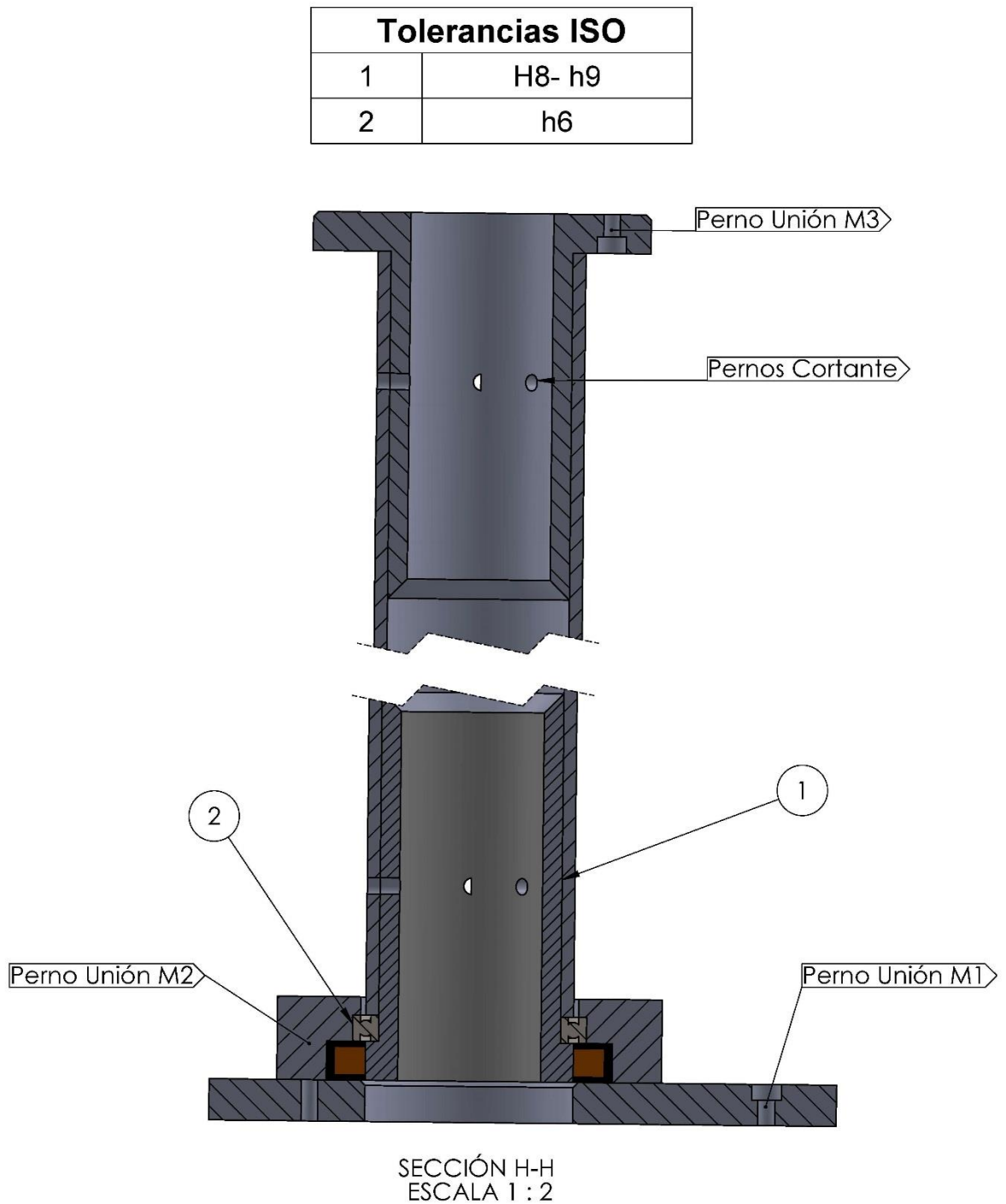
**Figura 52.** Vista explosionada unión de muñeca

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo-UM2	1
2	Cuerpo-UM1	1
3	SKF - 61814 - 34,SI,NC,34_68	1
4	Cuerpo-UM5	1
5	Cuerpo-UM3	1
6	Cuerpo-UM4	1
7	HX-SHCS 0.25-20x1.25x1.25-S	4
8	SBHCSCREW 0.25-20x0.5-HX-S	8
9	aislante	1
10	Bobina	1



**Fuente.** Autores

**Figura 53.** Tolerancias en la unión de muñeca e identificación de las sub-uniones

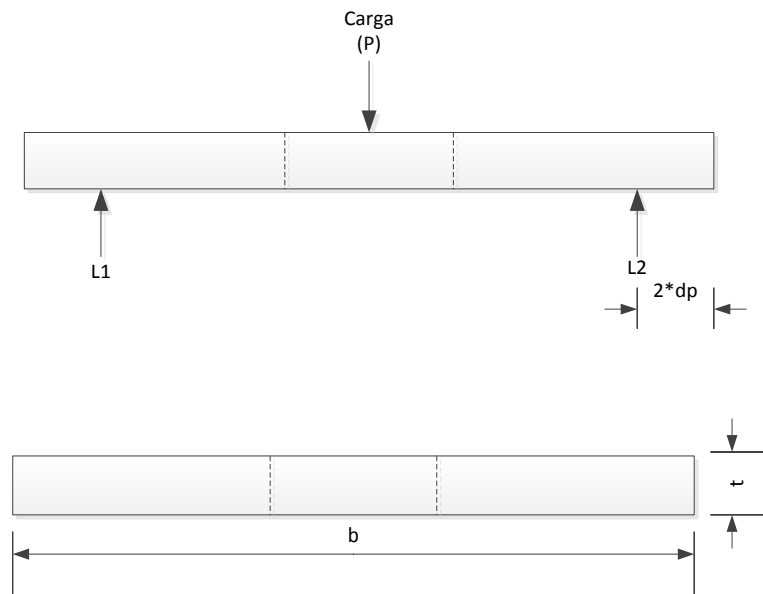


**Fuente.** Autores

**5.3.1.1 Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM4:** Se analiza la placa de sujeción del módulo, componente esencial en la unión de muñeca mediante la exposición de esta a una carga puntual  $P= 1800$  [N], máxima carga que soportará una extremidad del mueble biomédico flotante.

Se toma una placa de forma rectangular con soportes simples en sus dos extremos, cumpliendo las restricciones dimensionales y de ubicación para los agujeros. Se tiene:

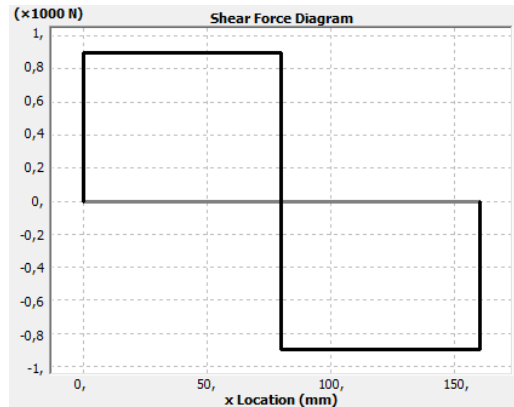
**Figura 54.** Diagrama cuerpo libre para Cuerpo- UM4



**Fuente.** Autores

Determinamos una dimensiones primaria donde  $b= 200$  [mm] y de allí partimos para la selección del espesor, por medio de diagrama cortante y momento flector de la pieza.

**Figura 55.** Diagrama de fuerzas cortantes Cuerpo -UM4

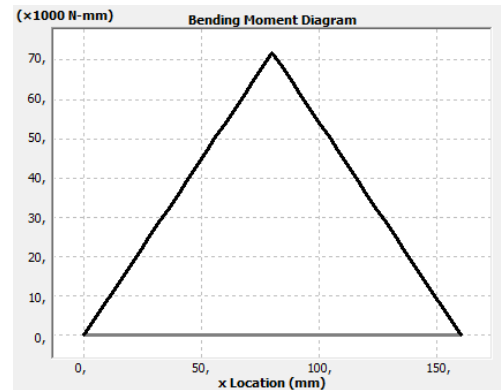


**Fuente.** Autores

$$L_1 = 900 [N]$$

$$L_2 = 900 [N]$$

**Figura 56.** Diagrama momento flector Cuerpo- UM4



**Fuente.** Autores

$$M_{max} = 72 [N.m]$$

Según el momento máximo que deberá soportar la placa se determina una inercia que cumpla con una deflexión máxima de [0,5 mm].

$$I_{placa} = 10845 [mm^4]$$

$$I_{placa} = \frac{1}{12} * b * t^3 \quad Ec. 15$$

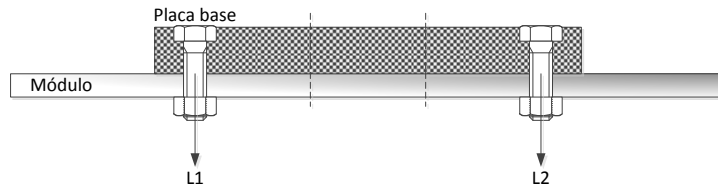
$$t_1 = 8,66 [mm] \approx 10 [mm] \text{ ó } \frac{3}{8} [in]$$

Para la sujeción del módulo a la placa de la muñeca, se calculará una unión apernada de la siguiente forma:

La carga que irá a cada línea de pernos será las fuerzas  $L_1$  y  $L_2$ , a su vez estas se dividirán en dos pernos que se encuentran en cada posición donde se plantearon

estas reacciones, así los pernos recibirán cada uno una carga de tensión = 450 [N] o 102 [Lbf]

**Figura 57.** Representación gráfica unión M1



**Fuente.** Autores

**Tabla 23.** Datos de entrada unión M1

<b>Unión M1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UM4</i>	<i>Placa MS1</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+7</i>	<i>1,03E+07</i>	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>3/8</i>	<i>1/4</i>	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 24.** Características del perno de la unión M1

<b>Unión M1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	1/4	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,049	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0318	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	102	[lb]

**Fuente.** Autores

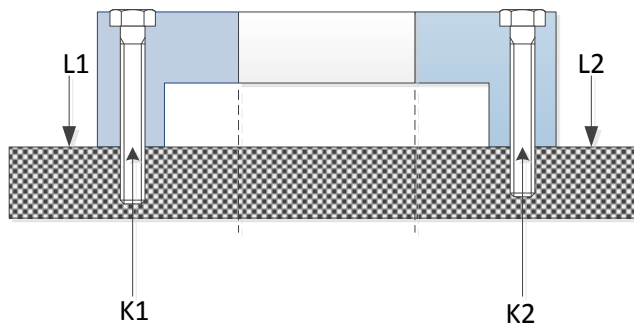
**Tabla 25.** Resultados para unión M1

<b>Unión M1</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	6,31	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	6,10	-
<b>Precarga</b>	432,5	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	32,43	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

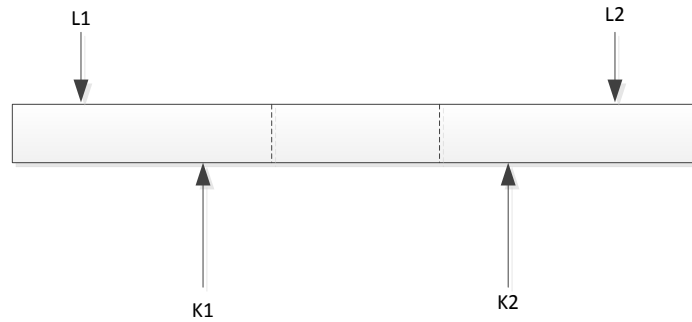
**5.3.1.2 Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM3:** Para el análisis de la siguiente pieza se realiza igual que el ítem anterior, pero partiendo de un diagrama de cuerpo libre diferente, a continuación se representa el esquema de la unión entre el cuerpo UM3 y Cuerpo UM4 y posteriormente su respectivo diagrama de cuerpo libre.

**Figura 58.** Esquema de la unión Cuerpo-UM3 y Cuerpo-UM4



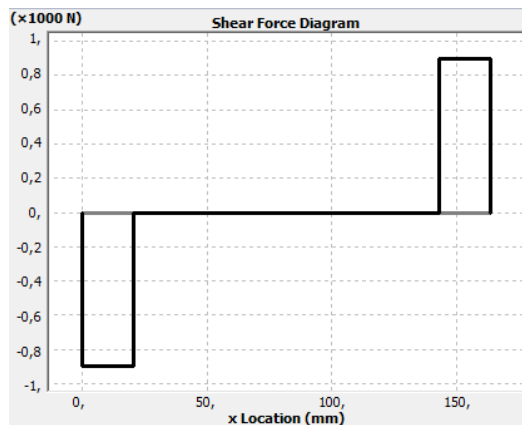
**Fuente.** Autores

**Figura 59.** Diagrama de cuerpo libre para la Figura 58



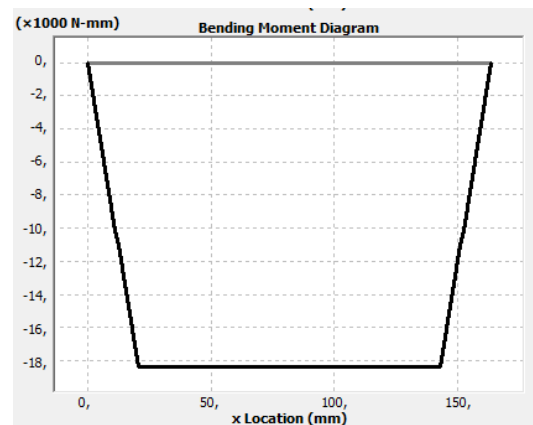
**Fuente.** Autores

**Figura 60.** Diagrama de fuerzas cortantes Cuerpo UM3



**Fuente.** Autores

**Figura 61.** Diagrama de momento flector Cuerpo UM3



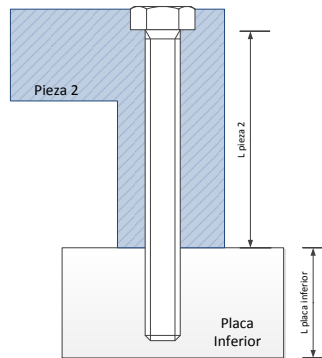
**Fuente.** Autores

$$K_1 = K_2 = 900 \text{ [N]}$$

$$M_{max} = 18,4 \text{ [N.m]}$$

La fuerza que llega a la segunda pieza tiene el mismo valor que la inicial, ahora se determina el diámetro del perno basado en las siguientes especificaciones, al ser una unión apernada sin tuerca:

**Figura 62.** Representación gráfica unión M2 (Cuerpo UM3 y UM4)



**Fuente.** Autores

**Tabla 26.** Datos de entrada unión M2

<b>Unión M2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UM4	Cuerpo UM3	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	3/8	1	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 27.** Características del perno para unión M2

<b>Unión M2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	1/4	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1,325	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,049	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0318	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	102	[lb]

**Fuente.** Autores

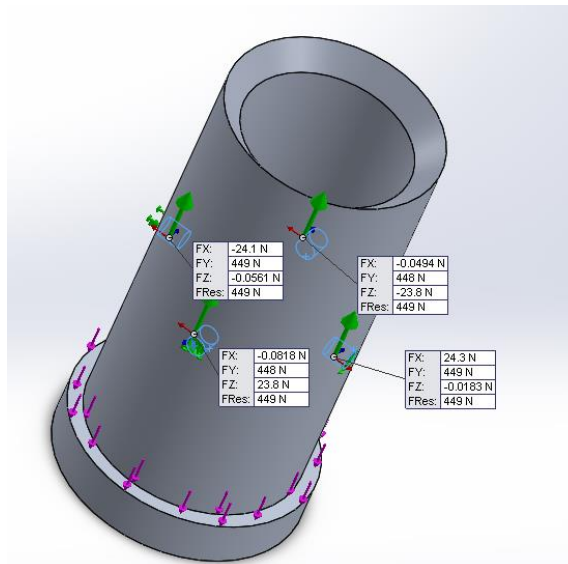
Tabla 28. Resultados unión M2

<i>Unión M2</i>		<i>Unidades</i>
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	5,75	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	6,07	-
<i>Precarga</i>	486,54	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	36,49	[Lb-in]

Fuente. Autores

5.3.1.3 **Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM5:** Es la pieza encargada de unir el tubo que conduce al antebrazo. Las fuerzas K se transmiten hasta un punto donde irán pernos trabajando a cortante (F1 y F2).

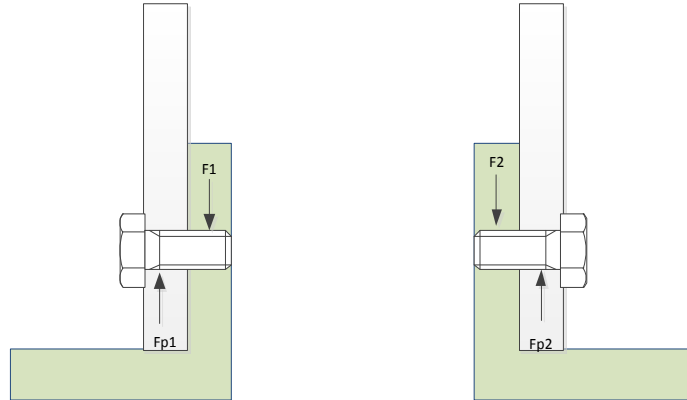
Figura 63. Reacciones Cuerpo- UM5



Fuente. Autores

Por análisis estáticos las fuerzas F1 y F2 tendrán un valor de 900 [N], como se diseñaron dos agujeros por cada línea, la fuerza que llegará a cada uno de ellos es de 450 [N].

**Figura 64.** Reacción pernos a cortante



**Fuente.** Autores

El espesor del cuerpo UM5 (verde) es de 7,5 mm y para el tubo se seleccionó un espesor de 5 [mm]. Para estas especificaciones se tuvo en cuenta el análisis del tubo principal respecto a deformación y esfuerzos.

$$\tau_{permisible} = \frac{F_{p1}}{A_p} \quad Ec. 16$$

$$\tau_{permisible} = \frac{\tau}{n_f}$$

$$n_f = \text{Factor de Seguridad} = 4$$

$$\tau = 250 \text{ [Mpa]} \text{ Para pernos de Grado 5}$$

$$A_p = \frac{F_{p1}}{\tau_{permisible}}$$

$$A_p = 7,2 \text{ [mm}^2\text{]}$$

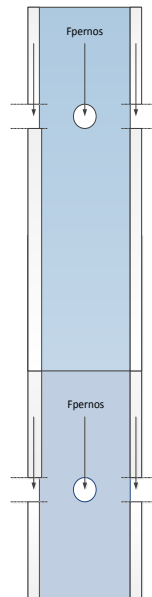
$$d_p = \left( \frac{(A_p * 4)}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$d_p = 3,934 \text{ [mm]} \approx 6 \text{ [mm]} \text{ ó } \frac{1}{4} \text{ [mm]}$$

Para este perno no se analiza como unión apernada ya que la fuerza que siente es totalmente cortante.

**5.3.1.4 Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM2:** El tubo principal se sostendrá por medio de 8 pernos unidos a las bases en los extremos de estos:

**Figura 65.** Diagrama de cuerpo libre Cuerpo UM2



**Fuente.** Autores

$$\delta = \frac{F * Longitud}{E * A} \quad Ec. 17$$

$\delta = \text{Deformación permisible}$

$$0,1 \text{ [mm]}$$

$$\text{Longitud} = 450 \text{ [mm]}$$

$$E = \text{Modulo de Young para el Aluminio} = 69000 \text{ [Mpa]}$$

$$F_{\text{pernos}} = 1800 \text{ [N]}$$

Al realizar los cálculos se determina un área permisible para deformación

$$A = 102,53 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A = \frac{\pi * (d_e^2 - d_i^2)}{4}$$

$d_e = \text{Por dimensiones del acople de muñeca se escoge de } 80 \text{ [mm]}$

$$d_i = 78,42 \text{ [mm]}$$

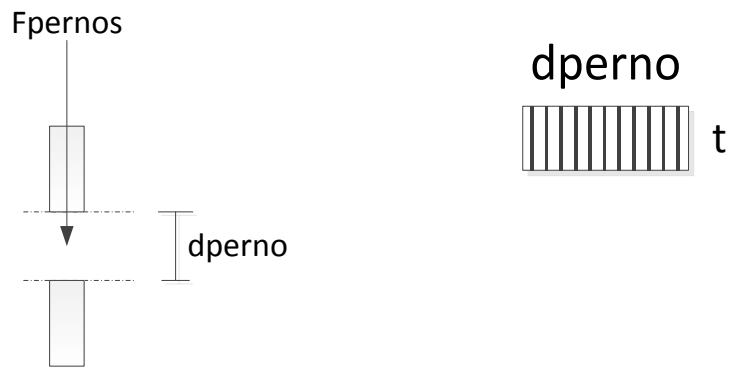
Al realizar un análisis por esfuerzos axiales y cortantes tenemos un área que ocupará el perno, determinamos por esfuerzos cortantes el espesor necesario del tubo principal

$$\tau_{\text{aluminio}} = \frac{\sigma_{\text{aluminio}}}{2} = 75 \text{ [Mpa]}$$

$$A_{\text{aluminio}} = \frac{1800 \text{ [N]}}{75 \text{ [Mpa]}}$$

$$A_{\text{Aluminio}} = 24 \text{ [mm}^2\text{]}$$

**Figura 66.** Áreas para los pernos que trabajan a cortante



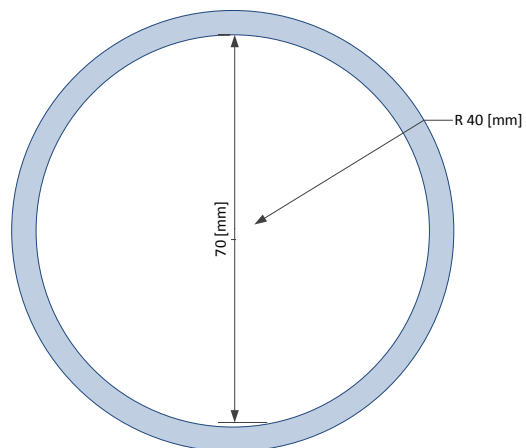
**Fuente.** Autores

$$A_{aluminio} = d_{perno} * t$$

$$t = 3,78 \text{ [mm]} \text{ *Espesor para el tubo de aluminio*}$$

Según catálogos de fabricante de tubos de aluminio extruido 6063 T6 obtenemos las siguientes dimensiones normalizadas

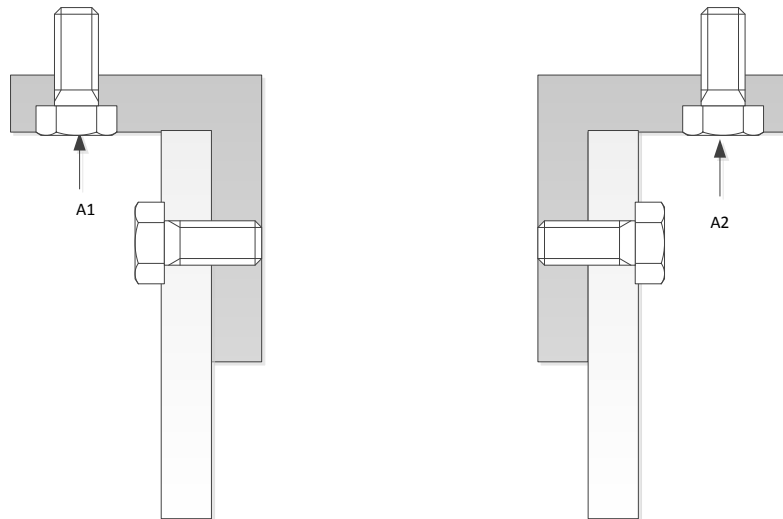
**Figura 67.** Sección transversal Cuerpo UM2



**Fuente.** Autores

**5.3.1.5 Método de cálculo para la pieza Cuerpo-UM1:** Las fuerzas a transmitirse serán de 450 [N] por perno.

**Figura 68.** Esquema de la unión entre Cuerpo-UM1 y Placa INF-ANT



**Fuente.** Autores

**Tabla 29.** Datos de entrada unión M3

<b>Unión M3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UM1</i>	<i>Placa INF-ANT</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+7</i>	<i>1,03E+7</i>	<i>[psi]</i>
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>0,54</i>	<i>0,39</i>	<i>[in]</i>

**Fuente.** Autores

**Tabla 30.** Características del perno para unión M3

<b>Unión M3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	1/4	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,049	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0318	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	102	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 31.** Resultados unión M3

<b>Unión M3</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	6,02	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	6,04	-
<b>Precarga</b>	459,51	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	34,46	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

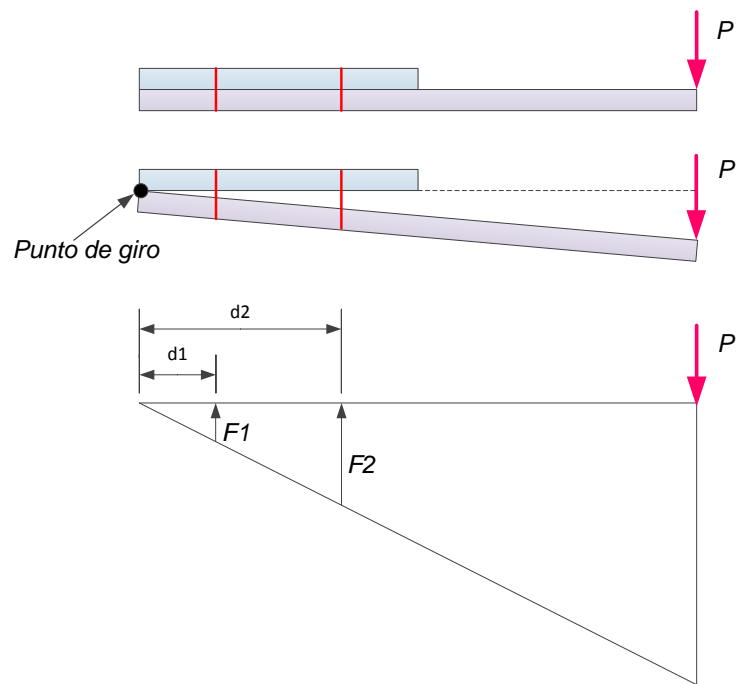
**5.3.2 Subsistema de unión de codo:** El diseño de este subsistema, se encuentra basado en la teoría de uniones apernadas. A continuación se describirán las piezas del subsistema que se encuentran unidas mediante pernos, para posteriormente establecer los datos de entrada y los respectivos resultados. Como se trata de un proceso iterativo, los resultados escogidos serán aquellos en los cuales el mínimo factor de seguridad sea mayor o igual a 4.

Esta unión deberá estar compuesta por varias partes, que a su vez se ensamblaran mediante pernos que aseguren el correcto funcionamiento del conjunto. Por tratarse

de un proceso iterativo, en el cual no se cuenta con un parámetro de diseño estable, se presentará la solución ya escogida para posteriormente ser comprobada.

**5.3.2.1 Método de cálculo para la fuerza sobre la unión:** Debido a las condiciones de carga del sistema el antebrazo tenderá a volcarse sobre el punto de giro (Figura 69). Al volcar sobre este punto, el perno que se verá afectado a mayores esfuerzos será el de la parte derecha (F2).

**Figura 69.** Condiciones de carga



**Fuente.** Autores

A continuación se presenta el cálculo para determinar las fuerzas aplicadas sobre la unión apernada:

1. Sumatoria de momentos en el punto de giro o volcamiento

$$(F_1 * d_1) + (F_2 * d_2) - (P * L) = 0$$

2. Relación de distancia en el triángulo de deformación

$$\frac{F_1}{d_1} = \frac{F_2}{d_2}$$

$$d_1 = 49,13 [mm]$$

$$d_2 = 230,9 [mm]$$

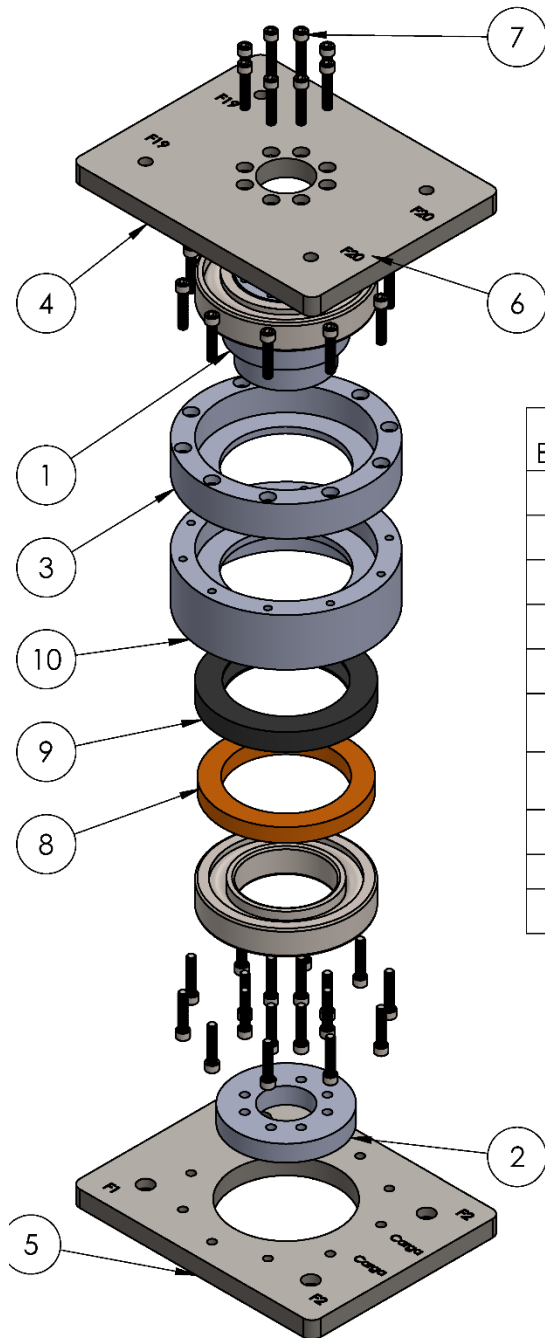
$$P = 900 [N]$$

$$L = 1140 [mm]$$

$$F_2 = 4252 [N] \approx 956 [lb]$$

Para las posteriores sub-uniones que conforman la unión de codo en su totalidad, se realizará un traslado de fuerzas y aplicando el mismo método de la relación de distancias en el triángulo de deformación, se encontraran las magnitudes de fuerza con las cuales se procederá a realizar los cálculos de las uniones apernadas.

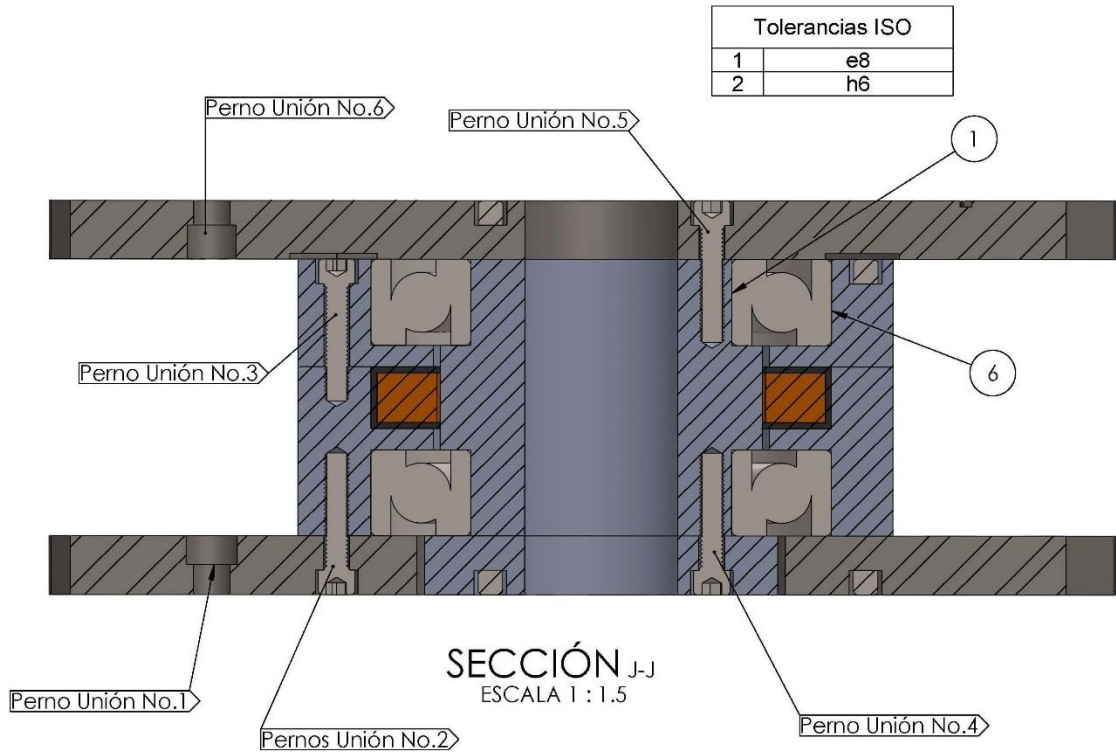
**Figura 70.** Vista explosionada de la unión de codo



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo - UC1	1
2	Cuerpo - UC2	1
3	Cuerpo - UC4	1
4	Cuerpo - UC5	1
5	Cuerpo - UC6	1
6	SKF - 7217 BE - 14,SI,NC,14_68	2
7	HX-SHCS 0.3125-18x1.5x1.5-S	36
8	Bobina_codo	1
9	Aislante	1
10	Cuerpo - UC3	1

**Fuente.** Autores

**Figura 71.** Tolerancias en la unión de codo e identificación de las sub-uniones



**Fuente.** Autores

### 5.3.2.2 Características generales de la unión No. 1

**Tabla 32.** Datos de entrada para la unión No.1

	<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Placa SUP-ANT</i>	<i>Cuerpo UC6</i>	-
<b>Material</b>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>1,03E+07</i>	<i>3,00E+7</i>	<i>[psi]</i>
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>10/16</i>	<i>5/16</i>	<i>[in]</i>

**Fuente.** Autores

**Tabla 33.** Características del perno de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	472	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 34.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.1

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,375	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,5375	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	3973007,83	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	6735446,29	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,3710	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	175,21	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	297,03	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	1801,60	[lb]

**Tabla 34.** (Continuación)

<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	<b>1329,35</b>	<b>[lb]</b>
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	16948,28	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	2585,74	[lb]

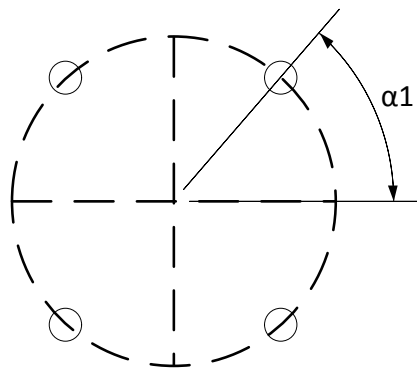
**Fuente.** Autores

**Tabla 35.** Distribución de pernos de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	4	-
$\alpha 1$	41	[grados]
$\alpha 2$	-	[grados]
$\alpha 3$	-	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 72.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 1



**Fuente.** Autores

**Tabla 36.** Resultados de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	5,42	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	5,47	-
<b>Precarga</b>	1626,4	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	213,5	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.2.3 Características generales de la unión No.2

**Tabla 37.** Datos de entrada para la unión No.2

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UC6	Cuerpo UC3	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	7/16	1 1/16	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 38.** Características del perno de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	5/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,0766	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0524	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	251	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 39.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.2

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	0,875	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,625	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	-	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	3972268,78	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	7508467,45	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,345	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	87,10	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	164,64	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	933,36	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	681,61	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	17812,911	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	1293,96	[lb]

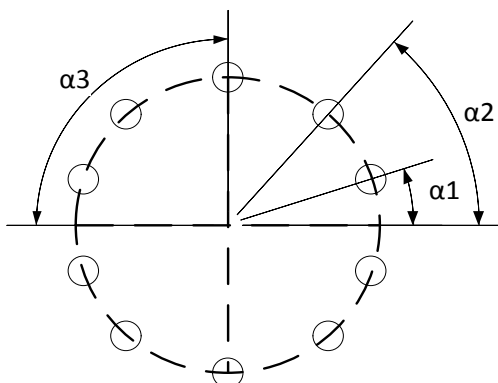
**Fuente.** Autores

**Tabla 40.** Distribución de pernos de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	10	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	20	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	55	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	90	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 73.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 2



**Fuente.** Autores

**Tabla 41.** Resultados de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	5,17	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	5,13	-
<b>Precarga</b>	846,3	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	79,4	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.2.4 Características generales de la unión No.3

**Tabla 42.** Datos de entrada para la unión No.3

<b>Unión No.3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UC3	Cuerpo UC4	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	1 1/16	7/16	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 43.** Características del perno de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	5/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,0766	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0524	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	251	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 44.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.3

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	0,875	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,625	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,59375	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	1540053,72	[lb/in]

**Tabla 44.** (Continuación)

<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	<b>7508467,45</b>	<b>[lb/in]</b>
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		<b>[lb/in]</b>
	$d_w = 1,5 * d_p$		<b>[in]</b>
	$\alpha = 30$		<b>[grados]</b>
	$I = 2 * e$		<b>[in]</b>
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	<b>0,17</b>	<b>[-]</b>
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	<b>42,84</b>	<b>[lb]</b>
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	<b>208,90</b>	<b>[lb]</b>
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	<b>1022,72</b>	<b>[lb]</b>
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	<b>770,97</b>	<b>[lb]</b>
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	<b>19517,70</b>	<b>[psi]</b>
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	<b>1180,86</b>	<b>[lb]</b>

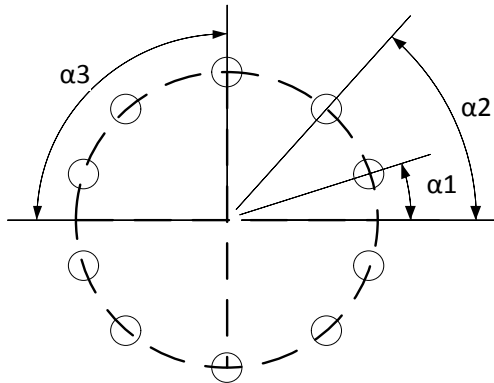
**Fuente.** Autores

**Tabla 45.** Distribución de pernos de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	10	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	20	<b>[grados]</b>
<b><math>\alpha 2</math></b>	55	<b>[grados]</b>
<b><math>\alpha 3</math></b>	90	<b>[grados]</b>

**Fuente.** Autores

**Figura 74.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 3



**Fuente.** Autores

**Tabla 46.** Resultados de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,71	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,69	-
<b>Precarga</b>	979,9	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	91,9	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.2.5 Características generales de la unión No.4

**Tabla 47.** Datos de entrada para la unión No.4

<b>Unión No.4</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UC2	Cuerpo UC1	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	7/16	1 1/16	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 48.** Características del perno de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	5/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,0766	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0524	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	358	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 49.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.4

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	0,875	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,625	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	-	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	3972268,78	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	7508467,45	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,345	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	124,03	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	234,46	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	1148,45	[lb]

**Tabla 49.** (Continuación)

<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	<b>789,95</b>	<b>[lb]</b>
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	21917,15	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	1566,37	[lb]

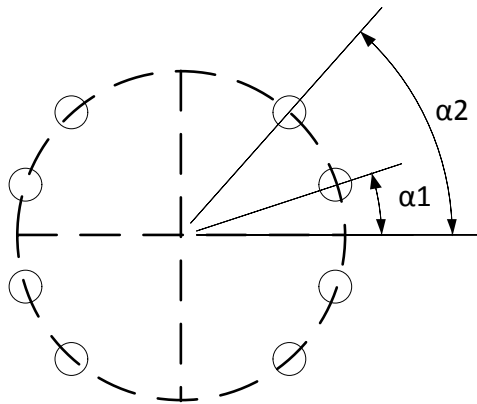
**Fuente.** Autores

**Tabla 50.** Distribución de pernos de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	8	-
$\alpha 1$	25	[grados]
$\alpha 2$	65	[grados]
$\alpha 3$	-	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 75.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 4



**Fuente.** Autores

**Tabla 51.** Resultados de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,2	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,36	-
<b>Precarga</b>	1024,5	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	96,1	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.2.6 Características generales de la unión No.5

**Tabla 52.** Datos de entrada para la unión No.5

<b>Unión No.5</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UC1</i>	<i>Cuerpo UC5</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	1 1/16	7/16	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 53.** Características del perno de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	5/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,0766	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,0524	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	358	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 54.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.5

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	0,875	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,625	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	-	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	3972268,78	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	7508467,45	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2 \text{Ln} \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,345	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	124,03	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	234,46	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	1148,45	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	789,95	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	21917,15	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	1566,37	[lb]

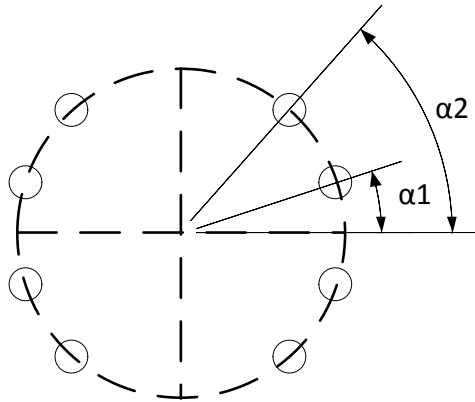
**Fuente.** Autores

**Tabla 55.** Distribución de pernos de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	8	-
$\alpha 1$	25	[grados]
$\alpha 2$	65	[grados]
$\alpha 3$	-	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 76.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 5



**Fuente.** Autores

**Tabla 56.** Resultados de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,2	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,36	-
<b>Precarga</b>	1024,5	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	96,1	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.2.7 Características generales de la unión No.6

**Tabla 57.** Datos de entrada para la unión No.6

<b>Unión No.6</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UC5</i>	<i>Placa INF-BR</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+7</i>	<i>1,03E+7</i>	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>5/16</i>	<i>10/16</i>	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 58.** Características del perno de la unión No.6

<b>Unión No.6</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	5	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	541	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 59.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.6

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,375	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,5375	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	3973007,83	[lb/in]

**Tabla 59. (Continuación)**

<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	6735446,29	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2 \text{Ln} \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,37	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	200,90	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	340,59	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	1917,65	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	1376,15	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	18039,98	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	2729,39	[lb]

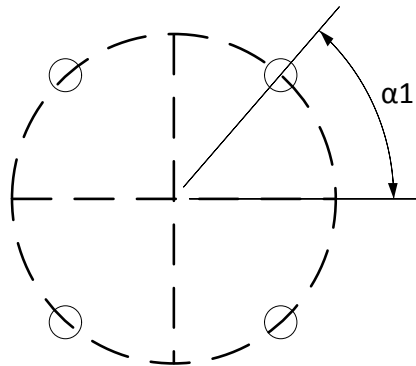
Fuente. Autores

**Tabla 60.** Distribución de pernos de la unión No.6

<b>Unión No.6</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	4	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	41	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	-	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	-	[grados]

Fuente. Autores

**Figura 77.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 6



**Fuente.** Autores

**Tabla 61.** Resultados de la unión No.6

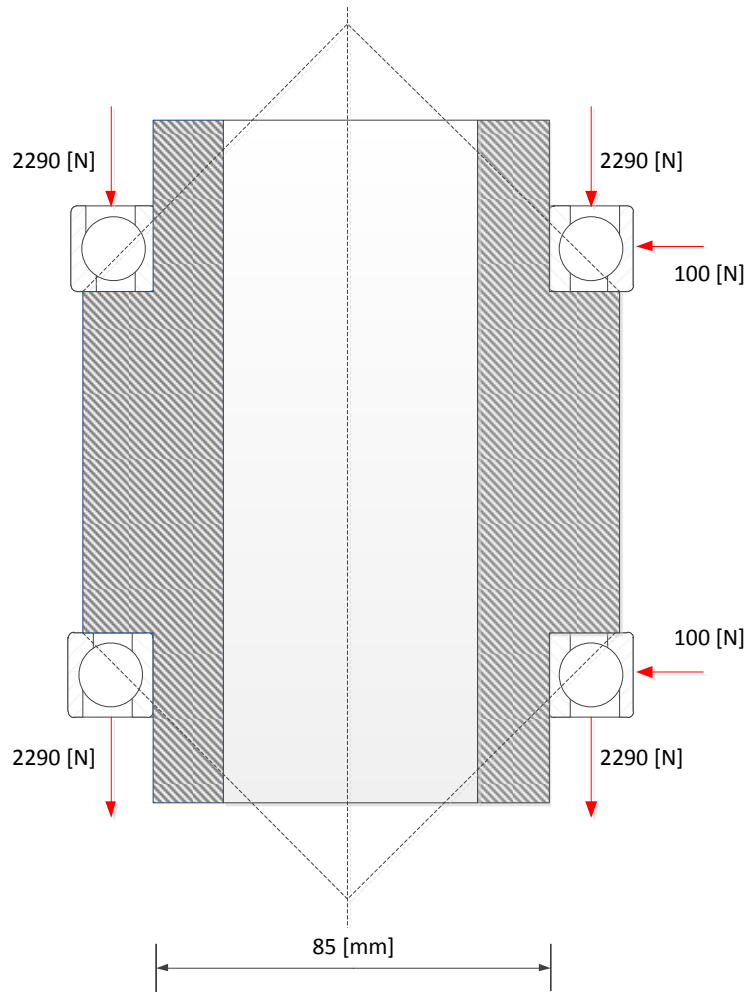
<i>Unión No.6</i>		<i>Unidades</i>
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	5,09	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	5,04	-
<i>Precarga</i>	1716,8	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	225,4	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

**5.3.2.8 Selección del rodamiento:** Para la selección de los rodamientos que conforman la unión de codo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros relevantes:

- 1.) Deberán soportar en su mayoría carga axial
- 2.) Su diámetro interno, según especificaciones dimensionales de los demás componentes son las siguientes:

**Figura 78.** Diagrama posición de rodamiento en Acople de codo



**Fuente.** Autores

Para el soporte de cargas axiales y pares de vuelco usamos una disposición espaldas con espaldas.

### **Cálculo de capacidad de carga de rodamientos apareados**

- Capacidad de carga estática

$$C_o = 2 X C_o \text{ rodamiento individual} \quad \text{Ec. 18}$$

- Capacidad carga dinámica

$$C = 1,62 X C_o \text{ rodamiento individual} \quad \text{Ec. 19}$$

- Carga dinámica equivalentes

$$P = 0,35 * F_r + 0,57 * F_a \quad \frac{F_a}{F_r} > 1,14 \quad Ec. 20$$

- Carga estática equivalente

$$P_o = F_r + 0,52 * F_a \quad Ec. 21$$

$$P = 2.657 [kN]$$

$$P_o = 2.492 [kN]$$

Por dimensiones se escoge el rodamiento a bolas de contacto angular SKF 7217 BECBP y cumple con las siguientes características.

