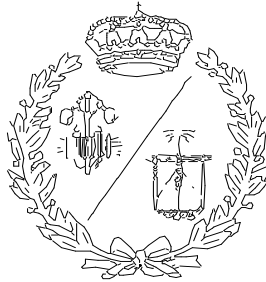


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**REDISEÑO DE NUDO PARA ESTRUCTURAS
ESPACIALES PLEGABLES**

**(Redesign of a node for foldable space
structures)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Francisco Cue Palencia

Julio – 2018

TÍTULO	REDISEÑO DE NUDO PARA ESTRUCTURAS ESPACIALES PLEGABLES		
AUTOR	FRANCISCO CUE PALENCIA		
DIRECTOR/ PONENTE	VALENTÍN GÓMEZ JÁUREGUI		
TITULACIÓN	INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES	FECHA	05-07-2018

PALABRAS CLAVE

Estructuras plegables, estructuras espaciales, nudos, 3D Experience Platform, tensegridad, Industria 4.0

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Rediseñar un modelo ya existente y adaptarlo a las nuevas condiciones que lo rodea es una tarea habitual en el mundo de la ingeniería, donde la tecnología se renueva a diario y es necesario estar a la vanguardia de la tecnología.

Para ilustrar este aspecto clave de la ingeniería, planteamos la mejora de un nudo de conexión para estructuras espaciales. El rediseño de dicho nudo surge como continuación de una tesis, una patente, un proyecto internacional y un artículo de investigación, todos ellos realizados por personal docente e investigador del grupo EgiCAD de la Universidad de Cantabria.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto consiste en el rediseño y mejora de un nudo de conexión para estructuras espaciales (incluyendo las de tensegridad). El nudo de partida, objeto de estudio, ofrece la posibilidad de que la estructura sea plegable, lo que conlleva que las barras que confluyen en el nudo puedan disponerse de forma asimétrica, generando fuerzas desequilibradas y, por lo tanto, no aceptables, por lo que solventar este problema ha sido una parte fundamental del proyecto. Además, implementamos otras mejoras en cuanto al acople de los nudos en su configuración más compacta

(plegado) y proporcionamos al nudo de mayor versatilidad, permitiendo alojar una multitud de cables radiales -con diversos ángulos entre sí- en su seno. El objetivo es, a través de elementos mecánicos, simples, ligeros, manejables, sencillos de fabricar y ensamblar, y lo más económicos posibles, buscar un nuevo diseño del nudo que satisfaga dichos requisitos de diseño. Por otro lado, además de realizar una mejora del nudo de partida, capaz de alojar dos barras (clase $k=2$), se modelará un nudo de conexión que permita aglutinar cuatro barras (clase $k=4$) con objeto de adaptarse a otras estructuras de mayor complejidad. Las propuestas han sido modeladas y analizadas con el sofisticado y reciente desarrollo de Dassault Systèmes, 3D Experience Platform, el cual tiene unas características destacables acordes a la Industria 4.0.

CONCLUSIONES / PRESUPUESTO

El proceso de modelado del nudo de conexión ha resultado satisfactorio, cumpliendo ampliamente con los objetivos iniciales y siendo éste un diseño ligero y simple, aunque no tan económico ya que el presupuesto ha excedido los valores estimados inicialmente. Así, hemos conseguido asegurar la simetría entre barras, hemos garantizado un acoplamiento eficaz entre nudos y barras tal que los nudos se fijen con facilidad y no se separen involuntariamente cuando la estructura se encuentra totalmente plegada y, hemos permitido una amplia variedad de tipologías de malla a través de los cables radiales. Todo ello, tanto para un nudo de clase $k=2$ como para un nudo de clase $k=4$. Por último, hemos realizado un análisis de tensiones de los nudos, los cuales han garantizado la viabilidad de nuestros diseños.

El presupuesto de fabricación del nudo de clase $k=2$ asciende a un total de TRES MIL CIENTO TREINTA Y SIETE CON CINCUENTA Y CUATRO EUROS (3137,54 €).

El presupuesto de fabricación del nudo de clase $k=4$ asciende a un total de CUATRO MIL CINCUENTA Y TRES CON TREINTA Y DOS EUROS (4053,32 €).

Con todo ello, el autor del presente proyecto junto con los miembros del grupo de investigación EgiCAD de la Universidad de Cantabria hemos publicado una patente del diseño en cuestión. Además, hemos redactado un artículo de divulgación científica para una conferencia internacional que versa sobre el novedoso software de modelado CAD, 3D Experience Platform, que hemos utilizado en la totalidad del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gómez-Jauregui V.; Quilligan M.; Manchado C.; Otero C. Design, Fabrication and Construction of a Deployable Double-Layer Tensegrity Grid. *Structural Engineering International*, Volumen 28, **2018**, Páginas 13-20. DOI: 10.1080/10168664.2018.1431379
- [2] Gómez-Jáuregui V.; Métodos CAD/CAE aplicados a la generación de nuevas mallas tensegríticas de doble capa. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria, **2015**
- [3] Gómez-Jáuregui V; Otero C.; Manchado C.; Iglesias A.; Gálvez A.; Quilligan M.; Casey T. Nudo de conexión para estructuras despleables. Patente ES2555635B2, **2016**
- [4] García A.; Diseño de una cúpula mediante nudo paramétrico para la cubrición del monumento Jose María Pereda. Trabajo fin de grado, Universidad de Cantabria, **2016**
- [5] Cavia Sorret P. Las mallas espaciales y su aplicación en cubiertas de grandes luces. *Teoría y técnicas de edificación*, **1993**
- [6] Gómez-Jauregui V. Tensegridad, estructuras tensegríticas en ciencia y arte. Universidad de Cantabria, **2007**. ISBN: 9788481024371

- [7] J.Y.H. Fuh; W.D. Li. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the-art. *Computer-Aided Design*, Volumen 37, **2005**, Páginas 571-581, ISSN 0010-4485, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.005>
- [8] Software Catia. Disponible online: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>, último acceso Junio 2018
- [9] 3D Experience Platform. Disponible online: <https://www.3ds.com/>, último acceso Junio 2018
- [10] Peer Learning Platform. Disponible online: <https://academy.3ds.com/plexp>, último acceso Junio 2018
- [11] Companion Learning Space. Disponible online: <https://companion.3ds.com/CompanionManager/ui/#/user/>, último acceso Junio 2018
- [12] Maldonado M. Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. Volumen 14, **2008**, Páginas 158-180
- [13] Caballero A. Fundamentos de programación de Visual Basic en CATIA V5. Aplicación al diseño de engranajes rectos y helicoidales de ejes paralelos. Trabajo fin de grado, Universidad de Sevilla, **2014**
- [14] Foros Catia. Disponible online: <http://foroscatia.geo3d.es/>, último acceso Junio 2018
- [15] Community of experts of Dassault Systèmes Solutions. Disponible online: <http://www.coe.org/>, ultimo acceso Junio 2018
- [16] CATIADOC. Disponible online: <http://catiadoc.free.fr/>, último acceso Junio **2018**

[17] Gómez-Jáuregui; Cue-Palencia F.; Manchado C.; Otero C. (). “Education for the Industry of the Future (IoF) with the 3D Experience Platform”. Proceedings of the International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing (JCM 2018), 20-22 June **2018**. Cartagena, Spain. pp. 215-216. ISBN 978-84-16325-71-9.

*A mis padres y hermana, por su inestimable e incondicional apoyo durante todos estos años,
a mis amigos más cercanos,
a Antonio Romero, por su desinteresada colaboración en la impresión de los prototipos
y a mi tutor Valen, por su profesionalidad y amabilidad en todo momento*

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
DOCUMENTO I - MEMORIA	9
1. ENCUADRE DEL PROYECTO.....	11
2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	12
3. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO	15
4. ESTRUCTURAS ESPACIALES.....	16
4.1 ESTRUCTURAS DE TENSEGRIDAD	17
5. METODOLOGÍA.....	20
5.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS	20
REQUERIMIENTO N.º 1.....	20
REQUERIMIENTOS N.º 2 Y 3.....	21
REQUERIMIENTOS N.º 4	22
5.2 DISEÑO CONCEPTUAL	23
5.3 MODELADO 3D	27
5.3.1 MODELADO 3D DE NUDO K=2.....	28
SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 1.....	28
SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 2.....	39
SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 3.....	49
SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 4.....	60
5.3.2 MODELADO 3D DE NUDO K=4.....	65
5.4 PROTOTIPOS MODELADOS EN 3D	70
5.5 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES	80
5.5.1 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES NUDO K=2.....	80

5.5.2	ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES NUDO K=4	89
5.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	96
6.	CONCLUSIONES TÉCNICAS	106
7.	SOFTWARE DE TRABAJO	107
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	114
	DOCUMENTO II - ANEXOS.....	117
1.	ARTÍCULO PARA CONFERENCIA JCM	119
2.	PORTADA DE PATENTE DE NUDO ORIGINAL	129
3.	SOLICITUD DE LA NUEVA PATENTE DEL NUDO PROPUESTO.....	131
	DOCUMENTO III - PLANOS	135
	DOCUMENTO IV – PLIEGO DE CONDICIONES	149
1.	INTRODUCCIÓN.....	151
1.1	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA.....	151
1.1.1	FABRICACIÓN	151
1.1.2	MONTAJE	151
1.1.3	SOLDADURA	151
1.1.4	TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	152
1.1.5	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	152
1.2	DISPOSICIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y SALUD.....	152
1.2.1	OPERACIONES CON MÁQUINA-HERRAMIENTA	152
1.2.2	OPERACIONES DE SOLDADURA	157
	DOCUMENTO V - PRESUPUESTO	165
1.	PRESUPUESTO DE MATERIALES NUDO K=2	167
1.1	FABRICACIÓN DEL NUDO	167
1.2	TORNILLERÍA.....	168
1.3	PRESUPUESTO GENERAL	168
2.	PRESUPUESTO DE MATERIALES NUDO K=4	170