**Tabla 62.** Resultado vida útil Rodamiento de codo

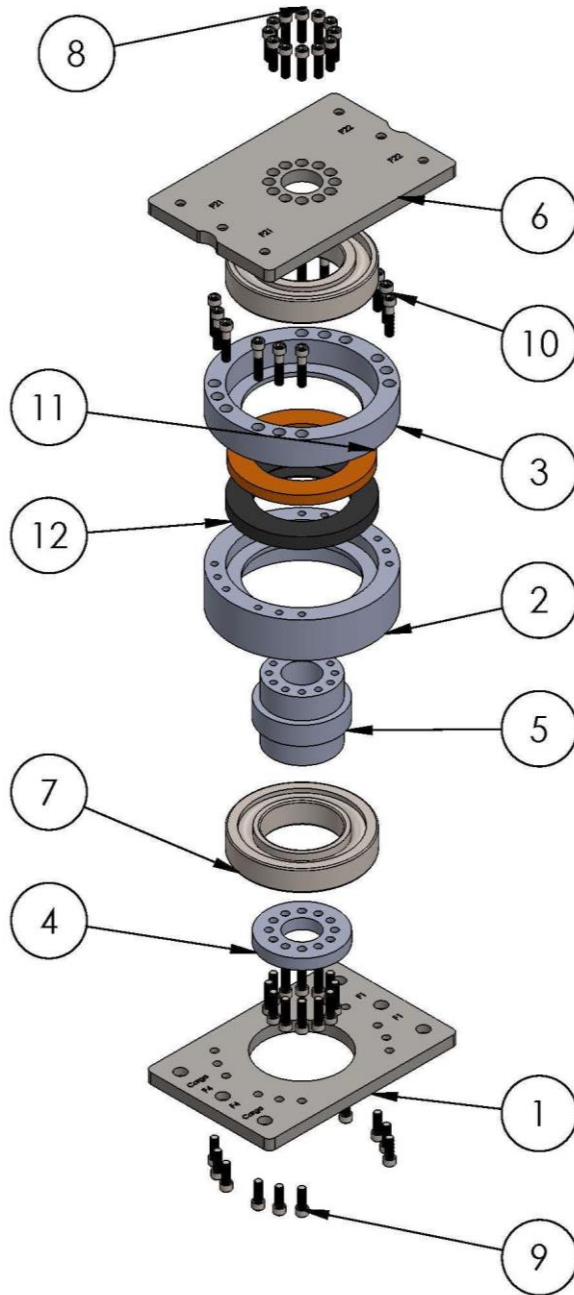
<i>Descripción</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Duración de vida total en horas</i>	<i>Lh10</i>	>1000000	<i>Horas</i>
<i>Duración de vida modificada en horas</i>	<i>Lh<sub>nm</sub></i>	>1000000	<i>Horas</i>
<i>Coefficiente de seguridad estática</i>	<i>S<sub>o min</sub></i>	69.021	
<i>Coefficiente de seguridad dinámica</i>	<i>SD</i>	36.507	

**Fuente.** Autores

### 5.3.3 Subsistema de unión de hombro

**5.3.3.1 Método de cálculo para la fuerza sobre la unión:** Refiérase al método utilizado para la unión de codo.

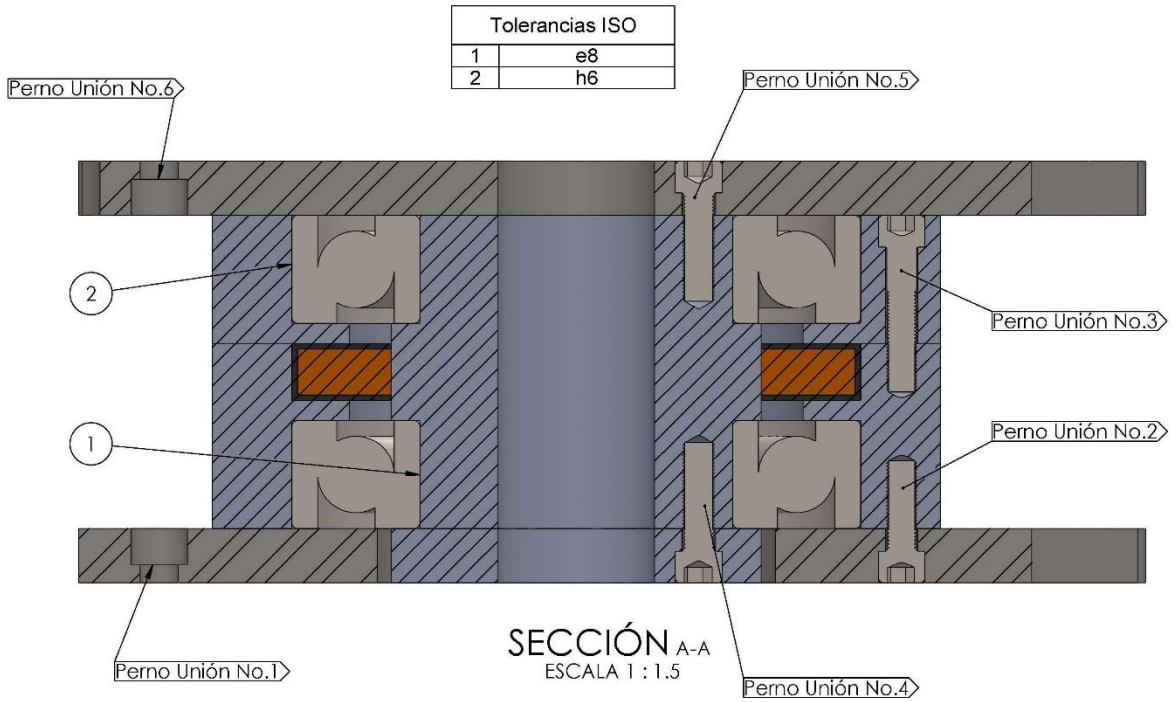
**Figura 79.** Vista explosionada de la unión de hombro



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo - UH1	1
2	Cuerpo - UH2	1
3	Cuerpo - UH3	1
4	Cuerpo - UH4	1
5	Cuerpo - UH5	1
6	Cuerpo - UH6	1
7	SKF - 7222 BE - 14,SI,NC,14_68	2
8	HX-SHCS 0.4375-20x1.5x1.5-S	24
9	HX-SHCS 0.4375-20x1.25x1.25-S	12
10	HX-SHCS 0.4375-20x2x1.375-S	12
11	Bobina_hombro	1
12	Aislante_bobina_hombro	1

**Fuente.** Autores

**Figura 80.** Tolerancias en la unión de hombro e identificación de las sub-uniones



Fuente. Autores

### 5.3.3.2 Características generales de la unión No.1

**Tabla 63.** Datos de entrada para la unión No.1

	<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Placa SUP-BRA	Cuerpo UH1	-
<b>Material</b>	Aluminio	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	1,03E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	6/10	1/4	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 64.** Características del perno de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	1/2	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1963	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_t$	0,1419	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	1430	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 65.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.1

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,25	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,25	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,6	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	5452989,51	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	8176663,25	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,40	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	572,38	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	858,28	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	4318,54	[lb]

**Tabla 65.** (Continuación)

<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	<b>2887,87</b>	<b>[lb]</b>
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	30433,72	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	6244,46	[lb]

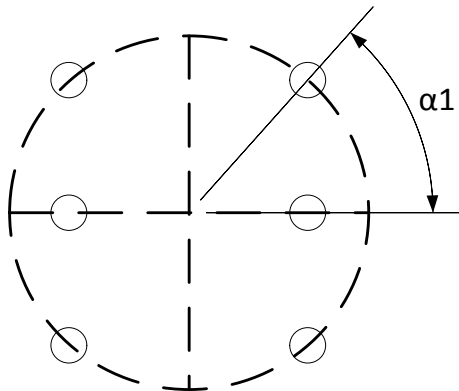
**Fuente.** Autores

**Tabla 66.** Distribución de pernos de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	6	-
$\alpha 1$	30	[grados]
$\alpha 2$	-	[grados]
$\alpha 3$	-	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 81.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 1



**Fuente.** Autores

**Tabla 67.** Resultados de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,27	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,37	-
<b>Precarga</b>	3746,2	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	562	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.3.3 Características generales de la unión No.2

**Tabla 68.** Datos de entrada para la unión No.2

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UH1	Cuerpo UH2	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	5/16	15/16	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 69.** Características del perno de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ¼	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_r$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	903	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 70.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.2

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,125	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,40625	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	6447128,58	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	12507124	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2 \ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,34	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	307,31	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	596,182	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	2986,07	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	2082,57	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	28091,04	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	4059,59	[lb]

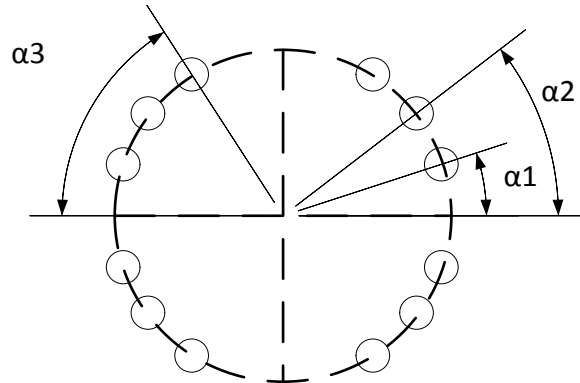
**Fuente.** Autores

**Tabla 71.** Distribución de pernos de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	12	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	15	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	30	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	45	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 82.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 2



**Fuente.** Autores

**Tabla 72.** Resultados de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,63	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,50	-
<b>Precarga</b>	2678,7	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	351,6	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.3.4 Características generales de la unión No.3

**Tabla 73.** Datos de entrada para la unión No.3

<b>Unión No.3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UH2	Cuerpo UH3	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	67/100	1 33/100	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 74.** Características del perno de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	2	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_r$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	903	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 75.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.3

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,875	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,67375	[in]

**Tabla 75.** (Continuación)

<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	2467365,51	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	10660828,7	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,187	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	169,807	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	733,69	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	3231,24	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	2327,74	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	30397,43	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	3769,98	[lb]

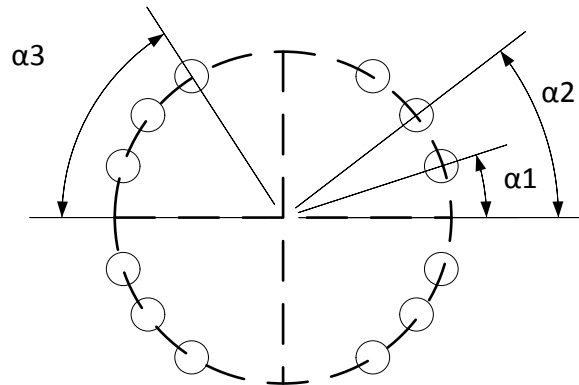
**Fuente.** Autores

**Tabla 76.** Distribución de pernos de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	12	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	15	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	30	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	45	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 83.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 3



**Fuente.** Autores

**Tabla 77.** Resultados de la unión No.3

<b>Unión No.3</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,27	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,17	-
<b>Precarga</b>	3061,4	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	401,8	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.3.5 Características generales de la unión No.4

**Tabla 78.** Datos de entrada para la unión No.4

<b>Unión No.4</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UH4	Cuerpo UH5	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+7	3,00E+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	5/16	1 3/16	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 79.** Características del perno de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_r$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	1186	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 80.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.4

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,375	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,15625	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	7567336,72	[lb/in]

**Tabla 80.** (Continuación)

<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	<b>11692809,9</b>	<b>[lb/in]</b>
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2 \ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,392	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	474,42	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	733,07	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	3408,30	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	2200,80	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	32063,10	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	4832,62	[lb]

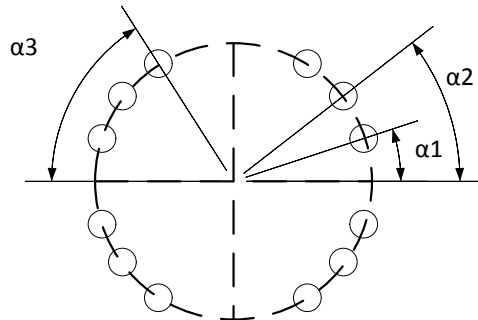
Fuente. Autores

**Tabla 81.** Distribución de pernos de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	12	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	15	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	45	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	75	[grados]

Fuente. Autores

**Figura 84.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 4



**Fuente.** Autores

**Tabla 82.** Resultados de la unión No.4

<b>Unión No.4</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,06	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,0	-
<b>Precarga</b>	2933,9	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	385,1	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

### 5.3.3.6 Características generales de la unión No.5

**Tabla 83.** Datos de entrada para la unión No.5

<b>Unión No.5</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UH5	Cuerpo UH6	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00e+7	3,00e+7	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	1 3/16	5/16	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 84.** Características del perno de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	7/16	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1503	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_r$	0,1063	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	1186	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 85.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.5

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,125	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,375	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,15625	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	7567336,72	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	11692809,9	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,392	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	474,42	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	733,07	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	3408,30	[lb]

**Tabla 85.** (Continuación)

<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	<b>2200,80</b>	<b>[lb]</b>
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	32063,10	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	4832,62	[lb]

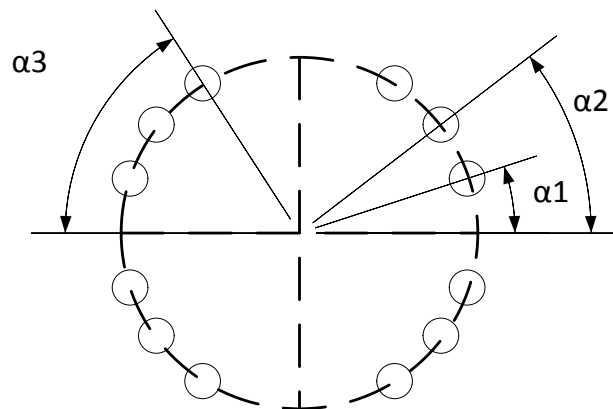
**Fuente.** Autores

**Tabla 86.** Distribución de pernos de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	12	-
<b><math>\alpha 1</math></b>	15	[grados]
<b><math>\alpha 2</math></b>	45	[grados]
<b><math>\alpha 3</math></b>	75	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 85.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 5



**Fuente.** Autores

**Tabla 87.** Resultados de la unión No.5

<b>Unión No.5</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,06	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,0	-
<b>Precarga</b>	2933,9	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	385,1	[Lb-in]

Fuente. Autores

### 5.3.3.7 Características generales de la unión No.6

**Tabla 88.** Datos de entrada para la unión No.6

<b>Unión No.6</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UH6</i>	<i>Placa INF-CLAV</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+7</i>	<i>3,00E+7</i>	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>1/4</i>	<i>6/10</i>	[in]

Fuente. Autores

**Tabla 89.** Características del perno de la unión No.6

<b>Unión No.6</b>			<b>Unidades</b>
<b>Grado de perno</b>	-	8	-
<b>Diámetro de perno</b>	$d_p$	1/2	[in]
<b>Longitud del perno</b>	$L$	1 ½	[in]
<b>Área transversal total</b>	$A_b$	0,1963	[in <sup>2</sup> ]
<b>Área de esfuerzo a tensión del perno</b>	$A_r$	0,1419	[in <sup>2</sup> ]
<b>Carga sobre la unión</b>	$P$	1628	[lb]

Fuente. Autores

**Tabla 90.** Ecuaciones para el cálculo de la unión No.6

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
<b>Longitud de rosca</b>	$l_{rosca} = (2 * d_p) + 0,25$	1,25	[in]
<b>Longitud de vástago</b>	$l_s = l - l_{rosca}$	0,26	[in]
<b>Longitud de rosca dentro de la zona de sujeción</b>	$l_t = l - l_s$	0,6	[in]
<b>Rigidez del perno</b>	$k_b = \frac{A_b * A_t * E_p}{(A_b * l_t) + (A_t * l_s)}$	5452989,51	[lb/in]
<b>Rigidez del material</b>	$\frac{1}{k_m} = \frac{1}{K_{m1}} + \frac{1}{K_{m2}} + \dots + \frac{1}{K_{mn}}$	8176663,25	[lb/in]
	$K_{m,1,2..n} = \frac{\pi * E * d_p * \tan(\alpha)}{2Ln \left( \frac{(I * \tan(\alpha) + d_w - d_p)(d_w + d_p)}{(I * \tan(\alpha) + d_w + d_p)(d_w - d_p)} \right)}$		[lb/in]
	$d_w = 1,5 * d_p$		[in]
	$\alpha = 30$		[grados]
	$I = 2 * e$		[in]
<b>Factor de rigidez de la unión</b>	$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$	0,4	[-]
<b>Porción de carga aplicada en el perno</b>	$P_b = CP$	651,33	[lb]
<b>Porción de carga aplicada en el material</b>	$P_m = (1 - C)P$	976,66	[lb]
<b>Carga resultante en el perno</b>	$F_b = F_i + P_b$	4567,77	[lb]
<b>Carga resultante en el material</b>	$F_m = F_i - P_m$	2939,77	[lb]
<b>Esfuerzo máximo a tensión en el perno</b>	$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$	32190,09	[psi]
<b>Carga requerida para separar la unión</b>	$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$	6528,30	[lb]

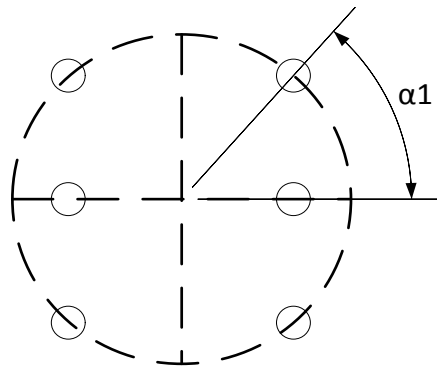
**Fuente.** Autores

**Tabla 91.** Distribución de pernos de la unión No.6

<b>Unión No.6</b>		<b>Unidades</b>
<b>Cantidad de pernos</b>	6	-
$\alpha 1$	30	[grados]
$\alpha 2$	-	[grados]
$\alpha 3$	-	[grados]

**Fuente.** Autores

**Figura 86.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 6



**Fuente.** Autores

**Tabla 92.** Resultados de la unión No.6

<b>Unión No.6</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,05	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,01	-
<b>Precarga</b>	3916,5	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	587,5	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

**5.3.3.8 Selección del rodamiento:** Siguiendo la metodología de cálculo para el acople de codo, se aplica esta misma para el análisis del rodamiento de hombro. Las dimensiones específicas a tener en cuenta para la selección del rodamiento cambian de acuerdo a nuevas dimensiones que tornan para esta unión.

### **Cálculo de capacidad de carga de rodamientos apareados**

- Carga dinámica equivalentes

$$P = 0,35 * F_r + 0,57 * F_a \quad \frac{F_a}{F_r} > 1,14$$

- Carga estática equivalente

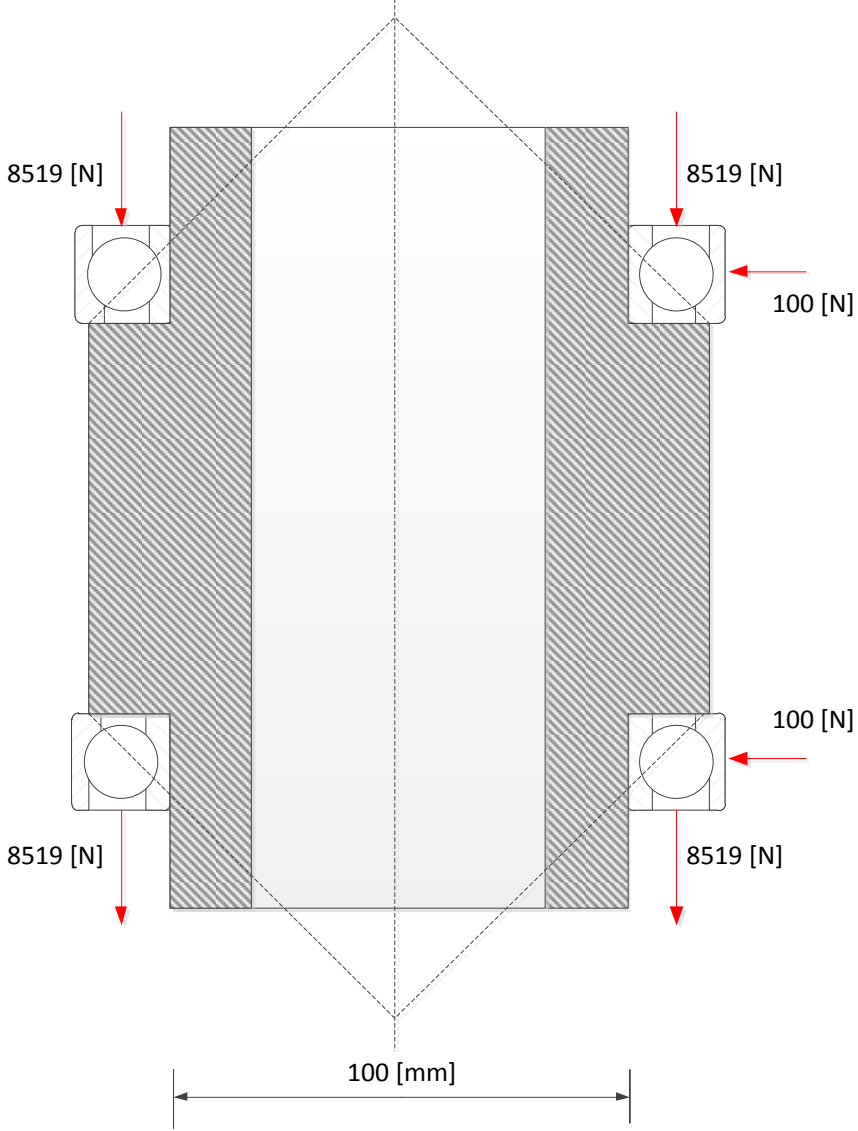
$$P_o = F_r + 0,52 * F_a$$

$$P = 9.747 [kN]$$

$$P_o = 8.96 [kN]$$

**Por dimensiones se escoge el rodamiento a bolas de contacto angular SKF 7220 BECBP y cumple con las siguientes características (Tabla 90).**

**Figura 87.** Diagrama posición de rodamiento en Acople de hombro



**Fuente.** Autores

**Tabla 93.** Resultado vida útil Rodamiento de hombro

<b>Descripción</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Duración de vida total en horas</b>	$L_{h10}$	>1000000	Horas
<b>Duración de vida modificada en horas</b>	$L_{h_{nm}}$	>1000000	Horas
<b>Coefficiente de seguridad estática</b>	$S_{0_{min}}$	27.110	
<b>Coefficiente de seguridad dinámica</b>	$SD$	14.267	

**Fuente.** Autores

**NOTA:** Para las configuraciones 1, 2 y 3 (Figuras 32, 33 y 34) es indispensable el uso de otro acople de hombro, el cual tendrá los mismos componentes ya nombrados, excepto la pieza Cuerpo-UH5, la cual se cambiará por la pieza Cuerpo-UHA6 y adicionalmente se incorporará una Cuerpo-UHA7, descrita en los planos.

## 5.4 SISTEMA DE EMPOTRAMIENTO

**5.4.1 Clavícula para “Muebles con dos uniones de codo”:** Es el conjunto de piezas que ensambladas tienen la función de soportar el peso de la estructura de la columna móvil hospitalaria y a su vez soportar los equipos que allí se albergarán. Para comenzar con el diseño de este sistema, se deben de tener en cuenta cada una de las posiciones que pueden tomar los brazos y/o antebrazos de la columna móvil y posteriormente realizar el diseño con la posición más crítica, es decir aquella en la cual el sistema de empotramiento se vea mayormente cargado.

Al igual que en las uniones de codo y de hombro, los resultados de este sistema se determinaran a partir de un factor de seguridad mínimo de 4.

Según el cálculo de traslado de fuerzas desde el acople de codo, las posiciones que generan mayor carga son aquellas en las cuales el brazo y antebrazo se encuentran perpendiculares (Figura 88 y 89); por lo tanto a partir de esas magnitudes se

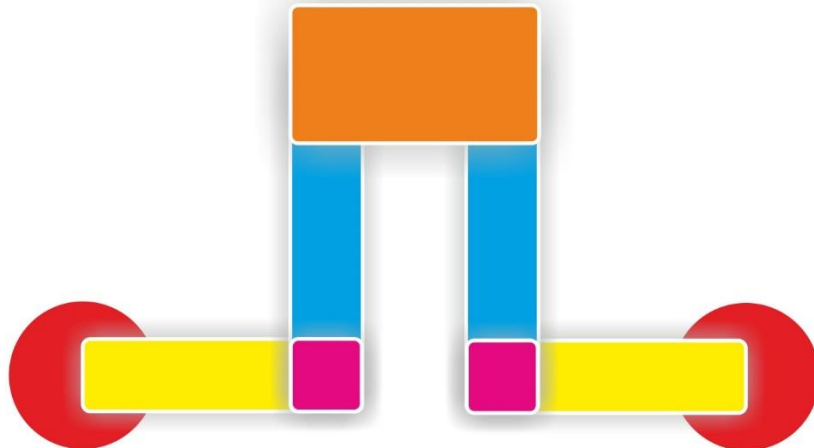
comenzaran a realizar los respectivos cálculos para los componentes del sistema de empotramiento.

**Figura 88.** Vista superior de la posición No.1 para análisis



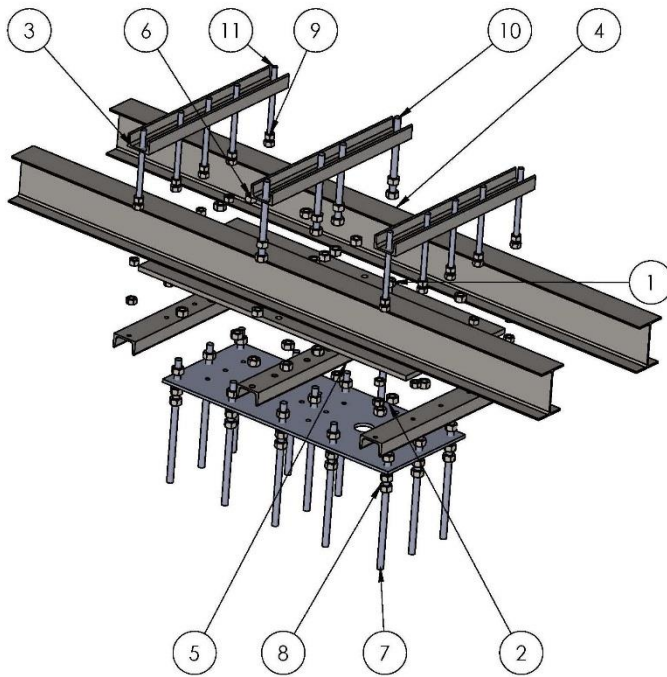
**Fuente.** Autores

**Figura 89.** Vista superior de la posición No.2 para análisis



**Fuente.** Autores

**Figura 90.** Sistema de empotramiento



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo-ECA1	1
2	Cuerpo ECA2	1
3	perfil C UPE 80	4
4	W6x9x180	1
5	Perfil C UPE 80 1	2
7	Varilla Roscada tipo 1	13
8	HHNUT 0.7500-16-D-N	94
9	HHNUT 0.6250-18-D-N	40
10	Varilla Roscada tipo 2	4
11	Varilla Roscada Tipo 3	10

**Fuente.** Autores

#### 5.4.1.1 Placa Inferior

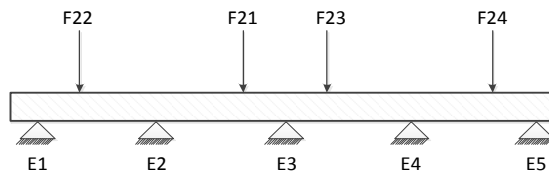
Para el diseño de la placa inferior de soporte, se hace uso de las fuerzas resultantes que llegan a la placa a partir de los cálculos en el acople de hombro. El procedimiento a seguir se expresa en la siguiente lista numerada:

##### 1. Análisis estático “Posición No.1” (Figura 88)

“Esta etapa se desarrolla a partir de las dos posiciones críticas de la columna móvil (Figura 79 y 80), teniendo en cuenta si es vista frontal (Figura 82) o vista lateral (Figura 83); todo esto con el objetivo de determinar la mayor reacción generada por los apoyos, a partir de la cual se desarrollaran los cálculos desde ítem No.3”

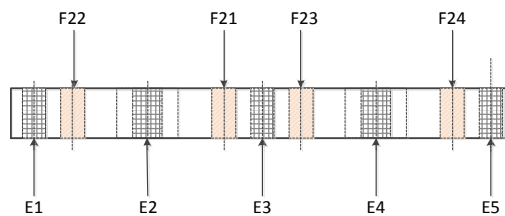
Se analiza la placa totalmente deformable y los pernos que la sostienen rígidos (apoyos simples), para dos condiciones de carga; la primera cuando se encuentre totalmente cargada por las dos extremidades y la segunda cuando solo una de las extremidades este cargada.

**Figura 91.** Vista frontal placa inferior cargada totalmente



**Fuente.** Autores

**Figura 92.** Diagrama de cuerpo libre para la Figura 91



**Fuente.** Autores

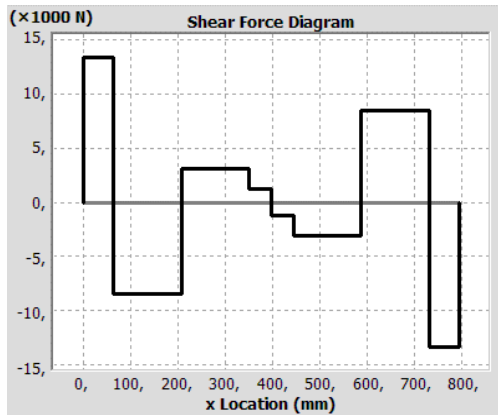
De los cálculos para el acople en esta posición, se tienen las siguientes fuerzas resultantes las cuales llegan a la placa inferior del empotramiento:

$$F_{22} = F_{24} = 21723$$

$$F_{21} = F_{23} = 1914$$

Las distancias para la ubicación de las barras roscadas que soportarán la placa inferior del empotramiento se basaron en el cumplimiento de normas de diseño respecto a distancias estándares de agujeros cerca de un extremo.

**Figura 93.** Diagrama cortante Figura 91



**Fuerzas Resultantes**

$$E_1 = 13310 [N]$$

$$E_2 = 11518 [N]$$

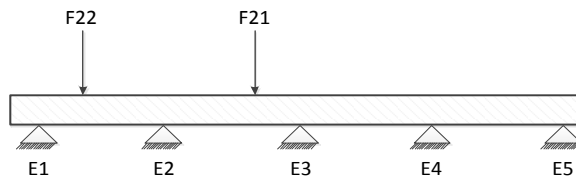
$$E_3 = -2380 [N]$$

$$E_4 = 11518 [N]$$

$$E_5 = 13310 [N]$$

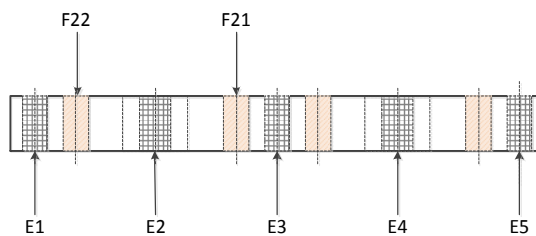
Fuente. Autores

**Figura 94.** Vista frontal placa inferior cargada solo por una extremidad



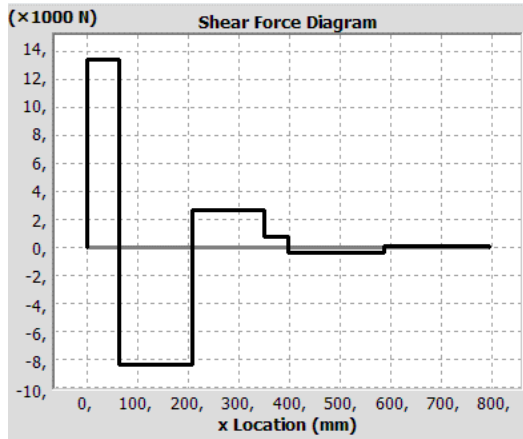
Fuente. Autores

**Figura 95.** Diagrama de cuerpo libre para la Figura 94



Fuente. Autores

**Figura 96.** Diagrama cortante Figura 94



**Fuente.** Autores

### Fuerzas Resultantes

$$E_1 = 13384 [N]$$

$$E_2 = 11027 [N]$$

$$E_3 = -1190 [N]$$

$$E_4 = 492 [N]$$

$$E_5 = -75 [N]$$

Para el análisis de la segunda vista (Figura 97), las fuerzas de reacción por parte de los acoples para las dos extremidades totalmente cargadas en la posición No.1 (Figura 88) toman el mismo valor, ya que para determinar las fuerzas descritas anteriormente (Figura 97) se dividirán en 3 y cada una de ellas se sumará.

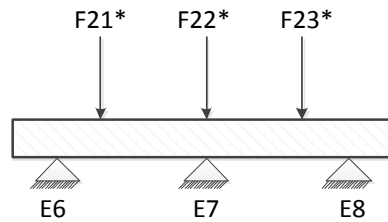
$$F_{21**} = F_{23**} = \frac{F_{21}}{3} = \frac{1941}{3}$$

$$F_{22**} = F_{24**} = \frac{F_{22}}{3} = \frac{21723}{3}$$

$$F_{21*} = F_{22*} = F_{23*} = (2 * F_{21**}) + (2 * F_{22**})$$

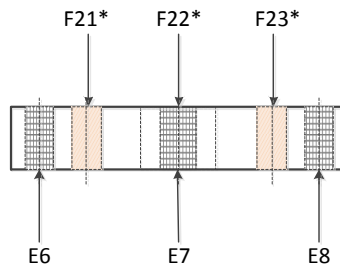
$$F_{21*} = F_{22*} = F_{23*} = 15758 [N]$$

**Figura 97.** Vista lateral placa inferior



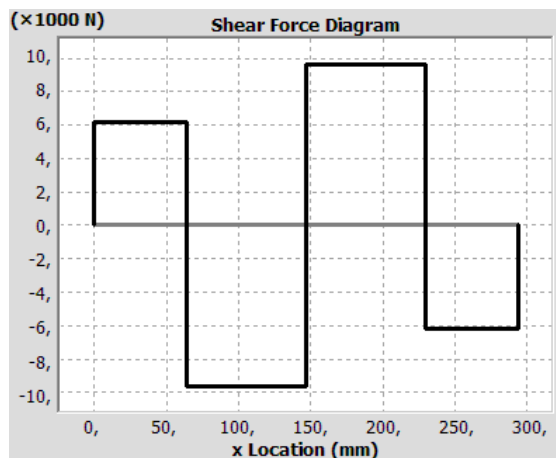
**Fuente.** Autores

**Figura 98.** Diagrama de cuerpo libre (Vista lateral)



**Fuente.** Autores

**Figura 99.** Diagrama cortante Figura 97



**Fuente.** Autores

**Fuerzas resultantes**

$$E_6 = 6146 [N]$$

$$E_7 = 34984[N]$$

$$E_8 = 6146 [N]$$

## 2. Análisis estático “Posición No.2” (Figura 89)

Partiendo del diagrama de fuerzas (Figura 91) para la posición dos de las extremidades del mueble biomédico flotante, se tiene que las fuerzas aplicadas tienen el mismo valor.

Para esta posición del acople de hombro se trasladan 3 fuerzas ( $F_{21_2}$ ,  $F_{22_2}$ ,  $F_{23_2}$ ) con los siguientes valores:

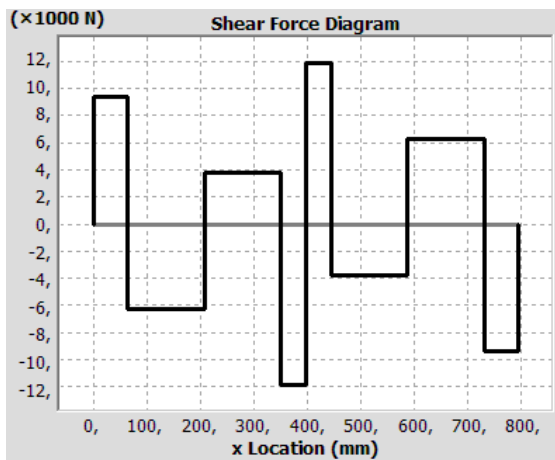
$$F_{21_2} = 17926 [N]$$

$$F_{22_2} = 10409 [N]$$

$$F_{23_2} = 2892 [N]$$

$$F_{22} = F_{24} = F_{21} = F_{23} = \frac{F_{21_2}}{2} + \frac{F_{22_2}}{2} + \frac{F_{23_2}}{2} = 15614 [N]$$

**Figura 100.** Diagrama cortante placa cargada totalmente



### Fuerzas resultantes

$$E_1 = 9328 [N]$$

$$E_2 = 10067 [N]$$

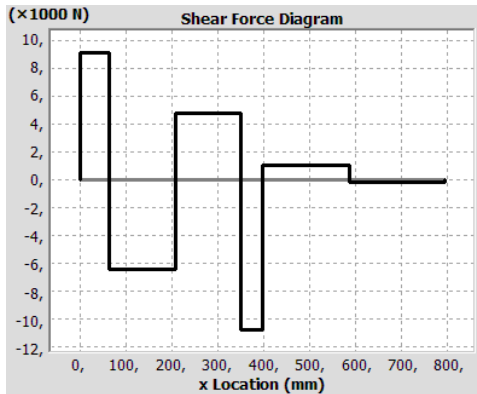
$$E_3 = 23668 [N]$$

$$E_4 = 10067 [N]$$

$$E_5 = 9328 [N]$$

**Fuente.** Autores

**Figura 101.** Diagrama cortante placa cargada por una sola extremidad



**Fuente.** Autores

Al observar la placa por la cara lateral (Figura 97), las fuerzas de reacción por parte de los acoples para las dos extremidades totalmente cargadas perpendiculares a la placa, toman diferente valor:

$$F_{21}^* = 35852 [N]$$

$$F_{22}^* = 20818 [N]$$

$$F_{23}^* = 5784 [N]$$

### Fuerzas resultantes

$$E_1 = 9142 [N]$$

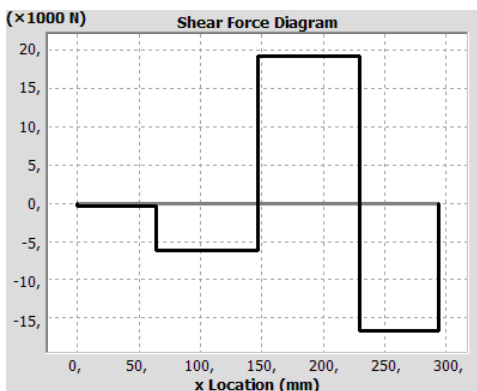
$$E_2 = 11298 [N]$$

$$E_3 = 11834 [N]$$

$$E_4 = -1232 [N]$$

$$E_5 = 186 [N]$$

**Figura 102.** Diagrama cortante vista lateral



**Fuente.** Autores

### Fuerzas resultantes

$$E_6 = -393 [N]$$

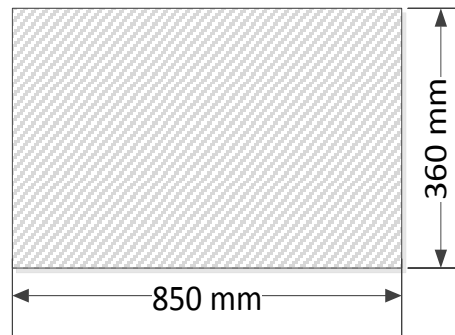
$$E_7 = 46218 [N]$$

$$E_8 = 16629 [N]$$

### 3. Dimensionamiento de la placa inferior

Cumpliendo con la geometría ya establecida en el acople de codo, se presentan las siguientes dimensiones para la placa inferior.

**Figura 103.** Dimensiones placa inferior



**Fuente.** Autores

### 4. Diámetro para las varillas roscadas

Con las fuerzas calculadas en el paso No.1 se dispone a determinar las características de la varilla. Se toma el valor máximo de fuerza a soportar de la reacción E7, producida en la posición dos (Figura 102) de las extremidades, la cual se dividirá en tres pernos en los cuales actúa.

$$F_{perno} = \frac{E_7}{3}$$

$$F_{perno} \approx 15406 \text{ [N]}$$

$$F_{perno_{LB}} \approx 3464 \text{ [Lbf]}$$

El valor crítico será de 15406 [N] para cada uno de los pernos. La longitud de ellos se establece según la longitud entre las vigas de soporte y el techo falso de la sala de cirugía o unidad de cuidado intensivo, la cual será de  $L= 400$  [mm].

Para garantizar que las extremidades del mueble flotante no se vean en ningún momento de su vida útil flectadas, las barras roscadas permitirán una deformación máxima de 0,1 [mm].

$$\delta = \frac{F_{perno} * L}{A_{transversal} * E}$$

$$\sigma = \frac{F_{perno}}{A_{transversal}}$$

## **Resultados**

$$A_{transversal} = 297,8 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$d_{perno} \frac{3}{4} \text{ in } \text{ó} \text{ } 20 \text{ [mm]}$$

## **5. Selección del material de la placa**

Para la placa inferior del empotramiento se utiliza Acero AISI/SAE 1020. Para el cálculo del esfuerzo, se tomó el área anular donde se ubican los pernos, ya que son los apoyos de la placa.

**Tabla 94.** Características del material

<b>Características material AISI 1020</b>		
<b>Esfuerzo Último permisible</b>	420 [Mpa]	60900 [psi]
<b>Esfuerzo a tensión</b>	350 [Mpa]	50800 [psi]
<b>Modulo elasticidad</b>	205 [Gpa]	29700 [ksi]

**Fuente.** Autores

$$\sigma = \frac{F_{perno}}{A_{cabeza_{perno}}} = \frac{15406 [N]}{\frac{\pi * (32^2 - 20^2)}{4} [mm^2]} = 31,44 [Mpa]$$

$$\text{Factor de Seguridad: } \frac{\sigma_{permisible}}{\sigma}$$

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{350[Mpa]}{31,44 [Mpa]} = 11.13$$

## 6. Espesor de placa

- **Espeor de placa (Resistencia a cortante)**

$$\tau = \frac{F_{perno}}{A}$$

Se escoge un Acero 1020 cuya resistencia a la tracción es 350 [Mpa] o 50800 [Psi]

$$\tau = \frac{\sigma_{permisible}}{2} = 175 [Mpa]$$

$$A = \pi * d_{cabeza_p} * t_{placa}$$

$$t_{placa} = 6,4 [mm] \text{ ó } \frac{1}{4} [in]$$

- **Espeor de placa (Deflexión máxima permitida)**

Cuando se analiza como una viga con 5 apoyos los cuales serán los pernos (tomándolos rígidos), determinamos una inercia y por lo tanto un espesor que cerciore una deflexión de la placa máxima de 0,5 [mm].

La inercia necesaria para que se flecte menos de 0,5 mm es:

$$I = 23812 [mm^4]$$

$$b = \text{alto de placa} = 360[mm]$$

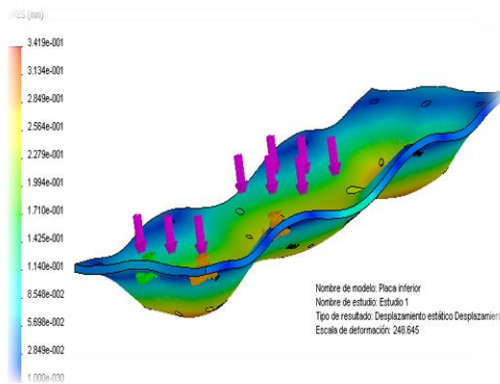
$$I = \frac{1}{12} b * t_{placa}^3$$

A partir de las ecuaciones establecidas para este método, se tiene:

$$t_{placa} = 9,25 \approx 10 [mm] \text{ ó } \frac{3}{8} [in]$$

Se escoge el mayor valor de espesor determinado a partir de los dos métodos y a continuación se corrobora con la gráfica de deflexión arrojada por MDSolids y por un análisis en SolidWorks.

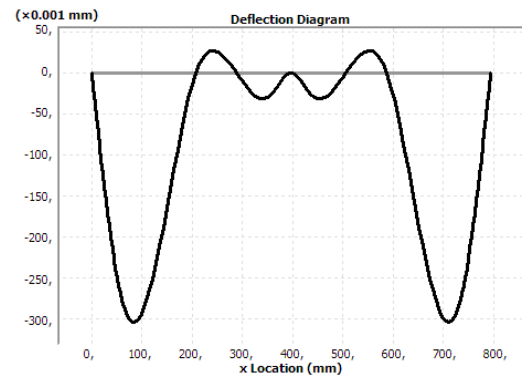
**Figura 104.** Análisis CAD de deflexión y cargada totalmente “Posición No.1”



**Fuente.** Autores

Se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:248. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

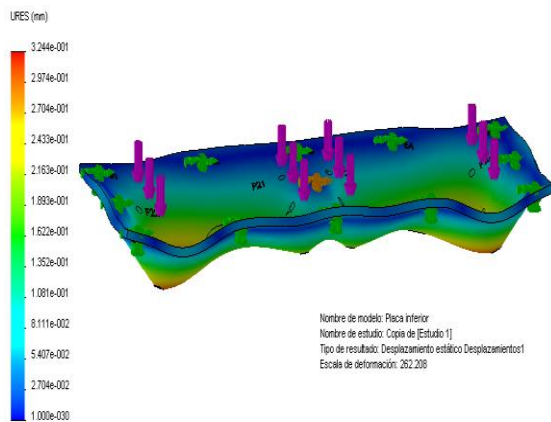
**Figura 105.** Análisis de deflexión en vista lateral y cargada totalmente “Posición No.1”



**Fuente.** Autores

Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico. Resulta una deflexión máxima de 0,4610 [mm]

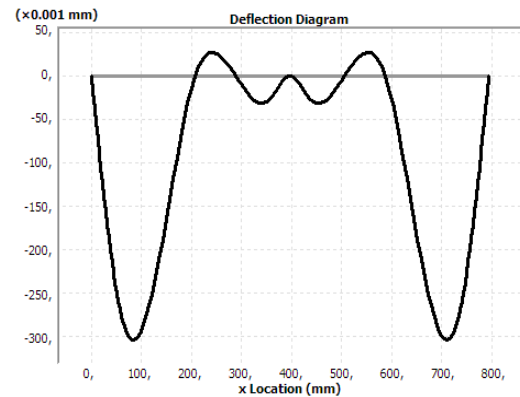
**Figura 106.** Análisis CAD de deflexión y cargada totalmente “Posición No.2”



**Fuente.** Autores

Se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:262. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

**Figura 107.** Análisis de deflexión en vista lateral y cargada totalmente “Posición No.2”



**Fuente.** Autores

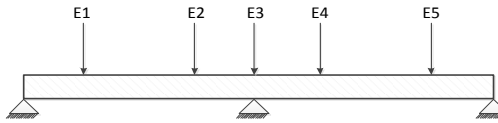
Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico para la segunda posición de las extremidades. Resulta una deflexión máxima de 0,3043 [mm]

#### 5.4.1.2 Placa Superior

##### 1. Análisis estático

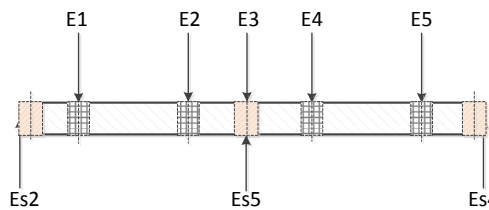
Para el diseño de este componente del sistema de empotramiento, se realizaran los mismos pasos establecidos que para la placa inferior, y además se tendrá que hacer uso de las fuerzas de soporte transmitidas por parte de los pernos que se calcularon en ese diseño de placa.