2.1	FABRICACIÓN DEL NUDO	170
2.2	TORNILLERIA.....	171
2.3	PRESUPUESTO GENERAL	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Malla espacial y de tensegridad	11
Figura 2. Nudo original	13
Figura 3. Nudo original con cargas desequilibradas	14
Figura 4. Estructura espacial. Imagen: http://arte-metal.es	16
Figura 5. Montaje de estructura espacial. Imagen: http://www.arqhys.com	17
Figura 6. Malla de tensegridad. Imagen: http://www.tensegridad.es	18
Figura 7. Necesidad nº1	20
Figura 8. Necesidad nº2 y nº3	21
Figura 9. Necesidad nº4	22
Figura 10. Boceto nº1	23
Figura 11. Boceto nº2	24
Figura 12. Boceto nº3	25
Figura 13. Boceto nº4	25
Figura 14. Boceto nº5	26
Figura 15. Diseño nº1	28
Figura 16. Diseño nº1 con asimetría	29
Figura 17. Diseño nº2	30
Figura 18. Diseño nº3	31
Figura 19. Diseño nº4	32
Figura 20. Diseño nº5. Apertura estándar vs plegado máximo	33
Figura 21. Diseño nº5 con máxima apertura de las barras	33
Figura 22. Diseño nº6. Apertura máxima vs Plegado máxima	34
Figura 23. Diseño nº6. Perforación en barras y unión mecánica central	35
Figura 24. Diseño nº7. Forma de la nueva pletina	36
Figura 25. Diseño nº7. Plegado máximo del nudo y colisiones entre elementos	36
Figura 26. Diseño nº8. Ensamblaje final vs tetón	37
Figura 27. Diseño nº8. Plegado máximo del nudo y colisiones entre elementos	37
Figura 28. Diseño nº9. Apertura máxima vs plegado máximo	38
Figura 29. Diseño nº9. Tetón vs pletina	39
Figura 30. Diseño nº10. Núcleo central	40
Figura 31. Diseño nº10. Apertura máxima y plegado máximo	40

Figura 32. Diseño nº10. Acoplamiento de nudos	41
Figura 33. Diseño nº10. Acoplamiento de nudos (vista en planta)	42
Figura 34. Diseño nº11.....	43
Figura 35. Diseño nº11. Acoplamiento de nudos	44
Figura 36. Diseño nº12.....	45
Figura 37. Diseño nº12. Acoplamiento de nudos	46
Figura 38. Diseño nº13. Núcleo central	47
Figura 39. Diseño nº13.....	48
Figura 40. Diseño nº13. Acoplamiento de los nudos.....	49
Figura 41. Diseño nº14. Cazoleta.....	50
Figura 42. Diseño nº15. Cazoleta.....	51
Figura 43. Diseño nº15. Acoplamiento entre nudos	51
Figura 44. Diseño nº16. Cazoleta.....	53
Figura 45. Diseño nº16. Nudo	53
Figura 46. Diseño nº16. Acoplamiento de nudos	54
Figura 47. Diseño nº16. Colisiones entre elementos.....	54
Figura 48. Diseño nº17. Cambio en la geometría de las orejetas	55
Figura 49. Diseño nº17. Apertura y plegado máximo del nudo	56
Figura 50. Diseño nº17. Resolución de colisiones	56
Figura 51. Diseño nº17. Distancia reducida orejeta-contorno núcleo central	57
Figura 52. Diseño nº18. Resolución de problemas del diseño nº17	58
Figura 53. Diseño nº18. Plegado del nudo.....	58
Figura 54. Diseño nº18. Acople de nudos al mismo nivel	59
Figura 55. Diseño nº18. Acople de nudos a distinto nivel	59
Figura 56. Diseño nº19. Sujetacables cilíndricos	60
Figura 57. Diseño nº19. Ensamblaje (vista en planta).....	61
Figura 58. Diseño nº19. Ensamblaje (vista isométrica) y cazoleta modificada.....	61
Figura 59. Deficiente acople entre cazoletas	62
Figura 60. Deficiente acople entre cazoletas (2)	62
Figura 61. Diseño nº20. Cazoleta modificada	63
Figura 62. Diseño nº20. Ensamblaje definitivo.....	63
Figura 63. Diseño nº20. Acople entre nudos (vista isométrica).....	64
Figura 64. Diseño nº20. Acople entre nudos (vista en planta)	65
Figura 65. Cazoleta nudo $k=4$	66

Figura 66. Interferencias pletinas-barras.....	67
Figura 67. Cáncamo-guía nudo $k=4$	68
Figura 68. Pletina nudo $k=4$	68
Figura 69. Acoplamiento nudos $k=4$	69
Figura 70. Impresora 3D Prusa i3	71
Figura 71. Impresión de cazoleta	71
Figura 72. Impresión de cazoleta (2).....	72
Figura 73. Impresión de barra-tetón.....	72
Figura 74. Impresión de cáncamo-guía.....	73
Figura 75. Cazoleta impresa	73
Figura 76. Nudo ensamblado abierto	74
Figura 77. Nudo ensamblado plegado	74
Figura 78. Arandelas en el tornillo superior.....	75
Figura 79. Arandelas en la guía-cáncamo.....	76
Figura 80. Ensamblaje	76
Figura 81. Modificación de hueco en guía-cáncamo.....	77
Figura 82. Prototipo nudo $k=2$ (vista en planta).....	78
Figura 83. Prototipo nudo $k=2$ (plegado máximo)	79
Figura 84. Prototipo nudo $k=2$ (desplegado máximo).....	79
Figura 85. Materiales nudo $k=2$	80
Figura 86. Fallo en contactos	81
Figura 87. Restricciones.....	82
Figura 88. Primera iteración	83
Figura 89. Cargas aplicadas nudo $k=2$	83
Figura 90. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (1)	84
Figura 91. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (2)	85
Figura 92. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (3)	85
Figura 93. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (4)	86
Figura 94. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (5)	86
Figura 95. Análisis de tensiones nudo $k=2$ (6)	87
Figura 96. Análisis de deformación nudo $k=2$ (1)	87
Figura 97. Análisis de deformación nudo $k=2$ (2)	88
Figura 98. Resultados del análisis nudo $k=2$	88
Figura 99. Materiales para nudo $k=4$	89

Figura 100. Cargas aplicadas nudo $k=4$	90
Figura 101. Representación de las cargas nudo $k=4$	91
Figura 102. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (1)	91
Figura 103. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (2)	92
Figura 104. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (3)	92
Figura 105. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (4)	93
Figura 106. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (5)	93
Figura 107. Análisis de tensiones nudo $k=4$ (6)	94
Figura 108. Análisis de deformación nudo $k=4$	94
Figura 109. Resultados numéricos nudo $k=4$	95
Figura 110. Resultados. Posición estándar del nudo	96
Figura 111. Resultados. Plegado máximo del nudo	97
Figura 112. Resultados. Desplegado máximo del nudo	97
Figura 113. Resultados. Acople entre nudos $k=2$ (vista en perspectiva). Misma altura	98
Figura 114. Resultados. Acople entre nudos $k=2$ (vista en planta). Misma altura....	99
Figura 115. Resultados. Acople entre nudo $k=2$ y barras (vista en perspectiva). Diferente altura.....	99
Figura 116. Resultados. Acople entre nudo $k=2$ y barras (vista en planta). Diferente altura	100
Figura 117. Resultados. Dos cables horizontales a 90° (vista en perspectiva)	101
Figura 118. Resultados. Dos cables horizontales a 90° (vista en planta).....	101
Figura 119. Resultados. Dos cables horizontales a 60° (vista en perspectiva)	102
Figura 120. Resultados. Dos cables horizontales a 60° (vista en planta).....	102
Figura 121. Resultados. Tres cables horizontales a 90° (vista en perspectiva)	103
Figura 122. Resultados. Tres cables horizontales a 90° (vista en planta).....	103
Figura 123. Resultados. Acoplamiento nudo $k=4$ (vista en perspectiva).....	104
Figura 124. Acoplamiento nudo $k=4$ (vista en planta)	105
Figura 125. 3D Experience Platform	108
Figura 126. Delmia en 3D Experience Platform	109
Figura 127. Enovia en 3D Experience Platform	109
Figura 128. Ejemplo de material docente creado por la Universidad de Cantabria	111
Figura 129. Material docente creado por el autor del presente proyecto para Dassault Systèmes	112

DOCUMENTO I

MEMORIA

1. ENCUADRE DEL PROYECTO

Se ha rediseñado un nudo para estructuras espaciales (incluidas las de tensegridad) con posibilidad de plegado, el cual pertenece al campo de la construcción y estructuras ligeras y/o plegables, y más concretamente al campo de los nudos de conexión para estructuras desplegables, y en particular nudos de conexión para estructuras tridimensionales desplegables de tensegridad. El nudo original, objeto de estudio, ha formado parte de una malla espacial y de tensegridad (ver Figura 1) para un artículo internacional [1] en colaboración con la Universidad de Limerick (Irlanda), donde se presentó un procedimiento para diseñar, fabricar y ensamblar una red de tensegridad desplegable de doble capa (DDLTG).

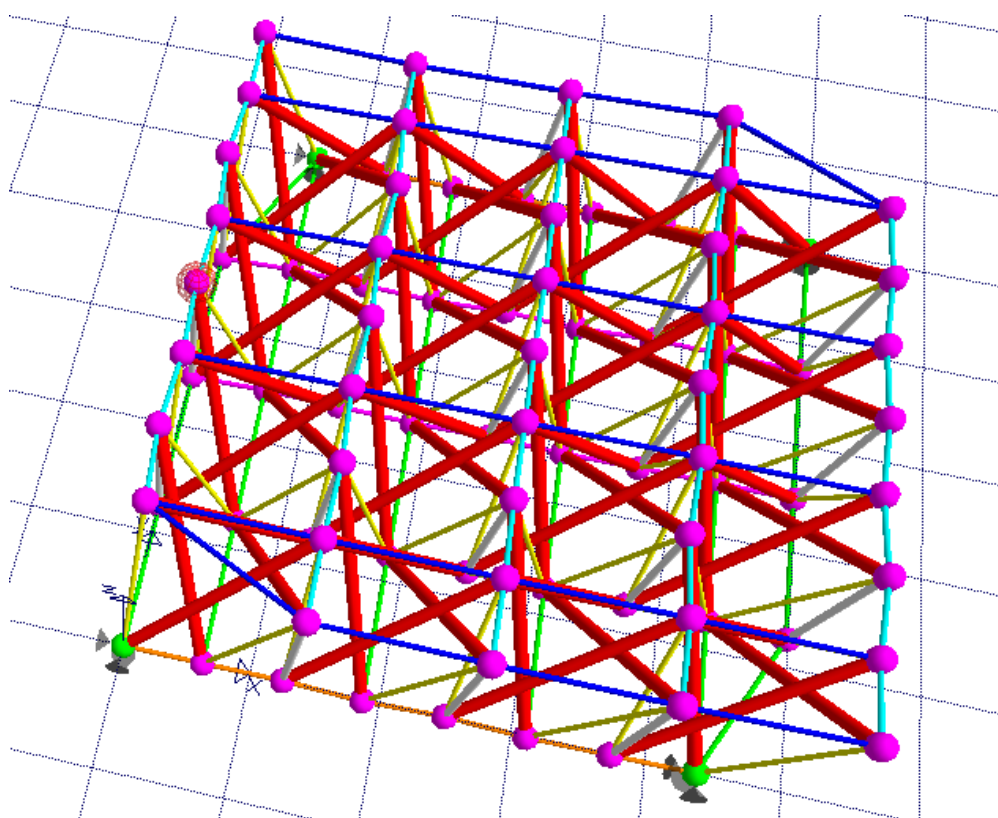


Figura 1. Malla espacial y de tensegridad

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se encuentra enmarcado dentro del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Universidad de Cantabria, concretamente en la especialidad de diseño mecánico.

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Los orígenes del presente proyecto surgen como continuación a una tesis doctoral [2], un artículo de investigación [1] y una patente [3] (ver Documento II: Anexo II), todas ellas desarrolladas por personal docente e investigador del grupo EgiCAD de la Universidad de Cantabria. Además, otros documentos como el TFG de Álvaro García Garín [4], con título “Diseño de una cúpula mediante nudo paramétrico para la cubrición del monumento Jose María Pereda” realizado en la Universidad de Cantabria, ha sido de apoyo para la realización del presente TFG.

En la mencionada patente se desarrolla íntegramente el nudo en el cual nos hemos basado en el presente proyecto. El nudo en cuestión (ver Figura 2) está formado por un núcleo central, una unión mecánica central, un conector cilíndrico y un tope mecánico. Asimismo, posee varias fijaciones mecánicas que además de la propia función de fijación tienen la posibilidad de recibir cables de conexión, proporcionando más versatilidad al nudo. Una explicación más detallada de cada elemento del nudo de estudio es la siguiente [3]:

- Núcleo central: está formado por un módulo de simetría axial cuya sección posee forma de U, y éste a su vez alberga un alma central y dos alas laterales, siendo éstas totalmente planas y perpendiculares entre sí. Además, dicho nudo se encuentra barrenado por dos agujeros donde irán alojados varios cables diagonales.
- Unión mecánica central: es un cáncamo con ojo que tiene por objetivo unir el conector cilíndrico al núcleo central. Dicha unión posee en su extremo, más alejado del conector cilíndrico, una argolla con el fin de que en ella se alojan los diferentes cables axiales, proporcionando más versatilidad al núcleo.
- Conector cilíndrico: se encuentra alojado en la parte superior del núcleo central (en concreto encima del alma central) y su eje longitudinal coincide con el de la unión mecánica central. Está formado por una tuerca hexagonal alargada, a la cual se le ha realizado unas perforaciones para poder alojar varios cables radiales. Además, tiene como misión evitar que la unión mecánica central se salga de su alojamiento.
- Tope mecánico: se encuentra alojado en el extremo del conector cilíndrico, de tal forma que su función es evitar que los cables radiales se salgan de las

ranuras del conector cilíndrico antes mencionadas y, además, amordazarlos de tal forma que se encuentren en todo momento tensionados.

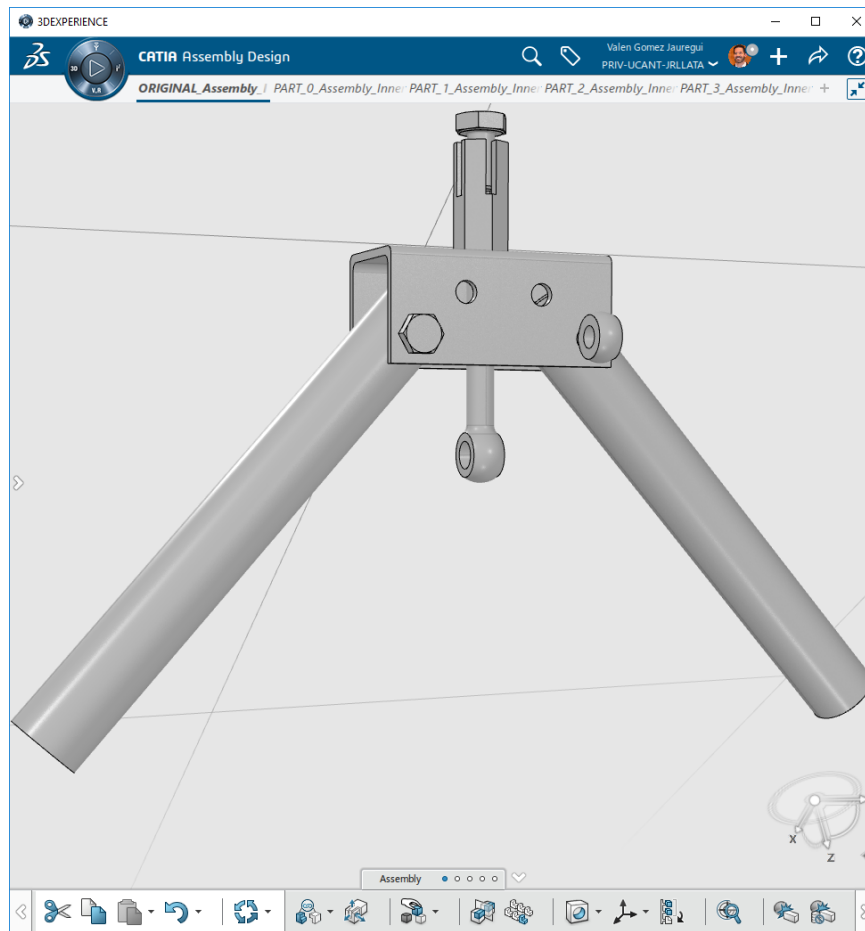


Figura 2. Nudo original

Una de las peculiaridades más importantes que ofrece el nudo es su opción de plegado. Al realizar el propio proceso de plegado o en el momento en el que la estructura esté en plena extensión (en servicio), pueden surgir tensiones no deseadas en las barras debido a causas humanas, cargas aerodinámicas, vibraciones, impactos, etc. Dichas situaciones producen en el nudo un desequilibrio de fuerzas que dan lugar a unas configuraciones y a una disposición del nudo no deseable (ver Figura 3).

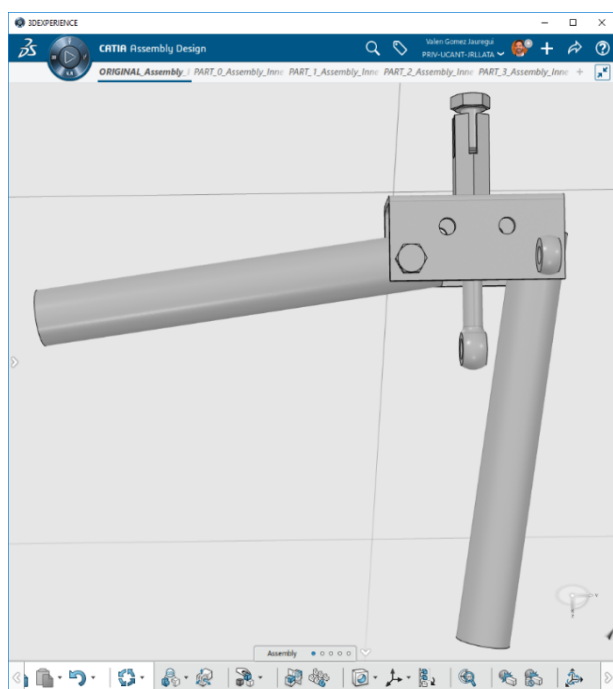


Figura 3. Nudo original con cargas desequilibradas

En el proceso de plegado de la estructura, resulta importante que sea lo más eficiente posible. En este caso, es complicado que se acoplen los nudos debido a la geometría rectangular del mismo. Además, una vez que la estructura esta plegada no hay ningún mecanismo que fije dicha posición, lo que hace que haya que usar otros métodos más rudimentarios y laboriosos, como amarrar toda la estructura, por ejemplo con cinchas, para que la estructura no se abra de forma involuntaria.

Por otro lado, como hemos mencionado anteriormente, el conector cilíndrico permite aglutinar cables radiales. Sin embargo, debido a las incisiones en dicho elemento, dicho cables están obligados a formar 90° entre sí, lo cual tiene muchas limitaciones. Además, dicho conector cilíndrico tiene la posibilidad de alojar un número reducido de cables, restringiendo, también, la tipología de las estructuras que puede abarcar el presente nudo.

Las siguientes propuestas de diseño intentarán subsanar dichos problemas mediante un nudo de conexión para estructuras desplegables, a través de elementos mecánicos, simples, ligeros, manejables, sencillos de fabricar y ensamblar y lo más económicos posibles.

3. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

Rediseñar y modelar un nudo para estructuras espaciales que satisfaga los siguientes requisitos de diseño:

1. Asegurar la simetría del ángulo que forman las barras del nudo entre sí, con objeto de evitar fuerzas indeseadas
2. Garantizar un acoplamiento eficaz entre nudos y barras
3. Permitir un acoplamiento en que los nudos se fijen fácilmente y no se separen cuando la estructura esté totalmente plegada
4. Permitir una amplia variedad de tipologías de malla a través de los cables radiales. Es decir, tener la posibilidad de aglutinar dos o más cables horizontales y que éstos puedan formar una multitud de ángulos entre sí de forma versátil.

4. ESTRUCTURAS ESPACIALES

Podemos definir las estructuras espaciales como un sistema estructural compuesto por elementos lineales y dispuesto a través de nudos y barras, en el que las fuerzas transferidas se ejercen en las tres dimensiones del espacio (ver Figura 4). La distribución geométrica de dichas barras en el espacio se obtiene a partir de la yuxtaposición de poliedros sencillos, superponiéndose las barras con las aristas de los poliedros y los nudos con los vértices [5].



Figura 4. Estructura espacial. Imagen: <http://arte-metal.es>

Así, este tipo de estructuras tienen una serie de ventajas:

- Gran ligereza
- Posibilidad de grandes luces o distancias entre apoyos
- Son estructuras muy hiperestáticas. En el caso de se produzca alguna condición adversa o algún fallo en cualquiera de los elementos que componen la estructura, los esfuerzos se reparten entre todos los elementos colindantes, pudiendo evitar el derrumbamiento de toda la estructura. Es por ello, que son muy apropiadas en zonas susceptibles a seísmos.