**Figura 108.** Vista frontal placa superior cargada completamente



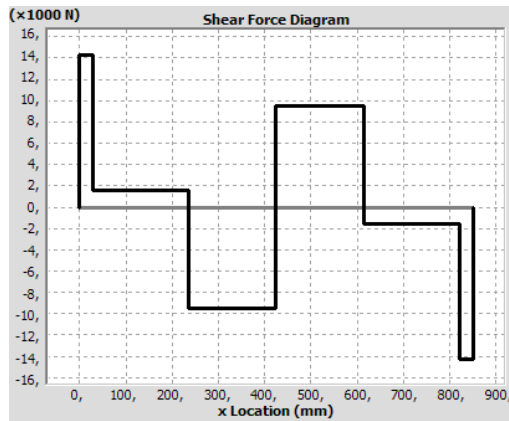
**Fuente.** Autores

**Figura 109.** Diagrama de cuerpo libre para la Figura 108



**Fuente.** Autores

**Figura 110.** Diagrama cortante – Fig. 108



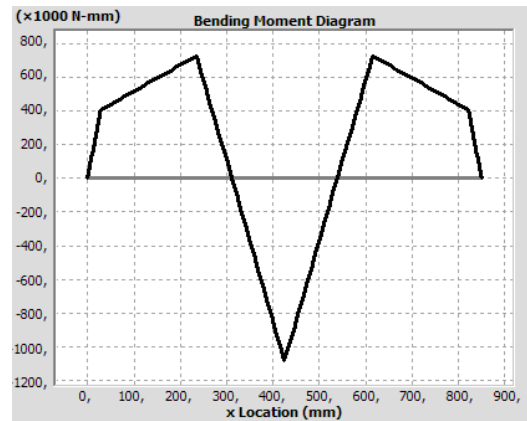
**Fuente.** Autores

**Fuerzas resultantes**

$$E_{s2} = E_{s4} = 14920 [N]$$

$$E_{s5} = 17436 [N]$$

**Figura 111.** Momento flector – Fig. 108

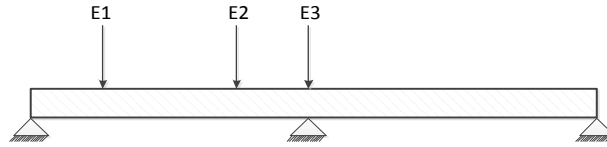


**Fuente.** Autores

**Momentos resultantes:**

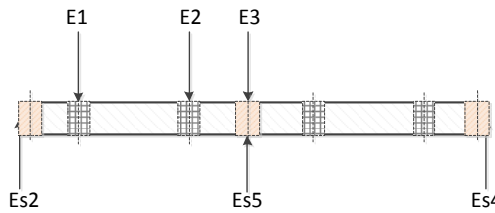
$$M_{max} = -1.123 * 10^6 [N - mm]$$

**Figura 112.** Vista frontal placa superior cargada parcialmente



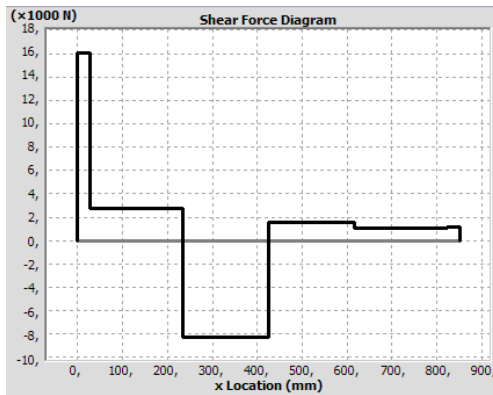
**Fuente.** Autores

**Figura 113.** Diagrama de cuerpo libre Figura 112



**Fuente.** Autores

**Figura 114.** Diagrama cortante – Fig. 112



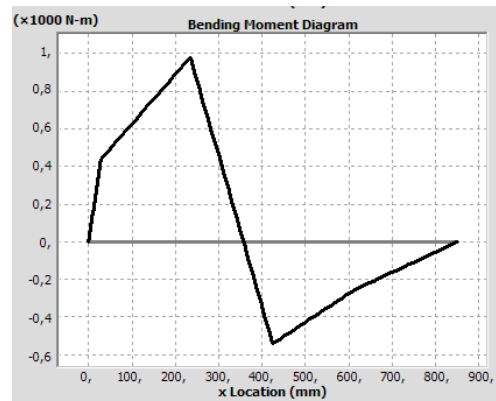
**Fuente.** Autores

**Fuerzas resultantes**

$$E_{s2} = 16096 \text{ [N]} \quad E_{s5} = 8719 \text{ [N]}$$

$$E_{s4} = -1176 \text{ [N]}$$

**Figura 115.** Momento flexionante – Fig. 112



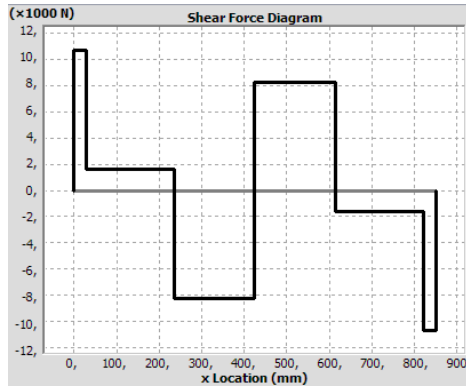
**Fuente.** Autores

**Momentos resultantes**

$$M_{max} = 1016 \times 10^3 \text{ [N.mm]}$$

A partir de las reacciones obtenidas en la Figura 100 y 101, se utilizan para realizar los diagramas de cortante de la posición No.2, para la placa cargada totalmente y cargada por solo una extremidad.

**Figura 116.** Diagrama cortante – carga totalmente



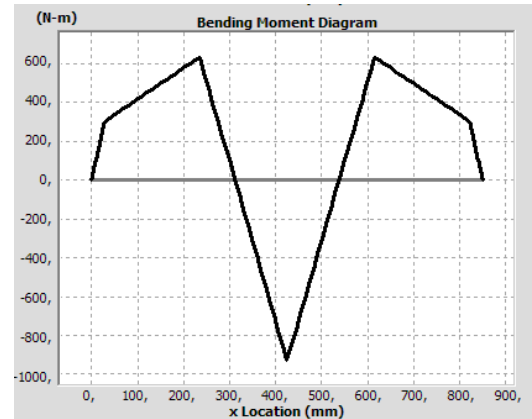
**Fuente.** Autores

**Fuerzas resultantes**

$$E_{s2} = 10966 [N] = E_{s4}$$

$$E_{s5} = 40528 [N]$$

**Figura 117.** Momento flexionante – cargada totalmente

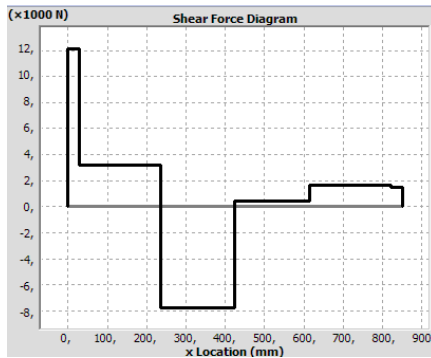


**Fuente.** Autores

**Momentos resultantes**

$$M_{max} = -953 * 10^3 [N.mm]$$

**Figura 118.** Diagrama cortante – cargada parcialmente



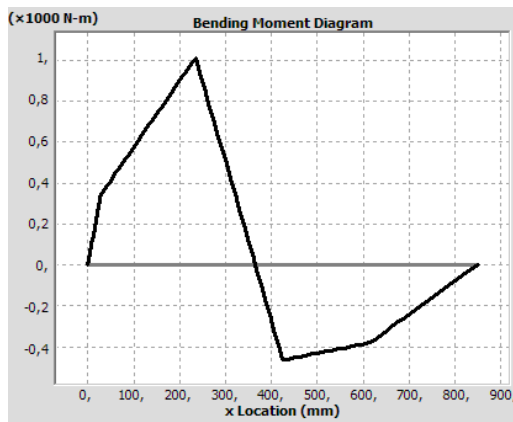
**Fuente.** Autores

**Fuerzas Resultantes**

$$E_{s2} = 12463 [N]$$

$$E_{s4} = -1498[N] \quad E_{s5} = 20264 [N]$$

**Figura 119.** Momento flexionante – cargada parcialmente



### Momentos resultantes

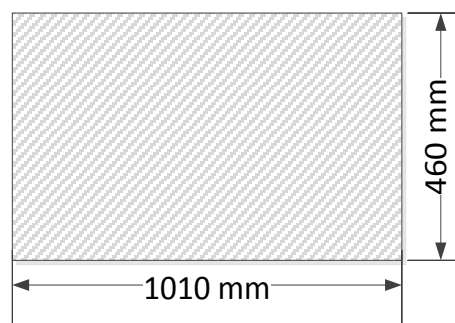
$$M_{max} = 1039 * 10^3 [N.mm]$$

**Fuente.** Autores

## 2. Dimensionamiento de placa superior

Cumpliendo con la geometría ya establecida en el acople de codo, se presentan las siguientes dimensiones para la placa inferior.

**Figura 120.** Dimensiones placa superior



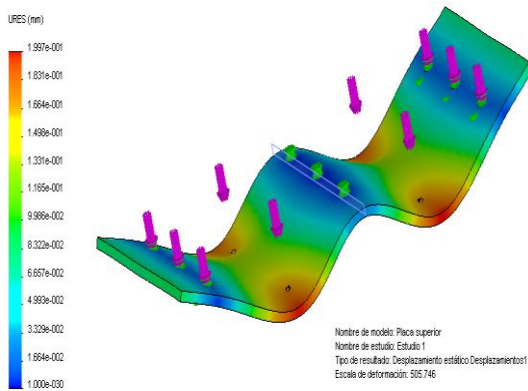
**Fuente.** Autores

### 3. Selección de espesor de la placa superior

El espesor seleccionado de placa para cumplir con una deflexión menor de 0,5 [mm] será de:

$$t_{placa} = 16 [mm] \text{ ó } \frac{5}{8} [in]$$

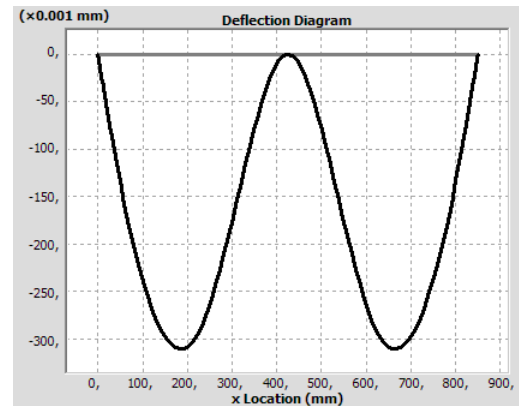
**Figura 121.** Análisis CAD de deflexión (Posición No.1 – Carga completa)



**Fuente.** Autores

Se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:248. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

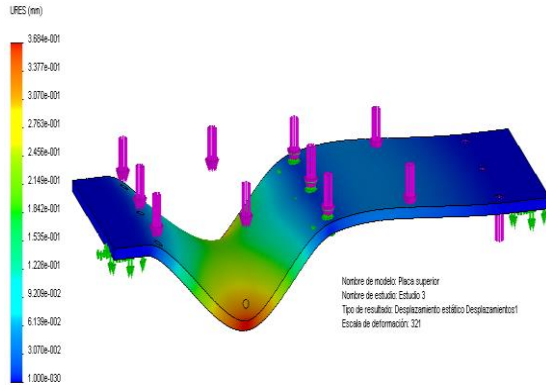
**Figura 122.** Análisis de deflexión (Posición No.1 – Carga completa)



**Fuente.** Autores

Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico. Resulta una deflexión máxima de 0,3106 [mm]

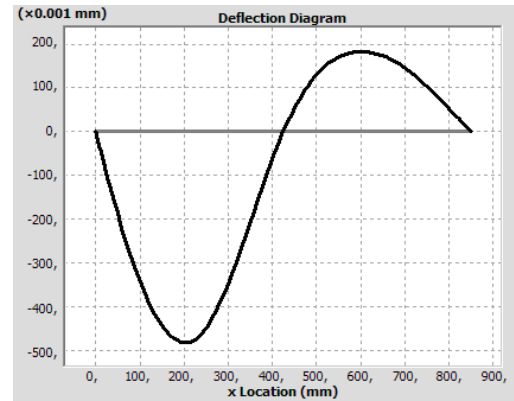
**Figura 123.** Análisis CAD de deflexión (Posición No.1 – Carga parcial)



**Fuente.** Autores

Se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:321. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

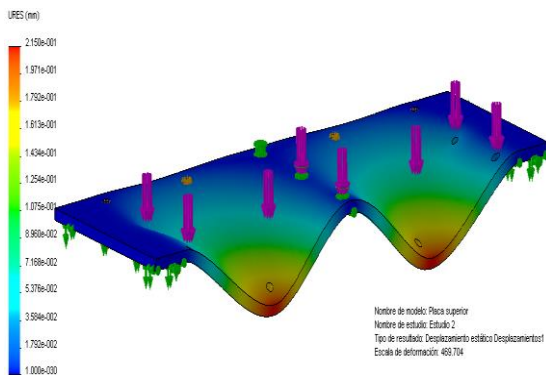
**Figura 124.** Análisis de deflexión (Posición No.1 – Carga parcial)



**Fuente.** Autores

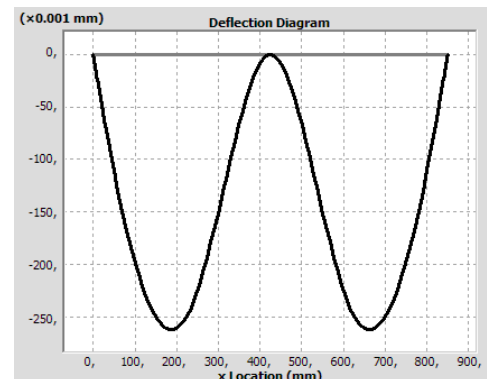
Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico para la placa soportando el peso de una sola extremidad cargada. Resulta una deflexión máxima de 0,4818 [mm]

**Figura 125.** Análisis CAD de deflexión (Posición No.2 – Carga completa)



**Fuente.** Autores

**Figura 126.** Análisis de deflexión (Posición NO.2 – Carga completa)

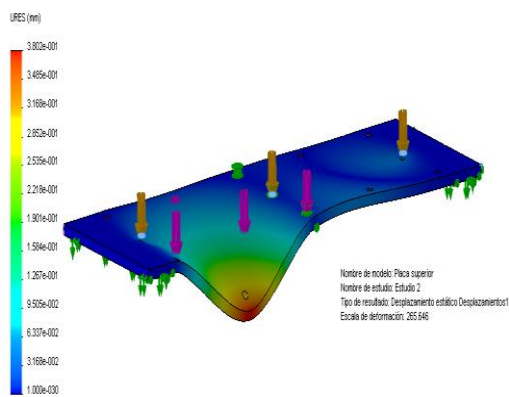


**Fuente.** Autores

En la figura 125, se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:335. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

En la gráfica (Figura 126) da como resultado de la deformación de la placa por método analítico. Resulta una deflexión máxima de 0,2624 [mm]

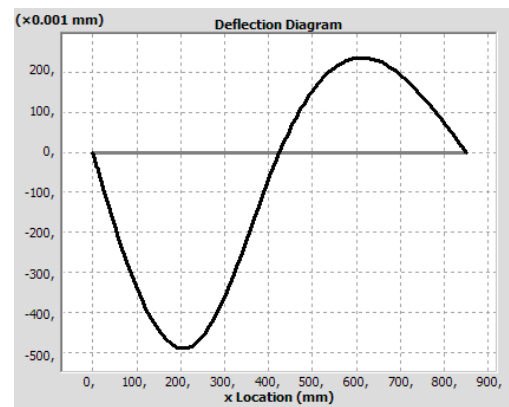
**Figura 127.** Análisis CAD de deflexión (Posición NO.2 – Carga parcial)



**Fuente.** Autores

Se observa el comportamiento de la placa inferior, a una escala de 1:265. Cumpliendo una deformación menor de 0,5 [mm].

**Figura 128.** Análisis de deflexión (Posición No.2 – Carga parcial)



**Fuente.** Autores

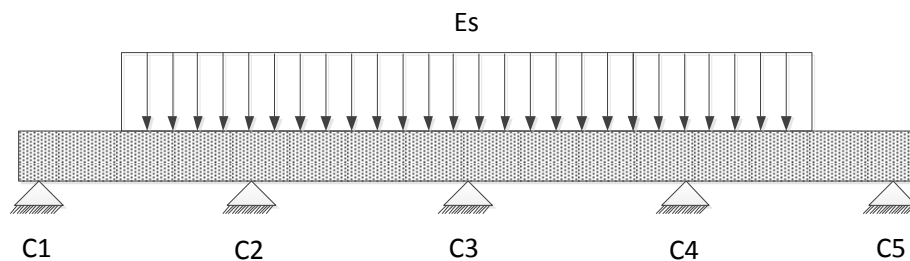
Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico para la placa soportando el peso de una sola extremidad cargada. Resulta una deflexión máxima de 0,482 [mm]

### 5.4.1.3 Perfiles en "C"

#### 1. Selección de perfil

Para el sostenimiento de la placa superior se hace uso de perfiles en C, los cuales se analizarán como vigas con apoyos simples en sus extremos y con una carga distribuida.

**Figura 129.** Diagrama de carga perfil en "C"



**Fuente.** Autores

Se determina una longitud para la viga de  $L = 650$  [mm] y deflexión máxima de 0,5 [mm].

La fuerza distribuida será:

$$E_s = \frac{E_{sn}}{b}$$

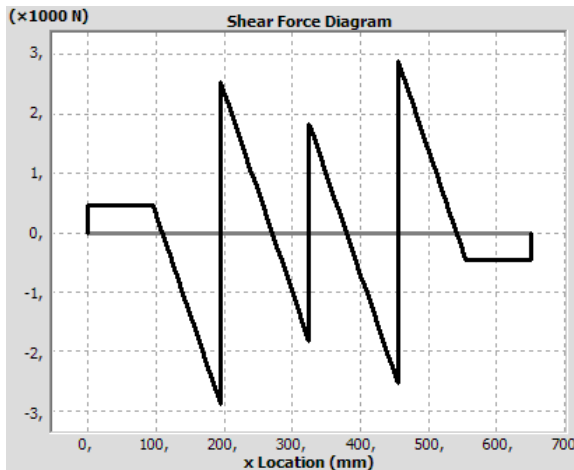
$$E_s = 34,99 \left[ \frac{N}{mm} \right] \text{ "Carga distribuida para el perfil en "C" con la carga máxima}$$

Para cumplir con la deflexión permitida se selecciona un perfil comercial, partiendo de la inercia necesaria:

$$I_{perfilC} = 174239 [mm^4]$$

Este valor fue encontrado a partir de múltiples pruebas, debido a que no se cuenta con ningún parámetro estable en el diseño. Según este valor, se selecciona un perfil UPE80 de alas paralelas.

**Figura 130.** Diagrama cortante (Figura 129)



**Fuerzas resultantes**

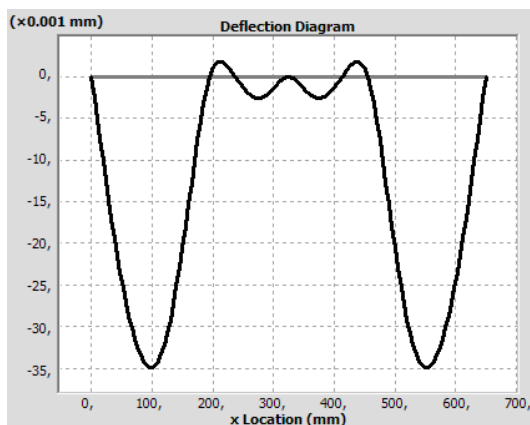
$$C_1 = C_5 = 571 [N]$$

$$C_2 = C_4 = 5498 [N]$$

$$C_3 = 3956 [N]$$

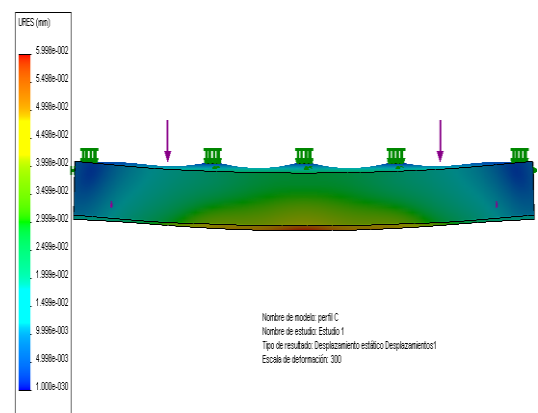
**Fuente.** Autores

**Figura 131.** Análisis de deflexión Perfil UPE80 de alas paralelas



**Fuente.** Autores

**Figura 132.** Análisis CAD Perfil UPE80 de alas paralelas



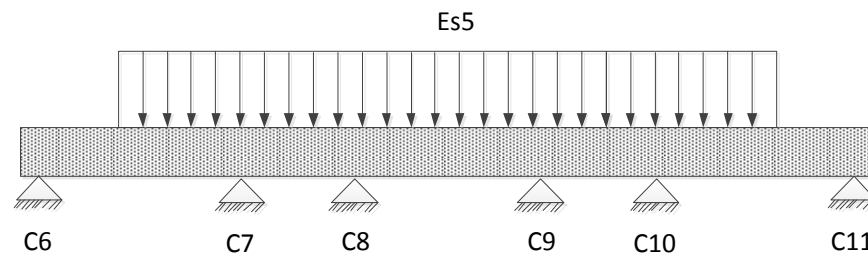
**Fuente.** Autores

## 2. Varilla roscada No.3

En esta etapa se selecciona el perno encargado de sostener la carga en la placa superior con el perfil en C, ubicado en la mitad de este. Para realizar el cálculo, se tiene en cuenta del diseño de la placa superior la fuerza  $E_{s5}$  (Figura 116).

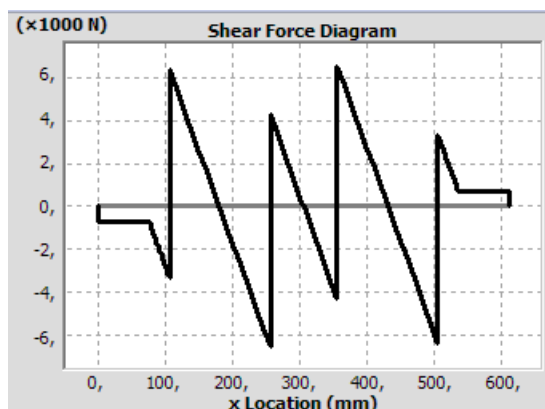
Independiente de cada posición se escoge la crítica y se procede al cálculo del perno.

**Figura 133.** Diagrama de carga para perfil en "C" de la mitad



**Fuente.** Autores

**Figura 134.** Diagrama cortante para perfil en "C" de la mitad



### **Fuerzas resultantes**

$$C_6 = C_{11} = -758 [N]$$

$$C_7 = C_{10} = 9932 [N]$$

$$C_8 = C_9 = 11089 [N]$$

**Fuente.** Autores

La fuerza crítica para este perfil es  $C_8 = 11089$  [N], por lo tanto esta es la que se usa para calcular la unión apernada.

**Tabla 95.** Datos de entrada para la unión No.1

<b>Unión No.1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Placa Superior</i>	<i>Perfil en "C"</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+07</i>	<i>3,00E+07</i>	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>30/127</i>	<i>5/8</i>	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 96.** Características del perno de la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>Grado</b>	8	-
<b>Longitud</b>	3/2	[in]
<b>Diámetro</b>	3/4	[in]
<b>Carga sobre la unión</b>	2475	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 97.** Resultados para la unión No.1

<b>Unión No.1</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,61	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,80	-
<b>Precarga</b>	8817,6	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	1984	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

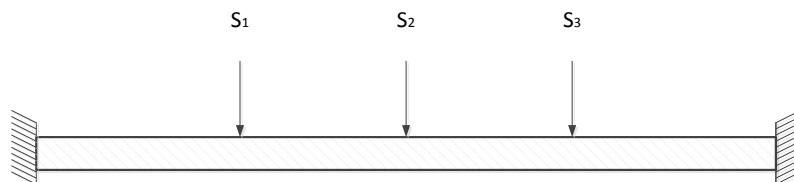
#### 5.4.1.4 Vigas de sostenimiento

Toda la estructura diseñada para el empotramiento del mueble biomédico flotante estará dispuesta para sujetarse o fijarse de dos perfiles empotrados a la pared de la sala de cirugía o unidad de cuidados intensivos. Estos seguirán cumpliendo con las restricciones de deflexión y factor de seguridad. Como las dimensiones de la sala pueden ser de 5 u 8 metros de uno de sus lados, esta será la longitud de las vigas de sostenimiento.

##### 1. Análisis estático

Las fuerzas de soporte para las cuales serán seleccionadas las vigas se denotan  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$ , están son originarias de la suma de las fuerzas generadas en cada uno de los perfil en C ( $C_n$ ).

**Figura 135.** Diagrama de fuerzas para viga de sostenimiento



**Fuente.** Autores

$$S_1 = S_3 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5$$

$$S_2 = C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11}$$

$$S_1 = S_3 = 16094 [N]$$

$$S_2 = 42042 [N]$$

Esta se dividirá en las dos vigas, por lo cual cada una deberá resistir  $S_1=8047$  [N] y  $S_2=21021$  [N] transmitido desde el perfil en C.

Cumpliendo con las restricciones de deflexión, la inercia necesaria para una viga de longitud 5 metros, es de:

$$I_5 = 25145371 [mm^4]$$

A tendiendo a la magnitud de inercia para garantizar las condiciones de deflexión en el ítem No.1, se selecciona un perfil comercial teniendo en cuenta el valor de inercia, por lo tanto se selecciona un **perfil en I rectangular – (Viga IPR) W 8x18.**

Cumpliendo con las restricciones de deflexión, la inercia necesaria para una viga de longitud 8 metros, es de:

$$I_8 = 98465213 [mm^4]$$

A tendiendo a la magnitud de inercia para garantizar las condiciones de deflexión en el ítem No.1, se selecciona un perfil comercial teniendo en cuenta el valor de inercia, por lo tanto se selecciona un **perfil en I rectangular – (Viga IPR) W 12x30.**

## **2. selección de barras roscadas para la unión de las vigas de sostenimiento y los perfiles en C de los extremos**

Refiriendo el valor máximo entre las fuerzas C1 hasta C5, se determina el diámetro de perno para la unión del perfil en C y las vigas de sostenimiento. Se enfatiza que la longitud de estos depende del alto del perfil de sostenimiento y esta dimensión cambia según los perfiles tipo W anteriormente especificados:

### **➤ Viga de sostenimiento de 5 metros**

$$\delta = \frac{C_{m\acute{a}x} * L_{perno}}{A_{transversal} * E}$$

$$\delta = 0,1 [mm]$$

$$L_{perno} = 250 [mm]$$

$$A_{transversal} = \frac{\pi * d_{perno}^2}{4}$$

Los pernos que se utilizan en esta posición deberán soportar una fuerza axial:

$$C_{max} = 5498 [N]$$

Para una longitud de:

$$L_{perno} = 250 [mm]$$

Haciendo uso de las ecuaciones determinamos un diámetro de perno según la deflexión establecida, dando como resultado:

$$D_{perno} = 8,88 \approx 10 \text{ mm } \text{ ó } \frac{3}{8} \text{ in}$$

Con el diámetro de perno determinado según el criterio de deflexión establecido, se procede a realizar los cálculos teniendo en cuenta la teoría de uniones apernadas para corroborar o corregir el diámetro de perno.

**Tabla 98.** Datos de entrada para la unión

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Placa Superior</i>	<i>Perfil en "C"</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	<i>3,00E+07</i>	<i>3,00E+07</i>	<i>[psi]</i>
<b>Espesor para cálculo</b>	<i>30/127</i>	<i>5/8</i>	<i>[in]</i>

**Fuente.** Autores

**Tabla 99.** Características del perno de la unión No.1

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>Grado</b>	8	-
<b>Longitud</b>	3/2	[in]
<b>Diámetro</b>	1/2	[in]
<b>Carga sobre la unión</b>	1222	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 100.** Resultados para la unión No.1

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,22	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,34	-
<b>Precarga</b>	4086,72	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	613	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

➤ **Viga de sostenimiento de 8 metros**

Se realiza el mismo análisis que para la viga de 5 metros, teniendo en cuenta que la longitud de esta viga es mayor.

$$C_{max} = 5498 [N]$$

$$L_{perno} = 350 [mm]$$

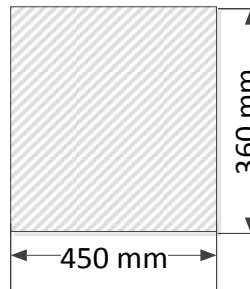
Se toman los mismos pernos que para la viga de 5 metros si no que su longitud cambia, al ser el perfil en I más alto.

**5.4.2 Clavícula para “Muebles con una unión de codo”:** El diseño de este subsistema, se realiza de la misma forma como se hizo para los muebles con dos uniones de codo, los componentes que lo conforman serán los mismos y por lo tanto lo único que se requiera cambiar son los parámetros dimensionales. A continuación se presentan los resultados para cada uno de los componentes.

### 5.4.2.1 Placa Inferior

#### 1. Dimensionamiento placa inferior

**Figura 136.** Dimensiones placa inferior



**Fuente.** Autores

#### 2. Selección del material

Al igual que en el empotramiento para muebles con dos uniones de codo, para la placa inferior se utiliza Acero AISI/SAE 1020. Se realizaron los mismos cálculos y los resultados fueron los siguientes:

$$\sigma = \frac{F_{perno}}{A_{cabeza_{perno}}} = \frac{11555 [N]}{\frac{\pi * (32^2 - 20^2)}{4} [mm^2]} = 23,58 [Mpa]$$

$$\text{Factor de Seguridad: } \frac{\sigma_{\text{permisible}}}{\sigma} \quad \text{Ec (6)}$$

$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{350[\text{Mpa}]}{23,58 [\text{Mpa}]} = 14,84$$

### 3. Varilla roscada

Con las fuerzas ya calculadas se dispone a determinar las características de la varilla. Se toma el valor máximo de fuerza a soportar de la reacción E7, producida en la posición dos (Figura 60) de las extremidades, la cual se dividirá en dos pernos en los cuales actúa.

$$F_{\text{perno}} = \frac{E_7}{2}$$

$$F_{\text{perno}} \approx 11555 \text{ [N]}$$

$$F_{\text{perno}_{LB}} \approx 2598 \text{ [Lbf]}$$

El valor crítico será de 11555 [N] para cada uno de los pernos. La longitud de ellos se establece según la longitud entre las vigas de soporte y el techo falso de la sala de cirugía o unidad de cuidado intensivo, la cual será de L= 400 [mm].

Para garantizar que las extremidades del mueble flotante no se vean en ningún momento de su vida útil flectadas, las barras roscadas permitirán una deformación máxima de 0,1 [mm].

$$\delta = \frac{F_{\text{perno}} * L}{A_{\text{transversal}} * E}$$

$$\sigma = \frac{F_{\text{perno}}}{A_{\text{transversal}}}$$

### Resultados

$$A_{transversal} = 284,30 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$d_{perno} \frac{3}{4} \text{ in } \text{ó} \text{ } 20 \text{ [mm]}$$

#### 4. Selección de espesor

- **Espesor de placa (Resistencia a cortante)**

$$\tau = \frac{F_{perno}}{A}$$

Se escoge un Acero 1020 cuya resistencia a la tracción es 350 [Mpa] o 50800 [Psi]

$$\tau = \frac{\sigma_{permisible}}{2} = 175 \text{ [Mpa]}$$

$$A = \pi * d_{cabeza_p} * t_{placa}$$

$$t_{placa} = 6,4 \text{ [mm]} \text{ ó } \frac{1}{4} \text{ [in]}$$

- **Espesor de placa (Deflexión máxima permitida)**

Cuando se analiza como una viga con 5 apoyos los cuales serán los pernos (tomándolos rígidos), determinamos una inercia y por lo tanto un espesor que cerciore una deflexión de la placa máxima de 0,5 [mm].

La inercia necesaria para que se flecte menos de 0,5 mm es:

$$I = 24267 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$b = \text{ancho de placa} = 320 \text{ [mm]}$$

$$I = \frac{1}{12} b * t_{placa}^3$$

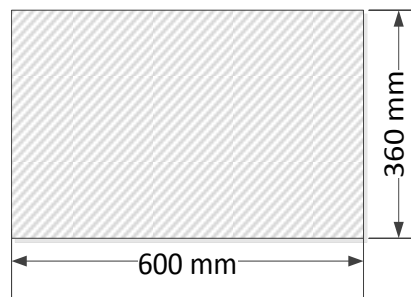
A partir de las ecuaciones establecidas para este método, se tiene:

$$t_{placa} = 9,31 \approx 10 [mm] \text{ ó } \frac{3}{8} [in]$$

#### 5.4.2.2 Placa Superior

##### 1. Dimensionamiento placa superior

**Figura 137.** Dimensiones placa superior



**Fuente.** Autores

##### 2. Selección de material

Para esta etapa, se escoge el mismo material que para la placa inferior.

##### 3. Selección de espesor

Cuando se analiza como una viga apoyada en tres puntos, determinamos una inercia y por lo tanto un espesor que cerciore una deflexión de la placa máxima de 0,5 [mm].

La inercia necesaria para que se flecte menos de 0,5 mm es:

$$I = 12485 \text{ [mm}^4\text{]}$$

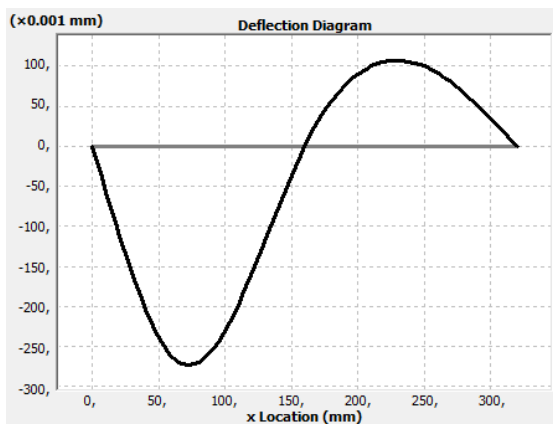
$$b = \text{base placa} = 360 \text{ [mm]}$$

$$I = \frac{1}{12} b * t_{\text{placa}}^3$$

El espesor seleccionado para la placa será de:

$$t_{\text{placa}} = 8 \text{ [mm]} \text{ ó } \frac{5}{16} \text{ [in]}$$

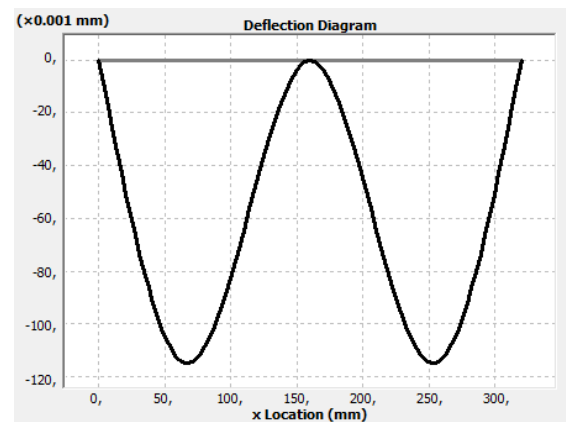
**Figura 138.** Análisis de deflexión (Posición No.1)



**Fuente.** Autores

Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico. Resulta una deflexión máxima de 0,2735 [mm]

**Figura 139.** Análisis de deflexión (Posición No.2)



**Fuente.** Autores

Gráfica resultado de la deformación de la placa por método analítico para la placa soportando el peso de una sola extremidad cargada. Resulta una deflexión máxima de 0,1150 [mm]

### 5.4.2.3 Perfiles en “C”

Para el análisis y selección de los perfiles en C, se realizará el mismo procedimiento establecido en la sección **5.3.4.3** de este documento, pero teniendo en cuenta las respectivas fuerzas que se transmite cuando solo se tiene una unión de codo presente en el ensamble del mueble biomédico flotante.

Teniendo en cuenta lo anteriormente establecido, se determina una longitud para la viga de  $L=550$  [mm] y un perfil UPE80 de alas paralelas.

Para las varillas roscadas que se ubicarán en el perfil en C de la mitad, se presentan los siguientes resultados:

**Tabla 101.** Datos de entrada para la unión No.1

<i>Unión No.1</i>			<i>Unidades</i>
<i>Elementos de unión</i>	<i>Placa Superior</i>	<i>Perfil en “C”</i>	-
<i>Material</i>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<i>Módulo de elasticidad</i>	<i>3,00E+07</i>	<i>3,00E+07</i>	<i>[psi]</i>
<i>Espesor para cálculo</i>	<i>30/127</i>	<i>5/8</i>	<i>[in]</i>

**Fuente.** Autores

**Tabla 102.** Características del perno de la unión No.1

<i>Unión No.1</i>		<i>Unidades</i>
<i>Grado</i>	<i>8</i>	-
<i>Longitud</i>	<i>3/2</i>	<i>[in]</i>
<i>Diámetro</i>	<i>5/8</i>	<i>[in]</i>
<i>Carga sobre la unión</i>	<i>2299</i>	<i>[lb]</i>

**Fuente.** Autores

**Tabla 103.** Resultados para la unión No.1

<i>Unión No.1</i>		<i>Unidades</i>
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	4,01	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	4,02	-
<i>Precarga</i>	7051,2	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	1322	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

#### **5.4.2.4 Vigas de sostenimiento**

##### **1. Selección del perfil**

Al igual que para el perfil en "C", las vigas de sostenimiento serán determinadas de la misma manera que en la sección **5.3.4.4** de este documento, pero teniendo en cuenta las fuerzas que se transmiten de acuerdo al diseño del perfil en "C" de la sección anterior.

Cumpliendo con las restricciones de deflexión, la inercia necesaria para una viga de longitud 5 metros, se selecciona un perfil comercial teniendo en cuenta el valor de inercia, por lo tanto se selecciona un **perfil en I rectangular – (Viga IPR) W 8x18.**

Cumpliendo con las restricciones de deflexión, la inercia necesaria para una viga de longitud 8 metros, se selecciona un perfil comercial teniendo en cuenta el valor de inercia, por lo tanto se selecciona un **perfil en I rectangular – (Viga IPR) W 12x30.**

**2. Selección de barras roscadas para la unión de las vigas de sostenimiento y los perfiles en “C” de los extremos.**

➤ **Vigas de sostenimiento de 5 metros**

Las varillas roscadas que se utilizan en esta posición deberán soportar una fuerza axial, que se describe a continuación:

$$C_{max} = 7914 [N]$$

$$L_{perno} = 250 [mm]$$

Para determinar las especificaciones de la varilla, se realiza un análisis de unión apernada con las siguientes especificaciones:

**Tabla 104.** Datos de entrada para la unión No.2

<b>Unión No.2</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Placa Superior</i>	<i>Perfil en “C”</i>	-
<b>Material</b>	<i>Acero</i>	<i>Acero</i>	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+07	3,00E+07	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	30/127	5/8	[in]

**Fuente.** Autores

**Tabla 105.** Características del perno de la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>Grado</b>	8	-
<b>Longitud</b>	3/2	[in]
<b>Diámetro</b>	5/8	[in]
<b>Carga sobre la unión</b>	1767	[lb]

**Fuente.** Autores

**Tabla 106.** Resultados para la unión No.2

<b>Unión No.2</b>		<b>Unidades</b>
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,59	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,43	-
<b>Precarga</b>	5966,4	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	1118,7	[Lb-in]

**Fuente.** Autores

➤ **Vigas de sostenimiento de 8 metros**

Se realiza el mismo análisis que para la viga de 5 metros, teniendo en cuenta que la longitud de esta viga es mayor.

$$C_{max} = 7914 [N]$$

$$L_{perno} = 350 [mm]$$

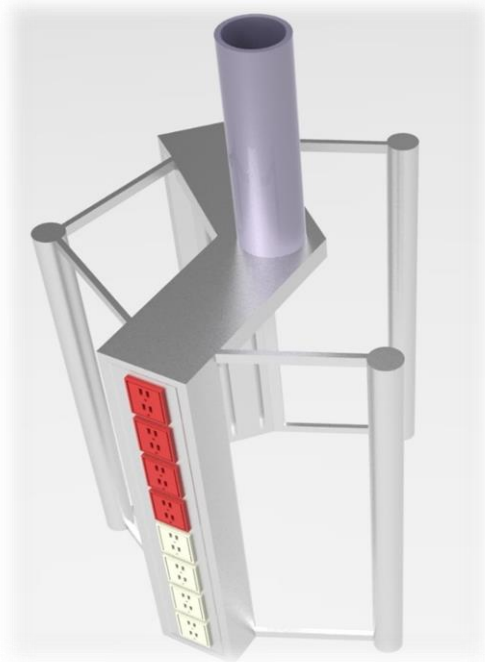
Se seleccionan las mismas características de varilla roscada establecidas en el ítem anterior, a excepción de la longitud total de la varilla.

## **5.5 SISTEMA DE SUMINISTRO**

**5.5.1 Módulos:** Como se menciona en las decisiones preliminares para este sistema, el grupo de Diseñadores Industriales de "Diseño y Desarrollo" de Bioingeniería FCV, serán los encargados en mayor parte del diseño en detalle de los módulos de zona seca y zona seca/húmeda, teniendo en cuenta aspectos principalmente ergonómicos.

Dentro de los diseños propuestos por D&D, se tienen resultados como los siguientes:

**Figura 140.** Propuesta módulo zona seca



Fuente. **Diseño y Desarrollo**  
“Bioingeniería FCV”

**Figura 141.** Propuesta módulo zona seca -húmeda



Fuente. **Diseño y Desarrollo**  
“Bioingeniería FCV”

**Figura 142.** Propuesta módulo zona seca -húmeda



Fuente. **Diseño y Desarrollo** “Bioingeniería FCV”

## 6. TAXONOMÍA

La clasificación de cada uno de los componentes que conforman el mueble biomédico flotante, comienza con el ordenamiento por sistemas asociándolos a las extremidades superiores del cuerpo humano (Figura 32), generando así un desglose de todo el mueble que permita tener en cuenta el diseño y/o selección de cada uno de los componentes que conforman cada sistema.

A lo largo de lo descrito en este documento, se evidencia el diseño de cada sistema dentro del Capítulo 5 “Diseño de detalle”, en el cual se especifican las características geométricas y físicas de cada una de las piezas que conforman su respectivo sistema. Para obtener una mejor visión de los componentes, se designaron cada uno mediante siglas que describan a que sistema pertenecen y que número de pieza les corresponde y esto se evidencia en el siguiente gráfico.

**Tabla 107.** Especificación taxonomía de la familia de piezas del mueble biomédico flotante

<b>TAXONOMIA MUEBLE BIOMÉDICO FLOTANTE</b>	
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	
<b>BRAZOS PARA CONFIGURACIÓN 1, 2 ,4</b>	<b>BRAZOS CONFIGURACIÓN 2,3,5</b>
<i>Brazo-XXXX</i>	<i>Brazo-XXXX-M</i>
<b>ANTEBRAZO CONFIGURACIÓN 1,2,4</b>	
<i>Ante-Brazo XXXX</i>	
<b>SISTEMA DE UNIONES</b>	
<b>UNIÓN DE MUÑECA</b>	<b>UNIÓN DE CODO</b>
<i>Cuerpo-UMX</i>	<i>Cuerpo-UCX</i>
<b>UNION DE HOMBRO</b>	
<b>CONFIGURACIÓN 1,2 3</b>	<b>CONFIGURACIÓN 4,5</b>
<i>Cuerpo-UHAX</i>	<i>Cuerpo-UHX</i>
<b>SISTEMA DE EMPOTRAMIENTO</b>	
<b>CONFIGURACIÓN 1,2 3</b>	<b>CONFIGURACIÓN 4,5</b>
<i>Cuerpo-ECAX</i>	<i>Cuerpo-ECBX</i>

**Fuente.** Autores

Para la identificación de la denominación para el brazo y/o el antebrazo se determina de la siguiente forma:

*Brazo – XXXX    Brazo – XXXX – M    Ante – Brazo XXXX*

*XXXX – Dimensión de la viga en [mm]*

Brazo para la configuración 3, 4, 5 de una longitud de 1000 [mm]:

***Brazo – 1000 – M***

Los siguientes componentes, cada uno tiene su sigla según el sistema de uniones al que pertenezcan (UM, UC, UH).

***Cuerpo – UM1 = Pieza 1 Unión de Muñeca***

Para el acople de hombro contamos con la designación A según las configuraciones; donde la diferencia entre estos dos factores es el cambio de una pieza perteneciente al acople de hombro.

Como se cuenta con dos tipos de empotramiento se designa una nomenclatura:

*Cuerpo – ECAX ó Cuerpo – ECBX*

La letra A aplica para unas configuraciones diferentes de la B, se caracterizan por el número de extremidades.

## 7. COSTO DE VENTA

Tomando como base el registro “R-DDBIO-12”, se determina un costo de venta aproximado para conocer de antemano la viabilidad del producto.

**Tabla 108.** Costo de venta del producto

Categoría	Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial	Subtotal
<b>Diseño industrial</b>	Señalización paneles	Unidad	2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00	<b>\$ 1.318.200,00</b>
	Señalización para el movimiento de los brazos	Unidad	4	\$ 2.500,00	\$ 10.000,00	
	Módulos	Unidad	2	\$ 350.000,00	\$ 700.000,00	
	Bandejas	Unidad	6	\$ 50.000,00	\$ 300.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1	\$ 304.200,00	\$ 304.200,00	
<b>Materiales vigas, brazos, perfiles, extremidades</b>	Aleación de aluminio	Kg	189,0 <sup>8</sup>	\$ 9.028,91	\$ 1.706.463,99	<b>\$ 2.530.403,19</b>
	Tapas en plástico	Unidad	8,0 <sup>9</sup>	\$ 30.000,00	\$ 240.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1,0	\$ 583.939,20	\$ 583.939,20	
<b>Materiales acoples</b>	Aleación de acero	Kg	174,0 <sup>10</sup>	\$ 8.000,00	\$ 1.392.000,00	<b>\$ 4.344.600,00</b>
	Tornillos	Unidad	90,0	\$ 3.000,00	\$ 270.000,00	
	Carcasa (Plástica)	Unidades	6,0 <sup>11</sup>	\$ 30.000,00	\$ 180.000,00	
	Rodamientos	Unidad	6,0	\$ 250.000,00	\$ 1.500.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1,0	\$ 1.002.600,00	\$ 1.002.600,00	

<sup>8</sup> La cantidad mínima de extrusión son 2000 Kilogramos a \$9028 (COP) el kilogramo, y el costo de la matriz para realizar la extrusión es de \$26.014.414 (COP). Datos suministrados por EXTRUAL (España). Colombia no tiene industria en condiciones de realizar este procedimiento.

<sup>9</sup> Se requiere de un molde para la elaboración de las tapas de los perfiles, este molde está avalado aproximadamente entre \$500.000 (COP) y \$3.500.000 (COP), según las características que diseño desarrolle para el elemento.

<sup>10</sup> La hora de mecanizado CNC (Control numérico computarizado) tiene un valor de aproximadamente \$80.000 y el tiempo de mecanizado estimado es de 40 horas.

<sup>11</sup> Se requiere de un molde para la elaboración de las carcasas de los acoples, este molde está avalado aproximadamente entre \$500.000 (COP) y \$3.500.000 (COP), según las características que diseño desarrolle para el elemento

**Tabla 108. (Continuación)**

<b>Categoría</b>	<b>Componente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo parcial</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Material del sistema de fijación</b>	Aleación de acero	Kg	60,0 <sup>12-13</sup>	\$ 8.000,00	\$ 480.000,00	<b>\$ 1.027.000,00</b>
	Tornillos	Unidad	20,0	\$ 12.000,00	\$ 240.000,00	
	Carcasa (Plástica)	Unidad	1,0 <sup>14</sup>	\$ 70.000,00	\$ 70.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1,0	\$ 237.000,00	\$ 237.000,00	
<b>Material de los módulos</b>	Aluminio anodizado	Kg	70,0	\$ 15.000,00	\$ 1.050.000,00	<b>\$ 4.966.000,00</b>
	Tornillos (acero inox)	Unidad	40,0	\$ 1.500,00	\$ 60.000,00	
	Tomas chemetron	Unidad	18,0	\$ 40.000,00	\$ 720.000,00	
	Tomas de corriente	Unidad	20,0	\$ 60.000,00	\$ 1.200.000,00	
	Tubo(s) Acero Inox	Mts	2,0	\$ 20.000,00	\$ 40.000,00	
	Mangueras para gases medicinales	Mts	60,0	\$ 10.000,00	\$ 600.000,00	
	Cableado eléctrico	Mts	10,0	\$ 3.000,00	\$ 30.000,00	
	Tapas en plástico	Unidades	4,0 <sup>15</sup>	\$ 30.000,00	\$ 120.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1,0	\$ 1.146.000,00	\$ 1.146.000,00	
<b>Materiales sistema de freno</b>	Núcleo magnético	Unidad	4,0	\$ 500.000,00	\$ 2.000.000,00	<b>\$ 2.756.000,00</b>
	Accionadores	Unidad	8,0	\$ 10.000,00	\$ 80.000,00	
	Mangueras plásticas	Mts	20,0	\$ 2.000,00	\$ 40.000,00	
	Imprevistos	Unidad	1,0	\$ 636.000,00	\$ 636.000,00	
<b>Ensamble total</b>	MO	Horas	36,000	\$ 6.662,00	\$ 239.832,00	<b>\$ 263.815,20</b>
	Imprevistos MO	Varios	1	\$ 23.983,20	\$ 23.983,20	

<sup>12</sup> La hora de mecanizado CNC (Control numérico computarizado) tiene un valor de aproximadamente \$80.000 y el tiempo de mecanizado estimado es de 12 horas.