- Alto grado de prefabricación ya que este tipo de estructuras se pueden enviar a obra totalmente terminadas, evitando las condiciones que se pueden dar en obra y garantizando unos altos niveles de calidad (ver Figura 5)
- Facilidad de transporte ya que este tipo de estructuras permiten su plegado, optimizando así el espacio.



Figura 5. Montaje de estructura espacial. Imagen: <http://www.arqhys.com>

También hay que añadir que las estructuras espaciales tienen algunas desventajas:

- Su diseño es muy complejo debido al alto número de variables y restricciones lo que conlleva una importante limitación en sus aplicaciones.
- Alto precio comparado con otras estructuras
- Baja resistencia al fuego

Por todo ello, las estructuras espaciales tienen innumerables aplicaciones, destacando el cerramiento de centros deportivos, centros comerciales, aeropuertos, parques temáticos, etc.

4.1 ESTRUCTURAS DE TENSEGRIDAD

Las estructuras de tensegridad son un tipo de estructuras espaciales, las cuales tienen aplicación al nudo del presente proyecto. Dichas estructuras se caracterizan

por estar compuestas por elementos aislados comprimidos que se encuentran dentro de una red tensada continua, de tal modo que los miembros comprimidos, generalmente barras, no se tocan entre sí y están unidos únicamente por medio de componentes traccionados, generalmente cables, que son los que delimitan espacialmente dicho sistema (ver Figura 6) [6].

En general, podemos clasificar una malla de tensegridad por su clase (k), siendo k el número de elementos a compresión (generalmente barras) que confluyen en el nudo, por ello esta referencia será bastante usual en el presente proyecto.

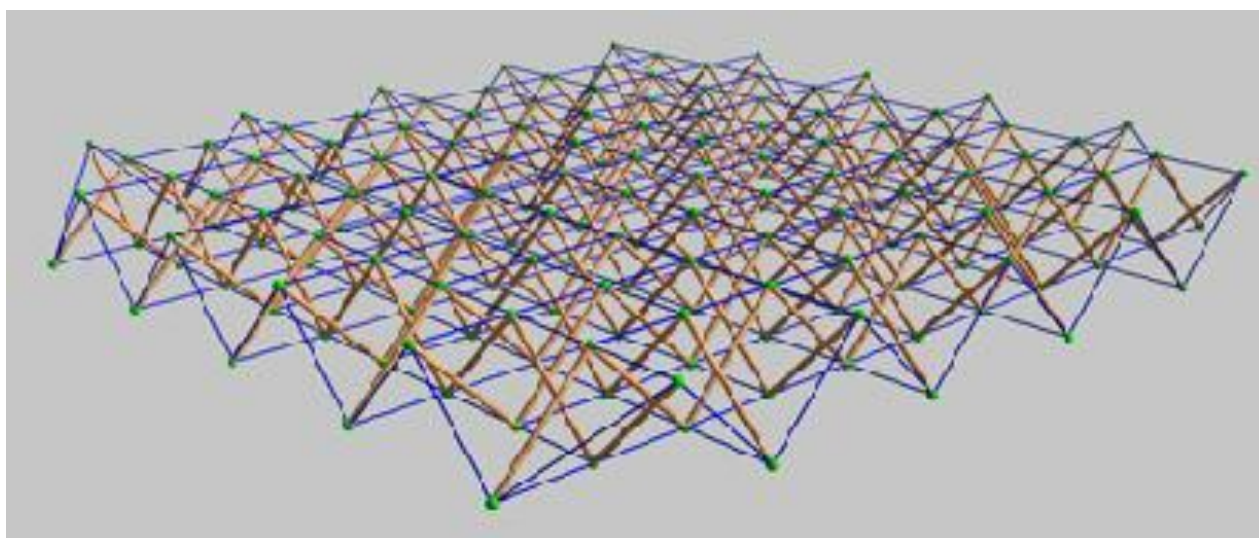


Figura 6. Malla de tensegridad. Imagen: <http://www.tensegridad.es>

Así, este tipo de estructuras tienen las siguientes ventajas:

- Dichas estructuras no sufren a torsión ya que están articuladas, y el pandeo es prácticamente inexistente debido a la reducida esbeltez de los elementos que la forman
- No hay puntos de debilidad local ya que la red de tensiones multidireccionales encierra todos los esfuerzos. Por ello las fuerzas se transmiten muy rápidamente, siendo estructuras muy adecuadas para zonas propensas a movimientos sísmicos.
- Al ser estructuras normalmente formadas por barras y cables, tienen la opción de formar sistemas más complejos a través de la adicción de dichos elementos.

- Para construirla no se necesitan andamios, ya que la propia estructura sirve como tal.
- Este tipo de estructuras proporciona altos valores resistentes para una reducida cantidad de material.

Por último, también tienen algunas desventajas:

- Se deforman mucho en comparación con las estructuras convencionales.
- La fabricación es compleja
- Para mantener las barras en equilibrio, es necesario un proceso de pretensado, lo que conlleva ejercer unas fuerzas muy elevadas.
- Dicho proceso de pretensado puede ser complicado de calcular y de ejecutar.

Las estructuras de tensegridad también tienen múltiples aplicaciones: pasarelas, cúpulas, cubiertas, arcos, torres, etc.

5. METODOLOGÍA

5.1 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

El primer paso para poder enfrentarnos a nuestro problema es saber qué buscamos. Por ello, el análisis de necesidades es un proceso de vital importancia en la elaboración de un proyecto ya que es donde nos plantearemos nuestros objetivos principales.

REQUERIMIENTO N.º 1

La primera de nuestras necesidades es que las barras se muevan de forma simétrica, respecto al plano medio del nudo (ver Figura 7). Debido a una fuerza externa o movimiento indeseado o simplemente en el plegado y desplegado de la estructura, las barras están expuestas a ciertas tensiones. Es por ello, que resulta esencial que dichas tensiones se repartan de forma equilibrada a lo largo del nudo y, en consecuencia, a lo largo de la estructura, para lo que es necesario asegurar la simetría entre las barras.

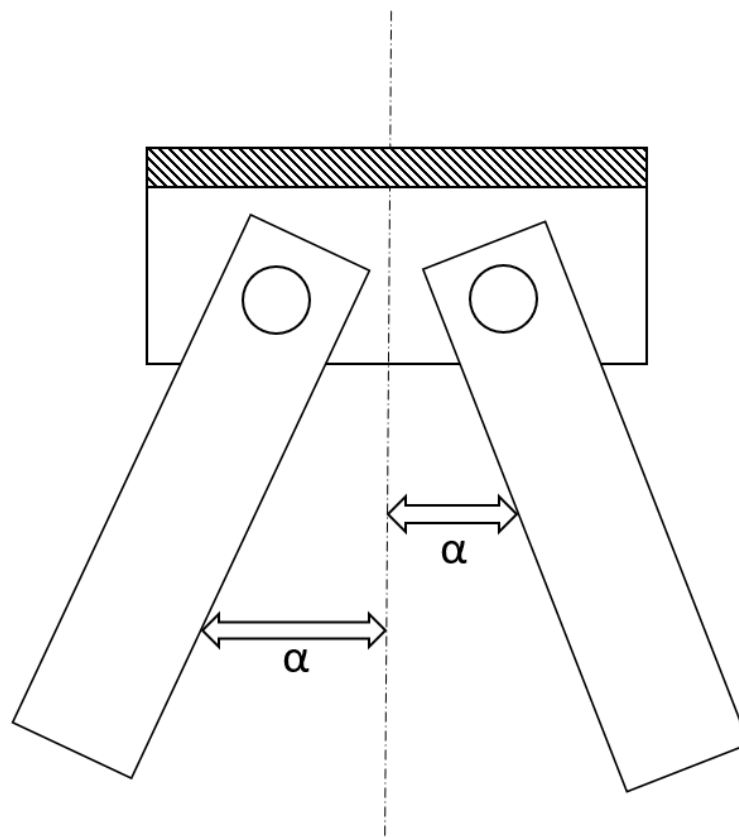


Figura 7. Necesidad nº1

REQUERIMIENTOS N.º 2 Y 3

La siguiente necesidad, en realidad es una necesidad doble: necesitamos que los nudos se acoplen de forma óptima y que, además, éstos no se suelten fácilmente en el momento en que la estructura esté totalmente plegada. En el proceso de plegado del nudo, resulta esencial que toda la estructura se pliegue de la forma más compacta posible, optimizando al máximo el espacio, con las ventajas en transporte y montaje que esto puede conllevar. Para ello, será necesario obtener un modelo de nudo que permita que sus núcleos centrales permanezcan inmóviles en el momento de plegado y, que a su vez sea sencillo su desacople para poder abrir la estructura (ver Figura 8).

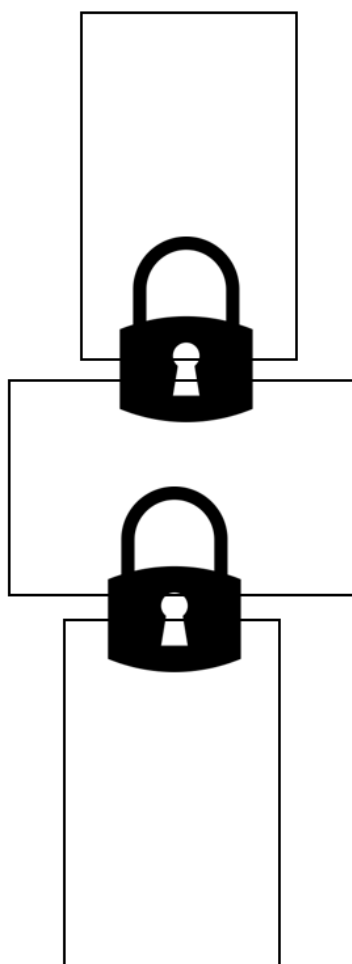


Figura 8. Necesidad nº2 y nº3

REQUERIMIENTOS N.º 4

La cuarta y última de nuestras necesidades, es que el nudo admita diversas tipologías de mallas espaciales, es decir, que permita una multitud de ángulos entre los cables horizontales del nudo (ver Figura 9). Una estructura espacial puede requerir de dos, tres o más cables horizontales, siendo el ángulo entre ellas muy diverso. Por ello, vemos oportuno establecer un sistema que permita establecer diferentes cables con multitud de ángulos, lo que proporcionara a nuestro nudo de mayor versatilidad.

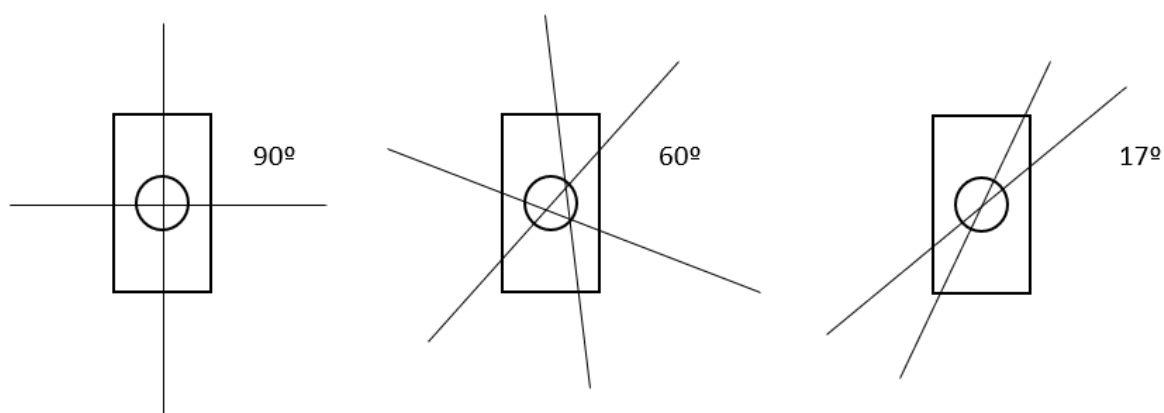


Figura 9. Necesidad nº4

5.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En ingeniería, es necesario saber hacer bocetos a mano para elaborar nuestras ideas de forma inicial hasta llegar con una conclusión clara y viable de lo que deseamos.

Por ello, una vez expuestos claramente nuestros objetivos, es hora de plasmar en papel todo el proceso de modelo de nuestro nudo. A continuación, se mostrarán varios de los bocetos de todo el transcurso evolutivo del rediseño de nuestro nudo.

El primero de ellos (ver Figura 10) ilustra el requisito nº.1 expuesto en apartados anteriores, en el que intentamos representar que el ángulo de las barras respecto al plano medio del nudo deberá ser siempre el mismo (α).

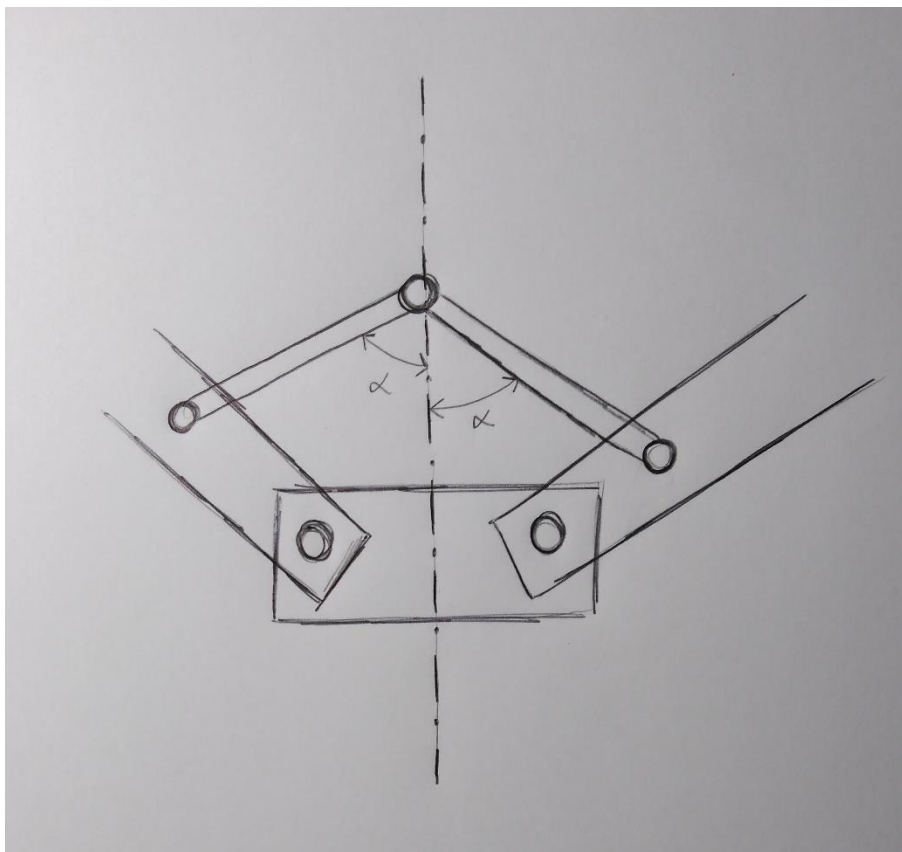


Figura 10. Boceto nº1

Posteriormente, ilustramos la forma que le fuimos dando a lo que finalmente fue el cáncamo-guía (ver Figura 11). Inicialmente, era una guía convencional de en forma prismática y posteriormente le alojamos en uno de sus extremos una argolla con objeto de poder alojar cables radiales, propios de las estructuras de tensegridad, y por el otro extremo, una rosca con la intención de que adaptar dicho cáncamo-guía al resto del nudo.

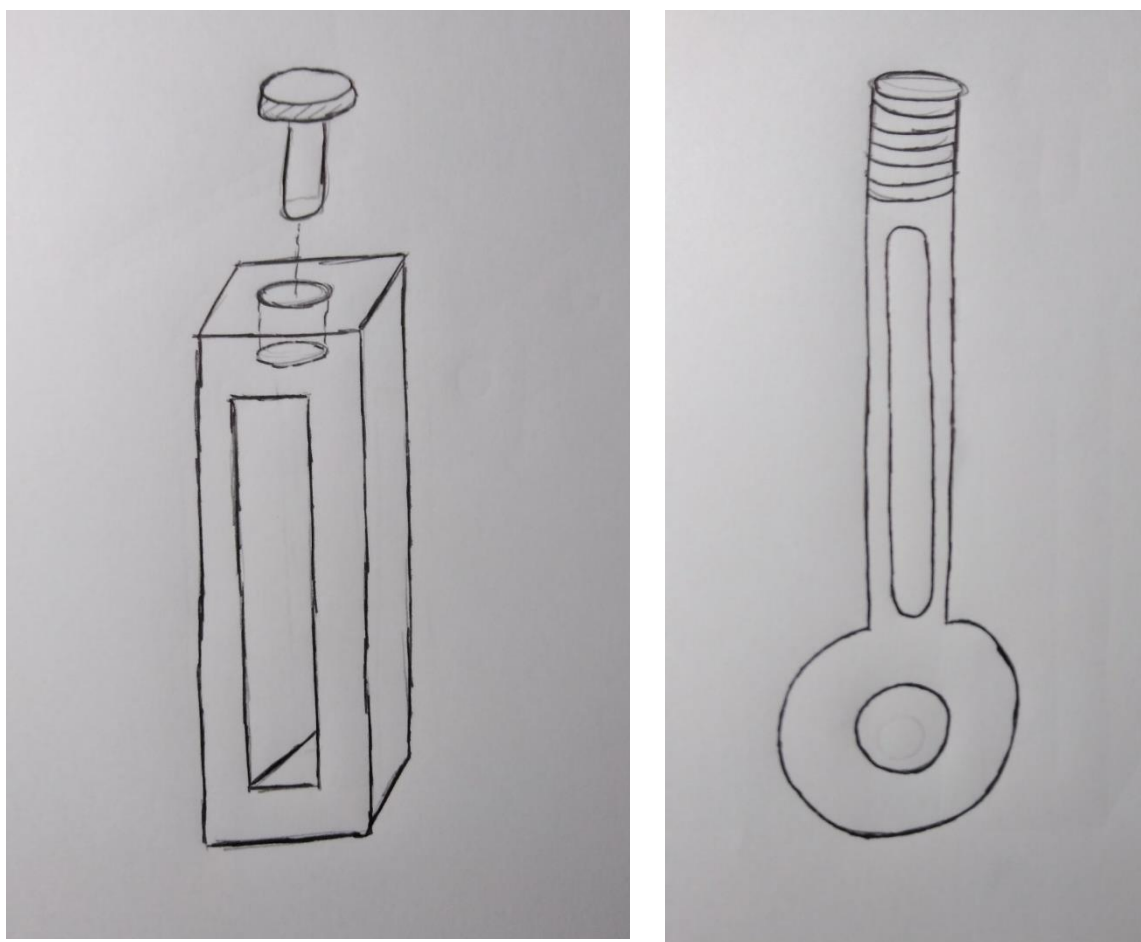


Figura 11. Boceto nº2

Otro de los bocetos (ver Figura 12), alude al requerimiento nº2. y 3, representado de forma provisional lo que sería el acople entre varios nudos (visto en planta), optimizando al máximo el espacio cuando la estructura está totalmente plegada con objeto de que el transporte sea mucho más eficaz.

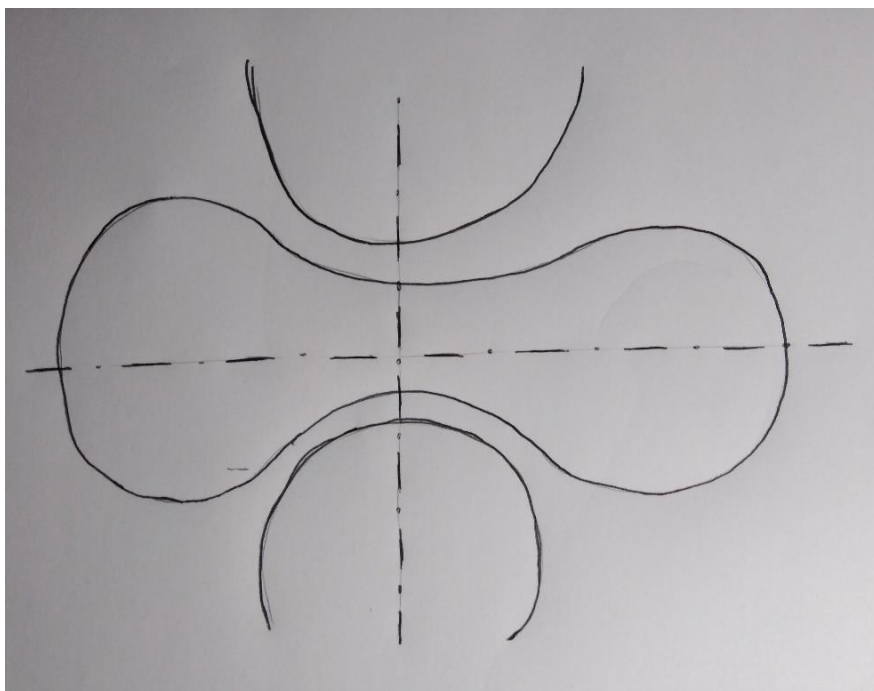


Figura 12. Boceto nº3

Por último, hemos dibujado a modo de boceto el requerimiento nº.4, donde podemos observar que inicialmente la idea era implementar un único sujetacables que permitiera alojar en él diferentes cables horizontales con gran variedad de ángulos entre sí (ver Figura 13). Sin embargo, dicho sistema tenía grandes limitaciones, puesto que tendríamos que crear un sujetacables para cada tipología de malla. Es por ello, que diseñamos ese mismo elemento por módulos (ver Figura 14), de tal forma que varían el ángulo entre los cables, simplemente habrá que modificar el sujetacables central y si varía el número de cables, únicamente habrá que añadir otro sujetacables central, manteniendo los sujetacables de los extremos inamovibles.