<sup>13</sup> Para el montaje del sistema de fijación, se requiere de un sistema estructural con un costo estimado en \$ 5.080.972

<sup>14</sup> Se requiere de un molde para la elaboración de carcasa del sistema de fijación, este molde está avalado aproximadamente entre \$500.000 (COP) y \$3.500.000 (COP), según las características que diseño desarrolle para el elemento

<sup>15</sup> Se requiere de un molde para la elaboración de las tapas de los módulos, este molde está avalado aproximadamente entre \$500.000 (COP) y \$3.500.000 (COP), según las características que diseño desarrolle para el elemento

**Tabla 108.** (Continuación)

Categoría	Componente	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial	Subtotal
CIF	CIF producto	%	1	\$ 3.441.203,68	\$ 3.441.203,68	\$ 3.441.203,68
<b>Subtotal</b>						<b>\$ 20.647.222</b>
Costo Prototipo distribuido en producción						\$ 0
<b>COSTO PRODUCTO TERMINADO</b>						<b>\$ 20.647.222</b>
COSTO DE MERCADEO Y EMBALAJE			5%			\$ 1.032.361
GARANTIA Y MANTENIMIENTO			5%			\$ 1.032.361
<b>COSTO ANTES DE VENTA</b>						<b>\$ 22.711.944</b>
Utilidad venta a publico			30%			\$ 9.733.690
<b>Costo antes del IVA</b>						<b>\$ 32.445.635</b>
IVA			16%			\$ 5.191.302
<b>Costo con IVA / Precio de venta al publico</b>						<b>\$ 37.636.936</b>

**Fuente.** Autores - Diseño y Desarrollo “Bioingeniería FCV”

La inversión con respecto al material de los brazos es de **\$ 44.070.414 (COP)**, con este valor se obtiene material para 18 columnas de las mismas características, y como ya se describió anteriormente este valor está representado por la cantidad mínima de pedido. La inversión representada en los moldes de las tapas para el perfil, las carcasas para los acoples y el sistema de fijación es de **\$10.500.000 (COP)**, y cubren en su totalidad las 18 columnas mencionadas anteriormente.

La inversión para los costos de mecanizado representados en **\$4.160.000**, se deben de efectuar para la fabricación de cada columna; y teniendo en cuenta que los costos de inversión hasta el momento mencionados abarcan 18 columnas, el costo de mecanizado para 18 columnas resultaría de **\$74.880.000 (COP)**.

El costo total de **inversión** que se debería de realizar para fabricar **18 columnas** es de **\$129.450.414 (COP)**.

## 8. CONCLUSIONES

- Como resultado del proyecto plasmado en este documento, se presenta el diseño de una familia de elementos estructurales en condiciones de formar 5 tipos de mueble biomédico flotante, a partir del ensamble de cada uno de los componentes que conforman este conjunto. Para diseñar y/o seleccionar cada uno de los elementos que conforman la familia, se realizó una fragmentación del equipo principal, de tal manera que permitió abarcar toda la naturaleza del mueble.
- El diseño de cinco diferentes tipos de mueble biomédico flotante, brinda la oportunidad de seleccionar dentro de este grupo, aquel que se acomode a los requerimientos que demande la sala de cirugía o unidad de cuidado intensivo; siendo esto un aspecto positivo a la hora de dar a conocer el producto.
- Mediante la implementación de un sistema flotante para el soporte y suministro de energía eléctrica y de gases medicinales para los equipos que demande una sala de cirugía, se logra eliminar en gran medida la aglomeración de cable y manguera que es generada por el actual sistema de suministro y a su vez eliminar los riegos que esto conlleva.
- Se integraron conceptos de asignaturas como Estática, Resistencia de materiales, Procesos de manufactura, Diseño básico, Diseño gráfico, Diseño de máquinas I y II, empleando herramientas de cálculo matemático como EES “Engineering Equation Solver”, Microsoft Excel y software de diseño asistido por computadora como SolidWorks.

## 9. OBSERVACIONES

- Se recomienda establecer nuevas secciones transversales que mejoren el aspecto visual-estético, teniendo en cuenta en primera instancia las propiedades geométricas y mecánicas de la ya establecida en este proyecto, y a su vez que a largo plazo Bioingeniería FCV como Unidad Estratégica Empresarial de la Fundación Cardiovascular de Colombia, desea incursionar en la fabricación y comercialización nacional de este tipo de mueble.
  
- Para el desarrollo de un equipo médico, se hace indispensable contar con un grupo de trabajo de profesionales de diferentes ramas según lo demande la naturaleza y funcionalidad de los equipos. Este proyecto no es ajeno a lo anteriormente establecido, ya que el diseño base del sistema de módulos del mueble biomédico flotante estuvo a cargo de un grupo conformado por: Diseñadores Industriales, Practicantes de Ingeniería Mecánica y Técnicos Biomédicos y Eléctricos.
  
- Teniendo en cuenta los componentes del mueble biomédico flotante que nacionalmente no pueden ser fabricados (principalmente brazos y antebrazos del mueble), y la visión que se tiene a largo plazo con respecto a la construcción de estos equipos, se propone realizar una alianza estratégica con las entidades internacionales extrusoras de aluminio, de manera que por medio de un acuerdo se logre obtener una cantidad menor según los requerimientos que se necesiten.
  
- Para cumplir con uno de los requerimientos de función establecidos dentro del R-DDBIO-03 del Sistema de Gestión de Calidad de Bioingeniería FCV, el cual expresa el uso de un sistema de fijación de tipo eléctrico-electrónico, se

trabajó con un grupo de profesionales de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, los cuales estaban encargados de establecer los parámetros de los componentes que conformaban el sistema de fijación.

- Dentro de los cálculos matemáticos para el desarrollo del proyecto, se encuentran aproximaciones conservativas teniendo en cuenta que no hay teoría alguna que describa el comportamiento para el diseño de una parte de los elementos que conforman el mueble biomédico flotante.

## BIBLIOGRAFÍA

NORTON, Robert L. Diseño de Máquinas, Pearson educación, Prentice Hall, 1999. México D.F. 1048 p.

MOTT, Robert L. otros, Diseño de Elementos de Máquinas, Pearson Educación, 2006. México D.F. 872 p.

BUDYNAS, Richard G. otros, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, McGraw-Hill Interamericana, 2008. México D.F. 1039 p.

GERE, James M. GOODNO, Barry J. Mecánica de materiales, Cengage Learning Latin America, 2009. 1017 p.

HAMROCK, Bernard J. otros, Elementos de máquinas, Editorial McGraw-Hill. Interamericana de México D.F. 926 p.

JUVINALL, Robert C, MARSHEK, Kurt M. Diseño de elementos de máquinas, Limusa, 2013. 833 p.

CASTRO, Silvia C, BOLAÑOS, Mariela V. Ambiente quirúrgico y tránsito en salas de operaciones, Costa rica. 2011. 3 p.

SECRETARIA DISTRITAL DE SALUD D.C. Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de cirugía. Bogotá D.C, 2010. 55 p.

RIVERA, Claudia S. Examen médico a salas de cirugía. Universidad Nacional de Colombia [online], [citado 25 de Abril 2014]. Disponible en internet: < <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/102/09.html>>

SAIZ Eduardo G. Rediseño del brazo articulado de una plataforma elevadora. Cantabria, España 2012. Trabajo fin de carrera (Ingeniería en tecnologías industriales). Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones.


ULRICH, Karl T, EPPINGER, Steven D. Diseño y desarrollo de productos. Editorial McGraw-Hill. Interamericana de México. 400 p.

KNAPPE, Stefan. ERHAD, Lux. Pivot bearing unit comprising a braking device. US 2005/0282673 A1. Patent Application Publication. December 22, 2005.

MARTINEZ José A. Calculo de uniones atornilladas en el diseño de maquinaria, Cartagena, Colombia 2012. Trabajo fin de carrera (Ingeniería Técnica Industrial). Universidad Politécnica de Cartagena.

# ANEXOS

## Anexo A. RDD-BIO-03 “Requerimientos de diseño y gestión de cambio”

		<b>Requerimientos de Diseño y Gestión de Cambios</b>		FCV. BIOINGENIERÍA	
		PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Versión: 6	R-DDBIO-03
<b>Información</b>					
Proyecto			Columna Móvil Hospitalaria		
Nombre del solicitante:			Lina Viviana Sanabria - Luis Jaramillo		Fecha
			01/05/2014		
Nuevo	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de solicitud	<input type="checkbox"/>	Funcional	<input type="checkbox"/>
Cambio	<input type="checkbox"/>	Atributos de diseño	<input type="checkbox"/>	Rendimiento	<input type="checkbox"/>
				Restricción de diseño	Otro
Descripción: <i>(Describe en que consiste la solicitud)</i>					
<p>Este proyecto se desarrollará para cumplir con las funciones de movilidad, soporte, suministro de energía eléctrica y gases medicinales a los equipos que se requieran dentro de una sala de cirugía o unidad de cuidados intensivos, permitiendo versatilidad al momento de ubicación de los diferentes equipos, adaptándose a los requerimientos del personal médico/asistencial, así como del entorno de trabajo; así mismo el cableado necesario para el funcionamiento de los equipos se oculta, dejando libre las vías de acceso a la cama del paciente y equipos, proporcionando mayor seguridad tanto al personal tratante como al paciente.</p> <p>El sistema contará con 4 brazos o vigas articuladas que serán la base para el soporte y movimiento de los equipos. Se desarrollarán módulos para suministrar energía eléctrica y gases medicinales, cada uno de ellos ubicados en lugares estratégicos para proporcionar un uso más intuitivo del sistema al usuario; de igual forma el diseño del sistema cumplirá con las normas de seguridad nacionales e internacionales dictadas para equipos biomédicos.</p>					
<b>Aprobación</b>					
Aprobado	<input checked="" type="checkbox"/>	Justificación: El desarrollo del proyecto ha sido solicitado por la gerencia de la UEE Bioingeniería con el fin de equipar las diferentes salas de cirugía y de cuidados intensivos del Hospital Internacional de Colombia.			
<b>Subsistema</b>	<b>No.</b>	<b>Requerimiento de Cambio</b>			
<b>USO</b>	1	Debe poseer elementos de agarre manual en cada uno de los módulos que faciliten su manipulación.			
	2	Debe tener un tablero de control con accionadores, de manera que permita al usuario frenar cada articulación individual o todas al mismo tiempo.			
	3	El movimiento de los brazos debe realizarse con poco esfuerzo físico por parte del usuario.			
	4	Debe tener un sistema de freno en cada uno de los acoples con luces leds de advertencia, para que el usuario comprenda cuando esta frenado y cuando esta disponible para ser manipulado.			
	5	Debe tener señalización en las tomas de acceso rápido de gases y eléctricos.			
<b>FUNCIÓN</b>	7	El(los) brazo(s) deben tener la opción de girar sobre un punto determinado.			
	2	Debe tener un módulo humedo-seco (salida para gases medicinales y energía eléctrica) y otro solo seco (energía eléctrica).			
	3	El módulo seco debe soportar máximo los siguientes equipos: 1 MSV (15"), 3 bombas perfusoras y 3 bombas de infusión (de un solo canal).			
	4	El módulo seco debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	5	El módulo seco/húmedo debe soportar un ventilador mecánico pulmonar de máximo 30 cm de alto, 40 cm de ancho y 30 cm de profundo.			
	6	El módulo seco/húmedo debe contener un mueble para el almacenamiento de medicamentos.			
	7	El módulo seco/húmedo debe contener bandejas para apoyo en procedimiento (condicionado por el espacio ocupado por el ventilador).			
	8	Se debe inmovilizar los brazos por medio de un freno.			
	9	El módulo seco/húmedo debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	10	El panel eléctrico del módulo húmedo/seco debe contener al menos 8 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			
	11	El panel de gases debe contener al menos una salida de acceso rápido de oxígeno, una de aire medicinal y una toma de vacío, todas las salidas de tipo chemetron.			
	12	Comprobar por medio de simulación en videos (imagenes), que los diseños propuestos cumplen su función de movilidad, de construcción, de función y de ensamble en un ambiente real.			
	13	El panel eléctrico del módulo seco debe contener al menos 10 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			
<b>ERGONÓMICOS</b>	1	Los paneles eléctricos y de gases, deben estar distribuidos en un rango entre 1 y 1,7 metros con respecto al suelo			
	2	Las señales y etiquetas deben ser identificadas fácilmente a una distancia de 1 mt.			
	3	La posición de los equipos debe ser acorde para su manipulación en los percentiles antropométricos del usuario.			
	4	La mayor altura de los controles debe ser 1.8 mts.			
<b>ESTRUCTURA</b>	1	Cada módulo debe soportar un máximo entre 100 y 150 Kg.			
	2	Debe tener freno de tipo electromagnético o neumático.			
	3	La estructura debe soportar todos los dispositivos médicos sin presentar inclinaciones en sus brazos o vigas.			
	4	El radio de giro de los brazos pivoteando en el empotramiento debe ser de al menos 2 metros.			
	5	El área interna de la sección transversal de la viga, debe contener todo el cableado eléctrico y de gases medicinales.			
	6	El sistema debe ser soportado por 4 vigas o brazos.			

	7	Debe tener 6 acoples en total, que permitan el movimiento rotacional entre vigas o brazos en un plano horizontal de 0 a 360° sin ningún tope mecánico.
	8	El empotramiento se realizará sobre una estructura metálica (Eje vertical) y con una distancia al techo falso entre 20 y 40 cm.
	9	La estructura general debe pesar entre 150 y 200 Kg.
<b>TECNICO - PRODUCTIVO</b>	1	Cada uno de los elementos debe tener características que les permitan ser ensamblados en una única parte.
	2	Superficies lisas y pulidas para garantizar una fácil limpieza.
	3	La estructura debe llevar un recubrimiento de pintura epóxica.
	4	La materia prima principal de las estructuras debe ser aleaciones de acero y aluminio.
	5	Superficies deben ser lisas y sin rebabas para no dañar al usuario o equipos.
	6	La sección transversal de los brazos/vigas debe ser de igual en área, espesor y geometría.
	7	La producción de todo el sistema debe ser realizable con la capacidad nacional en materia prima, mano de obra y maquinaria.
	8	Se debe contar con un manual de servicio.
	9	Debe contener la identificación y características del producto en una etiqueta.
	10	Se debe estandarizar el uso de tornillos y tuercas para todo el sistema, se debe contar con un máximo de 5 tipos.
<b>MERCADO</b>	1	Se debe contar con un manual de uso.
	2	Se debe contar con un manual de imagen.
	3	Debe contar con un empaque que lo proteja de agentes externos, caídas de al menos 1 mt y movimientos bruscos.
<b>FORMAL - ESTETICO</b>	1	Los acoples deberán estar forrados (ocultos) por medio de una carcasa definida por diseño, construida por inyección de plástico.
	2	Debe contener elementos con colores contrastantes que se presenten como anómalos en la composición general para llamar la atención.
	3	La estructura debe ir en colores fríos o neutros que sean acordes para un entorno médico.
	4	Se debe mantener la misma forma en las vigas y soportes para que la estructura general sea armoniosa con el entorno.

#### Cronograma

Subsistema	No.	Descripción	Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización
<b>USO</b>	1	Debe poseer elementos de agarre manual en cada uno de los módulos que faciliten su manipulación.	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe tener un tablero de control con accionadores, de manera que permita al usuario frenar cada articulación individual o todas al mismo tiempo.			
	3	El movimiento de los brazos debe realizarse con poco esfuerzo físico por parte del usuario.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>		
	4	Debe tener un sistema de freno en cada uno de los acoples con luces leds de advertencia, para que el usuario comprenda cuando está frenado y cuando está disponible para ser manipulado.	<b>Diseñador industrial</b>		
	5	Debe tener señalización en las tomas de acceso rápido de gases y eléctricos.			
<b>FUNCION</b>	1	El(los) brazo(s) deben tener la opción de girar sobre un punto determinado.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe tener un módulo húmedo-seco (salida para gases medicinales y energía eléctrica) y otro solo seco (energía eléctrica).			
	3	El módulo seco debe soportar máximo los siguientes equipos: 1 MSV (15"), 3 bombas perfusoras y 3 bombas de infusión (de un solo canal).			
	4	El módulo seco debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	5	El módulo seco/húmedo debe soportar un ventilador mecánico pulmonar de máximo 30 cm de alto, 40 cm de ancho y 30 cm de profundo.			
	6	El módulo seco/húmedo debe contener un mueble para el almacenamiento de medicamentos.			
	7	El módulo seco/húmedo debe contener bandejas para apoyo en procedimiento (condicionado por el espacio ocupado por el ventilador).			
	8	Se debe inmovilizar los brazos por medio de un freno.			
	9	El módulo seco/húmedo debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	10	El panel eléctrico del módulo húmedo/seco debe contener al menos 8 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			

	11	El panel de gases debe contener al menos una salida de acceso rápido de oxígeno, una de aire medicinal y una toma de vacío, todas las salidas de tipo chemetron.			
	12	Comprobar por medio de simulación en videos (imágenes), que los diseños propuestos cumplen su función de movilidad, de construcción, de función y de ensamble en un ambiente real.			
	13	El panel eléctrico del módulo seco debe contener al menos 10 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			
<b>ERGONOMÍCOS</b>	1	Los paneles eléctricos y de gases, deben estar distribuidos en un rango entre 1 y 1,7 metros con respecto al suelo	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Las señales y etiquetas deben ser identificadas facilmente a una distancia de 1 mt.			
	3	La posición de los equipos debe ser acorde para su manipulación en los percentiles antropometricos del usuario.			
	4	La mayor altura de los controles debe ser 1.8 mts.			
<b>ESTRUCTURA</b>	1	Cada módulo debe soportar un máximo entre 100 y 150 Kg.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe tener freno de tipo electromagnético o neumático.			
	3	La estructura debe soportar todos los dispositivos medicos sin presentar inclinaciones en sus brazos o vigas.			
	4	El radio de giro de los brazos pivoteando en el empotramiento debe ser de al menos 2 metros.			
	5	El área interna de la sección transversal de la viga, debe contener todo el cableado eléctrico y de gases medicinales.			
	6	El sistema debe ser soportado por tener 4 vigas o brazos.			
	7	Debe tener 6 acoples en total, que permitan el movimiento rotacional entre vigas o brazos en un plano horizontal de 0 a 360° sin ningún tope mecánico.			
	8	El empotramiento se realizará en techos de concreto (Eje vertical) y con una distancia al techo falso entre 20 y 40 cm.			
	9	La estructura general debe pesar entre 150 y 200 Kg.			
<b>TÉCNICO - PRODUCTIVO</b>	1	Cada uno de los elementos deben tener características que les permitan ser ensamblados en una unica parte.	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Superficies lisas y pulidas para garantizar una fácil limpieza.			
	3	La estructura debe llevar un recubrimiento de pintura epóxica.			
	4	La materia prima principal de las estructuras debe ser aleaciones de acero y aluminio.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>		
	5	Superficies deben ser lisas y sin rebabas para no dañar al usuario o equipos.			
	6	La sección transversal de los brazos/vigas deben ser de igual en área, espesor y geometría.			
	7	La producción de todo el sistema debe ser realizable con la capacidad nacional en materia prima, mano de obra y maquinaria.			
	8	Se debe contar con un manual de servicio.	<b>Diseñador industrial</b>		
	9	Debe contener la identificación y características del producto en una etiqueta.			
	10	Se debe estandarizar el uso de tornillos y tuercas para todo el sistema, se debe contar con un máximo de 5 tipos.			
<b>MERCADO</b>	1	Se debe contar con un manual de uso.	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Se debe contar con un manual de imagen.			
	3	Debe contar con un empaque que lo protega de agentes externos, caídas de al menos 1 mt y movimientos bruscos.			

<b>FORMAL - ESTETICO</b>	1	Los acoples deberán estar forrados (ocultados) por medio de una carcasa definida por diseño, construida por inyección de plástico.	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe contener elementos con colores contrastantes que se presenten como anómalos en la composición general para llamar la atención.			
	3	La estructura debe ir en colores fríos o neutros que sean acordes para un entorno médico.			
	4	Se debe mantener la misma forma en las vigas y soportes para que la estructura general sea armoniosa con el entorno.			

<b>Presupuesto</b>							
<b>RUBROS</b>	<b>FUENTES</b>						<b>TOTAL</b>
	<b>ANO 1</b>		<b>ANO 2</b>		<b>ANO 3</b>		
	1ra Fuente	Contrapartida 2da Fuente	1ra Fuente	Contrapartida 2da Fuente	1ra Fuente	Contrapartida 2da Fuente	
Personal de apoyo	13000000						\$ 13.000.000
Equipos	0						\$ 0
Materiales	20000000						\$ 20.000.000
Software	0						\$ 0
Serv. Tecnolog	0						\$ 0
Consul Espec	2000000						\$ 2.000.000
Capacitación	0						\$ 0
Viajes	600000						\$ 600.000
Salida campo	0						\$ 0
Bibliografía	0						\$ 0
Difusion result	1000000						\$ 1.000.000
Propiedad Inte	10000000						\$ 10.000.000
Adecuac infraes	5000000						\$ 5.000.000
Certificaciones	0						\$ 0
Administración	0						\$ 0
<b>TOTAL DINERO</b>							<b>\$ 51.600.000</b>
<b>TOTAL PORCENT</b>							<b>0,00%</b>

Valores en especie año					
Valores en dinero año					

Diligenciado por:		Recibido a Satisfacción Solicitante:		Vo.Bo. Jefe D&D	
Nombre	Cargo	Nombre	Cargo		
Jose Arenas	Pract. Ing. Mecánica	Luis Javier Jaramillo			
Firma		Firma			
Jose Luis Arenas Vasquez c.c. 1098700780					

Modificaciones hechas a:			Observaciones		
Manual	[ ]	Software	[ ]		
Instructivo	[ ]	Otro	[ X ]	Inicio Proyecto	
Plano	[ ]				

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2014-04-07

Fecha de Revisión: 2014-04-07

**Anexo B. RDD-BIO-13 “Análisis general de idea propuesta para D&D”**

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 1 de 19	

Diseño y construcción de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos

*Bioingeniería*

**Documento  
Propiedad  
FCV**

**FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA  
FLORIDABLANCA - SANTANDER  
2014**

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>		FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Versión: 0	R-DDBIO-13
			Página 2 de 19	

## Diseño y construcción de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos

### 1. Resumen del proyecto

*Debe contener en no más de una página la información necesaria para entender en qué consiste el proyecto, y resultados esperados.*

*Evidentemente el espacio ocupado de la sala quirúrgica o UCI, es un factor importante a la hora de establecer que equipos se pueden llegar a albergar dentro de él, de manera que no se vea afectado el trabajo realizado por el profesional médico y de los auxiliares que son necesarios para llevar a cabo una labor de este tipo. Las columnas móviles hospitalarias ayudan a optimizar el espacio de trabajo en las salas de cirugía, además de mantener los cables eléctricos y las mangueras de los gases medicinales, fuera del entorno de la mesa quirúrgica, facilitan las labores médicas y aportan mayor seguridad en la colocación de equipos de monitorización, ventiladores, perfusores, bombas de infusión, aparatos de succión y demás dispositivos necesarios en un proceso quirúrgico, al mismo tiempo permite posicionar los equipos dentro del radio de giro que abarca la longitud de cada uno de los brazos que conforman la columna.*

*El marco de este proyecto se encamina en el diseño y desarrollo de prototipos mejorados de las columnas móviles hospitalarias, enfocándolas hacia un diseño con características modulares que permitan configurar cada sala de cirugía según las necesidades de equipamiento, asimismo buscar nuevos materiales para su construcción que aporten mejores características, principalmente en la resistencia.*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>		FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Versión: 0	R-DDBIO-13
			Página 3 de 19	

## 2. Planteamiento del problema

Se deberá argumentar las razones que motivan la realización del proyecto, explicando ¿por qué es conveniente llevar a cabo la ejecución del proyecto?, ¿para qué sirve?, ¿Cuál es su trascendencia para la sociedad?, ¿quiénes se beneficiarán con los resultados del proyecto?, ¿de qué modo? , ¿Qué alcance social tiene? y ¿cuáles serían los beneficios que se derivarían de él? (300 palabras)

*El trabajo en el quirófano es extenuante. Exige estar mucho tiempo de pie, movimiento constante y largos períodos de concentración, a menudo sin descansos. Un diseño inteligente puede reducir el estrés físico si disminuye la necesidad de caminar demasiado o utiliza superficies y sistemas de trabajo que reduzcan el esfuerzo excesivo sobre el esqueleto.*

*La eficiencia también describe el uso del tiempo. El flujo del personal (patrones de tráfico) y la forma como mueven el equipamiento y los implementos de un lado a otro afectan directamente la eficiencia con respecto al tiempo. El ahorro de tiempo es económicamente eficiente, asegura operaciones tranquilas y reduce el estrés.<sup>1</sup>*

*Para optimizar las salas de quirófano, se debe organizar en primera medida todos los equipos médicos que se requieren dentro de la sala, despejar el suelo de cualquier cantidad de cables o mangueras que hagan parte del funcionamiento de los equipos, lo que permite evitar accidentes por enredos o por desconexiones involuntarias de los mismos, las columnas móviles hospitalarias cumplen con estas funciones, además de brindar soporte y suministro de energía eléctrica y gases medicinales.*

<sup>1</sup> Instrumentación quirúrgica: teoría, técnicas y procedimientos. p. 67.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>		FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Versión: 0	R-DDBIO-13
			Página 4 de 19	

Como se menciona en [1], utilizar sistemas de trabajo que reduzcan el esfuerzo excesivo sobre la humanidad del usuario, pueden reducir el estrés físico, de manera que un equipo como la columna móvil que es la encargada de soportar, almacenar y colocar a la mano del personal médico presente, los diferentes equipos utilizados dentro de la sala quirúrgica y/o unidad de cuidados intensivos de una manera suave y sencilla, sería el dispositivo ideal y esencial para lograr una alta eficiencia en un procedimiento quirúrgico.

### 3. Justificación

Explicar por qué el proyecto debe ser financiado en términos de su significancia a las áreas científicas en las que se circunscribe.

Con el constante cambio de las necesidades sanitarias, y la exploración continua de entornos de trabajo más óptimos, pacientes y médicos requieren lo último en tecnología. El aprovechamiento de espacio, presenta la solución a los problemas de aglomeración en las diferentes áreas como el quirófano y la UCI que hoy en día exigen un cambio, por este motivo los profesionales necesitan un recurso que organice todos los dispositivos de una forma óptima.

En la actualidad, Colombia no cuenta con ningún tipo de industria que pueda suplir necesidades, con relación a la creación de nuevas tecnologías médicas que se encuentran incursionando en el campo, lo que conlleva a considerar la importación como única solución para obtener este tipo de tecnología.

La importación de equipos de cualquier naturaleza, además de prolongar el consumismo Colombiano, disminuir la producción y debilitar la economía, genera problemas de adaptación frente al funcionamiento del equipo por la falta de capacitación del usuario, costos elevados de adquisición, problemas de soporte técnico permanente y oportuno, daños y pérdida de piezas en el proceso de transporte, originando incomodidad en el cliente y el usuario; simultáneamente

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 5 de 19	

obstruye el camino de convertirlo en un nación generadora de conocimiento y tecnología.

A sí mismo con la realización de este proyecto, La Fundación Cardiovascular de Colombia y Bioingeniería FCV se consolidarían como pioneros Nacionales en el desarrollo de columnas móviles hospitalarias para las áreas de cirugía y las unidades de cuidados intensivos.

#### **4. Objetivos (Generales y específicos)**

En este punto se expresa el fin, lo que se pretende alcanzar con la elaboración del proyecto por medio de la respuesta a estos interrogantes: ¿Qué se quiere hacer? ¿Qué se pretende alcanzar? ¿Qué compromisos se van a adquirir?

Es importante tener claro que los objetivos deben ser viables, coherentes con el problema planteado y los objetivos específicos sean necesarios para lograr el objetivo general

##### **Objetivo General**

Diseñar y construir un sistema de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos.

##### **Objetivos Específicos**

- ✓ Diseñar una columna móvil con las siguientes características:
  - La columna deberá estar conformada por 4 vigas
  - El radio de alcance por cada par de brazos, deberá ser de 2 metros.
  - El rango de capacidad de carga deberá ser desde 0 a 400 kilogramos
  - Rango de giro en plano horizontal, de 0 a 360°
  - Debe contener dos módulos para el soporte de equipos y/o suministro de gases y/o energía eléctrica.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 6 de 19	

- *El sistema de fijación deberá realizarse sobre una estructura metálica, con una distancia a techo falso entre 20 y 30 cm*
- ✓ *Diseñar un módulo para el suministro de energía eléctrica (denominado seco, con un rango de tomas de corriente entre 0 y 20) y un módulo para el suministro de energía eléctrica y gases medicinales (denominado seco/húmedo, con 2 tomas para oxígeno, 2 para aire medicinal y 1 para vacío), donde cada uno deberá soportar desde 0 a 200 kilogramos.*

### **5. Estado del arte**



*Se debe considerar de manera detallada la competencia actual existente en el campo en que se va a desarrollar el proyecto revisando igualmente los productos similares o iguales al prototipo resultante del desarrollo de este proyecto teniendo en cuenta los precios en el mercado. Igualmente se debe realizar un análisis de los factores innovadores o diferenciadores del prototipo resultado del proyecto con respecto a los productos que se encuentran actualmente en el mercado.*

*Como primera medida, todas las columnas móviles que se revisaron hacen parte del mercado Internacional como ya se había mencionado anteriormente. Se proponen cuatro entidades con algunas de las columnas móviles ofrecidas por los mismos, se encuentran clasificadas en tablas de manera que se muestran las características principales y más asequibles que se pueden obtener de internet y catálogos de los fabricantes.*

*Son limitados las especificaciones que se pueden conseguir de las columnas debido a que son equipos complejos y son pocas las entidades reconocidas que las construyen.*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 1. Columnas móviles "Dräger"

 Citado de www.drager.com	Unidad de suministro de techo Agila	Quirófano híbrido Pendula	Unidad de suministro de techo Agila EasyLift
			
Capacidad de carga	Soporte 120 Kg	Soporte 300 Kg	Elev. 80 Kg y soporte 120 Kg
Longitud de los brazos	500 mm - 1250 mm	500 mm - 1250 mm	500 mm - 1250 mm
Número de brazos	2	4	2
Rotación de los brazos	0 a 330°	0 a 330°	0 a 330°
Elementos modulares	Si	Si	Si
Tomas eléctricas y de gases	Máx 51	Máx 80	Máx 51
Sistema de frenos	No	Neumático	No

En la figura 1, observamos tres tipos de columna móvil ofrecidas por Dräger; en este cuadro se destacan características como capacidad de carga, longitud de los brazos, número de brazos, rotación de los brazos, número de tomas eléctricas y de gases medicinales y el medio de sistema de freno, de cada tipo de columna ofrecida. La máxima capacidad de carga la brinda la columna de 4 brazos, debido a que cuenta con dos módulos y por lo tanto la fuerza total se divide; para los otros dos modelos se tienen capacidades inferiores con un máximo de 120 kilogramos. En el apartado de la longitud de los brazos, todas cuentan con los mismos rangos; y para las tomas eléctricas y de gases medicinales, proporcionan un amplio servicio principalmente de tomas eléctricas.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 2. Columnas móviles "Starkstrom"

	5300 Multi - Movement Theatre Pendant	5400 Proteus Theatre Pendant	5500 Proteus Critical Care Pendant
 Citado de <a href="http://www.starkstrom.com">www.starkstrom.com</a>			
Capacidad de carga	90 Kg	150 Kg	150 Kg por cada brazo
Longitud de los brazos	600 mm - 800 mm	600 mm - 800 mm	600 mm - 800 mm
Número de brazos	2	2	4
Rotación de los brazos	0 a 330°	0 a 330°	0 a 330°
Elementos modulares	No	Si	Si
Tomas eléctricas y de gases	7 Gas - 16 Elec	11 Gas - 50 Elec.	12 Gas - 50 Elec.
Sistema de frenos	Neumático	Neumático	Neumático

En la figura 2, se muestran tres tipos de columna ofrecidos por Starkstrom; a comparación con las ofrecidas por Dräger, la capacidad de carga se mantiene aproximadamente constante en cada uno de los modelos. Las longitudes disponibles para seleccionarlas están en un rango más corto, lo que generaría alcances más cortos en el radio de giro, pero sería generoso con relación a la capacidad de carga. Para el tipo de perfil, se maneja una sección transversal circular, presentando un diseño muy diferente al que comúnmente se utiliza, generando un aspecto agradable e innovador. Con respecto al número de tomas eléctricas, se puede observar que el mínimo son 16 y el máximo 50, lo que representaría una gran cantidad de equipos que pueden estar conectados a ella.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 9 de 19	

Figura 3. Columnas móviles "Tediselmedical"

tediselmedical	Columna de Brazo simple TDS400 - TDS 600	Columna ICON-5 TDS600 - TDS400	Columna de medios
Citado de <a href="http://www.tediselmedical.com">www.tediselmedical.com</a>			
Capacidad de carga	260Kg a 1000 Kg	260Kg a 440 Kg	260Kg a 800 Kg
Longitud de los brazos	600 mm - 1200 mm	600 mm - 1200 mm	600 mm - 1200 mm
Número de brazos	1	2	4
Rotación de los brazos	0 a 340°	0 a 340°	0 a 340°
Elementos modulares	SI	SI	SI
Tomas eléctricas y de gases	Max. 20	10 Elec - 8 Gas	Max. 30
Sistema de frenos	Mecánico o Neumático	Mecánico o Neumático	Mecánico

En la figura 3, están tres tipos de columna ofrecidas por tediselmedical. En este cuadro se observa una gran capacidad de carga para la columna de 1 solo brazo (hasta 1000 Kg), para las de 2 y 4 brazos se tienen capacidades menores, debido a la longitud de sus brazos es mayor y por lo tanto su capacidad de carga se puede ver disminuida. Con respecto a el perfil del brazo, se tiene una geometría rectangular (comercial), la cual es amigable con el ensamble entre los componentes de la columna por contar superficies planas. El rango de longitud de los brazos se mantiene constante para todas las columnas y el número de tomas eléctricas es bastante generoso en cada uno de los modelos.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 4. Columnas móviles "Amico"

 Citado de <a href="http://www.amico.com/es">www.amico.com/es</a>	<b>Electronic Articulating Ceiling Pendant</b>	<b>Integrated Patient Lift Pendant</b>
		
Capacidad de carga	90 Kg	349 Kg
Longitud de los brazos	800 mm – 1200 mm	800 mm – 1200 mm
Número de brazos	2	4
Rotación de los brazos	340° (Hor) – 45° (Vert)	0 a 340°
Elementos modulares	Si	Si
Tomas eléctricas y de gases	8 Cas – 6 Elec	Máx 30
Sistema de frenos	Eléctrico	Neumático – Eléctrico

En la figura 4, encontramos dos tipos de columna ofrecidas por AMICO. Para la primera por tener desplazamiento en plano vertical, la capacidad de carga disminuye y por el contrario el segundo modelo acepta una mayor capacidad de carga ya que solo genera movimiento de rotación de los brazos en plano horizontal. Esta capacidad de carga, se ve reflejada en las dimensiones del perfil de brazo, ya que se presenta un perfil más ordinario, pero comercial (rectangular). Con respecto a las tomas eléctricas y de gases del primer modelo, podemos deducir que por ofrecer un módulo de dimensiones más cortas, estaría dedicado solamente al suministro de estas magnitudes, al contrario que en el segundo

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 11 de 19	

*modelo, que se cuenta con dos módulos de mayores dimensiones por lo que se puede contar con un número de tomas más generoso.*

**Dentro de los posibles factores innovadores o que pueden marcar la diferencia, se destacan los siguientes:**

- *Giro en el plano horizontal de cada uno de sus brazos en un rango de 0 a 360°*
- *Indicadores de movimiento (Luces LED) en cada uno de los brazos, que permitan percatarse de cual brazo está disponible para ser manipulado y cual se encuentra fijo.*
- *El área transversal del brazo (Perfil de la viga), estará diseñado de manera que no esté asociado a geometrías simples (En un 80% se tienen perfiles rectangulares), y cuidando su complejidad para poder ser fabricado y posteriormente ensamblado.*

#### **6. Metodología**

*Se deben precisar de manera clara y secuencial las etapas en las que se planea llevar a cabo el proyecto, especificando la forma como se alcanzarán los objetivos propuestos. Esta etapa es fundamental para la definición de los recursos requeridos para el desarrollo del proyecto. También debe ser consistente con la revisión realizada en el marco teórico.*

*Para llevar a término el desarrollo de este proyecto, se plantea la siguiente metodología aplicada al diseño y desarrollo de las columnas móviles hospitalarias, de manera que pueda ser llevado a cabo organizadamente y las diferentes etapas puedan ser evidenciadas.*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 12 de 19	

1. **Identificación del problema:** Esta sección comprende la primera etapa de la metodología que se desarrollara para llevar a término el proyecto. Durante esta fase, se establecerán especificaciones preliminares que nacerán de la socialización entre el grupo de diseño y el personal médico del Instituto del Corazón de Floridablanca (ICF), siendo este último el principal beneficiario
2. **Documentación:** Dentro de esta etapa, se explorara el funcionamiento de este tipo de dispositivo biomédico, basándose en los productos ofrecidos por la competencia, de manera que el grupo de diseño pueda consolidar las especificaciones preliminares ya establecidas y puedan dar origen a unas especificaciones más detalladas. Además se deberá buscar todo tipo de normas nacionales o internacionales con referencia al desarrollo de este tipo de dispositivos.
3. **Requerimientos Técnicos:** Este tipo de requerimiento estará descrito de manera detallada para todo el desarrollo del proyecto, especificando cargas a soportar, longitudes de los brazos que conforman la columna, sistemas de accionamiento para el movimiento de los brazos, entre otros que se requieran para el desarrollo del equipo, de igual manera conformaran la base para la verificación de las siguientes etapas.
4. **Diseño Conceptual:** Se realizarán bocetos para el desarrollo de los primeros conceptos de la columna, de manera que se pueda realizar una identificación preliminar de los componentes y accesorios por los cuales está conformada, de igual forma se modelaran estos bosquejos en un software CAD, con el propósito de visualizar la funcionalidad de los mismos.
5. **Evaluación de propuestas:** Para la evaluación de las propuestas

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 13 de 19	

generadas en el diseño conceptual, se tendrán en cuenta los requerimientos técnicos ya planteados, lo que permitirá descartar o aprobar los modelos generados anteriormente.

6. **Propuestas seleccionadas:** Los modelos escogidos según la evaluación de propuestas, serán sometidos al denominado análisis de ingeniería (simulación de esfuerzos y deformaciones, método de los elementos finitos o un análisis matemático) y como complemento se realizara un análisis del ensamble, que permita determinar un modelo mejorado.
7. **Primera etapa del diseño preliminar:** Para esta primera etapa, se identificarán los componentes que se van a diseñar y los componentes que tienen que ser seleccionados, de manera que los últimos se escogerán de catálogos principalmente del mercado Nacional, teniendo en cuenta la confiabilidad y calidad del componente. Para las piezas diseñadas, se tendrá que realizar una exploración de si existen o no, normas que gobiernen parámetros de diseño para el desarrollo de estas.
8. **Segunda etapa del diseño preliminar:** En esta fase, se contará con un modelo al cual se le realizará de nuevo un análisis de ingeniería que permita verificar la viabilidad del mismo, además se recurrirá a una evaluación basada en los requerimientos técnicos lo cual permita corroborar el cumplimiento.
9. **Diseño final:** Como resultado de la segunda etapa del diseño preliminar, se obtendrá un modelo final de las columnas móviles, al cual se le realizara una análisis DFA que permita establecer un método sencillo para ensamblar todas las piezas que conforman el equipo, y un análisis DFM, el cual está basado en la reducción de costos de manufactura para las piezas que tienen que ser diseñadas (procesos de manufactura sencillos y por lo tanto

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 14 de 19	

económicos).

**10. Diseño en detalle:** Los entregables de esta fase, serán todo lo referente a planos detallados de las piezas para la construcción, planos de ensamble del equipo, informes finales de las simulaciones que permitan verificar la confiabilidad del sistema y especificaciones técnicas del equipo.

**11. Construcción Prototipo:** Para la construcción del primer prototipo, se hace uso de los planos detallados que se obtuvieron en la fase anterior, posteriormente se evaluará y se le realizarán las pruebas establecidas por la norma "Medical supply units" (BS EN 11197:2004).

**12. Análisis de resultados:** En esta fase, se acudirá a la norma BS EN 11197:2004 para revisar los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas y así establecer el cumplimiento de los parámetros allí planteados.

**13. Prototipo Mejorado:** Esta etapa es el resultado de las mejoras y correcciones que se plantearon teniendo como base el análisis de los resultados obtenidos, además se acude a la verificación de los requerimientos técnicos ya planteados al inicio del proyecto, para comprobar nuevamente el cumplimiento de los mismos.

La elaboración de prototipos se realiza, hasta que se cuente con un producto final que cumpla en primera instancia con la norma ya mencionada y con los requisitos técnicos anteriormente planteados.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>		FCV BIOINGENIERIA	
			Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO			Página 15 de 19	

### 7. Presupuesto General

RUBROS	FUENTES						TOTAL
	AÑO 1		AÑO 2		AÑO 3		
	1ra Fuente	Contrapartida	1ra Fuente	Contrapartida	1ra Fuente	Contrapartida	
		2da Fuente		2da Fuente		2da Fuente	
Personal de apoyo	13.000.000						\$ 13.000.000
Equipos							\$ 0
Materiales	20.000.000						\$ 20.000.000
Software							\$ 0
Serv. Tecnolog.							\$ 0
Consultas Especiales	2.000.000						\$ 2.000.000
Capacitación							\$ 0
Viajes	600.000						\$ 600.000
Salidas de campo							\$ 0
bibliografía							\$ 0
Difusión resultante	1.000.000						\$ 1.000.000
Propiedad Intel	10.000.000						\$ 10.000.000
Adecuación Infraestruct.	5.000.000						\$ 5.000.000
Certificaciones							\$ 0
Administración							\$ 0
<b>TOTAL</b>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 51.600.000

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 16 de 19	

### 7.1 Costo aproximado de venta del producto terminado

Para determinar el costo de venta del producto, se tomara como referencia el costo de venta de la competencia y se definirá el costo del prototipo como una inversión que se recuperara a largo plazo.

### 8. ANÁLISIS DEL MERCADO

Se debe hacer una revisión general del mercado, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- *Mercado meta:* Se relaciona con las necesidades que se tiene de seleccionar un segmento del mercado o grupo de consumidores a los cuales se quiere llegar con el producto.
- *Clientes potenciales:* Son aquellos quienes son visualizados como clientes en el futuro porque tienen la disposición necesaria, el poder de compra y la posible necesidad para adquirir el producto. Este tipo de clientes son los que se podrían considerar como la fuente de ingresos en el futuro.
- *Intención de compra:* Aspectos a tener en cuenta para que el cliente prefiera el producto por encima de los de la competencia.
- *Preferencia sobre características del producto:* Realizar un pequeño análisis de los productos líderes en el mercado que permita identificar los principales atributos y características que puedan influir en la preferencia de compra de los clientes.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 17 de 19	

- *Inicialmente el proyecto está enfocado para equipar las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos del Hospital Internacional de Colombia.*
- *De igual forma, se puede especular que los clientes potenciales para este producto son las instituciones prestadoras de salud (IPS) y hospitales que incluyan servicios quirúrgicos y de cuidados intensivos que requieran optimizar el espacio y despejar la zona de trabajo de cables y mangueras utilizadas para el suministro de energía eléctrica y gases medicinales respectivamente, además del soporte de los equipos de monitorización; estos establecimientos no solo se piensan a nivel de la región, sino que la visión que se tiene es llevarlos a un nivel superior como lo es el nacional inicialmente.*
- *Un motivo para adquirir este equipo, hace referencia con el desarrollo nacional del mismo, es decir, que todos y cada uno de sus componentes serán fabricados y/o seleccionados nacionalmente; lo que conlleva a contar con un soporte técnico y de mantenimiento a la mano.*
- *Adicionalmente, la rotación de 360° en cada uno de los brazos y los módulos, brindará una mayor libertad de movimiento de la columna, generando facilidad para el posicionamiento de los equipos, sin implicar el lugar de fijación.*
- *Algunos aspectos a tener en cuenta, involucran el confort en aquellos ambientes donde la tensión es natural, por este motivo algunos de estos equipos disponen de un sistema que permite la reproducción de audio, adicionando un valor agregado que posiblemente ayudaría a la selección del equipo.*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-13
		Página 18 de 19	

### 9. Bibliografía

Relacione todas las fuentes utilizadas en el documento.