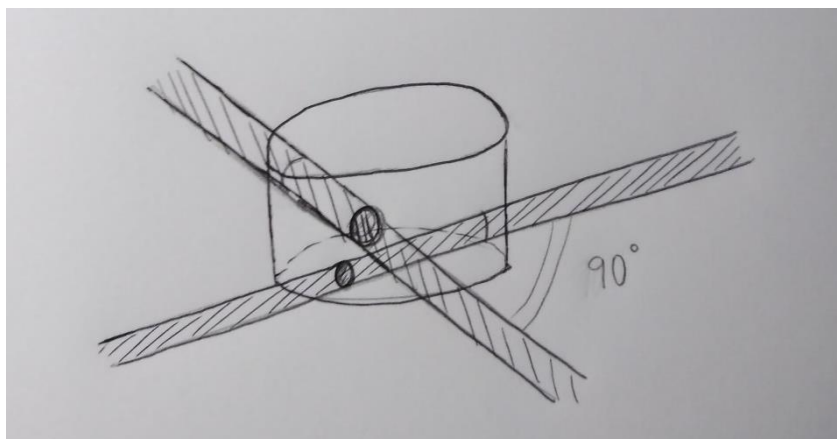


Figura 13. Boceto nº4

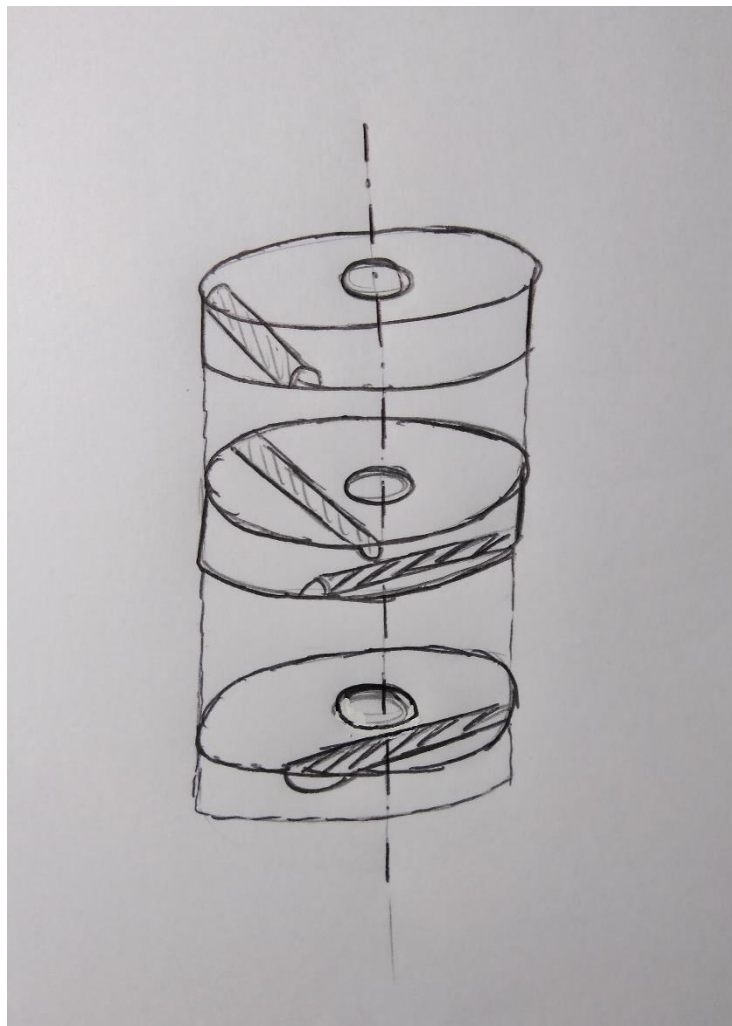


Figura 14. Boceto nº5

5.3 MODELADO 3D

Una vez tuvimos claros nuestros objetivos y hubimos realizado los bocetos oportunos, se procedió a modelar nuestro nudo. Dicho modelado se realizó con un software CAD, en nuestro caso 3D Experience Platform, en particular con su software interno Catia. 3D Experience Platform es una novedosa e innovadora plataforma colaborativa creada por Dassault Systèmes que integra algunos de los softwares más potentes de la compañía, como son Catia, Simulia, Delmia y Enovia. Además, tiene una gran apuesta de futuro, puesto que tiene características propias de la Industria 4.0 como que posee diferentes plataformas interactivas de aprendizaje principalmente basadas en Project-Based Learning (PBL), donde el alumno es el protagonista de su propio aprendizaje y se puede beneficiar de material docente proveniente de expertos y universidades. El mencionado software está disponible como software local y en un entorno de nube pública o privada, lo que proporciona un gran valor añadido a dicha plataforma. Todas las características de 3D Experience Platform se podrán estudiar con mayor claridad en el apartado 6. Software de Trabajo del presente Documento. Añadir, que el grupo de investigación EgiCAD de la Universidad de Cantabria, entre los que se encuentra el tutor del presente proyecto, esta colaborando activamente en un proyecto colaborativo junto contra otras universidades españolas para Dassault Systèmes, por lo que el alumno del presente proyecto ha usado las credenciales de su tutor para poder acceder a la plataforma.

A continuación, se explicará detalladamente todo el proceso de modelado del nudo, así como los problemas y mejoras surgidas a lo largo del mismo, donde es pertinente mencionar que en algunas de las imágenes se ha omitido parcial o totalmente la tornillería y/o los cables radiales del nudo, puesto que el objetivo es la mera visualización del nudo y de los elementos que lo confieren.

5.3.1 MODELADO 3D DE NUDO K=2

En primer lugar, hemos estudiado el caso del nudo $k=2$, siendo k la clase de una malla de tensegridad, que alude al número de elementos a compresión (generalmente barras) que confluyen en el nudo, en este caso 2.

SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 1

La primera solución, fue añadir un mecanismo formado por dos pletinas unidas entre sí y, a su vez, unidas a las barras de nuestro nudo (ver Figura 15). Este diseño, a priori, es muy ventajoso debido a su gran simplicidad y reducido coste económico. Sin embargo, había una gran desventaja, que justamente es el objeto principal de este diseño: este mecanismo no obligaba a que las barras guardasen simetría (ver Figura 16), por lo que este diseño no era aceptable.

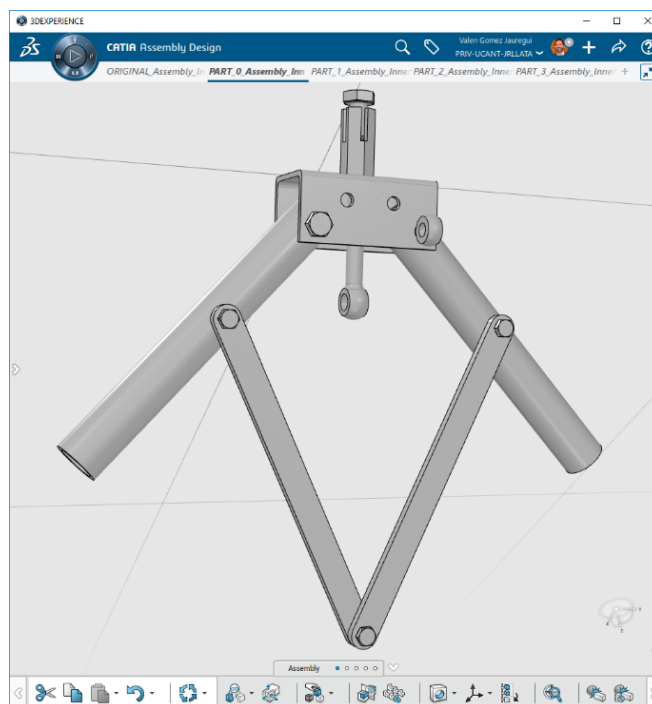


Figura 15. Diseño nº1

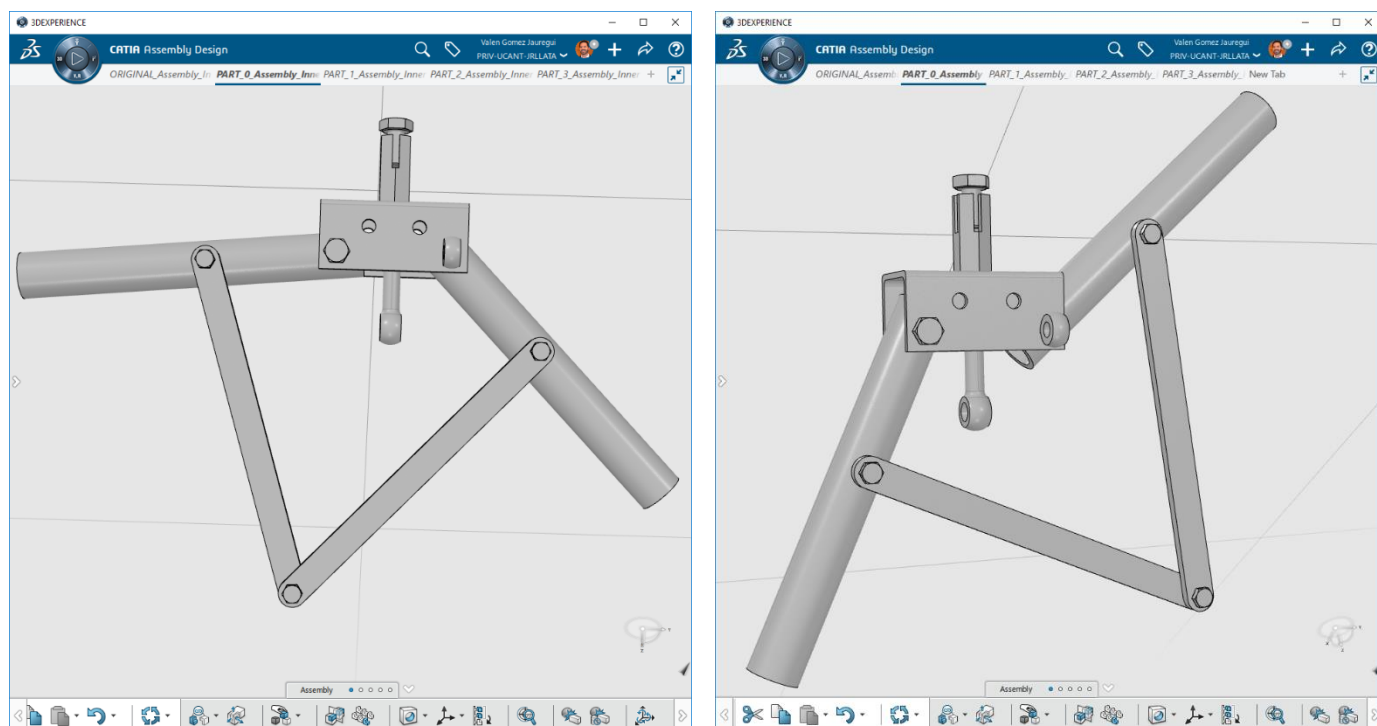


Figura 16. Diseño nº1 con asimetría

Posteriormente, pensamos añadir una pletina central en la superficie interna inferior del núcleo central, de tal forma que ésta funcionase en forma de guía. El objetivo, en cuanto a la simetría de las barras, se cumplió satisfactoriamente (ver Figura 17), pero era una desventaja que dicha guía podía llegar a partirse o deformarse debido a su fino espesor (al aumentar el espesor colisionaba con la unión mecánica central) y a su longitud, porque podría colisionar con el nudo inmediatamente inferior. Por otro lado, resultaba complicado colocar dicha guía en todos los nudos, además de hacer unas perforaciones en el propio nudo para fijar la guía (ver Figura 17). Además, hay que tener en cuenta que hay que perforar el núcleo central para poder anclar la guía a éste, lo que supone un coste adicional.

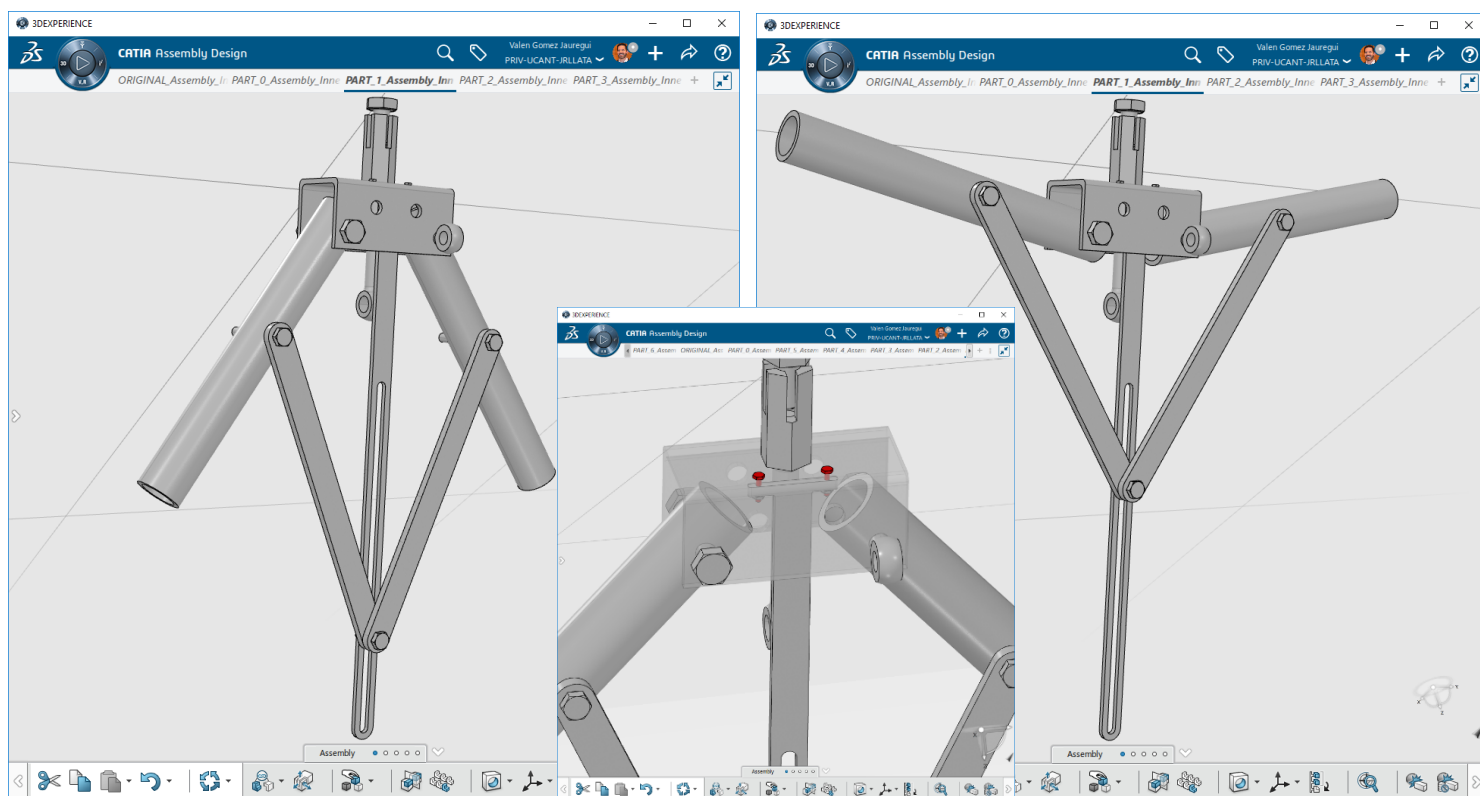


Figura 17. Diseño nº2

Por ello, planteamos una fusión entre la unión mecánica central y la guía de tal forma, que con un único elemento pudiésemos satisfacer dos necesidades: servir de guía para las barras y fijar el núcleo central con el conector cilíndrico. Para ello, utilizamos un tornillo sin cabeza M10x30 (ver Figura 18), el cual es un elemento normalizado y de fácil obtención, evitando, así, la perforación del núcleo central, como en el diseño anteriormente planteado. Por otro lado, tenemos la posibilidad de recibir en la argolla inferior de la unión mecánica central los diversos cables axiales y/o tensor vertical, lo cual le daría a nuestro nudo de mayor versatilidad. Por ello, podemos afirmar que este diseño satisface las necesidades de simetría entre barras y de plegado máximo (ver Figura 18), pero mantiene el inconveniente anterior ya que la longitud del nuevo elemento sigue siendo demasiado larga, pudiendo dar lugar a roturas y/o colisión con el resto de los nudos de alrededor.

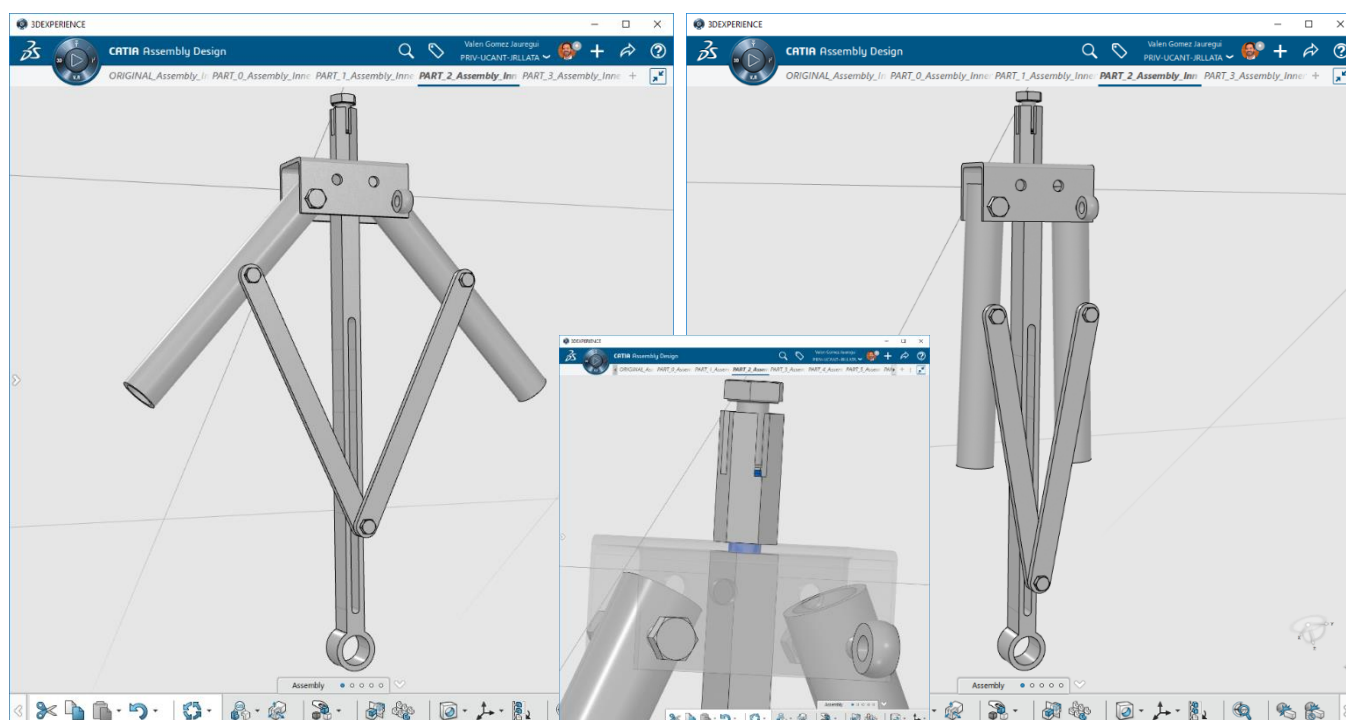


Figura 18. Diseño nº3

Otra de las propuestas fue establecer una guía en las propias barras, además de una guía en la unión mecánica central (como en el diseño anterior), junto con tres pletinas formando un triángulo entre sí (una de las pletinas, horizontal, se unía a las dos barras y a la unión mecánica central, y las otras dos pletinas a una barra y a la unión mecánica central) de tal forma que se asegurará la posición horizontal (ver Figura 19). Este diseño no es aceptable, puesto que tiene uno de los inconvenientes anteriores (longitud de la unión mecánica central), además de que exige más cantidad de material debido a que hay más pletinas, lo que, en consecuencia, incrementará el precio. También hay que tener en cuenta que será más laborioso de mecanizar puesto que hay que realizar una guía a las propias barras, lo cual, también, disminuiría la sección resistente de las barras e incrementará el presupuesto. Por otro lado, hay más limitación de movimiento debido a la disposición de las barras en forma de triángulo, lo que hace que el nudo no se pueda plegar de forma óptima, exigiendo una gran longitud de la guía central (ver Figura 19), lo cual implica las consecuencias anteriormente comentadas.