- [http://www.draeger.com/sites/es\\_csa/Pages/Hospital/Advisor.aspx?navID=1796](http://www.draeger.com/sites/es_csa/Pages/Hospital/Advisor.aspx?navID=1796)
- <http://www.starkstrom.com/products/operating-room/clinical-pendants/>
- <http://tediselmedical.com/productos/quirofanos/columnas/>
- <http://www.amico.com/products/or-lights-and-boomspendants>

**Aprobado Por:**

---

**Jefe de D&D**  
**FCV Bioingeniería.**

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>ANÁLISIS GENERAL DE IDEA PROPUESTA PARA D&amp;D</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-13
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 19 de 19	

\_\_\_\_\_  
**Gerente**  
**FCV Bioingeniería.**

Documento  
 Propiedad  
 FCV

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

**Anexo C. RDD-BIO-14 “Redacción y aprobación de proyecto CT+i”**

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 0	R-DDBIO-14
PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO		Página 1 de 18	

*Diseño y construcción de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos*

*Bioingeniería*

*Equipo de trabajo*

*Lina Viviana Sanabria Villamizar..... Gerente Bioingeniería*  
*Luis Javier Jaramillo.....*  
*Leonardo Andrés Rodríguez Salazar..... Jefe D&D Bioingeniería*  
*Eugenio Sarmiento Caballero..... Diseñador Industrial*  
*Edwing Ignacio Mosquera Cuesta..... Diseñador Industrial*  
*Lesly Yisset Landazabal Rodríguez..... Pract. Ingeniería Mecánica*  
*Jose Luis Arenas Vásquez..... Pract. Ingeniería Mecánica*

FUNDACIÓN CARDIOVASCULAR DE COLOMBIA  
 FLORIDABLANCA - SANTANDER  
 2014

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 2 de 18	

*Diseño y construcción de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos*

### 1. Resumen del proyecto

*Debe contener en no más de una página (500 palabras) la información necesaria para darle al lector una idea precisa de la pertinencia y calidad proyecto. Síntesis del problema, el marco teórico, objetivos, metodología y resultados esperados.*

*Evidentemente el espacio ocupado de la sala quirúrgica o UCI, es un factor importante a la hora de establecer que equipos se pueden llegar a albergar dentro de él, de manera que no se vea afectado el trabajo realizado por el profesional médico y de los auxiliares que son necesarios para llevar a cabo una labor de este tipo. Las columnas móviles hospitalarias ayudan a optimizar el espacio de trabajo en las salas de cirugía, además de mantener los cables eléctricos y las mangueras de los gases medicinales, fuera del entorno de la mesa quirúrgica, facilitan las labores médicas y aportan mayor seguridad en la colocación de equipos de monitorización, ventiladores, perfusores, bombas de infusión, aparatos de succión y demás dispositivos necesarios en un proceso quirúrgico, al mismo tiempo permite posicionar los equipos dentro del radio de giro que abarca la longitud de cada uno de los brazos que conforman la columna.*

*El marco de este proyecto se encamina en el diseño y desarrollo de prototipos mejorados de las columnas móviles hospitalarias, enfocándolas hacia un diseño con características modulares que permitan configurar cada sala de cirugía según las necesidades de equipamiento, asimismo buscar nuevos materiales para su construcción que aporten mejores características, principalmente en la resistencia.*

### 2. Planteamiento del problema

*(3000 palabras) Es fundamental formular claramente la pregunta concreta que se quiere responder, en el contexto del problema a cuya solución o entendimiento se contribuirá con la ejecución de proyecto. Se recomienda además, hacer una descripción precisa y completa de la naturaleza y magnitud del problema, así como justificar la necesidad de la investigación en función del desarrollo del país o de su pertinencia a mundial.*

*El trabajo en el quirófano es extenuante. Exige estar mucho tiempo de pie, movimiento constante y largos períodos de concentración, a menudo sin descansos. Un diseño inteligente puede reducir el estrés físico si disminuye la necesidad de caminar demasiado o utiliza superficies y sistemas de trabajo que reduzcan el esfuerzo excesivo sobre el esqueleto.*

*La eficiencia también describe el uso del tiempo. El flujo del personal (patrones de tráfico) y la forma como mueven el equipamiento y los implementos de un lado a otro afectan directamente la eficiencia*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: <b>DISEÑO Y DESARROLLO</b>	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 3 de 18	

con respecto al tiempo. El ahorro de tiempo es económicamente eficiente, asegura operaciones tranquilas y reduce el estrés.<sup>1</sup>

Para optimizar las salas de quirófano, se debe organizar en primera medida todos los equipos médicos que se requieren dentro de la sala, despejar el suelo de cualquier cantidad de cables o mangueras que hagan parte del funcionamiento de los equipos, lo que permite evitar accidentes por enredos o por desconexiones involuntarias de los mismos, las columnas móviles hospitalarias cumplen con estas funciones, además de brindar soporte y suministro de energía eléctrica y gases medicinales.

Como se menciona en [1], utilizar sistemas de trabajo que reduzcan el esfuerzo excesivo sobre la humanidad del usuario, pueden reducir el estrés físico, de manera que un equipo como la columna móvil que es la encargada de soportar, almacenar y colocar a la mano del personal médico presente, los diferentes equipos utilizados dentro de la sala quirúrgica y/o unidad de cuidados intensivos de una manera suave y sencilla, sería el dispositivo ideal y esencial para lograr una alta eficiencia en un procedimiento quirúrgico.

### 3. Justificación

Explicar por qué el proyecto debe ser financiado en términos de su significancia a las áreas científicas en las que se circunscribe.

Con el constante cambio de las necesidades sanitarias, y la exploración continua de entornos de trabajo más óptimos, pacientes y médicos requieren lo último en tecnología. El aprovechamiento de espacio, presenta la solución a los problemas de aglomeración en las diferentes áreas como el quirófano y la UCI que hoy en día exigen un cambio, por este motivo los profesionales necesitan un recurso que organice todos los dispositivos de una forma óptima.

En la actualidad, Colombia no cuenta con ningún tipo de industria que pueda suplir necesidades, con relación a la creación de nuevas tecnologías médicas que se encuentran incursionando en el campo, lo que conlleva a considerar la importación como única solución para obtener este tipo de tecnología.

La importación de equipos de cualquier naturaleza, además de prolongar el consumismo Colombiano, disminuir la producción y debilitar la economía, genera problemas de adaptación frente al funcionamiento del equipo por la falta de capacitación del usuario, costos elevados de adquisición, problemas de soporte técnico permanente y oportuno, daños y pérdida de piezas en el proceso de transporte, originando incomodidad en el cliente y el usuario; simultáneamente obstruye el camino de convertirlo en un nación generadora de conocimiento y tecnología.

A sí mismo con la realización de este proyecto, La Fundación Cardiovascular de Colombia y Bioingeniería FCV se consolidarían como pioneros Nacionales en el desarrollo de columnas móviles hospitalarias para las áreas de cirugía y las unidades de cuidados intensivos.

<sup>1</sup> Instrumentación quirúrgica: teoría, técnicas y procedimientos. p. 67.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 4 de 18	

#### 4. Objetivo General

(500 palabras) Deben mostrar una relación clara y consistente con la descripción del problema y, específicamente, con las preguntas o hipótesis que se quieren resolver. La formulación de objetivos claros y viables constituye una base importante para juzgar el resto de la propuesta y, además, facilita la estructuración de la metodología. Se recomienda formular un solo objetivo general, coherente con el problema planteado, y los objetivos específicos necesarios para lograr el objetivo general.

Diseñar y construir un sistema de columnas móviles hospitalarias para las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos.

##### 4.1 Objetivos Específicos

- ✓ Diseñar una columna móvil con las siguientes características:
  - La columna deberá estar conformada por 4 vigas
  - El radio de alcance por cada par de brazos, deberá ser de 2 metros
  - El rango de capacidad de carga deberá ser desde 0 a 400 Kilogramos
  - Rango de giro en plano horizontal de cada una de las vigas, de 0 a 360°
  - Debe contener dos módulos para el soporte de equipos y suministro de gases y/o energía eléctrica.
  - El sistema de fijación deberá realizarse sobre una estructura metálica, con una distancia a techo falso entre 20 y 30 cm
- ✓ Diseñar un módulo para el suministro de energía eléctrica (denominado seco, con un rango de tomas de corriente entre 0 y 20) y un módulo para el suministro de energía eléctrica y gases medicinales (denominado seco/húmedo, con 2 tomas para oxígeno, 2 para aire medicinal y 1 para vacío), donde cada uno deberá soportar desde 0 a 200 kilogramos.

#### 5. Marco teórico y/o estado del arte





Sintetice el contexto general en el cual se ubica el tema de la propuesta, estado actual del conocimiento del problema, brechas que existen y vacío que se quiere llenar con el proyecto. Resumir la estructura que ordena la revisión de la literatura o, estado de arte, realizado. Contextualizar los antecedentes en donde se explique si se ha trabajado anteriormente en el proyecto, es decir si este proyecto es la continuación o complementación de otro anterior. En el estado del arte se debe colocar los posibles competidores con productos similares especificando su costo comercial (si es posible respaldado con cotizaciones) y sus características.

Como primera medida, todas las columnas móviles que se revisaron hacen parte del mercado Internacional como ya se había mencionado anteriormente. Se proponen cuatro entidades con algunas de las columnas

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

móviles ofrecidas por los mismos, se encuentran clasificadas en tablas de manera que se muestran las características principales y más asequibles que se pueden obtener de internet y catálogos de los fabricantes. Son limitadas las especificaciones que se pueden conseguir de las columnas debido a que son equipos complejos y son pocas las entidades reconocidas que las construyen.

Figura 1. Columnas móviles "Dräger"

	Unidad de suministro de techo Agila	Quirófano híbrido Pendula	Unidad de suministro de techo Agila EasyLift
			
Citado de <a href="http://www.drager.com">www.drager.com</a>			
<b>Capacidad de carga</b>	Soporte 120 Kg	Soporte 300 Kg	Elev. 80 Kg y soporte 120 Kg
<b>Longitud de los brazos</b>	500 mm - 1250 mm	500 mm - 1250 mm	500 mm - 1250 mm
<b>Número de brazos</b>	2	4	2
<b>Rotación de los brazos</b>	0 a 330°	0 a 330°	0 a 330°
<b>Elementos modulares</b>	SI	SI	SI
<b>Tomas eléctricas y de gases</b>	Máx 5I	Máx 80	Máx. 5I
<b>Sistema de frenos</b>	No	Neumático	No

En la figura 1, observamos tres tipos de columna móvil ofrecidas por Dräger [1]; en este cuadro se destacan características como capacidad de carga, longitud de los brazos, número de brazos, rotación de los brazos, número de tomas eléctricas y de gases medicinales y el medio de sistema de freno, de cada tipo de columna ofrecida. La máxima capacidad de carga la brinda la columna de 4 brazos, debido a que cuenta con dos módulos y por lo tanto la fuerza total se divide; para los otros dos modelos se tienen capacidades inferiores con un máximo de 120 kilogramos. En el apartado de la longitud de los brazos, todas cuentan con los mismos rangos; y para las tomas eléctricas y de gases medicinales, proporcionan un amplio servicio principalmente de tomas eléctricas.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 2. Columnas móviles "Starkstrom"

 Citado de <a href="http://www.starkstrom.com">www.starkstrom.com</a>	<b>5300 Multi - Movement Theatre Pendant</b>	<b>5400 Proteus Theatre Pendant</b>	<b>5500 Proteus Critical Care Pendant</b>
			
Capacidad de carga	90 Kg	150 Kg	150 Kg por cada brazo
Longitud de los brazos	600 mm - 800 mm	600 mm - 800 mm	600 mm - 800 mm
Número de brazos	2	2	4
Rotación de los brazos	0 a 330°	0 a 330°	0 a 330°
Elementos modulares	No	Sí	Sí
Tomas eléctricas y de gases	7 Gas - 16 Elec	11 Gas - 50 Elec.	12 Gas - 50 Elec.
Sistema de frenos	Neumático	Neumático	Neumático

En la figura 2, se muestran tres tipos de columna ofrecidos por Starkstrom [2]; a comparación con las ofrecidas por Dräger, la capacidad de carga se mantiene aproximadamente constante en cada uno de los modelos. Las longitudes disponibles para seleccionarlas están en un rango más corto, lo que generaría alcances más cortos en el radio de giro, pero sería generoso con relación a la capacidad de carga. Para el tipo de perfil, se maneja una sección transversal circular, presentando un diseño muy diferente al que comúnmente se utiliza, generando un aspecto agradable e innovador. Con respecto al número de tomas eléctricas, se puede observar que el mínimo son 16 y el máximo 50, lo que representaría una gran cantidad de equipos que pueden estar conectados a ella.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 3. Columnas móviles "Tediselmedical"

	Columna de Brazo simple TD5400 - TD5 600	Columna ICON-5 TD5600 - TD5400	Columna de medios
			
Citado de <a href="http://www.tediselmedical.com">www.tediselmedical.com</a>			
Capacidad de carga	260Kg a 1000 Kg	260Kg a 440 Kg	260Kg a 800 Kg
Longitud de los brazos	600 mm - 1200 mm	600 mm - 1200 mm	600 mm - 1200 mm
Número de brazos	1	2	4
Rotación de los brazos	0 a 340°	0 a 340°	0 a 340°
Elementos modulares	Si	Si	Si
Tomas eléctricas y de gases	Max. 20	10 Elec - 8 Gas	Max. 30
Sistema de frenos	Mecánico o Neumático	Mecánico o Neumático	Mecánico

En la figura 3, estan tres tipos de columna ofrecidas por tediselmedical [3]. En este cuadro se observa una gran capacidad de carga para la columna de 1 solo brazo (hasta 1000 Kg), para las de 2 y 4 brazos se tienen capacidades menores, debido a la longitud de sus brazos es mayor y por lo tanto su capacidad de carga se puede ver disminuida. Con respecto a el perfil del brazo, se tiene una geometria rectangular (comercial), la cual es amigable con el ensamble entre los componentes de la columna por contar superficies planas. El rango de longitud de los brazos se mantiene constante para todas las columnas y el número de tomas eléctricas es bastante generoso en cada uno de los modelos.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

Figura 4. Columnas móviles "Amico"

	<b>Electronic Articulating Ceiling Pendant</b>	<b>Integrated Patient Lift Pendant</b>
		
Citado de <a href="http://www.amico.com/es">www.amico.com/es</a>		
Capacidad de carga	90 Kg	349 Kg
Longitud de los brazos	800 mm – 1200 mm	800 mm – 1200 mm
Número de brazos	2	4
Rotación de los brazos	340° (Hor) - 45° (Vert)	0 a 340°
Elementos modulares	Sí	Sí
Tomas eléctricas y de gases	8 Gas – 6 Elec	Máx 30
Sistema de frenos	Eléctrico	Neumático – Eléctrico

En la figura 4, encontramos dos tipos de columna ofrecidas por AMICO [4]. Para la primera por tener desplazamiento en plano vertical, la capacidad de carga disminuye y por el contrario el segundo modelo acepta una mayor capacidad de carga ya que solo genera movimiento de rotación de los brazos en plano horizontal. Esta capacidad de carga, se ve reflejada en las dimensiones del perfil de brazo, ya que se presenta un perfil más ordinario, pero comercial (rectangular). Con respecto a las tomas eléctricas y de gases del primer modelo, podemos deducir que por ofrecer un módulo de dimensiones más cortas, estaría dedicado solamente al suministro de estas magnitudes, al contrario que en el segundo modelo, se cuenta con dos módulos de mayores dimensiones por lo que se puede contar con un número de tomas más generoso.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 9 de 18	

## 6. Metodología

(3000 palabras) Se deberá mostrar, en forma organizada y precisa, cómo será alcanzado cada uno de los objetivos específicos propuestos. La metodología debe reflejar la estructura lógica y el rigor científico del proceso de investigación, empezando por la elección de un enfoque metodológico específico y finalizando con la forma como se van a analizar, interpretar y presentar los resultados. Deben detallarse los procedimientos, técnicas, actividades y demás estrategias metodológicas requeridas para la investigación. Deberá indicarse el proceso a seguir en la recolección de la información, así como en la organización, sistematización y análisis de los datos.

Para llevar a término el desarrollo de este proyecto, se plantea la siguiente metodología aplicada al diseño y desarrollo de las columnas móviles hospitalarias, de manera que pueda ser llevado a cabo organizadamente y las diferentes etapas puedan ser evidenciadas.

1. **Identificación del problema:** Esta sección comprende la primera etapa de la metodología que se desarrollara para llevar a término el proyecto. Durante esta fase, se establecerán especificaciones preliminares que nacerán de la socialización entre el grupo de diseño y el personal médico del Instituto del Corazón de Floridablanca (ICF), siendo este último el principal beneficiario.
2. **Documentación:** Dentro de esta etapa, se explorará el funcionamiento de este tipo de dispositivo biomédico, basándose en los productos ofrecidos por la competencia, de manera que el grupo de diseño pueda consolidar las especificaciones preliminares ya establecidas y puedan dar origen a unas especificaciones más detalladas. Además se deberá buscar todo tipo de normas nacionales o internacionales con referencia al desarrollo de este tipo de dispositivos.
3. **Requerimientos Técnicos:** Este tipo de requerimiento estará descrito de manera detallada para todo el desarrollo del proyecto, especificando cargas a soportar, longitudes de los brazos que conforman la columna, sistemas de accionamiento para el movimiento de los brazos, entre otros que se requieran para el desarrollo del equipo, de igual manera conformarán la base para la verificación de las siguientes etapas.
4. **Diseño Conceptual:** Se realizarán bocetos para el desarrollo de los primeros conceptos de la columna, de manera que se pueda realizar una identificación preliminar de los componentes y accesorios por los cuales está conformada, de igual forma se modelarán estos bosquejos en un software CAD, con el propósito de visualizar la funcionalidad de los mismos.
5. **Evaluación de propuestas:** Para la evaluación de las propuestas generadas en el diseño conceptual, se tendrán en cuenta los requerimientos técnicos ya planteados, lo que permitirá descartar o aprobar los modelos generados anteriormente.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 10 de 18	

6. **Propuestas seleccionadas:** Los modelos escogidos según la evaluación de propuestas, serán sometidos al denominado análisis de ingeniería (simulación de esfuerzos y deformaciones, método de los elementos finitos o un análisis matemático) y como complemento se realizará un análisis del ensamble, que permita determinar un modelo mejorado.
7. **Primera etapa del diseño preliminar:** Para esta primera etapa, se identificarán los componentes que se van a diseñar y los componentes que tienen que ser seleccionados, de manera que los últimos se escogerán de catálogos principalmente del mercado Nacional, teniendo en cuenta la confiabilidad y calidad del componente. Para las piezas diseñadas, se tendrá que realizar una exploración de si existen o no, normas que gobiernen parámetros de diseño para el desarrollo de estas.
8. **Segunda etapa del diseño preliminar:** En esta fase, se contará con un modelo al cual se le realizará de nuevo un análisis de ingeniería que permita verificar la viabilidad del mismo, además se recurrirá a una evaluación basada en los requerimientos técnicos lo cual permita corroborar el cumplimiento.
9. **Diseño final:** Como resultado de la segunda etapa del diseño preliminar, se obtendrá un modelo final de las columnas móviles, al cual se le realizará una análisis DFA que permita establecer un método sencillo para ensamblar todas las piezas que conforman el equipo, y un análisis DFM, el cual está basado en la reducción de costos de manufactura para las piezas que tienen que ser diseñadas (procesos de manufactura sencillos y por lo tanto económicos).
10. **Diseño en detalle:** Los entregables de esta fase, serán todo lo referente a planos detallados de las piezas para la construcción, planos de ensamble del equipo, informes finales de las simulaciones que permitan verificar la confiabilidad del sistema y especificaciones técnicas del equipo.
11. **Construcción Prototipo:** Para la construcción del primer prototipo, se hace uso de los planos detallados que se obtuvieron en la fase anterior, posteriormente se evaluará y se le realizarán las pruebas establecidas por la norma "Medical supply units" (BS EN 11197:2004).
12. **Análisis de resultados:** En esta fase, se acudirá a la norma BS EN 11197:2004 para revisar los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas y así establecer el cumplimiento de los parámetros allí planteados.
13. **Prototipo Mejorado:** Esta etapa es el resultado de las mejoras y correcciones que se plantearon teniendo como base el análisis de los resultados obtenidos, además se acude a la verificación de los requerimientos técnicos ya planteados al inicio del proyecto, para comprobar nuevamente el cumplimiento de los mismos.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 11 de 18	

La elaboración de prototipos se realiza, hasta que se cuente con un producto final que cumpla en primera instancia con la norma ya mencionada y con los requisitos técnicos anteriormente planteados.

## 7. Impacto ambiental del proyecto

Los proyectos de investigación deben incluir una reflexión responsable sobre los efectos positivos o negativos que las actividades a realizar durante la ejecución del proyecto, o en la posible implementación de sus resultados, puedan tener sobre el medio natural y la salud humana en el corto, mediano y largo plazo.

Teniendo en cuenta el término "Salud Humana" y como se ha mencionado a lo largo de este proyecto, el desarrollo de columnas móviles modulares, reducirán el estrés físico (causado por los largos tiempos que demoran los procedimientos quirúrgicos, complementado por los ausentes tiempos de descanso) de aquellas personas que se encuentran participando de los procedimientos quirúrgicos, para esto se utilizara un sistema de accionamiento que permita un suave movimiento sin importar la carga soportada por la columna en ese instante.

Para entrar en materia ambiental, se debe tener en cuenta que los materiales de las piezas que tienen que ser diseñadas para el desarrollo de la columna son: aluminio extruido, aleaciones de acero, polímeros biodegradables y las piezas que son seleccionadas pueden estar conformadas de los siguientes materiales: cobre, polímeros y acero inoxidable. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos afirmar que los materiales que constituyen los componentes a utilizar para el desarrollo de la columna, son de carácter reciclable y la vida útil de estos está en condiciones de garantizar que su cambio no sea frecuente.

A si mismo se realizara un análisis DFM (Diseño para manufactura), que permita establecer costos mínimos de manufactura que ayudaran a reducir costos de energía en la respectiva producción de los componentes.

## 8. Resultados esperados.

Formule los resultados directos y/o específicos verificables que se alcanzarán con el desarrollo de los objetivos específicos del proyecto, indicando los medios de verificación del logro de los mismos.

### Resultado 1

Desarrollo de prototipo de la columna móvil hospitalaria

**Fuente de verificación:** Actividades prácticas, para corroborar el funcionamiento del equipo

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 12 de 18	

### **8.1 Generación de nuevo conocimiento**

*Analizar si el conocimiento generado a partir del logro de los objetivos planteados es nuevo.*

*El diseño de nuevos equipos para el mercado nacional y regional, contribuye con la exploración e investigación de las diferentes áreas con las cuales se ve involucrado su desarrollo. Permitir llevar a cabo estas actividades por parte de estudiantes en sus últimos niveles académicos y poder colocar en práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica profesional, en áreas como resistencia de materiales, selección de componentes mecánicos, diseño de máquinas y elementos mecánicos, conllevan a la producción de nuevos componentes basados en los principios básicos anteriormente mencionados.*

*Adicionalmente crear un vínculo entre componentes mecánicos dentro de un ambiente médico, requiere la exploración de materiales, componentes, recubrimientos y demás, de modo que no se vea afectado el entorno quirúrgico a causa de la naturaleza de estos elementos.*

### **8.2 Fortalecimiento de la comunidad científica colombiana**

*Formación de nuevos investigadores, entrenamiento de estudiantes, capacitación de técnicos, creación y/o consolidación de redes de investigación, construcción de cooperación nacional o internacional, consolidación del grupo de investigación.*

- *Pasantías de estudiantes y/o aprendices: 2 estudiantes de Ing. Mecánica para pasantías. Se comparte con los estudiantes el desarrollo del proyecto, proporcionándoles diferentes actividades que contribuyan al desarrollo de habilidades de investigación, solución de problemas, toma de decisiones, manejo de software y desarrollo de modelos conceptuales y físicos, contribuyendo al desarrollo profesional del estudiante.*

### **8.3 Apropiación social/pública del conocimiento**

*Conceptuar si se prevé, una estrategia de comunicación y apropiación pública de los resultados que incluya difusión y transferencia de los resultados de la investigación tanto a la comunidad científica nacional e internacional como a los posibles beneficiarios o usuarios directos de los mismos.*

*Para compartir el conocimiento adquirido, se realizará una sustentación pública por parte de los estudiantes en práctica en la respectiva universidad. De igual manera el equipo desarrollado estará a disposición del personal médico y asistencial de las áreas quirúrgicas y unidades de cuidados intensivos de la FCV inicialmente, quienes serán los beneficiarios directos del equipo.*

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 13 de 18	

## 9. Impactos esperados a partir del uso de los resultados

Los impactos esperados son una descripción de la posible incidencia del uso de los resultados del proyecto en función de la solución de los asuntos o problemas estratégicos, nacionales o globales, abordados. Los impactos pueden agruparse, entre otras, en las siguientes categorías: sociales, económicos, ambientales, de productividad y competitividad.

### Impacto 1

**Configuración impacto:** Productividad y competitividad

**Descripción:** % Incremento de la producción

### Impacto 2

**Configuración impacto:** Productividad y competitividad

**Descripción:** Optimización del espacio

**Descriptivo:** Con la implementación del equipo, se organizara de manera adecuada el ambiente quirúrgico, eliminando al máximo el cableado eléctrico o mangueras de gases medicinales, minimizando el riesgo de accidentalidad y manteniendo los equipos al alcance del personal.

### Impacto 3

**Configuración impacto:** Innovación y desarrollo tecnológico

**Descripción:** Ampliación de la línea de productos desarrollados por bioingeniería FCV

**Descriptivo:** Con el desarrollo de este proyecto, se pretende ser precursores en el diseño de columnas móviles hospitalarias a nivel regional y nacional inicialmente.

### Impacto 4

**Configuración impacto:** Innovación y desarrollo tecnológico

**Descripción:** Practica profesional para estudiantes

**Descriptivo:** Involucrar alumnos en formación de carreras profesionales, para generar y transmitir conocimientos principalmente en el área ingenieril.

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 14 de 18	

### 10. Cronograma de actividades

Relación de actividades a realizar en función del tiempo (meses/ semanas), en el periodo de ejecución del proyecto. Se debe incluir las posibles fechas de inicio y finalización del proyecto indicando Día /mes /año.

Cronograma					
Subsistema	No.	Descripción	Responsable	Fecha de Inicio	Fecha de Finalización
<b>USO</b>	1	Debe poseer elementos de agarre manual en cada uno de los módulos que faciliten su manipulación.	<b>Diseñador industrial</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe tener un tablero de control con accionadores, de manera que permita al usuario frenar cada articulación individual o todas al mismo tiempo.			
	3	El movimiento de los brazos debe realizarse con poco esfuerzo físico por parte del usuario.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>		
	4	Debe tener un sistema de freno en cada uno de los acoples con luces leds de advertencia, para que el usuario comprenda cuando esta frenado y cuando está disponible para ser manipulado.	<b>Diseñador industrial</b>		
	5	Debe tener señalización en las tomas de acceso rápido de gases y eléctricos.			
<b>FUNCIÓN</b>	1	El(los) brazo(s) deben tener la opción de girar sobre un punto determinado.	<b>Pract. Ing. Mecánica</b>	<b>01/05/2014</b>	<b>28/10/2014</b>
	2	Debe tener un módulo húmedo-seco (salida para gases medicinales y energía eléctrica) y otro solo seco (energía eléctrica).			
	3	El módulo seco debe soportar máximo los siguientes equipos: 1 MSV (15"), 3 bombas perfusoras y 3 bombas de infusión (de un solo canal).			
	4	El módulo seco debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	5	El módulo seco/húmedo debe soportar un ventilador mecánico pulmonar de máximo 30 cm de alto, 40 cm de ancho y 30 cm de profundo.			
	6	El módulo seco/húmedo debe contener un mueble para el almacenamiento de medicamentos.			

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	7	El módulo seco/húmedo debe contener bandejas para apoyo en procedimiento (condicionado por el espacio ocupado por el ventilador).			
	8	Se debe inmovilizar los brazos por medio de un freno.			
	9	El módulo seco/húmedo debe contener un atril con soporte para líquidos (bolsa de suero).			
	10	El panel eléctrico del módulo húmedo/seco debe contener al menos 8 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			
	11	El panel de gases debe contener al menos una salida de acceso rápido de oxígeno, una de aire medicinal y una toma de vacío, todas las salidas de tipo chemetron.			
	12	Comprobar por medio de simulación en videos (imágenes), que los diseños propuestos cumplen su función de movilidad, de construcción, de función y de ensamble en un ambiente real.			
	13	El panel eléctrico del módulo seco debe contener al menos 10 tomas eléctricas con sus respectivas protecciones.			
<b>ERGONOMÍCOS</b>	1	Los paneles eléctricos y de gases, deben estar distribuidos en un rango entre 1 y 1,7 metros con respecto al suelo	<i>Diseñador industrial</i>	<i>01/05/2014</i>	<i>28/10/2014</i>
	2	Las señales y etiquetas deben ser identificadas fácilmente a una distancia de 1 mt.			
	3	La posición de los equipos debe ser acorde para su manipulación en los percentiles antropométricos del usuario.			
	4	La mayor altura de los controles debe ser 1.8 mts.			
<b>ESTRUCTURA</b>	1	Cada módulo debe soportar un máximo entre 100 y 150 Kg.	<i>Pract. Ing. Mecánica</i>	<i>01/05/2014</i>	<i>28/10/2014</i>
	2	Debe tener freno de tipo electromagnético o neumático.			
	3	La estructura debe soportar todos los dispositivos médicos sin presentar inclinaciones en sus brazos o vigas.			

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16



**REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE  
PROYECTO CT+i**

FCV BIOINGENIERIA

Versión: 0

R-DDBIO-14

PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO

Página 16 de 18

<b>TÉCNICO - PRODUCTIVO</b>	4	El radio de giro de los brazos pivoteando en el empotramiento debe ser de al menos 2 metros.	<i>Diseñador industrial</i>	01/05/2014	28/10/2014
	5	El área interna de la sección transversal de la viga, debe contener todo el cableado eléctrico y de gases medicinales.			
	6	El sistema debe ser soportado por tener 4 vigas o brazos.			
	7	Debe tener 6 acoples en total, que permitan el movimiento rotacional entre vigas o brazos en un plano horizontal de 0 a 360° sin ningún tope mecánico.			
	8	El empotramiento se realizará en techos de concreto (Eje vertical) y con una distancia al techo falso entre 20 y 40 cm.			
	9	La estructura general debe pesar entre 150 y 200 Kg.			
	1	Cada uno de los elementos debe tener características que les permitan ser ensamblados en una única parte.			
	2	Superficies lisas y pulidas para garantizar una fácil limpieza.			
	3	La estructura debe llevar un recubrimiento de pintura epóxica.			
	4	La materia prima principal de las estructuras debe ser aleaciones de acero y aluminio.			
<b>MERCADO</b>	5	Superficies deben ser lisas y sin rebabas para no dañar al usuario o equipos.	<i>Pract. Ing. Mecánica</i>	01/05/2014	28/10/2014
	6	La sección transversal de los brazos/vigas debe ser de igual en área, espesor y geometría.			
	7	La producción de todo el sistema debe ser realizable con la capacidad nacional en materia prima, mano de obra y maquinaria.			
	8	Se debe contar con un manual de servicio.			
	9	Debe contener la identificación y características del producto en una etiqueta.	<i>Diseñador industrial</i>		
	10	Se debe estandarizar el uso de tornillos y tuercas para todo el sistema, se debe contar con un máximo de 5 tipos.	<i>Pract. Ing. Mecánica</i>		
	1	Se debe contar con un manual de uso.	<i>Diseñador industrial</i>		
2	Se debe contar con un manual de imagen.	<i>Diseñador industrial</i>			

Elaborado por: *Ing. Jefe de D&D*

Aprobado por: *Gerente FCV Bioingeniería*

Revisado por: *Jefe de Calidad*

Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	3	Debe contar con un empaque que lo proteja de agentes externos, caídas de al menos 1 mt y movimientos bruscos.			
FORMAL - ESTETICO	1	Los acoples deberán estar forrados (ocultados) por medio de una carcasa definida por diseño, construida por inyección de plástico.	Diseñador industrial	01/05/2014	28/10/2014
	2	Debe contener elementos con colores contrastantes que se presentes como anómalos en la composición general para llamar la atención.			
	3	La estructura debe ir en colores fríos o neutros que sean acordes para un entorno médico.			
	4	Se debe mantener la misma forma en las vigas y soportes para que la estructura general sea armoniosa con el entorno.			

### 11. Presupuesto

*El presupuesto de inversión debe presentarse en forma global y desglosada. Deberá registrar el presupuesto por cada año de ejecución y por cada fuente de financiación. Para mayor claridad debe suministrarse una explicación o justificación de cada uno de los rubros. Guía registro R-DDBIO-13*

### 12. Bibliografía

*Relacione todas las fuentes utilizadas en el documento.*

- [1] [http://www.draeger.com/sites/es\\_csa/Pages/Hospital/Advisor.aspx?navID=1796](http://www.draeger.com/sites/es_csa/Pages/Hospital/Advisor.aspx?navID=1796)
- [2] <http://www.starkstrom.com/products/operating-room/clinical-pendants/>
- [3] <http://tediselmedical.com/productos/quirofanos/columnas/>
- [4] <http://www.amico.com/products/or-lights-and-boomspendants>

Elaborado por: Ing. Jefe de D&D	Aprobado por: Gerente FCV Bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

	<b>REDACCIÓN Y APROBACIÓN DE PROYECTO CT+i</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 0	R-DDBIO-14
		Página 18 de 18	

**Aprobado Por:**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Jefe de D&D**  
**FCV Bioingeniería.**

\_\_\_\_\_  
**Gerente**  
**FCV Bioingeniería.**

Documento  
 Propiedad  
 FCV

Elaborado por: <i>Ing. Jefe de D&amp;D</i>	Aprobado por: <i>Gerente FCV Bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-10-16

## Anexo D. RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto”

	<b>INFORME Y ANÁLISIS DE RESULTADOS VERIFICACION DEL PROYECTO</b>	FCV BIOINGENIERIA	
		Versión: 3	R-DDBIO-05
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Página 1 de 20	

Tipo de Informe:		Avance:	X	Final:	Requerimiento al que apunta.
Fecha DD/MM/AA	Nombre del Proyecto:	Columnas Móviles			
21/07/2014					
Líder del proyecto:		Lina Viviana Sanabria – Luis Javier Jaramillo			

### 1. OBJETIVOS.

- Realizar un análisis espacial en las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos del recorrido de cada una de las extremidades para las configuraciones de brazo y antebrazo de 800-1200, 1200-800, 1000-1000 mm, teniendo en cuenta el espacio ocupado por cada uno de módulos.
- Identificar las áreas funcionales ocupadas por los módulos soportados por las extremidades de la columna en las salas de cirugía y unidades de cuidados intensivos, para una ubicación del empotramiento paralelo a la parte superior de la camilla (cabecero).
- Determinar el alcance de los módulos que soportan las extremidades de la columna en 8 puntos totales de empotramiento, 4 ubicados alrededor de la cama en forma de X y 4 en forma de cruz.

*Describe la meta a alcanzar con el desarrollo de esta parte del proyecto. Inicia siempre con un verbo en infinitivo. No consiste en el objetivo del informe, sino en el objetivo del desarrollo.*

### 2. DESCRIPCION DE CAMBIOS REALIZADOS.

#### Sistema de anclaje en una única posición

La columna estará conformada por 2 extremidades, las cuales están constituidas cada una por un brazo y un antebrazo; el radio de giro de cada extremidad será de 2 metros, según lo establecido en los requerimientos.

Se realizaran esquemas en los entornos de cirugía y cuidados intensivos, para cada columna con diferente configuración de extremidad (800-1200, 1000-1000, 1200-800 milímetros); en cada una de las salas, la ubicación del empotramiento será paralela a la parte superior de la camilla (cabecero) (Figura 1), siendo esta posición una de las más comunes para el uso de este tipo de estructura; además la cama estará situada en el centro de cada una de las salas y los demás elementos (muebles de instrumentación, máquinas de anestesia, lámparas cielítica, entre otros) que forman parte del ambiente quirúrgico y de cuidados intensivos no se tendrán en cuenta.

En los esquemas se representará con una circunferencia a trazos los círculos de movimiento de cada una de las extremidades totalmente extendidas (Figura 2), de igual manera se evaluará cada uno de sus componentes (brazo y antebrazo). Así mismo se tomaran en cuenta las dimensiones del módulo que en vista superior se considerará como un círculo de diámetro 50 cm; esta medida será hipotética basado en lo observado en las diferentes columnas que ofrece el mercado. Finalmente se resaltaran por medio de colores, las áreas de uso permisible y no permisible de la columna.

Las dimensiones de las áreas de cirugía y cuidados intensivos se establecieron según el “Manual guía para el diseño arquitectónico servicio de cirugía y el manual guía para el diseño arquitectónico de unidades de cuidados intensivos e intermedios por la Secretaría Distrital de Salud de Santa Fe de Bogotá”. (Figura 6 y 7)

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Figura 1. Partes de la columna móvil hospitalaria

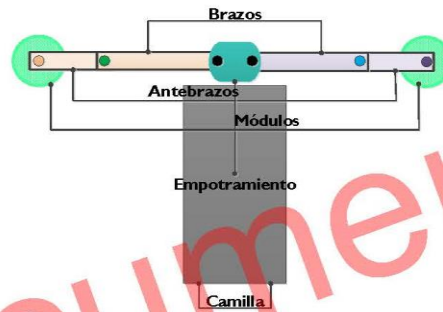
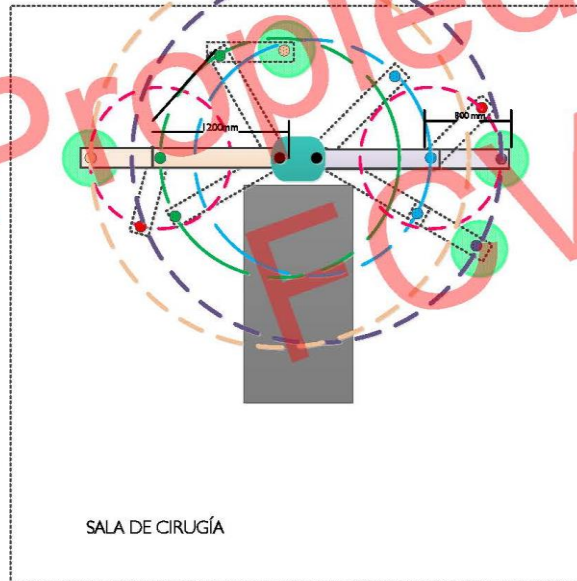


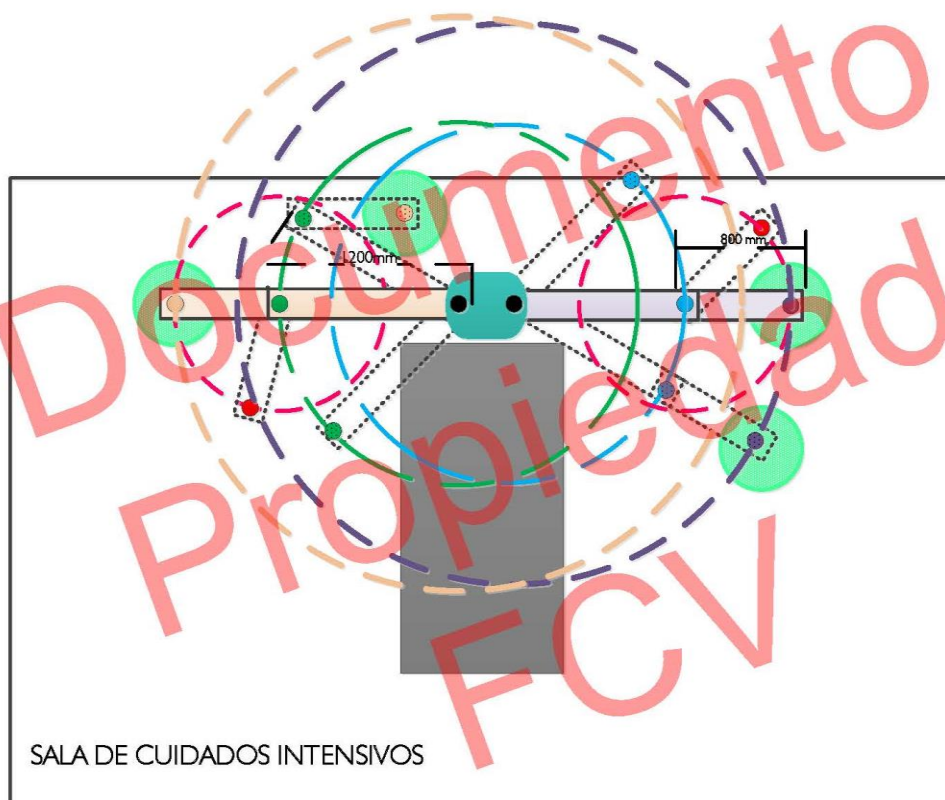
Figura 2. Esquema del movimiento de las extremidades para una configuración (Sala de cirugía)



Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Figura 3. Esquema del movimiento de las extremidades para una configuración (Cuidados intensivos)



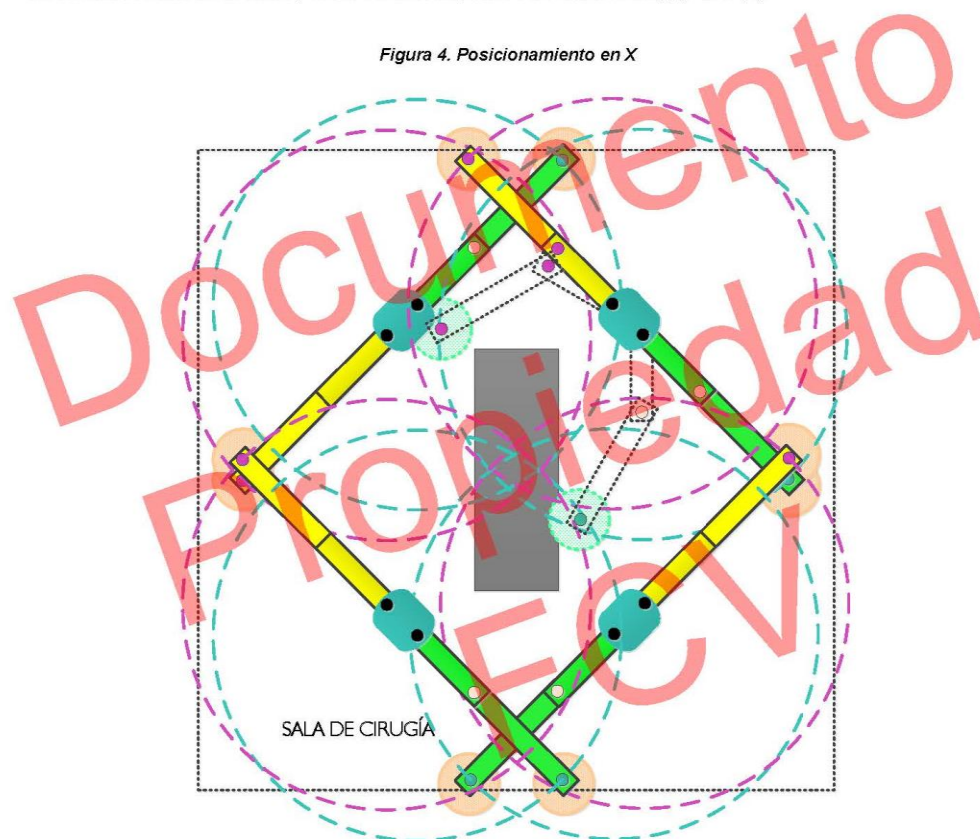
Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Sistema de anclaje en múltiples posiciones**

Para este segundo segmento solo se tomará en cuenta una única configuración de brazo y antebrazo (800 – 1200 milímetros); se realizará el mismo análisis anteriormente expuesto a 8 diferentes posiciones del empotramiento ubicados alrededor de la cama y estos estarán dispuestos en forma cruz (4) y en x (4).

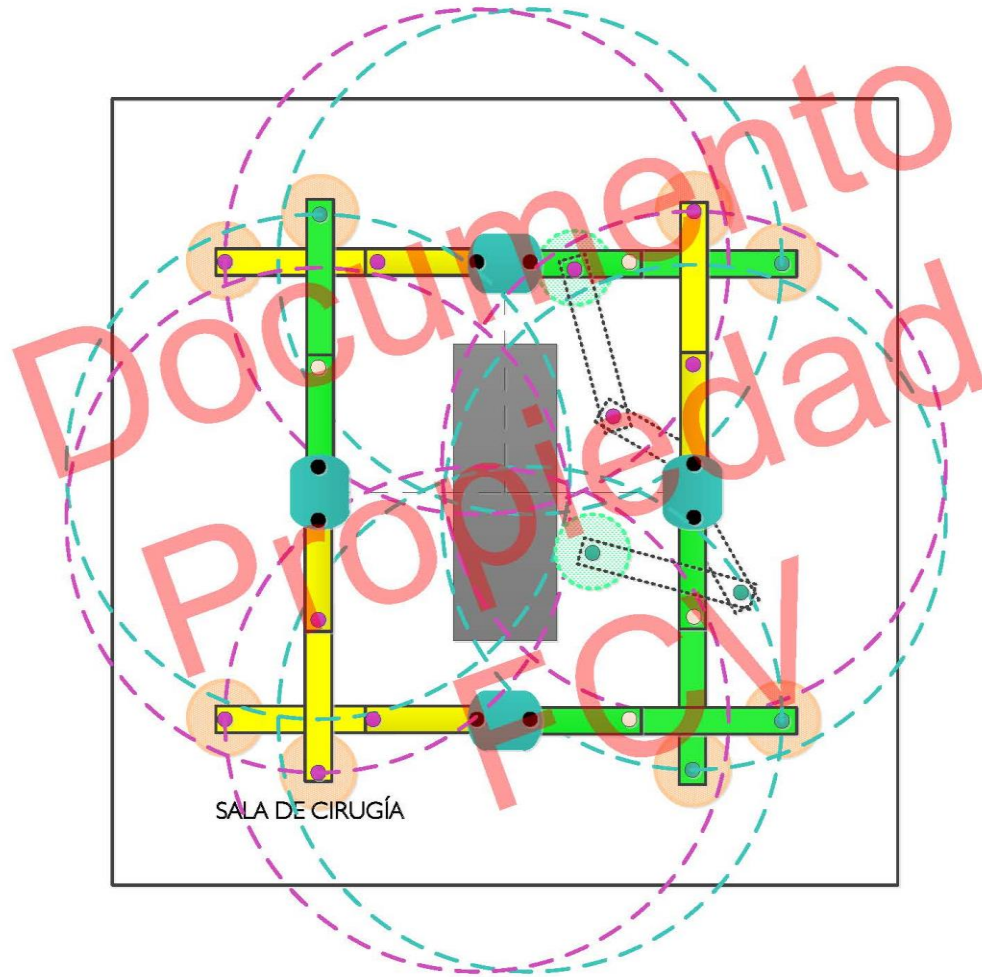
Figura 4. Posicionamiento en X



Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

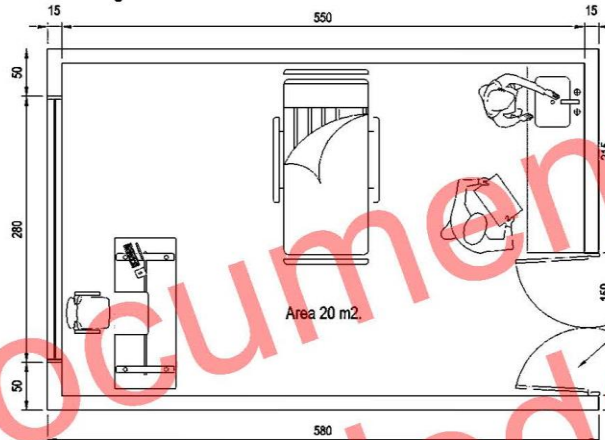
Figura 5. Posicionamiento en Cruz



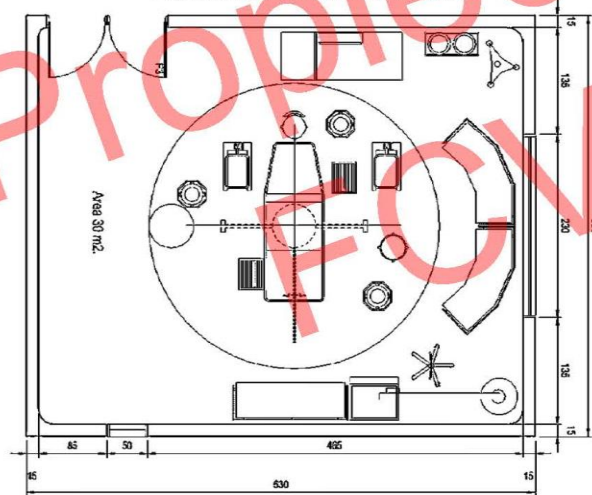
Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Figura 6. Dimensiones unidades de cuidados intensivos**



**Figura 7. Dimensiones sala de cirugía**



Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Se debe redactar en 3ra persona (no escribir nosotros, ni conjugamos verbos como buscamos, encontramos, hallamos, etc). En esta parte se redacta los cambios implementados en los circuitos, esquemas, formulas químicas, planos mecánicos, etc; de no consistir en un cambio se debe registrar el diseño como tal.

### 3. METODOLOGIA DE PRUEBAS.

No aplica

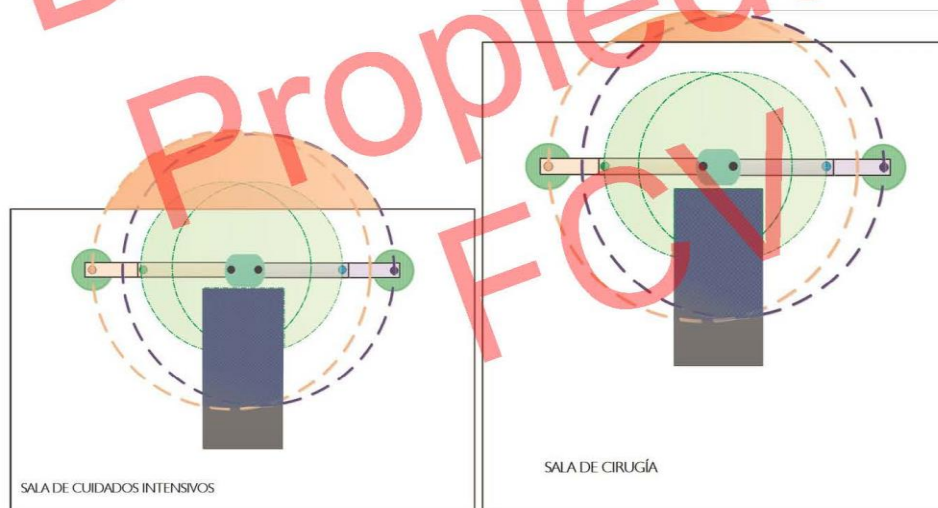
Registrar el proceso con el cual se evaluará el diseño o modificación realizada, con el fin de verificar que los mismos cumplan a cabalidad con el requerimiento que buscan solucionar. Por lo general se conforman de pasos o etapas en que describen un procedimiento para cumplir con una verificación.

### 4. REGISTRO DE DATOS Y OBSERVACIONES.

#### Sistema de anclaje en una única posición

Configuración 1: Brazos de 1200 y 800 mm

Figura 8. Identificación de las áreas de funcionamiento - Configuración 1 - Sala de cirugía y unidad de cuidados intensivos



Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**SALA DE CUIDADOS INTENSIVOS**

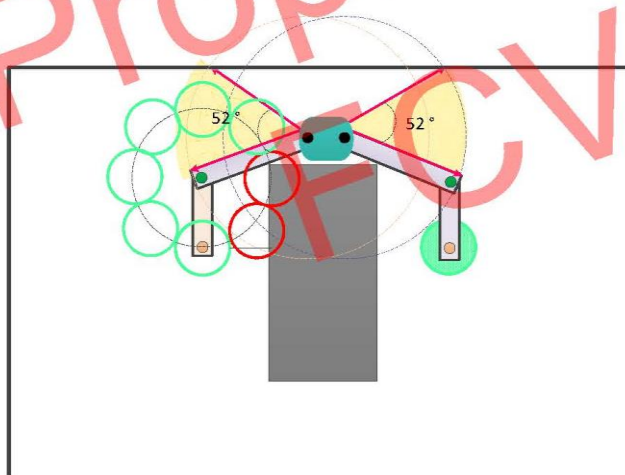
Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)	14,01m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	4,25 m <sup>2</sup>	30,36%
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	5,98 m <sup>2</sup>	42,73%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	8,02 m <sup>2</sup>	57,25%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	3,46 m <sup>2</sup>	24,68%
Área de la sala	20 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	8,02 m <sup>2</sup>	40,13%

**SALA DE CIRUGÍA**

Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)	14,01m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	1,31 m <sup>2</sup>	9,39 %
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	3,04 m <sup>2</sup>	21,76%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	10,97 m <sup>2</sup>	78,23%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	3,46 m <sup>2</sup>	24,68%
Área de la sala	30 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	10,97 m <sup>2</sup>	36,55%

Para el estudio del movimiento óptimo de los brazos y antebrazos de la columna para la configuración 1, se muestran los siguientes esquemas:

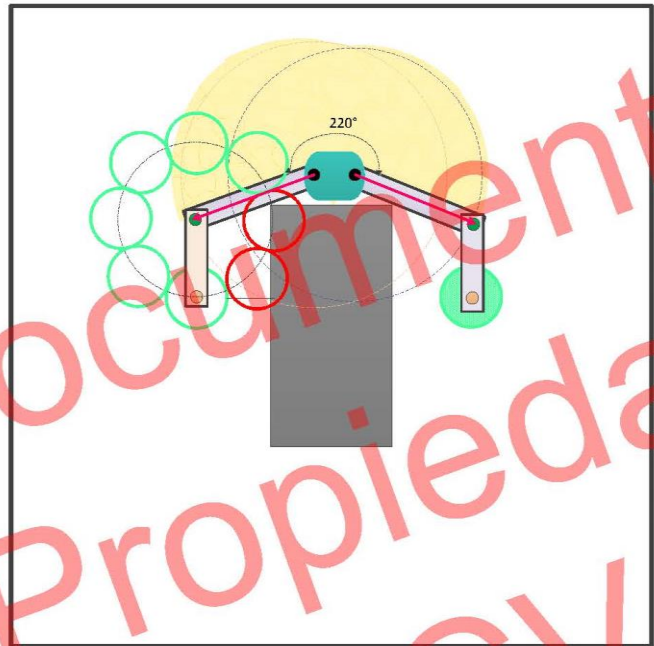
**Figura 9. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 1- Unidad de cuidados intensivos**



Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Figura 10. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 1 - Sala de cirugía

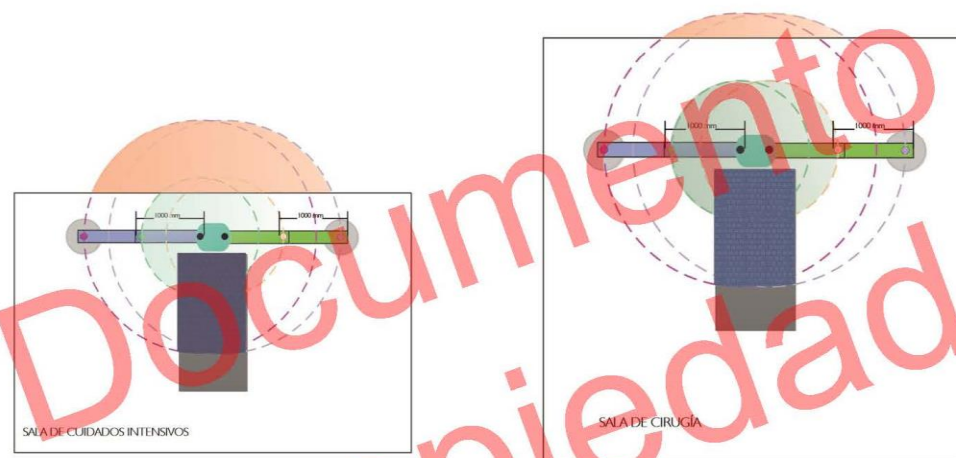


Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Configuración 2: Brazos de 1000 y 1000 mm

Figura 11. Identificación de las áreas de funcionamiento - Configuración 2 - Sala de cirugía y unidad de cuidados intensivos



**SALA DE CUIDADOS INTENSIVOS**

Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)	14,01 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	4,25 m <sup>2</sup>	30,36%
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	5,98 m <sup>2</sup>	42,73%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	8,02 m <sup>2</sup>	57,25%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	2,52 m <sup>2</sup>	17,99%

**SALA DE CIRUGÍA**

Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)	14,01 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	1,31 m <sup>2</sup>	9,39%
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	3,04 m <sup>2</sup>	21,76%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	10,97 m <sup>2</sup>	78,23%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	3,46 m <sup>2</sup>	24,68%

Área de la sala	20 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	8,02 m <sup>2</sup>	40,13%

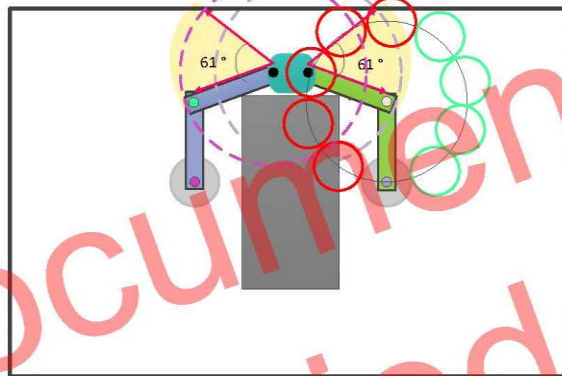
Área de la sala	30 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	10,97 m <sup>2</sup>	36,55%

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

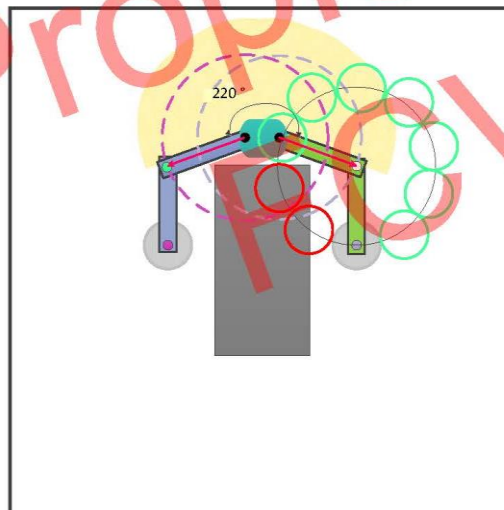
Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Para el estudio del movimiento óptimo de los brazos y antebrazos de la columna para la configuración 2, se muestran los siguientes esquemas:

**Figura 12. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 2- Unidad de cuidados intensivos**



**Figura 13. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 2 - Sala de cirugía**

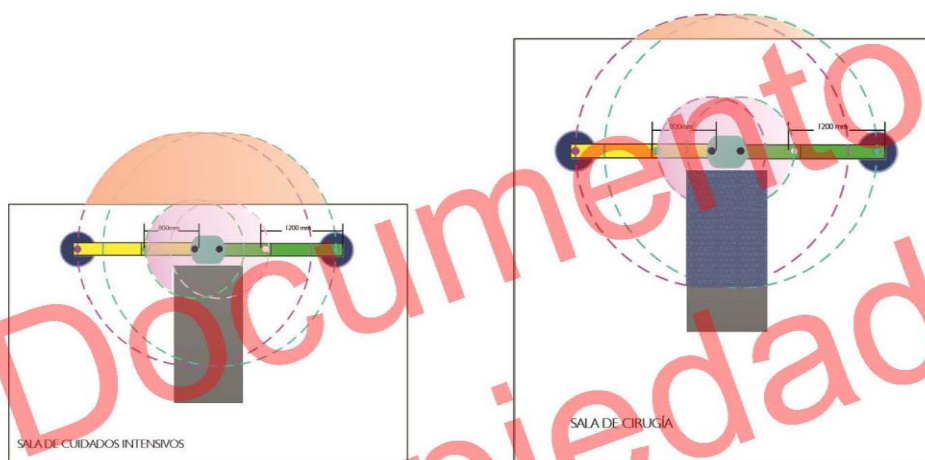


Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Configuración 2: Brazos de 800 y 1200 mm

Figura 14. Identificación de las áreas de funcionamiento - Configuración 3 - Sala de cirugía y unidad de cuidados intensivos



**SALA DE CUIDADOS INTENSIVOS**

Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)		
	14,01m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	4,25 m <sup>2</sup>	30,36%
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	5,98 m <sup>2</sup>	42,73%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	8,02 m <sup>2</sup>	57,25%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	1,9 m <sup>2</sup>	13,56%
Área de la sala	20 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	8,02 m <sup>2</sup>	40,13%

**SALA DE CIRUGÍA**

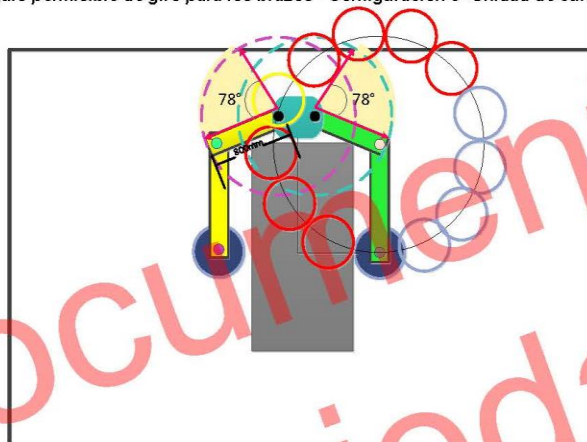
Área total del movimiento de las extremidades totalmente extendidas (sin restricción de espacio)		
	14,01m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo	1,31 m <sup>2</sup>	9,39 %
Espacio ocupado por el área de la cama	1,73 m <sup>2</sup>	12,37%
Área total inútil del movimiento de las extremidades	3,04 m <sup>2</sup>	21,76%
Área total efectiva para el movimiento del módulo	10,97 m <sup>2</sup>	78,23%
Espacio que ocupa los brazos de la columna	1,9 m <sup>2</sup>	13,56%
Área de la sala	30 m <sup>2</sup>	100%
Área total efectiva para el movimiento del módulo respecto al área total de la sala	10,97 m <sup>2</sup>	36,55%

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

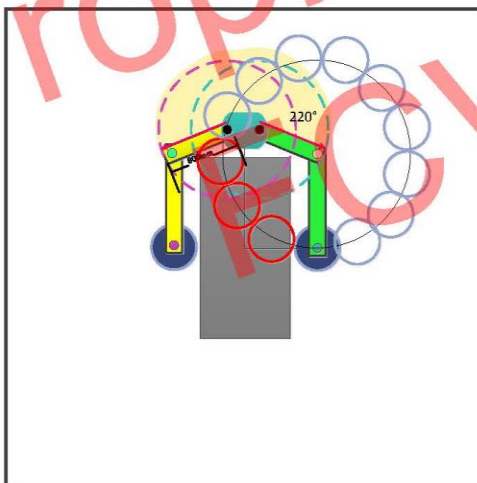
Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Para el estudio del movimiento óptimo de los brazos y antebrazos de la columna para la configuración 3, se muestran los siguientes esquemas:

**Figura 15. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 3- Unidad de cuidados intensivos**



**Figura 16. Angulo permisible de giro para los brazos - Configuración 3 - Sala de cirugía**



Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

- **Observaciones**

Cada uno de los esquemas presentados están a una escala 1:20 en relación a las medidas reales. El análisis se enfoca en la identificación de zonas efectivas para el funcionamiento de la columna ponderado por medio de porcentajes. Para el área efectiva del movimiento de los módulos en las diferentes salas se tiene en cuenta lo siguiente: Los brazos, antebrazos y los módulos no podrán estar encima del paciente.

En las figuras 8,11 y 14 se puede observar el radio de giro de cada una de las configuraciones con las extremidades totalmente extendidas, además se hace una identificación espacial y numérica de las áreas efectivas donde se permite la movilidad de los módulos para cada una de las configuraciones aplicadas en los dos entornos propuestos (sala de cirugía y unidades de cuidados intensivos).

En las figuras 9, 10, 12, 13,15 y 16 se realiza un análisis para determinar el ángulo del movimiento de los brazos en cada una de las configuraciones, del mismo modo se logra identificar el área que podrá ocupar los brazos de la columna. Para este análisis se toma en cuenta como límite de movimiento la última posición que toma el brazo cerca a la camilla sin ocupar el área de la misma.

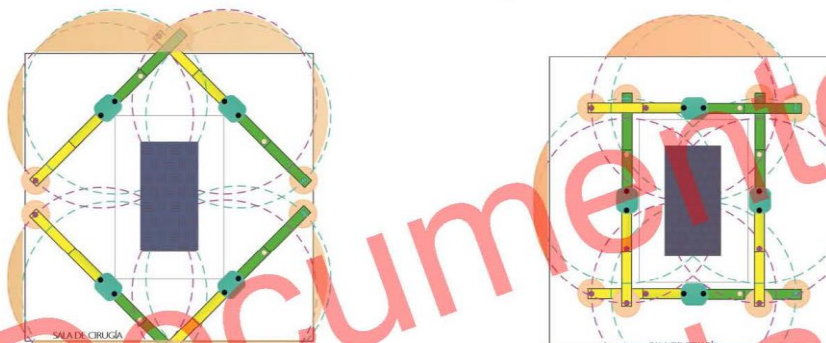
Documento  
Propiedad  
FCV

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Sistema de anclaje para posiciones en x y en cruz:**

*Figura 17. Identificación puntos de empotramiento - Sala de cirugía*



**POSICIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE EN X**

Área total del círculo de movimiento para las dos extremidades	14,02 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo ( En cada una de las 4 posiciones)	3,82 m <sup>2</sup>	27,26 %
Espacio ocupado por el área de la cama	0,98 m <sup>2</sup>	7,02 %
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( En cada una de las 4 posiciones)	4,80 m <sup>2</sup>	34,28%
Área total efectiva para el movimiento del módulo (En cada una de las 4 posiciones)	9,22 m <sup>2</sup>	65,76%

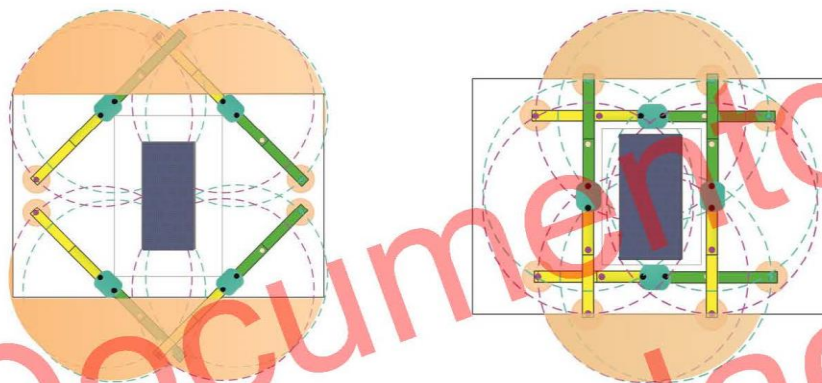
**POSICIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE EN CRUZ**

Área total del círculo de movimiento para las dos extremidades	14,02 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de la habitación (arriba- abajo)	3,06 m <sup>2</sup>	21,84 %
Espacio ocupado por fuera del área de la habitación (derecha-izquierda)	1,22 m <sup>2</sup>	8,76 %
Área de la cama (posición arriba y abajo)	1,29 m <sup>2</sup>	9,21%
Área de la cama (posición derecha e izquierda)	2,0 m <sup>2</sup>	14,26 %
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( posición arriba y abajo)	4,35 m <sup>2</sup>	31,05%
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( posición derecha e izquierda)	3,22 m <sup>2</sup>	23,02%
Área total efectiva para el movimiento del módulo (posiciones arriba y abajo)	9,67 m <sup>2</sup>	68,97%
Área total efectiva para el movimiento del módulo (posiciones derecha e izquierda)	10,8 m <sup>2</sup>	77,03%

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Figura 18. Identificación puntos de empotramiento - Unidad de cuidados intensivos



POSICIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE EN X

POSICIONES DEL SISTEMA DE ANCLAJE EN CRUZ

Área total del círculo de movimiento para las dos extremidades	14,02 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de trabajo ( En cada una de las 4 posiciones)	6,04 m <sup>2</sup>	43,0654 %
Espacio ocupado por el área de la cama	0,98 m <sup>2</sup>	7,02 %
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( En cada una de las 4 posiciones)	7,02 m <sup>2</sup>	50,08%
Área total efectiva para el movimiento del módulo (En cada una de las 4 posiciones)	7 m <sup>2</sup>	49,92%

Área total del círculo de movimiento para las dos extremidades	14,02 m <sup>2</sup>	100%
Espacio ocupado por fuera del área de la habitación (arriba- abajo)	6,21 m <sup>2</sup>	44,36 %
Espacio ocupado por fuera del área de la habitación (derecha-izquierda)	1,25 m <sup>2</sup>	8,88 %
Área de la cama (posición arriba y abajo)	1,29 m <sup>2</sup>	9,21%
Área de la cama (posición derecha e izquierda)	2,0 m <sup>2</sup>	14,26 %
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( posición arriba y abajo)	7,5 m <sup>2</sup>	53,57%
Área total inútil del movimiento de las extremidades ( posición derecha e izquierda)	3,25 m <sup>2</sup>	23,14%
Área total efectiva para el movimiento del módulo (posiciones arriba y abajo)	6,52 m <sup>2</sup>	46,43 %
Área total efectiva para el movimiento del módulo (posiciones derecha e izquierda)	10,77 m <sup>2</sup>	76,86%

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

- **Observaciones**

Los planos donde se muestran las posibles posiciones para cada una de las configuraciones están dibujados a una escala 1:20 en relación a las medidas reales.

En la figura 17 se encuentran las representaciones de las posiciones de la columna en cruz y en X para el área de cirugía. Se puede observar que para el área de cirugía ninguna de las posiciones permite el giro total de las extremidades con su máximo radio de giro (extremidades totalmente extendidas).

Para las posiciones en X las áreas inútiles son de igual magnitud independiente del punto de fijación del empotramiento y en las posiciones en cruz se observa que cuando el empotramiento está situado en el extremo de arriba o abajo se tiene mayor pérdida de área útil y viceversa en los extremos de derecha e izquierda.

Para las unidades de cuidados intensivos en la figura 18, se analiza cada una de las posiciones propuestas para el empotramiento. Cuando la ubicación de los sistemas de anclaje están en forma de X, el movimiento de una de las extremidades se ve limitada casi que totalmente para cualquiera de estas 4 posiciones de empotramiento. Cuando la distribución de las posiciones del empotramiento es en forma de cruz, se observa que en las posiciones de arriba y abajo se tiene mayor pérdida de área efectiva, al contrario en los extremos de derecha e izquierda los el área inútil es menor.

*Registrar los datos capturados por medio de instrumentos de medición o en caso de no ser cuantificables se debe describir el comportamiento del sistema. Incluir tablas, gráficos estadísticos, fotografías, etc, que permitan soportar las conclusiones finales.*

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS.

### Sistema de anclaje en una única posición

- El movimiento rotacional de las extremidades totalmente extendidas se ve limitado para cualquiera de las configuraciones, independiente del tipo de sala
- Se observa que toda el área generada por la circunferencia de radio igual a la longitud de la extremidad, no determina el espacio funcional de la columna, ya que el espacio que ocupa la cama y los lugares a donde no podrá llegar por restricciones de espacio (dimensiones de la sala), disminuyen el área efectiva.
- El cambio de posición de los módulos de un lado a otro, solo se podrá realizar en las salas de cirugía, girando los brazos por detrás de la camilla como método seguro, la otra opción es por delante, pero se debe tener en cuenta que por el alto de los módulos se debe mover la camilla y por lo tanto no deberá haber paciente. En las unidades de cuidados intensivos este movimiento solo será posible pasando los módulos por encima de la camilla, esto restringe el giro libre de los brazos y antebrazos en este tipo de salas.

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Unidades de cuidados intensivos:

- Independiente de la configuración el espacio ocupado por fuera del área de la habitación es el mismo
- El área efectiva para cualquier configuración será de 8,02 m<sup>2</sup> correspondiente al 57,2% del área total del giro de las extremidades
- Para una columna con extremidades de 2 m de longitud, se tiene un espacio de movimiento de las extremidades de 8,02 m<sup>2</sup> correspondientes al 40,1 % del área total de las sala de cuidados intensivos.
- Con la configuración 3 se obtienen mejores resultados respecto a las posibles posiciones que puede tomar el módulo sin interferir con el paciente.

Sala de cirugía:

- Independiente de la configuración el espacio ocupado por fuera del área de la habitación es el mismo
- El área efectiva para cualquier configuración será de 10,97 m<sup>2</sup> correspondiente al 78,2% del área total del giro de las extremidades
- Para una columna con extremidades de 2 m de longitud, se tiene un espacio de movimiento de las extremidades de 10,97 m<sup>2</sup> correspondientes al 36,55 % del área total de las sala de cirugía.
- Con la configuración 3 se obtienen mejores resultados respecto a las posibles posiciones que puede tomar el módulo sin interferir con el paciente.

**Sistema de anclaje para múltiples posiciones**

Unidad de cuidados intensivos:

*Posición en cruz*

- Para estas posiciones de empotramiento se descarta la ubicación del empotramiento en los extremos de arriba y abajo, ya que no se puede aprovechar el movimiento para el cual se diseña la columna, porque este se ve restringido por el espacio de la sala. Con estas dos posiciones solo se aprovecha menos del 50 % con respecto al movimiento que la columna puede hacer.

*Posición en X*

- Según los porcentajes numéricamente hallados, las posiciones para el empotramiento dispuestos en forma de cruz no garantizan el aprovechamiento del espacio para el cual está diseñado este tipo de columna, ya que el área efectiva para la ubicación de los módulos es menor del 50 %.

Sala de cirugía:

*Posición en cruz*

- En este caso las posiciones del empotramiento en forma de cruz, confirman el uso de más del 50% del área para el cual fue diseñado. Las posiciones de arriba y abajo presentan un porcentaje de uso del área total del 68,97% y las posiciones de derecha e izquierda del 76,86%, lo que determina que las posiciones

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

más útiles serían los extremos de derecha e izquierda, sin embargo se avalan las posiciones si el área efectiva es mayor al 50 %.

*Posición en X*

- Cada una de las posiciones tomadas por el empotramiento en esta disposición, tienen la misma área efectiva para el movimiento del módulo, esta área se pondera con el 65,76 %, por consiguiente estas posiciones se toman como valederas para la ubicación del sistema de anclaje.

**Recomendaciones:**

- Se recomienda analizar otras configuraciones con respecto al número y dimensiones de los brazos, así mismo buscar diferentes posiciones para el empotramiento que permitan el uso más eficiente de las columnas aplicadas a las unidades de cuidados intensivos.
- Evaluar las posiciones de los brazos si existiera unidades de lámparas cirúrgicas ubicadas en toda la mitad del área quirúrgica.

*Justificar con razones contundentes el porqué de los resultados obtenidos o de los datos registrados. Concluir claramente si se cumplió con el requerimiento que se buscaba solucionar. En caso de no ser satisfactorias las pruebas de verificación se deben estipular cual es el paso a seguir para lograr la meta.*

<b>Implementación</b>		<b>Diseño y Análisis</b>	
<b>Nombre:</b>	Lesly Yisset Landazábal Rodríguez	<b>Nombre:</b>	Jose Luis Arenas Vásquez
<b>Cargo:</b>	Practicante Ing. Mecánica	<b>Cargo:</b>	Practicante Ing. Mecánica
<b>Área:</b>	Bioingeniería	<b>Área:</b>	Bioingeniería
<b>Firma</b>	 c.c 1097850305	<b>Firma</b>	 c.c 1098700780

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Revisado:
<b>JEFE DE DISEÑO &amp; DESARROLLO</b>

Documento  
 Propiedad  
 FCV

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

## Anexo E. RDD-BIO-05 “Informe y análisis de resultados – verificación del proyecto”

	<b>INFORME Y ANÁLISIS DE RESULTADOS VERIFICACION DEL PROYECTO</b>	FCV BIOINGENIERIA	
	PROCESO: DISEÑO Y DESARROLLO	Versión: 3	R-DDBIO-05
			Página 1 de 17

Tipo de Informe:		Avance:	x	Final:	Requerimiento al que apunta.
Fecha DD/MM/AA	Nombre del Proyecto:	Columnas móviles hospitalarias			<ul style="list-style-type: none"> <li>Debe tener 6 acoples en total, que permitan el movimiento rotacional entre vigas o brazos en un plano horizontal de 0 a 360° sin ningún tope mecánico</li> </ul>
30/10/2014					
Líder del proyecto:		Lina Viviana Sanabria – Luis Javier Jaramillo			

### 1. OBJETIVOS.

- Diseñar los elementos de unión que conformaran el acople de codo
- Comprobar analíticamente el diseño planteado

*Describe la meta a alcanzar con el desarrollo de esta parte del proyecto. Inicia siempre con un verbo en infinitivo. No consiste en el objetivo del informe, sino en el objetivo del desarrollo.*

### 2. DESCRIPCION DE CAMBIOS REALIZADOS.

La función del acople de codo, será conectar la parte superior del antebrazo con la parte inferior del brazo, permitiendo el giro de 360°. Para el diseño de este sistema, se tendrá en cuenta la teoría con respecto al tema de uniones apernadas o atornilladas según “**Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley**” y “**Diseño de Máquinas de Robert Norton**”.

Para determinar la fuerza aplicada sobre el perno, se realiza una aproximación como se encuentra en “**Elemento de Máquinas de Hamrock**”

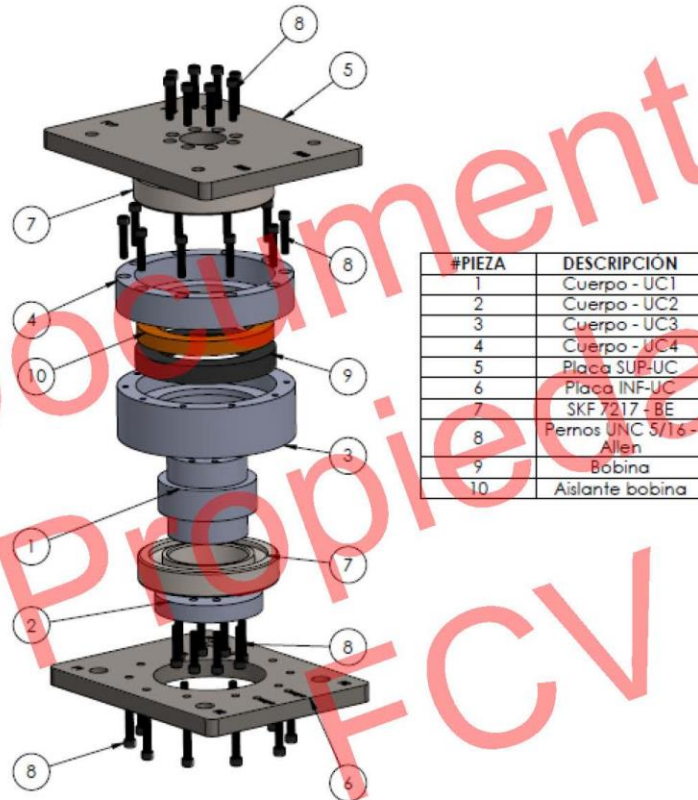
El procedimiento para el diseño de estas uniones es de forma iterativa, por lo que se deberá probar una y otra vez aspectos como la distribución de pernos, número de pernos, diámetro de perno, longitud de perno, grado del perno, entre otras; todo esto para encontrar la solución adecuada, en esta solución el factor de seguridad deberá ser mayor o igual a 4.

Esta unión deberá estar compuesta por varias partes, que a su vez se ensamblaran mediante pernos que aseguren el correcto funcionamiento del conjunto. Por tratarse de un proceso iterativo, en el cual no se cuenta con un parámetro de diseño estable, se presentará la solución ya escogida para posteriormente ser comprobada.

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

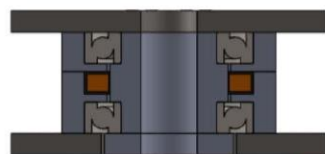
Figura 1. Explosionado de la unión de codo



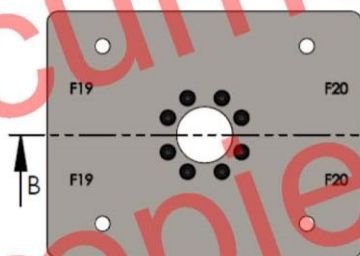
Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Figura 2.** Vista en corte de la unión de codo



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 5



A continuación se describirán las características de cada una de las uniones

**Tabla 1.** Características generales de la unión 1

<b>Unión No.1</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Placa SUP-ANT	Placa INF-UC	-
<b>Material</b>	Aluminio	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	1,03E+07	3,00E+07	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	6/10	5/16	[in.]

<b>Características del perno</b>		<b>Unidades</b>
<b>Grado</b>	5	-
<b>Longitud</b>	1 1/2	[in.]
<b>Díámetro</b>	7/16	[in.]
<b>Carga sobre la unión</b>	481	[lb]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Distribución de pernos		Unidades
Cantidad de pernos	4	-
Alpha_1	41	[grados]
Alpha_2	-	[grados]
Alpha_3	-	[grados]

Figura 3. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 1

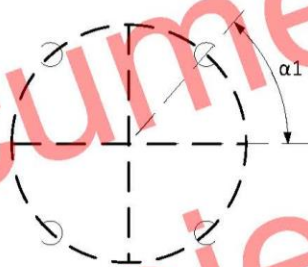


Tabla 2. Características generales de la unión 2

Unión No.2			Unidades
Elementos de unión	Placa INF-UC	Cuerpo UC3	-
Material	Acero	Acero	-
Módulo de elasticidad	3,00E+07	3,00E+07	[psi]
Espesor para cálculo	7/16	1 1/16	[in]

Características del tornillo		Unidades
Grado	5	-
Longitud	1 1/2	[in]
Diámetro	5/16	[in]
Carga sobre la unión	248	[lb]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Distribución de tornillos	Unidades	
Cantidad de pernos	10	-
Alpha_1	20	[grados]
Alpha_2	55	[grados]
Alpha_3	90	[grados]

Figura 4. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 2

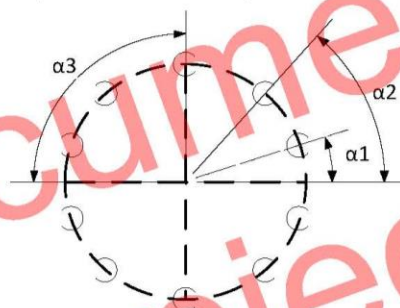


Tabla 3. Características generales de la unión 3

Unión No.3			Unidades
Elementos de unión	Cuerpo UC3	Cuerpo UC4	-
Material	Acero	Acero	-
Módulo de elasticidad	3,00E+07	3,00E+07	[psi]
Espesor para cálculo	1 1/16	7/16	[in]

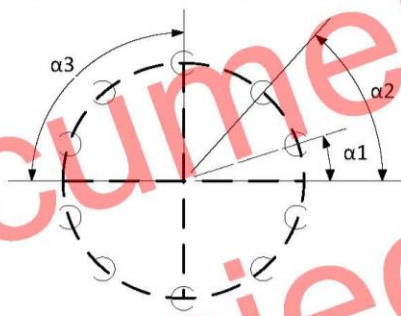
Características del tornillo		Unidades
Grado	5	-
Longitud	1 1/2	[in]
Díámetro	5/16	[in]
Carga sobre la unión	248	[lb]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

<i>Distribución de tornillos</i>	<i>Unidades</i>	
<b>Cantidad de pernos</b>	10	-
<b>Alpha_1</b>	20	[grados]
<b>Alpha_2</b>	55	[grados]
<b>Alpha_3</b>	90	[grados]

**Figura 5.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 3



**Tabla 4.** Características generales de la unión 4

<b>Unión No.4</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	Cuerpo UC2	Cuerpo UC1	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+07	3,00E+07	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	7/16	1 1/16	[in]

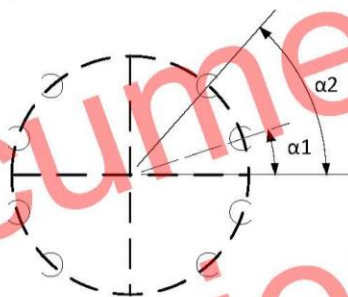
<b>Características del tornillo</b>	<b>Unidades</b>	
<b>Grado</b>	5	-
<b>Longitud</b>	1 1/2	[in]
<b>Diámetro</b>	5/16	[in]
<b>Carga sobre la unión</b>	353	[lb]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

<i>Distribución de tornillos</i>	<i>Unidades</i>	
<b>Cantidad de pernos</b>	8	-
<b>Alpha_1</b>	25	[grados]
<b>Alpha_2</b>	65	[grados]
<b>Alpha_3</b>	-	[grados]

**Figura 6.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 4



**Tabla 5.** Características generales de la unión 5

<b>Unión No.5</b>			<b>Unidades</b>
<b>Elementos de unión</b>	<i>Cuerpo UC1</i>	<i>Placa SUP-UC</i>	-
<b>Material</b>	Acero	Acero	-
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,00E+07	3,00E+07	[psi]
<b>Espesor para cálculo</b>	1 1/16	7/16	[in]

<i>Características del tornillo</i>	<i>Unidades</i>	
<b>Grado</b>	5	-
<b>Longitud</b>	1 1/2	[in]
<b>Diámetro</b>	5/16	[in]
<b>Carga sobre la unión</b>	353	[lb]

<i>Distribución de tornillos</i>	<i>Unidades</i>	
<b>Cantidad de pernos</b>	8	-
<b>Alpha_1</b>	25	[grados]
<b>Alpha_2</b>	65	[grados]
<b>Alpha_3</b>	-	[grados]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

Figura 7. Esquema de la distribución para los pernos de la unión 5

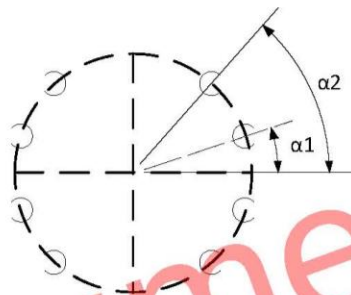


Tabla 6. Características generales de la unión 6

Unión No.6			Unidades
Elementos de unión	Placa SUP-UC	Placa INF-BR	-
Material	Acero	Aluminio	-
Módulo de elasticidad	3,00E+07	1,03E+07	[psi]
Espesor para cálculo	5/16	10/16	[in]

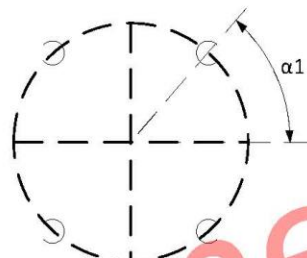
Características del perno		Unidades
Grado	5	-
Longitud	1 1/2	[in]
Diámetro	7/16	[in]
Carga sobre la unión	516	[lb]

Distribución de pernos		Unidades
Cantidad de pernos	4	-
Alpha_1	41	[grados]
Alpha_2	-	[grados]
Alpha_3	-	[grados]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Figura 8.** Esquema de la distribución para los pernos de la unión 6



Se debe redactar en 3ra persona (no escribir nosotros, ni conjugamos verbos como buscamos, encontramos, hallamos, etc). En esta parte se redacta los cambios implementados en los circuitos, esquemas, formulas químicas, planos mecánicos, etc; de no consistir en un cambio se debe registrar el diseño como tal.

### 3. METODOLOGIA DE PRUEBAS.

- Para determinar la fuerza que actúa sobre el perno o la unión, se acude al ejemplo citado en **Elementos de máquinas de Hamrock, Capítulo 15, Ejemplo 15-10, página 699, 1ra Edición**. Donde dice que "las fuerzas de tensión que actúan sobre los dos pernos son proporcionales a la distancia desde el extremo o punto de giro, entonces la deformación ocurre en los pernos pero no en la unión". (Anexo A)
- En esta etapa, se aplicaran cada una de las ecuaciones expuestas en **Diseño de Máquinas de Robert Norton, Capítulo 14, Ejemplo 14-2, página 920, 1ra Edición**. (Anexo B)
- Para el cálculo de la rigidez del material, se acudirá a **Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, Capítulo 8, Ecuación 8-21, página 415, 8tava Edición**. (Anexo C)

#### Observación

Las propiedades mecánicas según el grado del perno, se pueden seleccionar de cualquiera de las dos referencias bibliográficas expuestas anteriormente.

Registrar el proceso con el cual se evaluará el diseño o modificación realizada, con el fin de verificar que los mismos cumplan a cabalidad con el requerimiento que buscan solucionar. Por lo general se conforman de pasos o etapas en que describen un procedimiento para cumplir con una verificación.

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**4. REGISTRO DE DATOS Y OBSERVACIONES.**

*Tabla 7. Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 1*

Resultados		Unidades
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	5,41	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	5,38	-
<i>Precarga</i>	1626,4	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	213,5	[Lb-in]

*Tabla 8. Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 2*

Resultados		Unidades
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	5,17	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	5,22	-
<i>Precarga</i>	846,3	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	79,4	[Lb-in]

*Tabla 9. Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 3*

Resultados		Unidades
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	4,71	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	4,76	-
<i>Precarga</i>	979,9	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	91,9	[Lb-in]

*Tabla 10. Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 4*

Resultados		Unidades
<i>F.S a la fluencia "Ny"</i>	4,2	-
<i>F.S a la separación de la unión "Nsep"</i>	4,44	-
<i>Precarga</i>	1024,5	[Lb]
<i>Par de torsión</i>	96,1	[Lb-in]

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Tabla 11.** Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 5

Resultados		Unidades
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	4,2	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	4,44	-
<b>Precarga</b>	1024,5	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	96,1	[Lb-in]

**Tabla 12.** Factores de seguridad y precarga necesaria para la unión 6

Resultados		Unidades
<b>F.S a la fluencia "Ny"</b>	5,12	-
<b>F.S a la separación de la unión "Nsep"</b>	5,29	-
<b>Precarga</b>	1716,8	[Lb]
<b>Par de torsión</b>	225,4	[Lb-in]

Como se puede determinar los factores de seguridad a la fluencia y a la separación tabulados en las tablas para cada una de las uniones, sobrepasan el valor establecido inicialmente "4", por lo que se puede decir que se encontró una buena solución.

*Registrar los datos capturados por medio de instrumentos de medición o en caso de no ser cuantificables se debe describir el comportamiento del sistema. Incluya tablas, gráficos estadísticos, fotografías, etc, que permitan soportar las conclusiones finales.*

### 5. ANALISIS DE RESULTADOS.

Según los datos tabulados en las tablas, se determina un factor de seguridad superior al establecido, dando entonces un resultado adecuado para el diseño de la unión. Cabe resaltar que existen múltiples configuraciones que puedan llegar a otra buena solución, sin embargo estos valores fueron manipulados teniendo en cuenta la carga que transmitirán al acople de hombro.

#### Observaciones

Para realizar la simulación CAE del acople de codo, se hace necesario despiezar cada uno de los componentes y llevarlos al software SolidWorks uno por uno, ya que simular todo el conjunto se hace costoso y aun así no se conseguirían las condiciones reales de trabajo; siendo este un sistema no tan relevante que puede ser verificado analíticamente.

Para la selección del rodamiento, se seguirán los pasos del catálogo según el fabricante y este procedimiento se comprobará en un siguiente registro.

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

*Justificar con razones contundentes el por qué de los resultados obtenidos o de los datos registrados. Concluir claramente si se cumplió con el requerimiento que se buscaba solucionar. En caso de no ser satisfactorias las pruebas de verificación se debe estipular cual es el paso a seguir para lograr la meta.*

<b>Implementación</b>		<b>Diseño y Análisis</b>	
<b>Nombre:</b>	Lesly Y. Landazábal R.	<b>Nombre:</b>	Jose L. Arenas V.
<b>Cargo:</b>	Practicante Ing. Mecánica	<b>Cargo:</b>	Practicante Ing. Mecánica
<b>Área:</b>	Bioingeniería	<b>Área:</b>	Bioingeniería
<b>Firma</b>	 Lesly Landazabal R. c.c. 1097850305	<b>Firma</b>	 Jose Luis Arenas Vasquez c.c. 1098700780

Revisado:

**JEFE DE DISEÑO & DESARROLLO**

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Anexo A**

**DAOS** Un paso para peatones se remacha a un puente de acero como se indica en la figura 15.20. La carga máxima sobre el paso es equivalente a una carga de 3 000 N, localizada a 2 m del costado del puente de acero por cada par de remaches. Se supone un factor de seguridad de 5.

**HALLAR** El diámetro del remache que se necesita si los remaches están hechos de acero AISI 1040.

**Solución**

La carga sobre cada remache es

$$P = \frac{3\,000}{2} = 1\,500\text{ N}$$

El esfuerzo cortante es

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{1\,500}{A} \quad \text{(a)}$$

Las fuerzas de tensión que actúan sobre los dos remaches son proporcionales a la distancia desde el extremo inferior de la ménsula. La deformación elástica ocurre en los remaches, pero no en la ménsula ni el puente.

$$(P_A)(0.75) + (P_B)(0.25) - (3\,000)(2) = 0$$

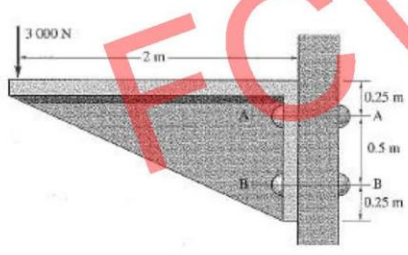
$$\therefore \frac{0.75}{0.25} P_B(0.75) + P_B(0.25) = 6\,000$$

$$\therefore P_B = 2\,400\text{ N}$$

$$P_A = 3(2\,400) = 7\,200\text{ N}$$

$$\therefore \sigma = \frac{P_A}{A} = \frac{7\,200}{A} \quad \text{(b)}$$

**Ejemplo 15.10**



**Figura 15.20** Paso de peatones remachado al puente de acero usado en el ejemplo 15.10.

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Anexo B**

**EJEMPLO 14-2**

**Sujetadores precargados en carga estática**

**Problema** Determine un tamaño adecuado del perno y una precarga para la unión que se muestra en la Figura 14-23. Encuentre su factor de seguridad contra la fluencia y la separación. Determine la precarga óptima como un porcentaje de la resistencia de prueba para maximizar los factores de seguridad.

**Dados** Las dimensiones de la unión son  $D = 1$  in y  $l = 2$  in. La carga aplicada  $P = 2\ 000$  lb.

**Premisas** Ambas piezas sujetas son de acero. Los efectos de las bridas sobre la rigidez de la unión serán ignoradas. Se aplicará como primer ensayo una precarga del 90% de la resistencia de prueba del perno.

**Solución** Véase la Figura 14-25 y los archivos EX14-02a y EX14-02b del *TKSolver*.

- Como en la mayor parte de los problemas de diseño, hay demasiadas variables desconocidas para resolver en una sola pasada las ecuaciones necesarias. Para varios parámetros deberán seleccionarse valores de prueba y utilizarse iteraciones para encontrar una buena solución. De hecho hicimos varias iteraciones para resolver este problema, pero aquí, por razones de brevedad, presentaremos sólo dos. Por lo que los valores de prueba que se emplean aquí han sido ya manipulados para llegar a valores razonables.
- El diámetro del perno es el valor de prueba principal a escoger, junto con una serie de rosca y una clase de perno, a fin de definir la resistencia de prueba. Escogemos un perno de acero de 5/16-18 UNC-2A de clase SAE 5.2. (De hecho, fue nuestra elección del tercer ensayo.) Para una longitud de sujeción de 2 in, suponga una longitud de perno de 2.5 in para permitir que sobresalga lo suficiente para la tuerca. La precarga se toma como el 90% de la resistencia de prueba, como se supuso más arriba.
- La tabla 14-6 muestra que la resistencia de prueba de este perno es 85 kpsi. De la tabla 14-1, el área de esfuerzo a tensión es de  $0.052\ 43$  in<sup>2</sup>. La precarga será entonces de
 
$$F_i = 0.9S_pA_t = 0.9(85\ 000)(0.052\ 43) = 4\ 011\ \text{lb} \quad (a)$$
- Determine las longitudes de rosca  $l_{rosca}$  y del vástago  $l_v$  del perno según se muestra en la Figura 14-21.
 
$$l_{rosca} = 2d + 0.25 = 2(0.3125) + 0.25 = 0.875\ \text{in} \quad (b)$$

$$l_v = l - l_{rosca} = 2.5 - 0.875 = 1.625\ \text{in}$$
 a partir de los cuales podremos determinar la longitud de la rosca  $l_r$  que está en la zona de sujeción:
 
$$l_r = l - l_v = 2.0 - 1.625 = 0.375\ \text{in} \quad (c)$$

Elaborado por: Jefe de Diseño y Desarrollo	Aprobado por: Gerente bioingeniería
Revisado por: Jefe de Calidad	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Anexo B (Continuación)**

5. Determine la rigidez del perno a partir de la ecuación 14.11a.

$$\frac{1}{k_b} = \frac{l_f}{A_f E} + \frac{l_t}{A_b E} = \frac{0.375}{0.05243(30E6)} + \frac{1.625(4)}{\pi(0.3125)^2(30E6)}$$

$$k_b = 1.059E6 \text{ lb/in} \quad (d)$$

6. El cálculo de la rigidez del material sujeto en este ejemplo se simplifica debido a su diámetro relativamente pequeño. En este caso podemos suponer que la totalidad del cilindro del material queda comprimido por la fuerza del perno. (Pronto nos enfrentaremos al problema de determinar el área de sujeción en un continuo de material.) La rigidez del material de la ecuación 14.11c es

$$k_m = \frac{\pi(D^2 - d^2) E_m}{4l} = \frac{\pi(1.0^2 - 0.312^2)(30E6)}{4 \cdot 2.0} = 1.063E7 \text{ lb/in} \quad (e)$$

7. El factor de rigidez de la unión de la ecuación 14.13c es

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} = \frac{1.059E6}{1.063E7 + 1.059E6} = 0.09056 \quad (f)$$

8. Las porciones de la carga aplicada  $P$  que ven el perno y el material pueden determinarse ahora, a partir de las ecuaciones 14.13.

$$P_b = CP = 0.09056(2000) = 181 \text{ lb} \quad (g)$$

$$P_m = (1 - C)P = (1 - 0.09056)(2000) = 1819 \text{ lb}$$

9. Encuentre las cargas resultantes tanto en el perno como en el material una vez aplicada la carga  $P$ .

$$F_b = F_i + P_b = 4011 + 181 = 4192 \text{ lb} \quad (h)$$

$$F_m = F_i - P_m = 4011 - 1819 = 2192 \text{ lb}$$

Advierta lo poco que la carga aplicada aumenta la precarga en el perno.

10. El esfuerzo máximo a tensión en el perno es

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_f} = \frac{4192}{0.05243} = 79955 \text{ psi} \quad (i)$$

Advierta que no se utiliza factor de concentración de esfuerzos, dado que se trata de una carga estática.

11. Se trata de una situación de esfuerzo uniaxial, por lo que el esfuerzo principal y el esfuerzo Von Mises son idénticos al esfuerzo a tensión aplicado. El factor de seguridad a la fluencia será por lo tanto

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b} = \frac{92000}{79657} = 1.15 \quad (j)$$

La resistencia a la fluencia se determina a partir de la Tabla 14-1.

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**Anexo B (Continuación)**

12 La carga requerida para separar la unión y el factor de seguridad a la separación de la unión se determinan a partir de las ecuaciones 14.14c y 14.14d.

$$P_0 = \frac{F_f}{(1-C)} = \frac{4\,011}{(1-0.09056)} = 4\,410 \text{ lb} \quad (k)$$

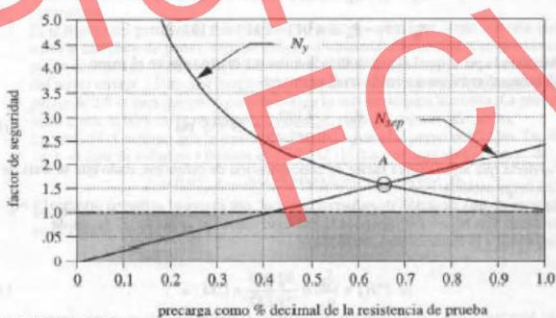
$$N_{sep} = \frac{P_0}{P} = \frac{4\,410}{2\,000} = 2.2 \quad (j)$$

13 El factor de seguridad contra la separación es aceptable, pero el factor de seguridad a la fluencia es demasiado reducido. El modelo *TKSolver* se resolvió por listas para la totalidad del rango de precargas posibles, desde cero hasta 100% de la resistencia de prueba, y estos dos factores de seguridad fueron trazados en función del porcentaje de precarga. Los resultados aparecen en la Figura 14-25.

El factor de seguridad por separación va incrementándose de manera lineal al aumentar la precarga, pero es  $\leq 1$  si la precarga es mayor a aproximadamente 42% de la resistencia de prueba. Por lo menos este monto de precarga es necesario para mantener la unión junta bajo la carga aplicada.

El factor de seguridad contra la fluencia es elevado a bajas precargas, reduciéndose de manera no lineal al crecer la precarga. Ambas líneas se cruzan en el punto A, a una precarga de casi 65% de la resistencia de prueba. Esta precarga da la mejor solución a este problema en particular, ya que equilibra los factores de seguridad contra ambos modos de falla a un valor de 1.6.

14 El diseño recomendado se por lo tanto un punto de 5/16" TRUNC. 2 X de grado 5.2, de 2.5 in de largo y precargado a 65% de la resistencia de prueba, con una fuerza de precarga de:

$$F_f = 0.65P_0 = 0.65(85\,000)(0.052) = 2\,900 \text{ lb} \quad (m)$$


Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

**ANEXO C**

CAPÍTULO 8 Tornillos, sujetadores y diseño de uniones no permanentes **415**

Con  $\alpha = 30^\circ$ , esto se convierte en

$$k = \frac{0.5774\pi Ed}{\ln \frac{(1.155t + D - d)(D + d)}{(1.155t + D + d)(D - d)}} \quad (8-20)$$

La ecuación (8-20), o la (8-19), debe resolverse por separado para cada tronco de la unión. Después, las rigideces individuales se ensamblan para obtener  $k_m$  mediante la ecuación (8-18). Si los elementos de la unión tienen el mismo módulo de Young  $E$  con troncos espalda con espalda simétricas, entonces actúan como dos resortes idénticos en serie. A partir de la ecuación (8-18), se sabe que  $k_m = k/2$ . Usando el agarre como  $l = 2t$  y  $d_w$  como el diámetro de la cara de la arandela, se encuentra que la relación del resorte de los elementos está dada por

$$k_m = \frac{\pi Ed \tan \alpha}{2 \ln \frac{(l \tan \alpha + d_w - d)(d_w + d)}{(l \tan \alpha + d_w + d)(d_w - d)}} \quad (8-21)$$

El diámetro de la cara de la arandela es aproximadamente 50% mayor que el diámetro del sujetador en pernos estándar de cabeza hexagonal y tornillos con cabeza. Así, se puede simplificar la ecuación (8-21) haciendo  $d_w = 1.5d$ . Si también se usa  $\alpha = 30^\circ$ , entonces la ecuación (8-21) se escribe como

$$k_m = \frac{0.5774\pi Ed}{2 \ln \left( \frac{5 \cdot 0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d} \right)} \quad (8-22)$$

Elaborado por: <i>Jefe de Diseño y Desarrollo</i>	Aprobado por: <i>Gerente bioingeniería</i>
Revisado por: <i>Jefe de Calidad</i>	Fecha de Aprobación: 2012-06-13

Todos los derechos reservados. Fundación Cardiovascular de Colombia.

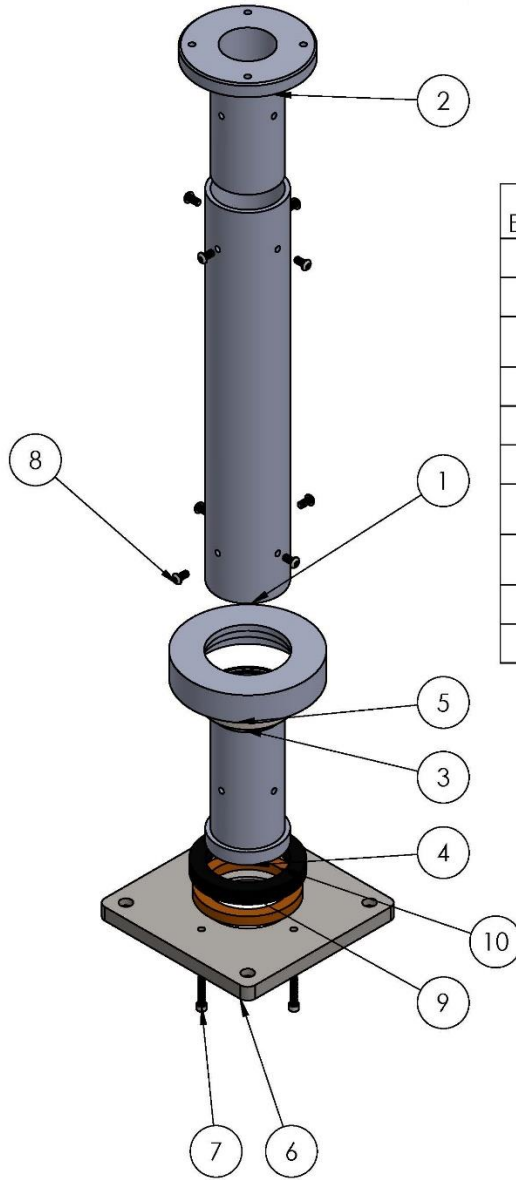
## Anexo F. Ensamble total Mueble biomédico flotante

*Anexo F. Ensamble Total*



<b>Nombre:</b> Mueble biomédico flotante	<b>Proyecto:</b> Mueble biomédico flotante	<b>Software:</b> Keyshot 4	<b>Unidades:</b>	<b>Fecha:</b> 10/11/14
<b>Sistema:</b> Completo	<b>Tipo de documento:</b> Presentación	<b>Dibujo:</b> Lesly Yisset Landazábal Rodríguez Jose Luis Arenas Vásquez	<b>Escala:</b>	<b>Hoja:</b> 01

## Anexo G. Vista explosionada de Unión de muñeca

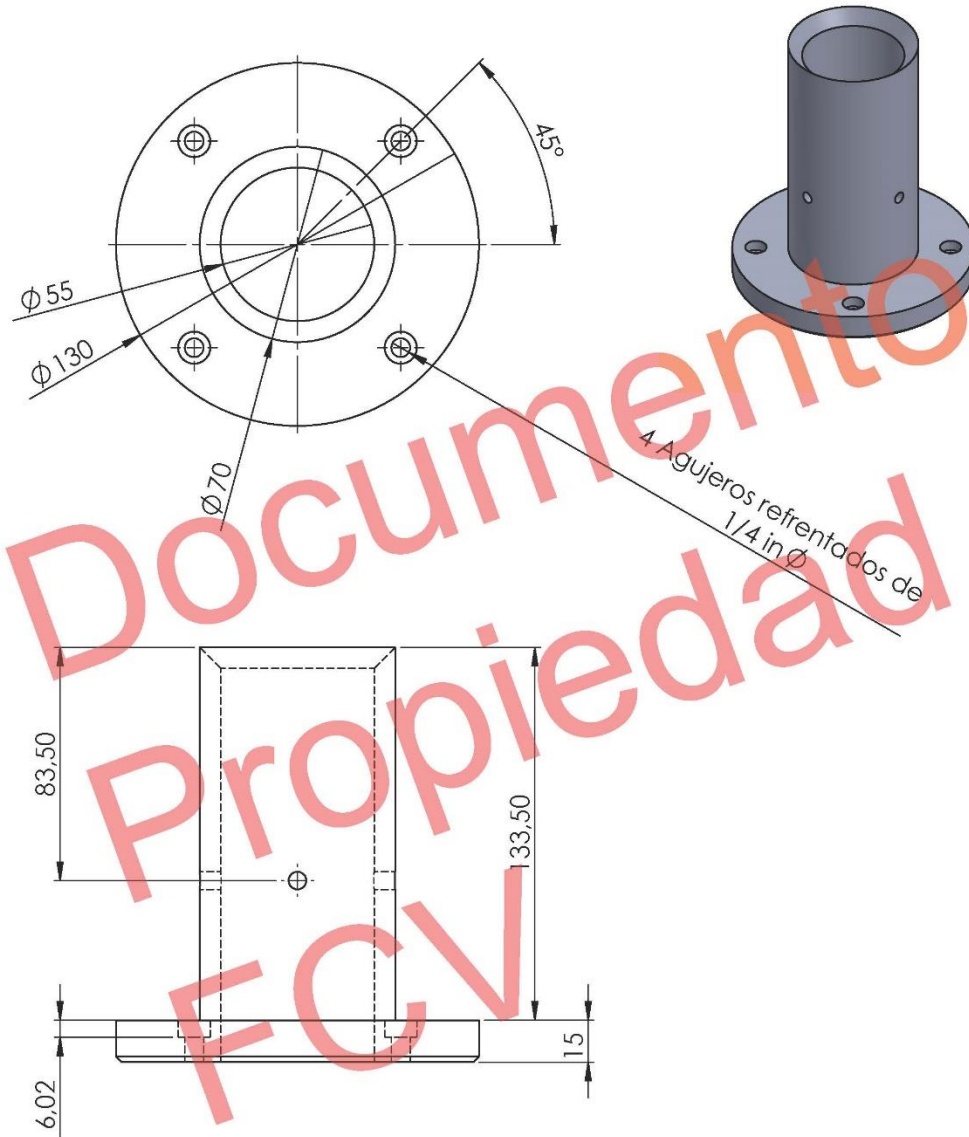


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo-UM2	1
2	Cuerpo-UM1	1
3	SKF - 61814 - 34,SI,NC,34_68	1
4	Cuerpo-UM5	1
5	Cuerpo-UM3	1
6	Cuerpo-UM4	1
7	HX-SHCS 0.25-20x1.25x1.25-S	4
8	SBHCSCREW 0.25-20x0.5-HX-S	8
9	Aislante	1
10	Bobina	1

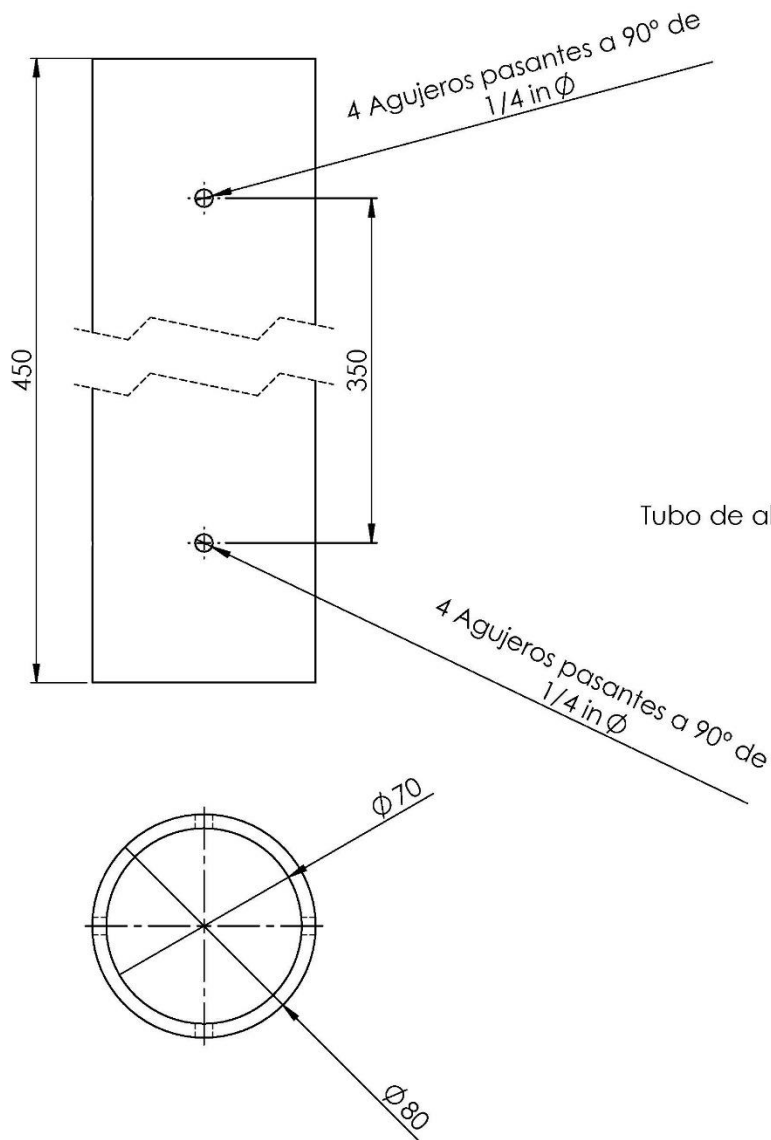


fcv | Bioingeniería

Nombre:	Unión de Muñeca	Unidades:	mm	Fecha:	10/11/14
Sistema:	Uniones	Escala:	1:5	Hoja:	01
Proyecto:	Mueble biomédico flotante	Software:	SolidWorks 2013		
Dibujo:	Lesly Yisset Landazábal Rodríguez Jose Luis Arenas Vásquez	Tipo de documento:	Planos		



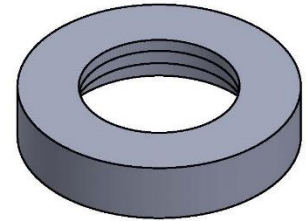
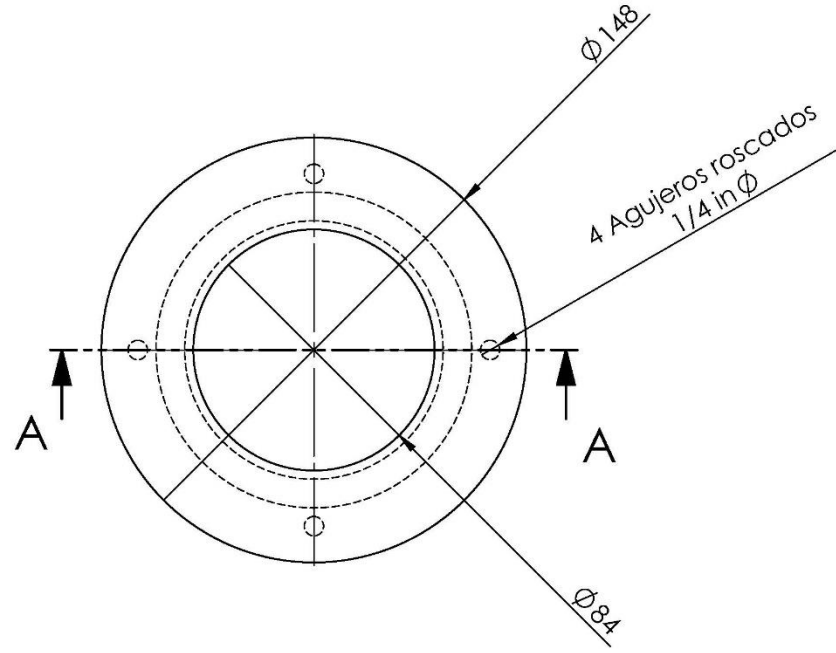
Software: SolidWorks 2013	Unidades: mm	Versión: 0
Req:	Escala	Revisión:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesty Landazábal	Descripción:	Fecha: 10/10/14
Tipo de documento: Planos	Ubicación:	Hoja:
Componente:		
Equipo:		
Proyecto: Columnas Móviles		



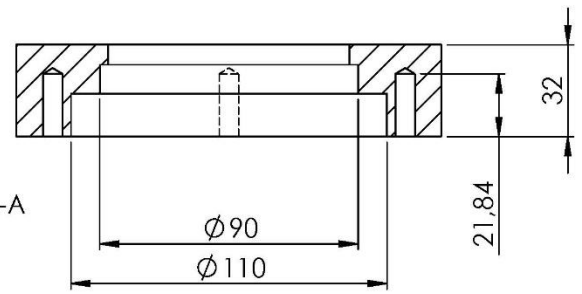
Tubo de aluminio comercial



Software: SolidWorks 2013	Unidades: mm	Versión: 0
Req:	Escala	Revisión:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesty Landazábal	Descripción:	Fecha: 10/10/14
Tipo de documento: Planos	Ubicación:	Hoja:
Componente:		
Equipo:		
Proyecto: Columnas Móviles		



SECCIÓN A-A

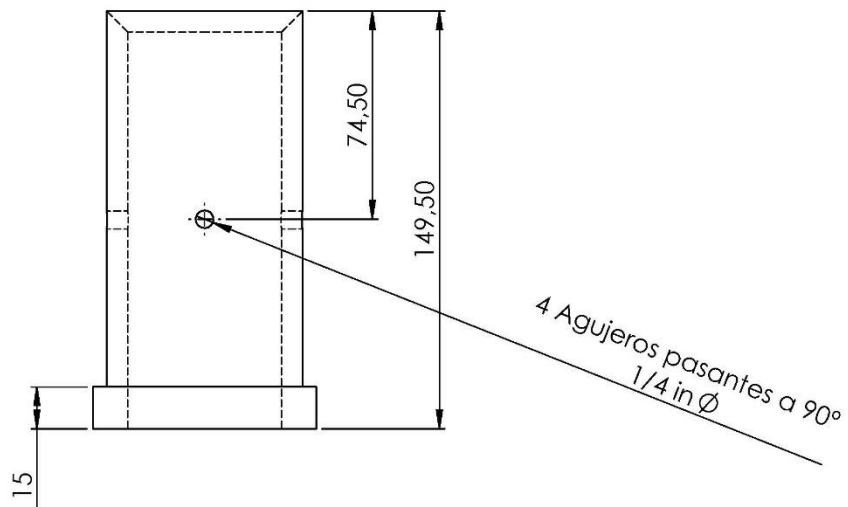
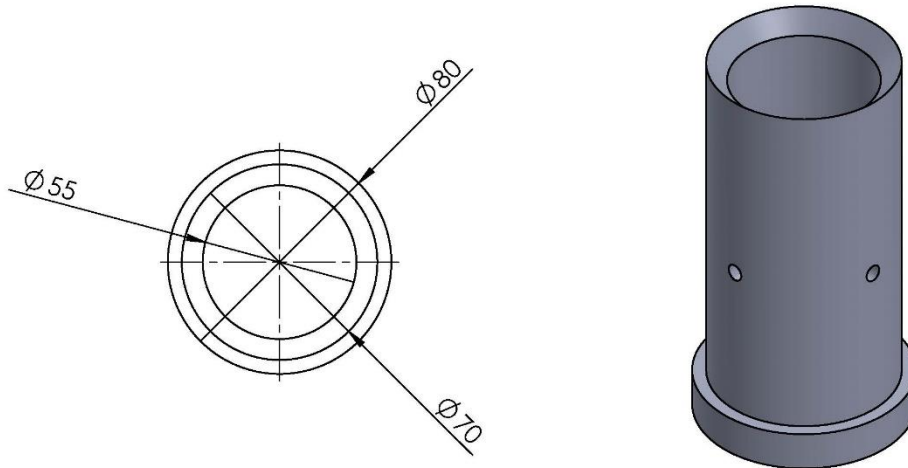


Tipo de documento: Planos
Componente:
Equipo:
Proyecto: Columnas Móviles

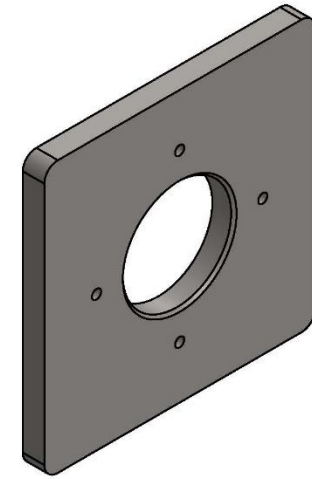
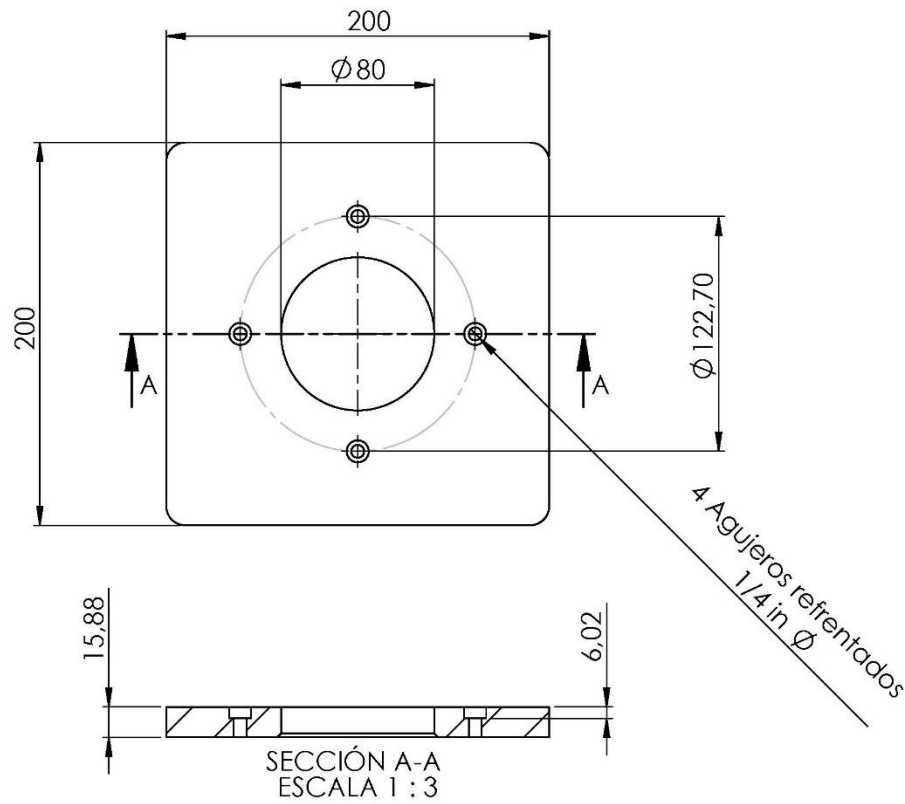
Descripción:
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013
Req:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



Software: SolidWorks 2013	Unidades: mm	Versión: 0
Req:	Escala	Revisión:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesty Landazábal	Descripción:	Fecha: 10/10/14
Tipo de documento: Planos	Ubicación:	Hoja:
Componente:		
Equipo:		
Proyecto: Columnas Móviles		



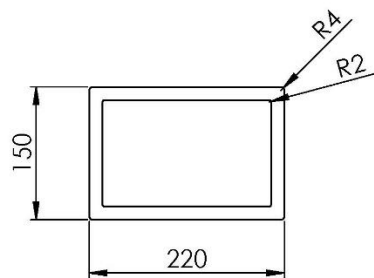
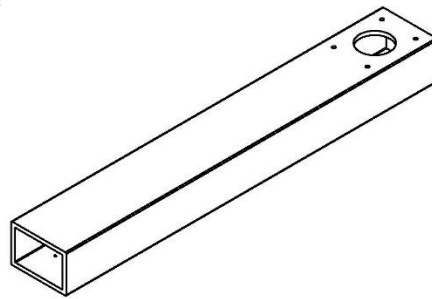
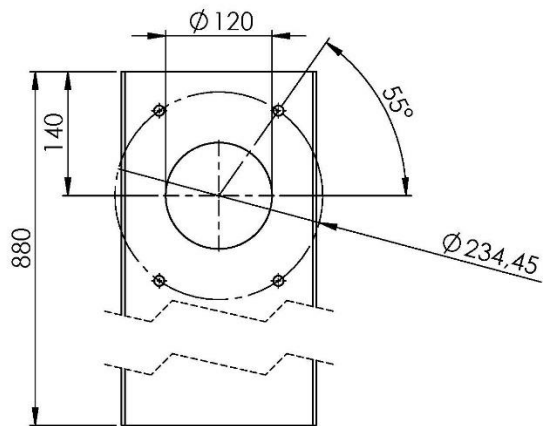
Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesly Landazábal

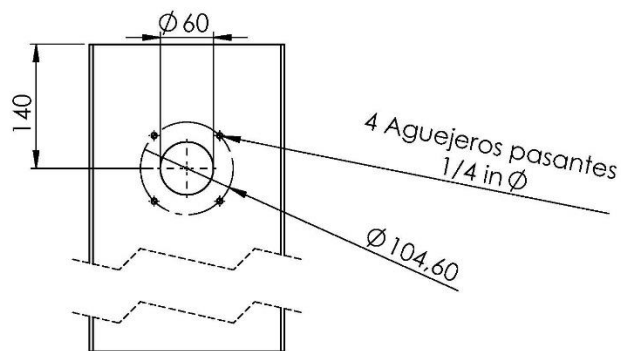
Unidades: mm	Versión: 0
Escala	Revisión:
	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

## Anexo H. Vista explosionada Ante-brazo



La distancia de centro a entre los agujeros mas grandes (60 y 120 mm de diametro) es de 600 mm, esta distancia es la que varia para las longitudes de brazo de 800,1000 y 1200 mm.

Dando como longitud total 880 mm



fcv | Bioingeniería

Software: SolidWorks 2013

Req:

Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
Jose Arenas - Lesly Landazábal

Tipo de documento: Planos

Componente:

Equipo:

Proyecto: Columnas Móviles

Unidades:  
mm

Escala

Descripción:

Ubicación:

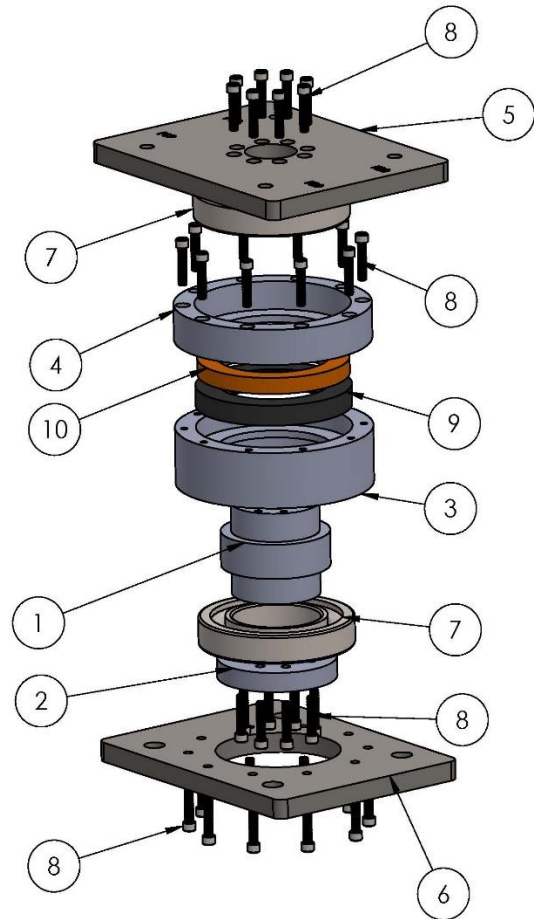
Versión: 0

Revisión:

Fecha: 10/10/14

Hoja:

## Anexo I. Vista explosionada de Unión de codo



#PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cuerpo - UC1	1
2	Cuerpo - UC2	1
3	Cuerpo - UC3	1
4	Cuerpo - UC4	1
5	Placa SUP-UC	1
6	Placa INF-UC	1
7	SKF 7217 - BE	2
8	Pernos UNC 5/16 - Allen	36
9	Bobina	1
10	Aislante bobina	1

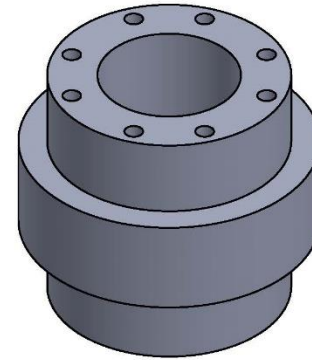
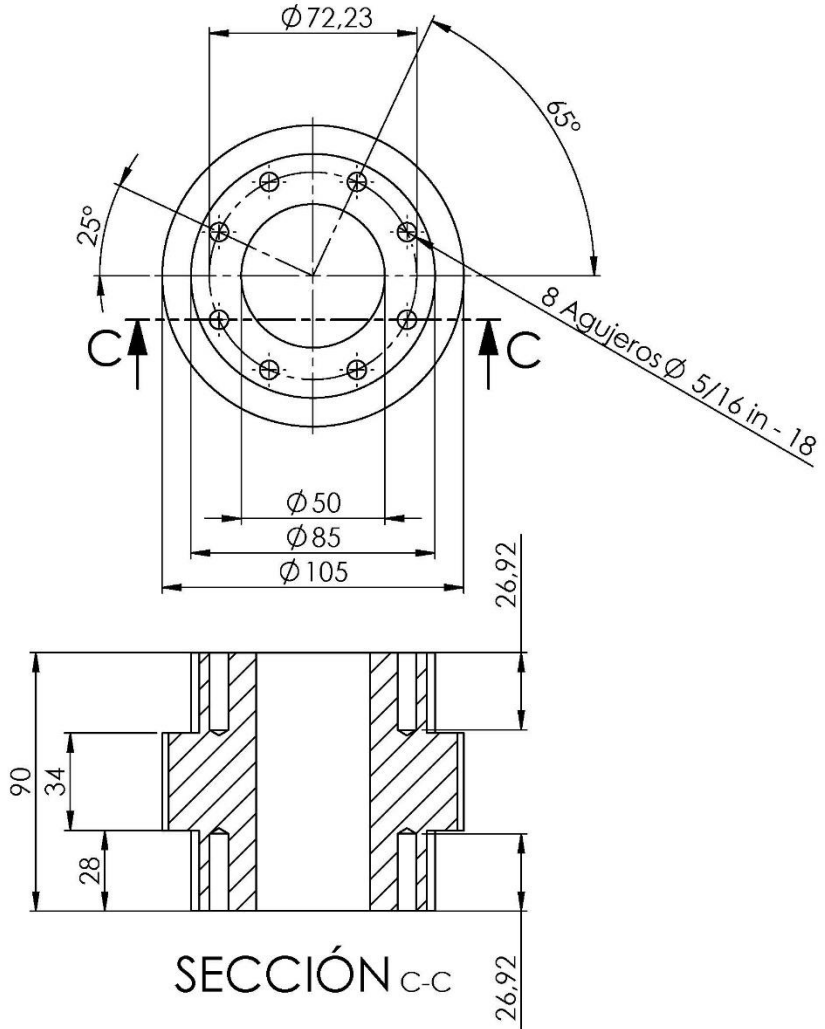


Tipo de documento: Explodonado  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: Versión: 0  
 Revisión:  
 Escala: Fecha: 10/10/14  
 Hoja:

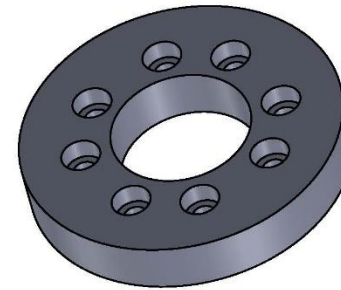
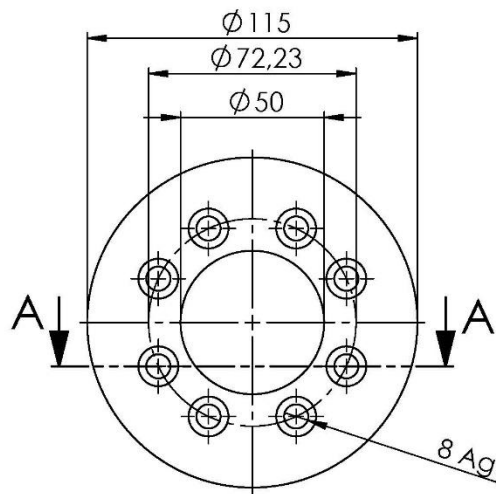


Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

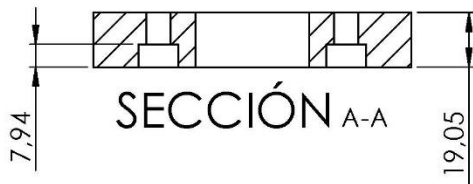
Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades:	Versión: 0
mm	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



8 Agujeros refrentados  $\varnothing 5/16$  in



SECCIÓN A-A

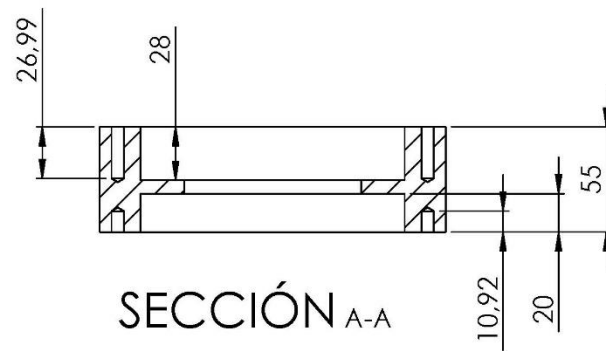
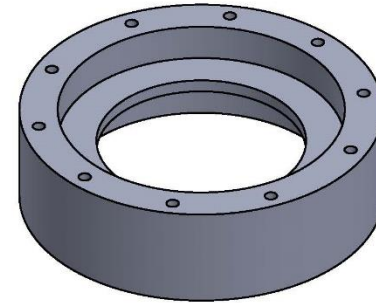
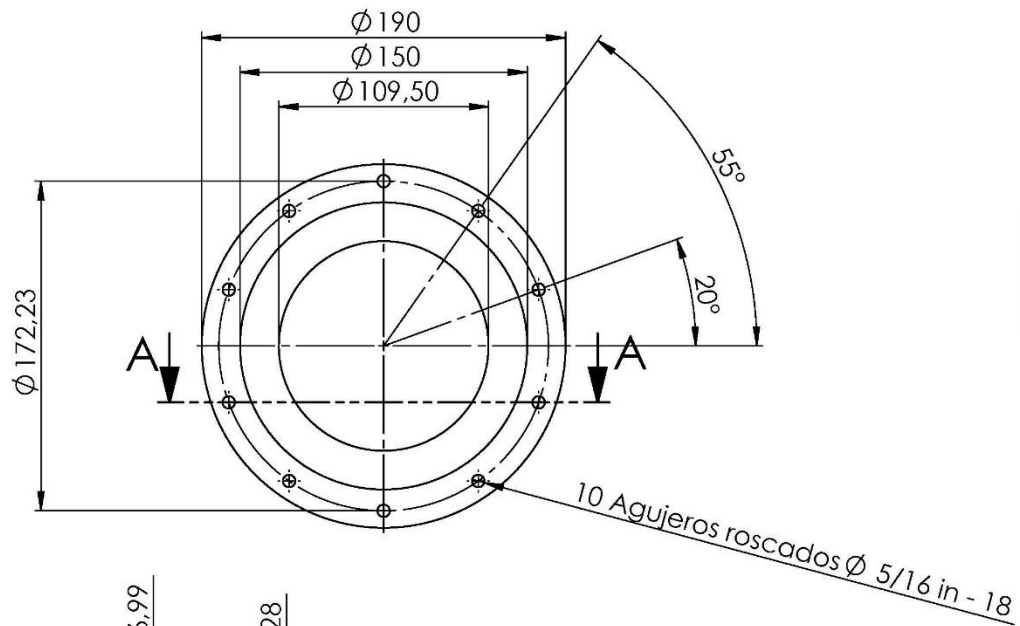


Tipo de documento: Planos
Componente:
Equipo:
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013
Req:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3



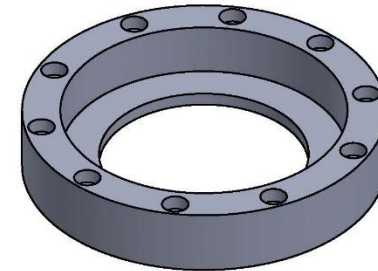
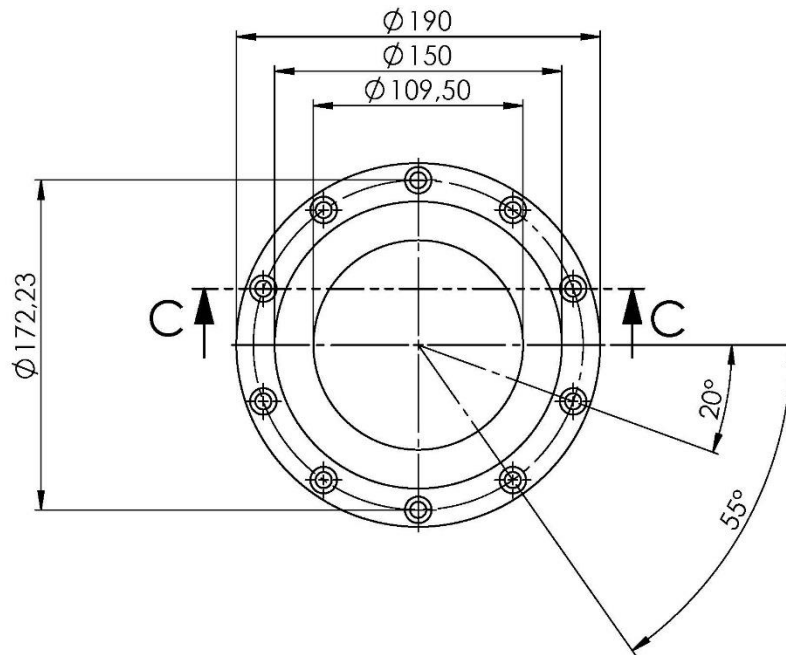
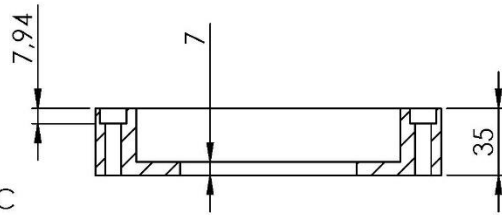
Tipo de documento: Planos  
Componente:  
Equipo:  
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
Req:  
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 : 3

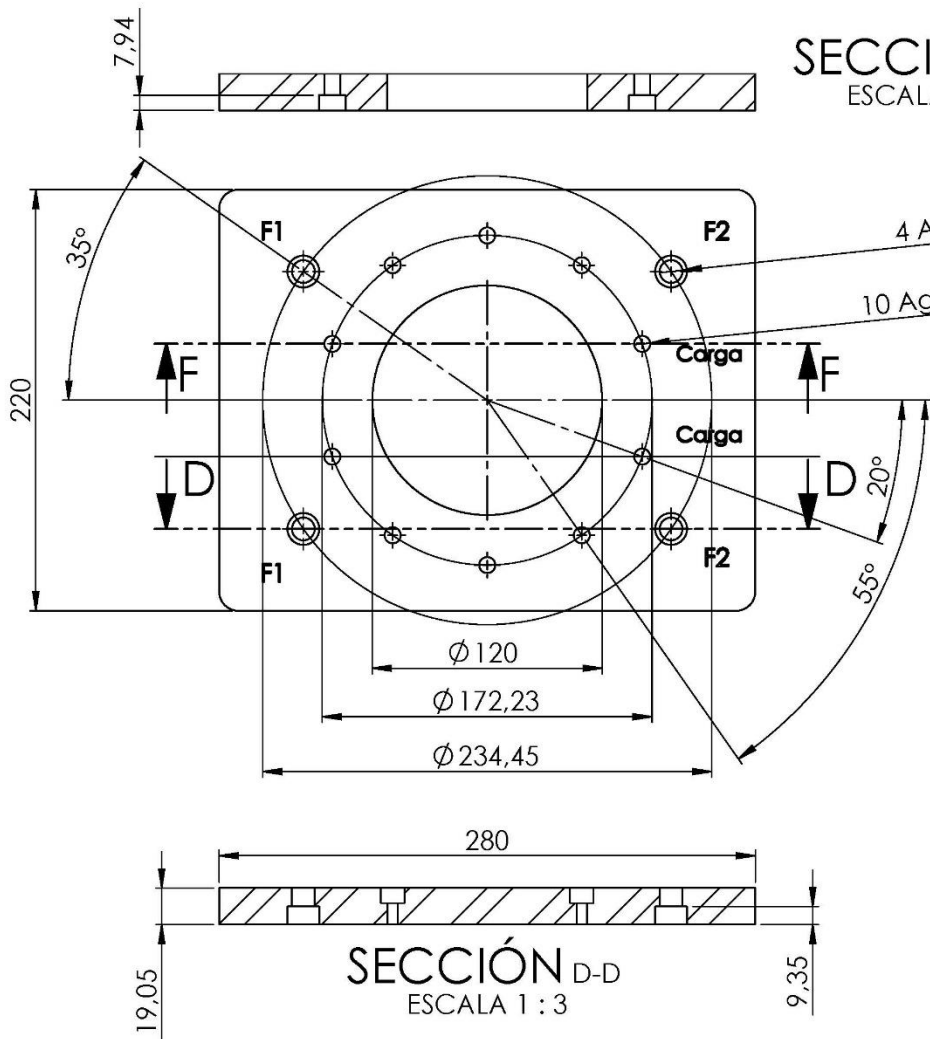


Tipo de documento: Planos  
Componente:  
Equipo:  
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
Ubicación:

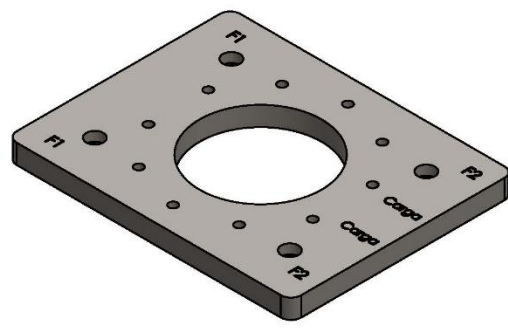
Software: SolidWorks 2013  
Req:  
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



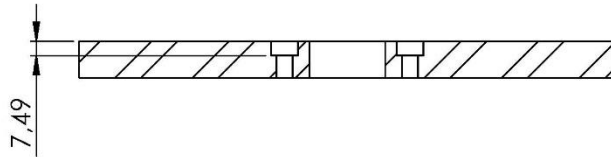
**SECCIÓN F-F**  
ESCALA 1 : 3

4 Agujeros Refrentados  $\phi$  1/2 in  
10 Agujeros Refrentados  $\phi$  5/16 in

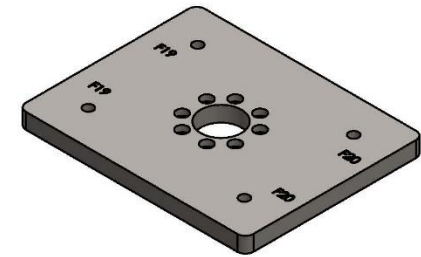


Tipo de documento: Planos	Descripción:
Componente:	
Equipo:	Ubicación:
Proyecto: Columnas Móviles	

Software: SolidWorks 2013	Unidades: mm	Versión: 0
Req:		Revisión:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesly Landazábal	Escala	Fecha: 10/10/14
		Hoja:

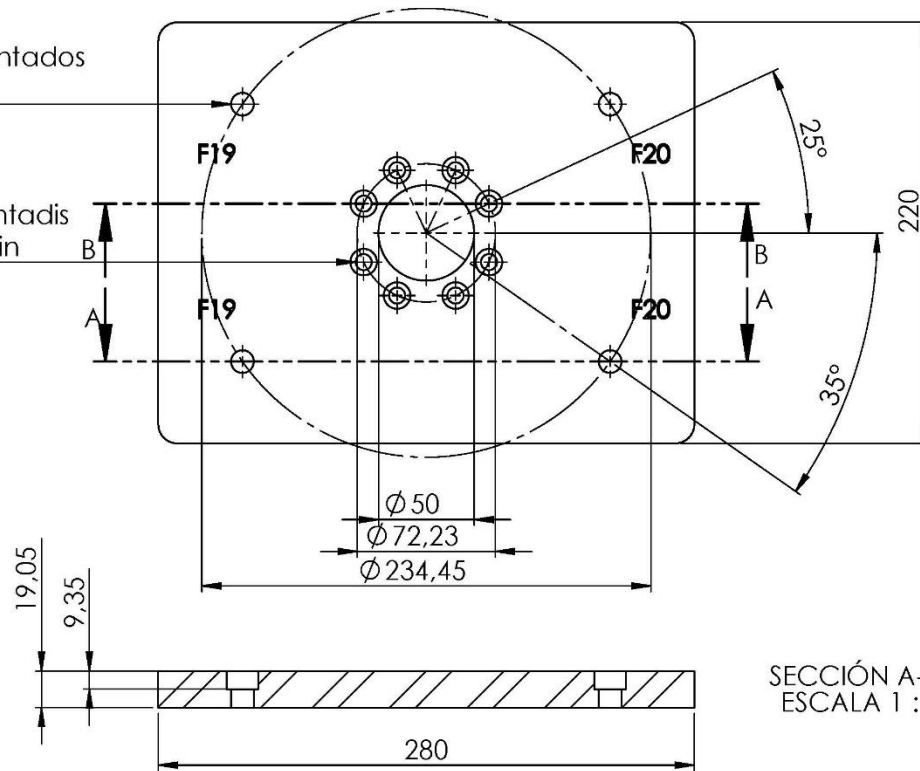



SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



4 Agujeros refrentados  
 $\varnothing$  1/2 in

8 Agujeros refrentadis  
 $\varnothing$  8,43 5/18i in



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 3



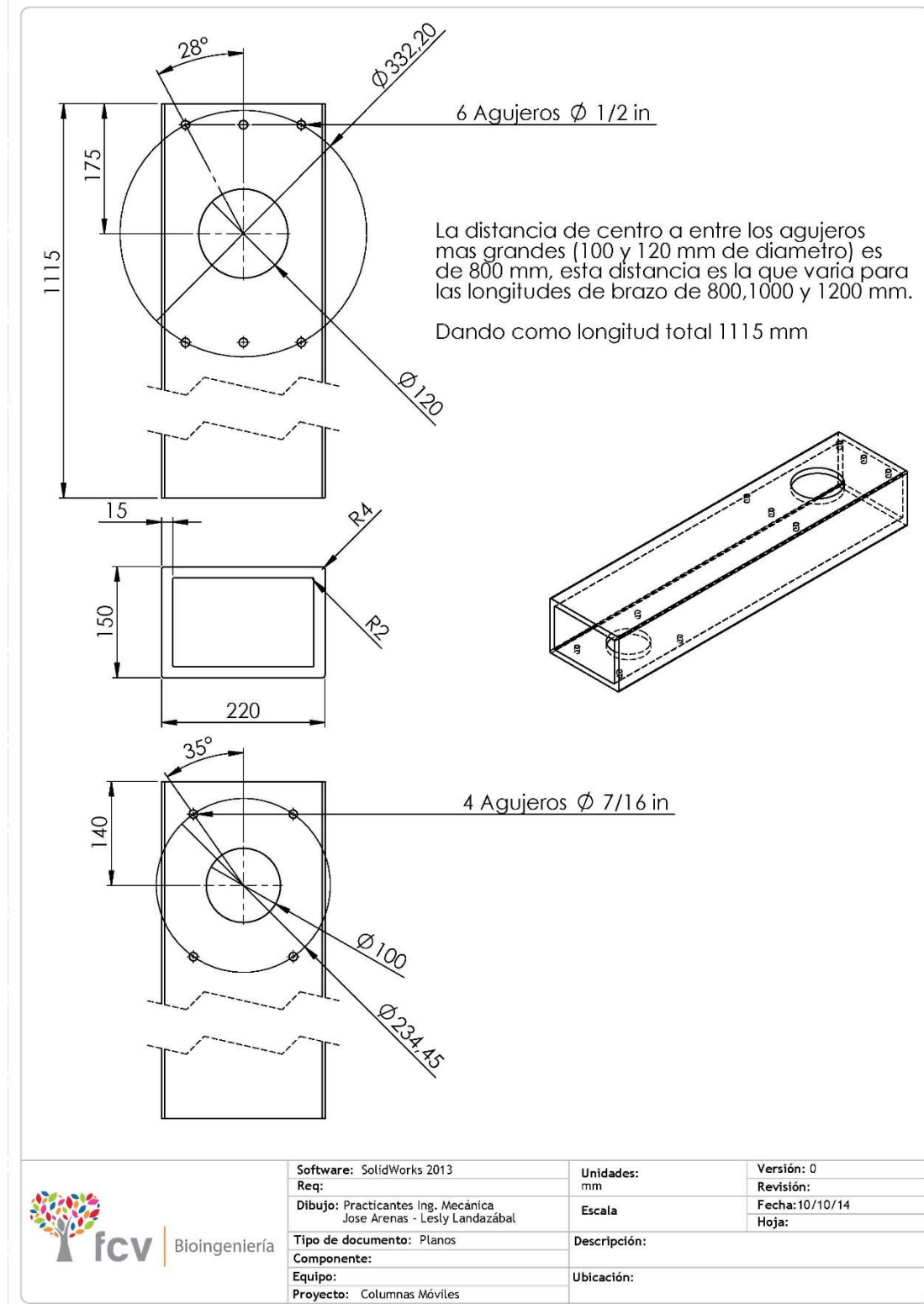
Tipo de documento: Planos  
Componente:  
Equipo:  
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
Ubicación:

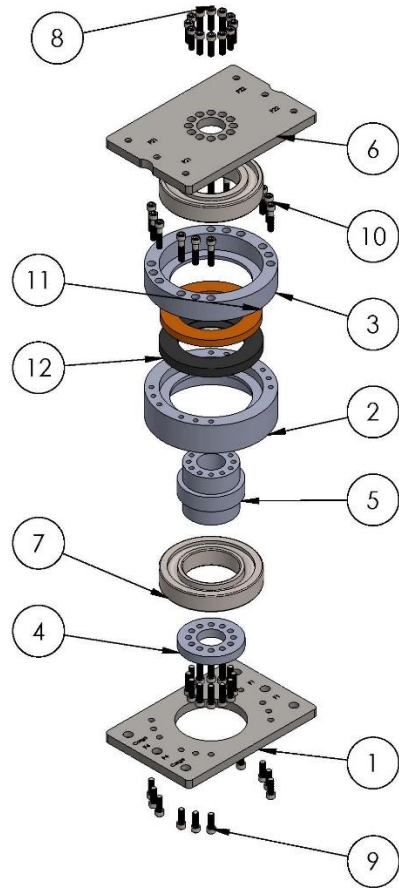
Software: SolidWorks 2013  
Req:  
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

## Anexo J. Vista explosionada brazo



### Anexo K. Vista explosionada unión de codo



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo - UH1	1
2	Cuerpo - UH2	1
3	Cuerpo - UH3	1
4	Cuerpo - UH4	1
5	Cuerpo - UH5	1
6	Cuerpo - UH6	1
7	SKF - 7222 BE - 14,SI,NC,14_68	2
8	HX-SHCS 0.4375-20x1.5x1.5-S	24
9	HX-SHCS 0.4375-20x1.25x1.25-S	12
10	HX-SHCS 0.4375-20x2x1.375-S	12
11	Bobina_hombro	1
12	Aislante_bobina_hombro	1



**Nombre:** Unión de Hombro

**Proyecto:** Mueble biomédico flotante

**Software:** SolidWorks 2013

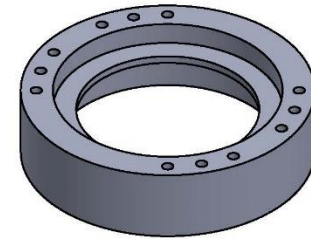
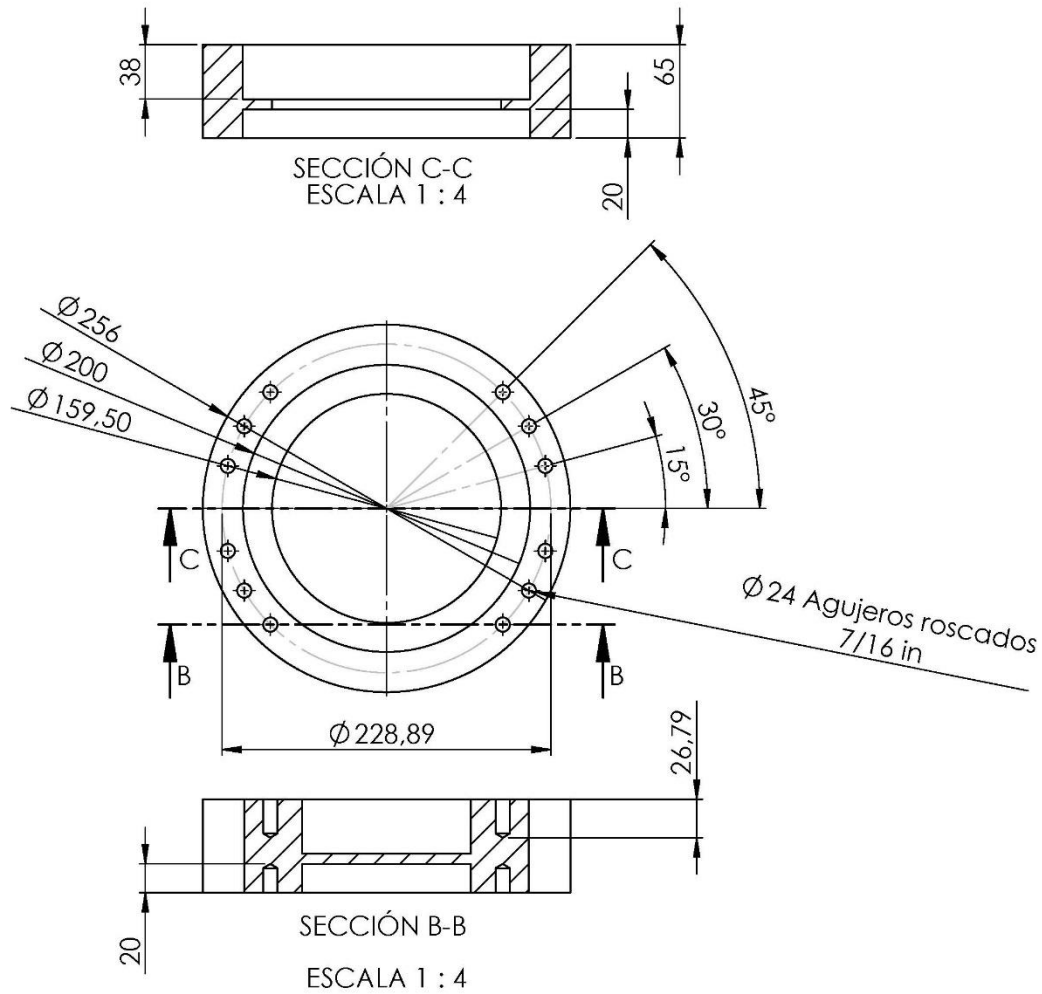
**Unidades:** mm **Fecha:** 10/11/14

**Sistema:** Uniones

**Tipo de documento:** Planos

**Dibujo:** Lesly Yisset Landazábal Rodríguez  
Jose Luis Arenas Vásquez

**Escala:** 1:10 **Hoja:** 01

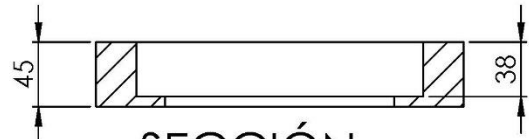


Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

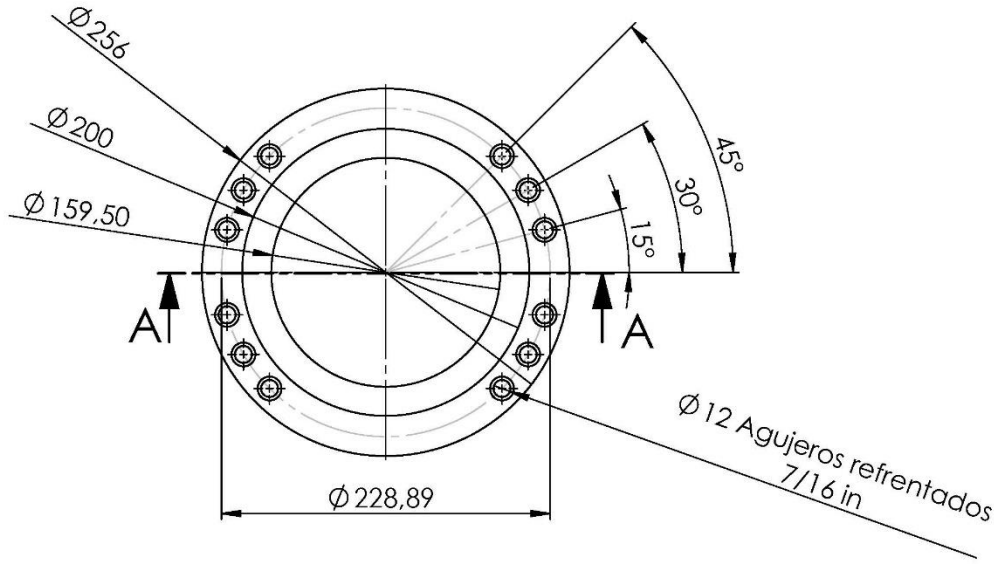
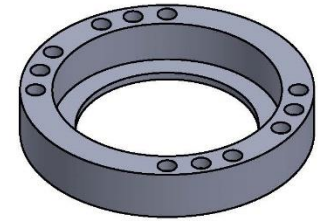
Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesty Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 4

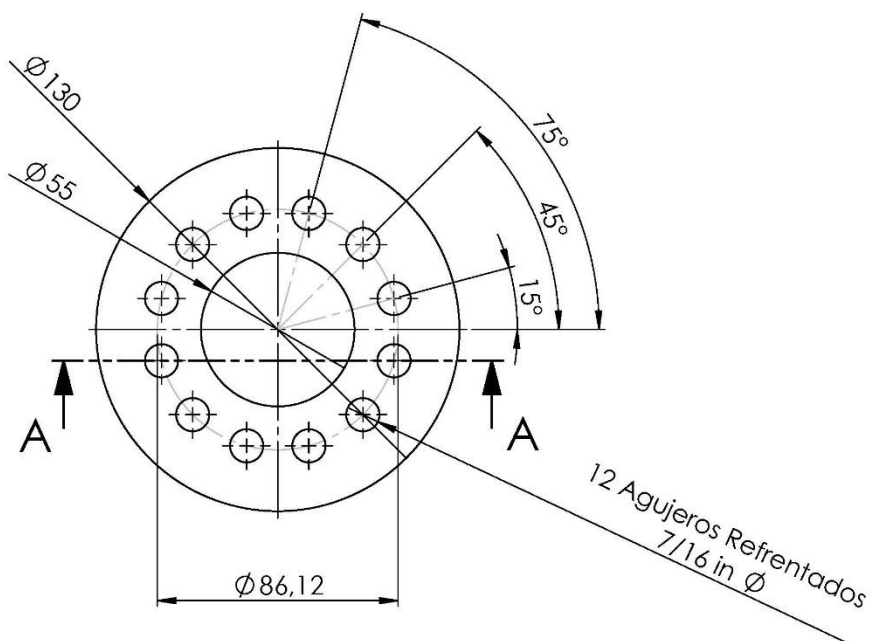
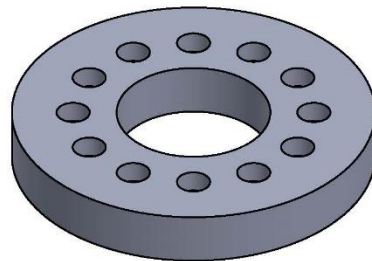


Tipo de documento: Planos
Componente:
Equipo:
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013
Req:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesly Landazábal

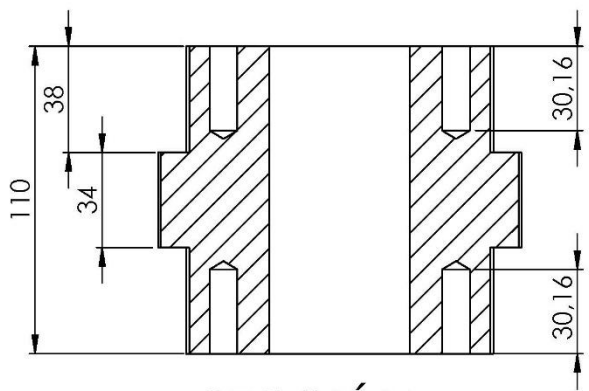
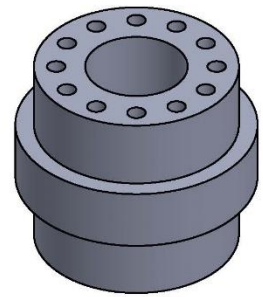
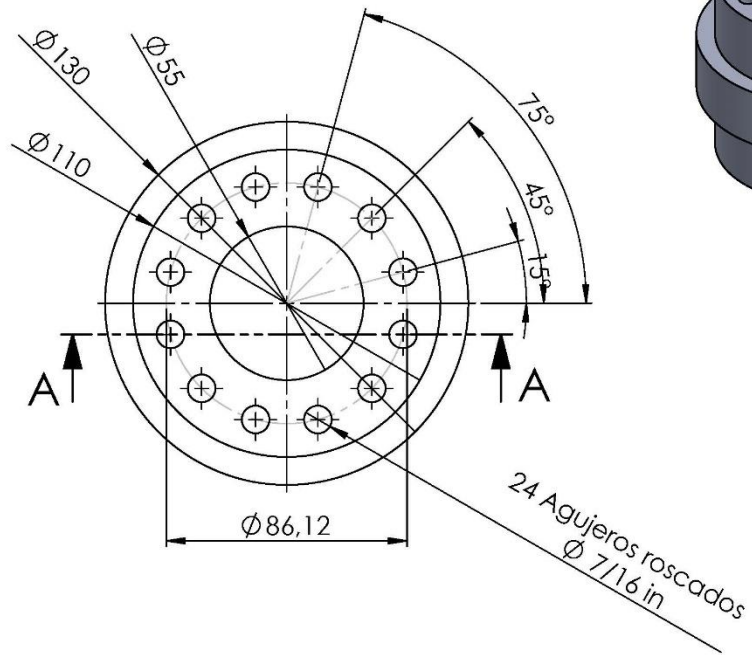
Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesty Landazábal  
 Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Unidades:  
 mm  
 Escala  
 Descripción:  
 Ubicación:

Versión: 0  
 Revisión:  
 Fecha: 10/10/14  
 Hoja:

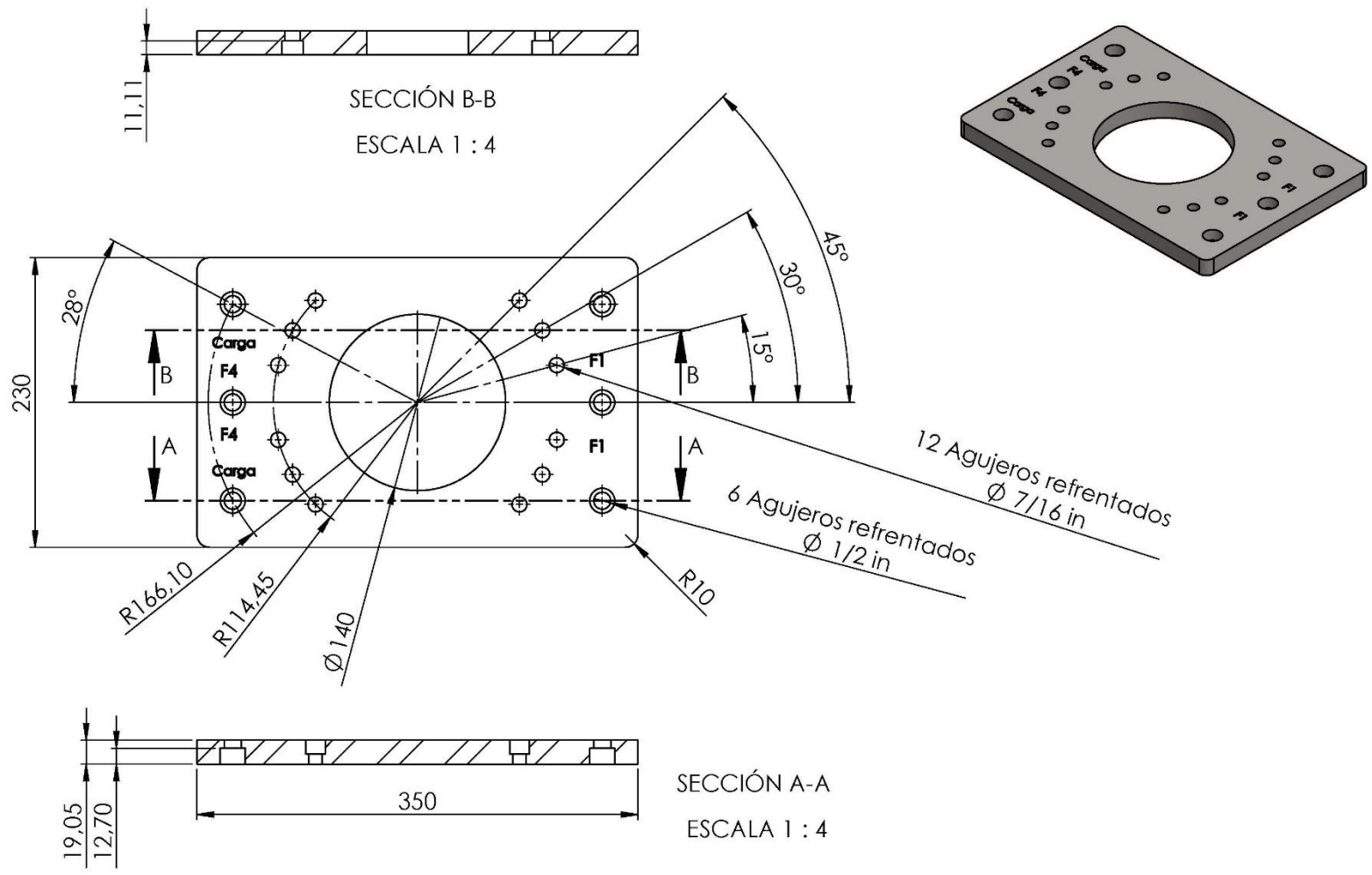


SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 2



Software: SolidWorks 2013	Unidades: mm	Versión: 0
Req:	Escala	Revisión:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesty Landazábal	Descripción:	Fecha: 10/10/14
Tipo de documento: Planos	Ubicación:	Hoja:
Componente:		
Equipo:		
Proyecto: Columnas Móviles		

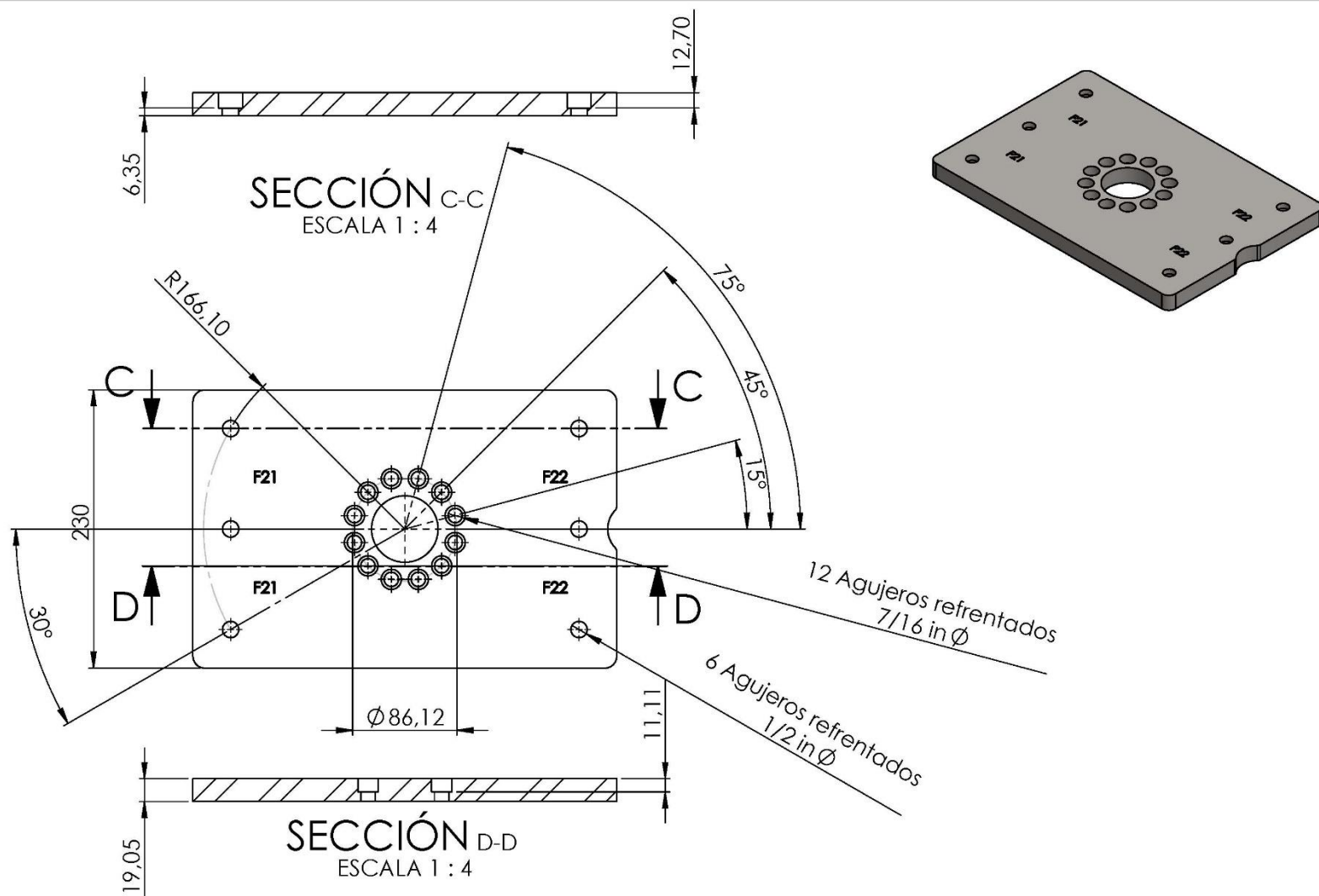


Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesly Landazabal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



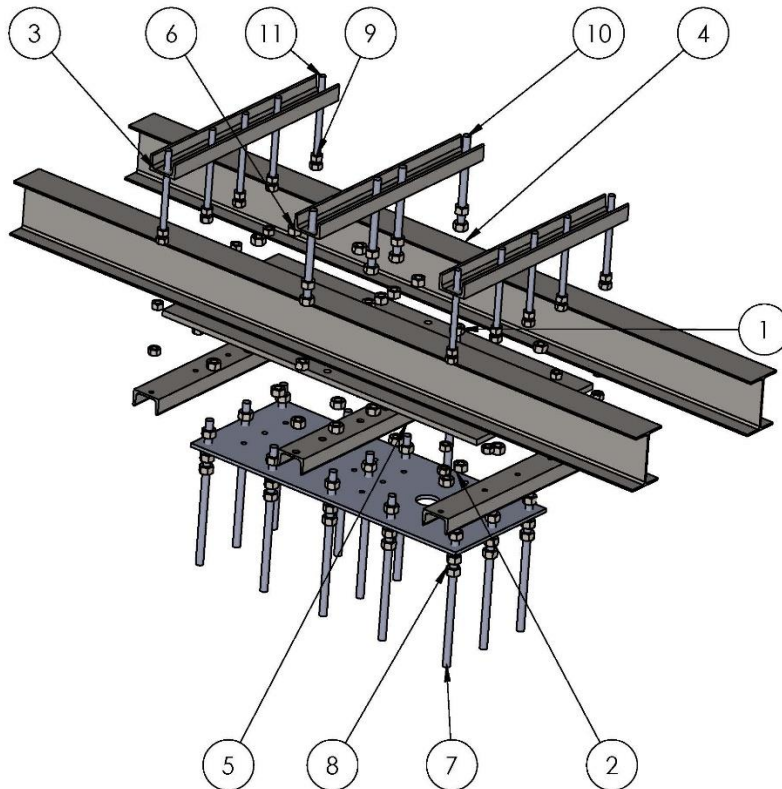
Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

## Anexo L. Vista explosionada Clavícula



Anexo L. Vista explosionada de la unión de clavícula

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cuerpo-ECA1	1
2	Cuerpo ECA2	1
3	perfil C UPE 80	4
4	W6x9x180	1
5	Perfil C UPE 80 1	2
7	Varilla Roscada tipo 1	13
8	HHNUT 0.7500-16-D-N	94
9	HHNUT 0.6250-18-D-N	40
10	Varilla Roscada tipo 2	4
11	Varilla Roscada Tipo 3	10



Nombre: Clavícula

Sistema: Empotramiento

Proyecto: Mueble biomédico flotante

Tipo de documento: Planos

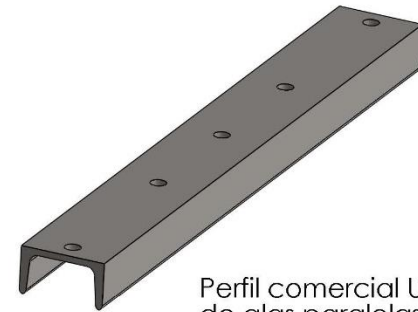
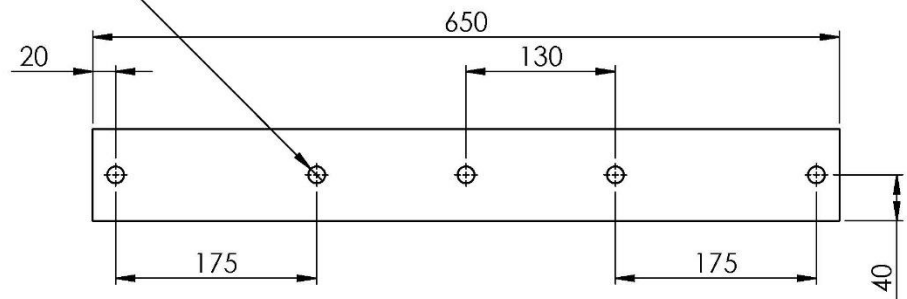
Software: SolidWorks 2013

Dibujo: Lesly Yisset Landazábal Rodríguez  
Jose Luis Arenas Vásquez

Unidades: mm Fecha: 10/11/14

Escala: 1:13 Hoja: 01

5 Agujeros pasantes  
5/8 in Ø



Perfil comercial UPE80  
de alas paralelas

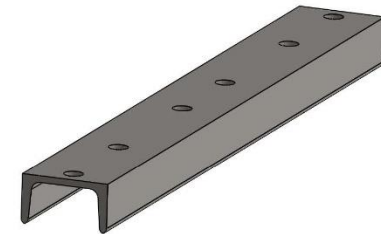
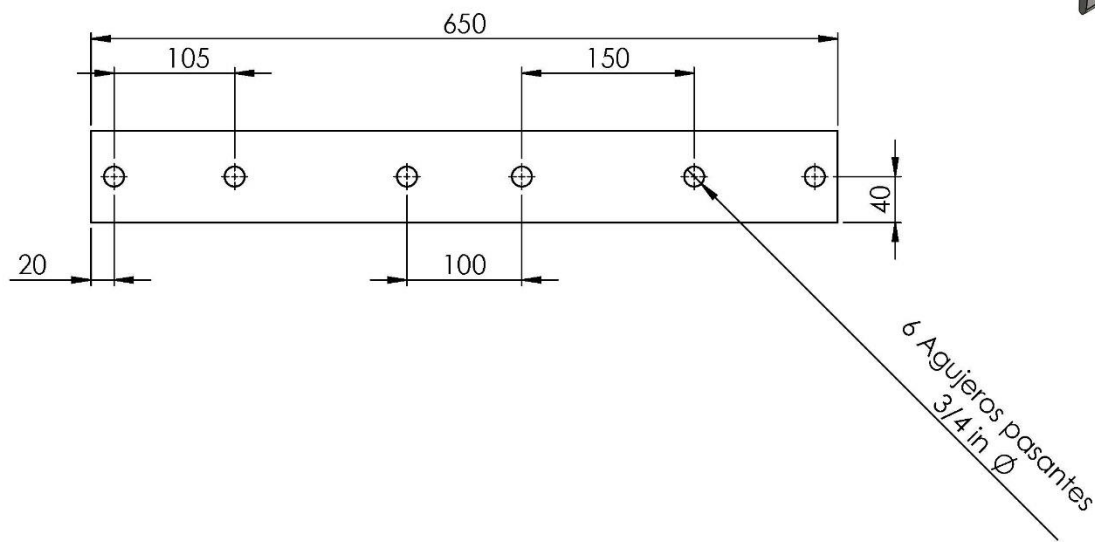


Tipo de documento: Planos
Componente:
Equipo:
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013
Req:
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



Perfil comercial en "C"  
UPE80 de alas paralelas

6 Agujeros pasantes  
3/4 in Ø

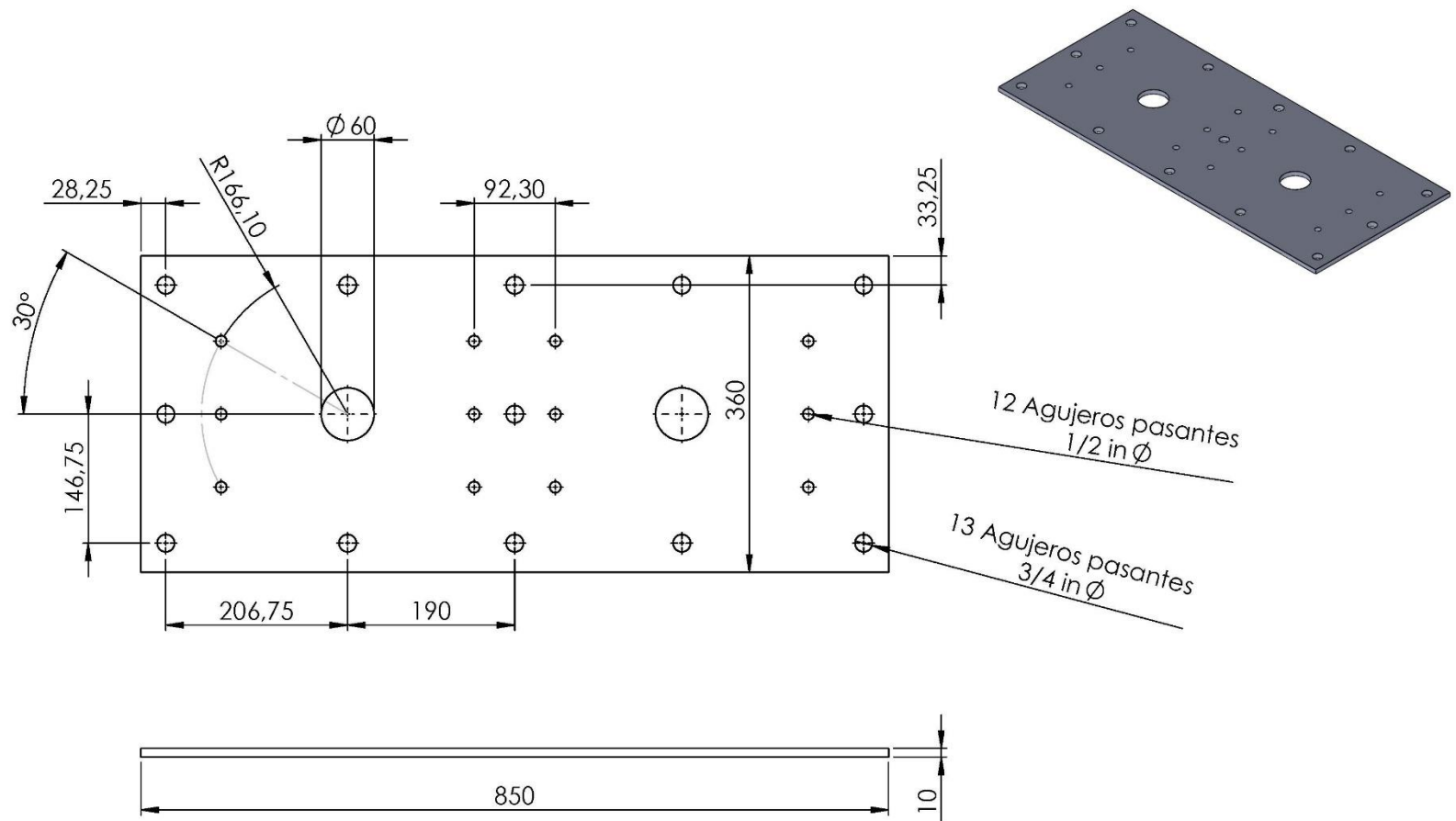


Tipo de documento: Planos  
Componente:  
Equipo:  
Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
Req:  
Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
Jose Arenas - Lesly Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	Revisión:
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

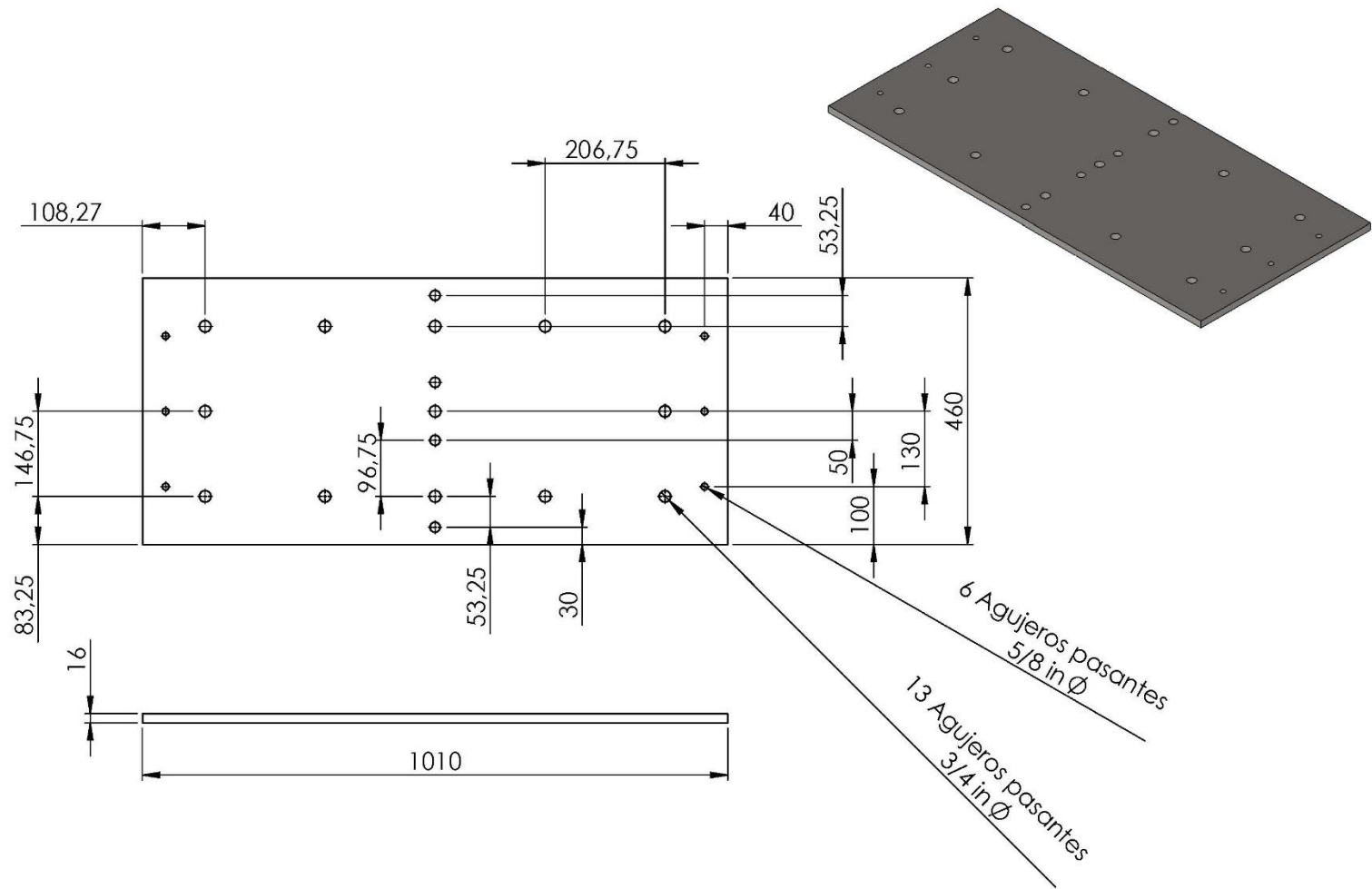


Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesty Landazábal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:

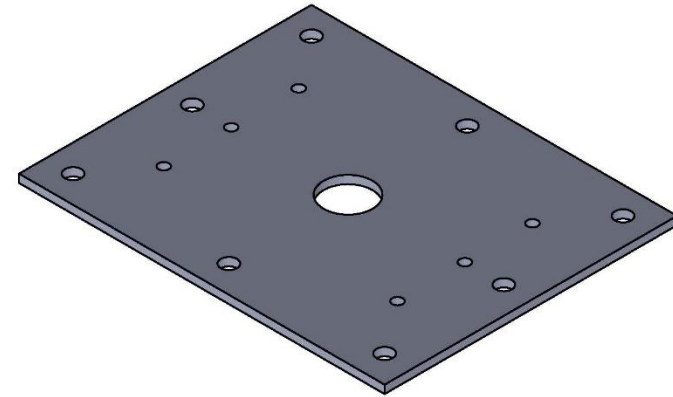
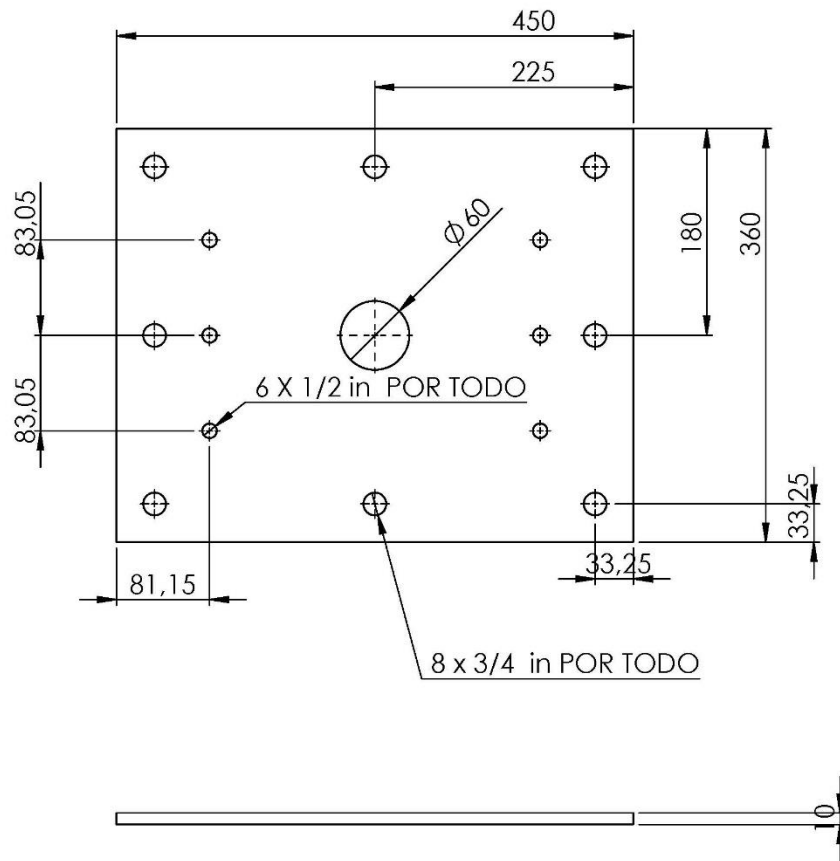


Tipo de documento: Planos  
 Componente:  
 Equipo:  
 Proyecto: Columnas Móviles

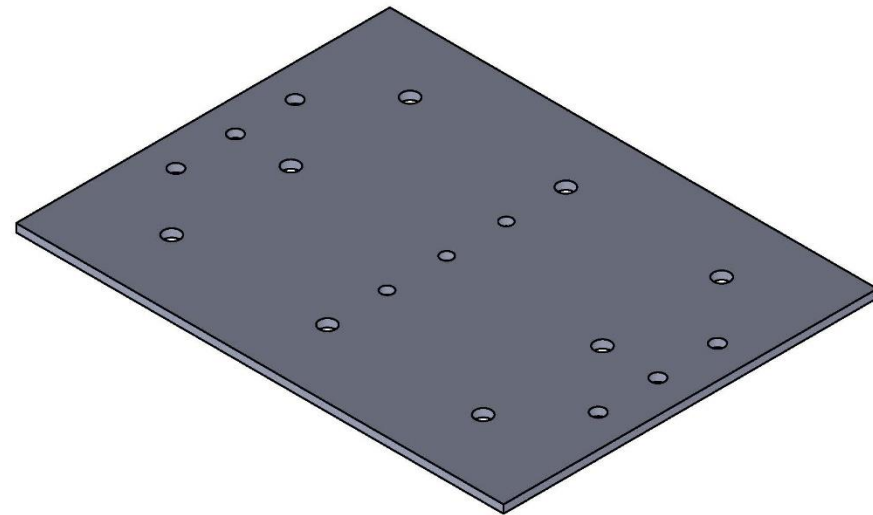
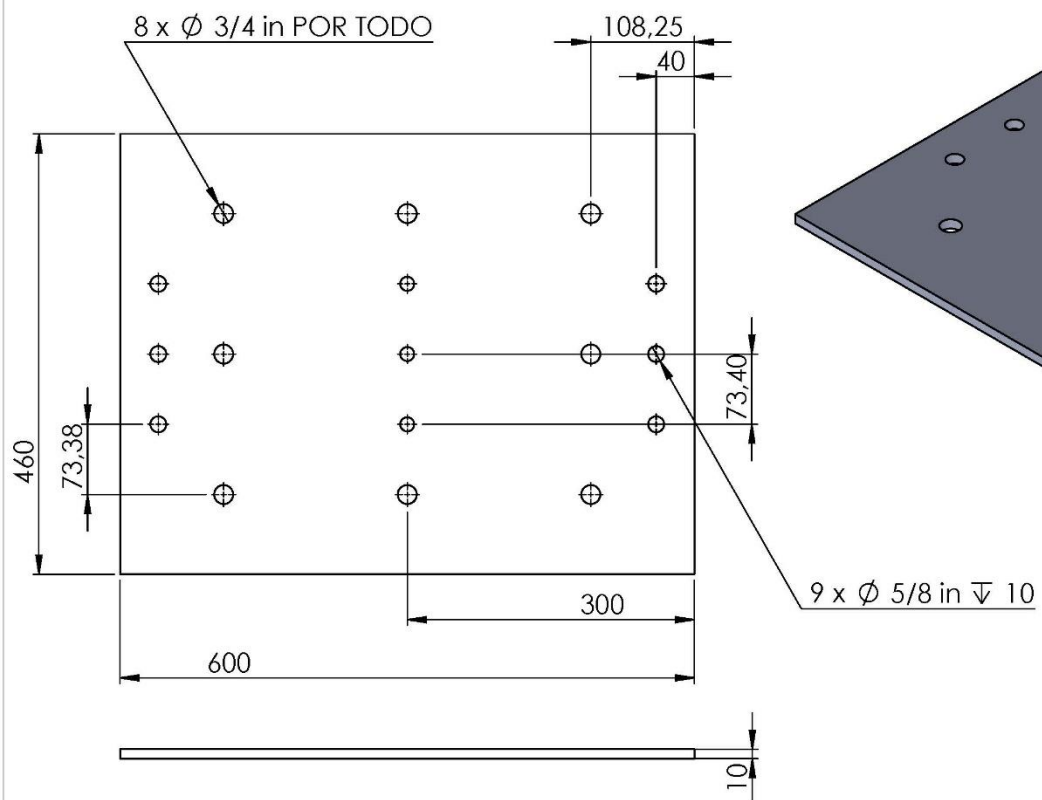
Descripción:  
 Ubicación:

Software: SolidWorks 2013  
 Req:  
 Dibujo: Practicantes Ing. Mecánica  
 Jose Arenas - Lesty Landazabal

Unidades: mm	Versión: 0
Revisión:	
Escala	Fecha: 10/10/14
	Hoja:



<b>Nombre:</b> Cuerpo - ECB1	<b>Proyecto:</b> Mueble biomédico flotante	<b>Software:</b> SolidWorks 2013	<b>Unidades:</b> mm	<b>Fecha:</b> 10/11/14



<b>Nombre:</b>	Cuerpo- ECB2	<b>Proyecto:</b>	Mueble biomédico flotante	<b>Software:</b>	SolidWorks 2013	<b>Unidades:</b>	mm	<b>Fecha:</b>	10/11/14
<b>Sistema:</b>	Empotramiento	<b>Tipo de documento:</b>	Planos	<b>Dibujo:</b>	Lesly Yisset Landazábal Rodríguez Jose Luis Arenas Vásquez	<b>Escala:</b>	1:5	<b>Hoja:</b>	02