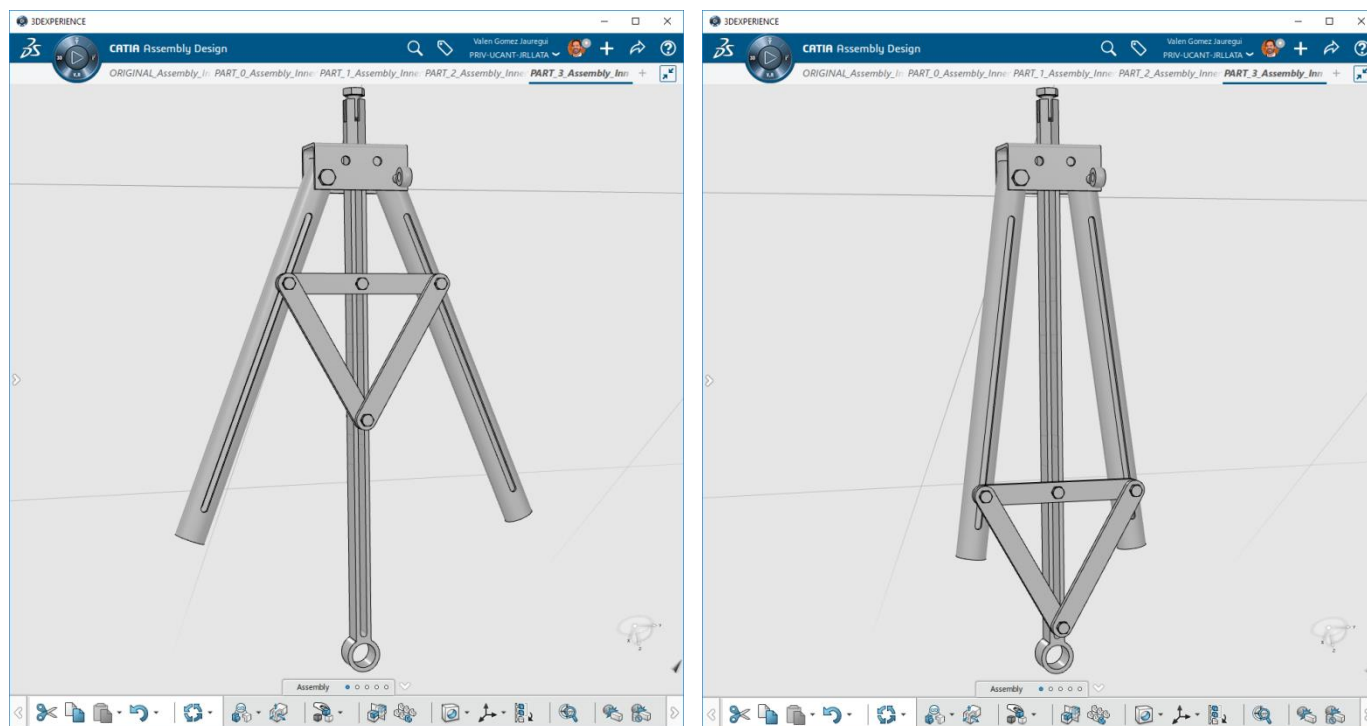


Figura 19. Diseño nº4

En el presente diseño (especificar figura), intentamos subsanar el principal problema que nos encontramos en anteriores planteamientos: la longitud de la unión mecánica central. Para ello, intentamos generar un sistema de pletinas que se movieran de forma interna (con la articulación más cerca del núcleo central), reduciendo el tamaño de las barras y, también, el de la unión mecánica central. Además, desplazamos hacia arriba los agujeros de las barras donde van atornilladas las pletinas con objeto de reducir el tamaño de éstas últimas. De esta forma, podemos obtener el plegado máximo (ver Figura 20), observando que el movimiento de las barras está limitado a un cierto ángulo, siendo éste suficiente para nuestro propósito (ver Figura 21). Otro inconveniente sucede cuando las barras se encuentran en posición horizontal, lo cual puede dar problemas ya que las pletinas pueden bloquearse o la articulación central puede desplazarse hacia abajo. Además, el espesor de dichas pletinas es demasiado fino (a priori no puede ser de otra forma ya que, si no chocaría con el núcleo), lo que también puede generar problemas. Por otro lado, un mejor equilibrio se dará si las pletinas de simetría se encuentran en el centro de las barras (no en uno de los lados), lo cual se intentará solventar en posteriores diseños.

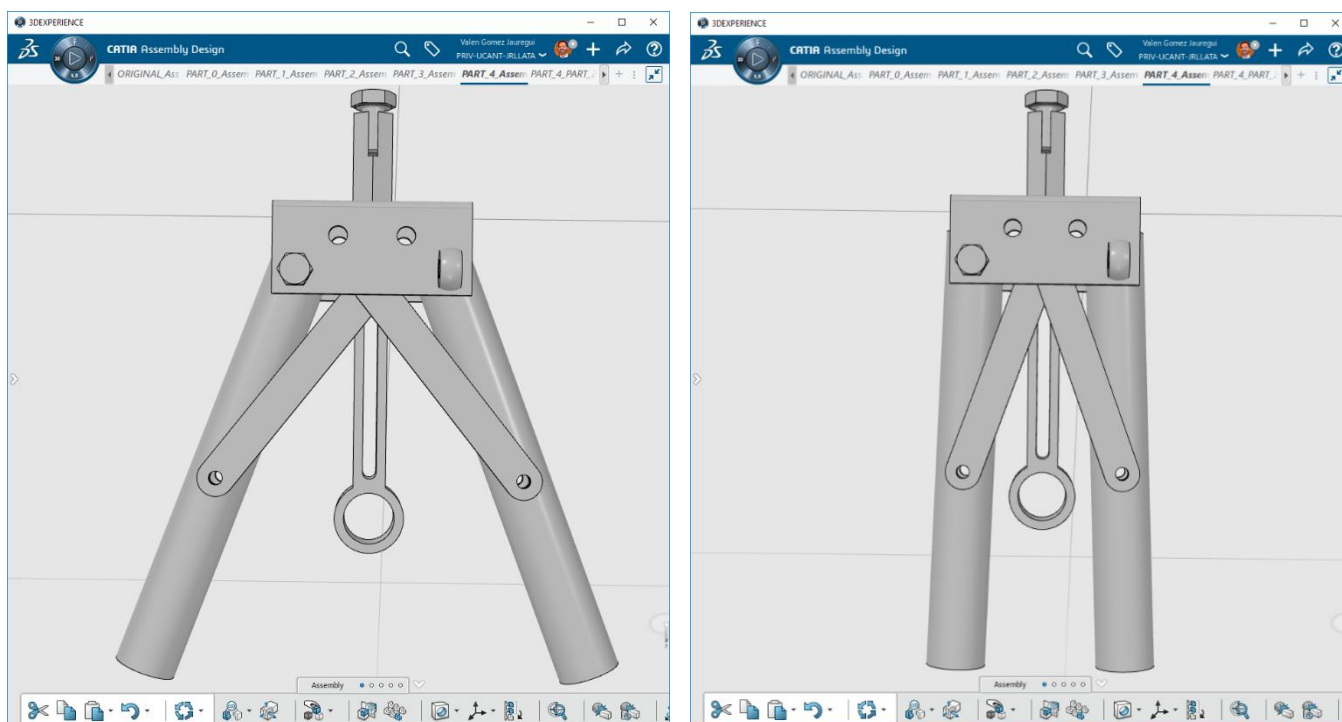


Figura 20. Diseño nº5. Apertura estándar vs plegado máximo

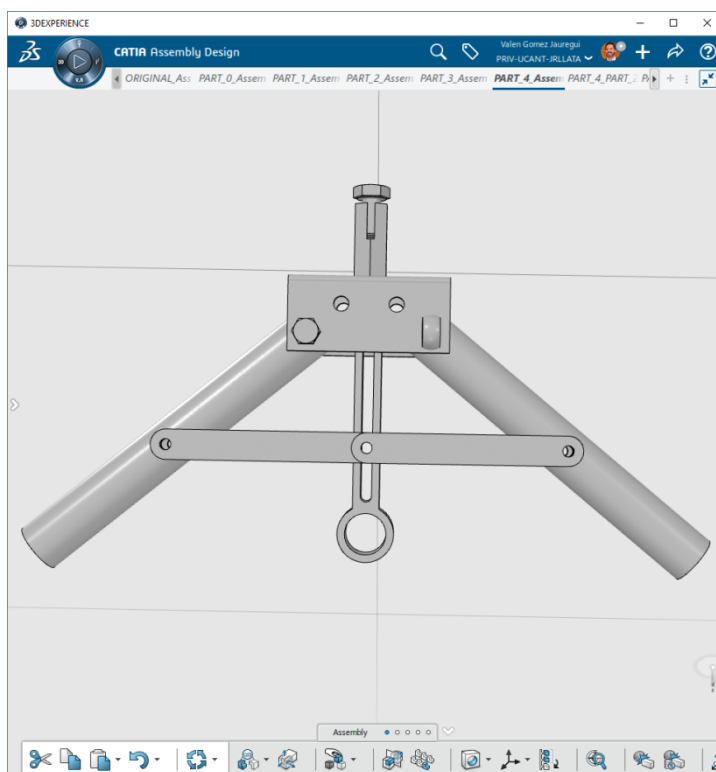


Figura 21. Diseño nº5 con máxima apertura de las barras

Para subsanar los anteriores errores, reducimos la longitud de la guía-cáncamo de tal forma que las pletinas nunca lleguen a permanecer completamente horizontales para evitar que éstas se bloqueen y que además la articulación central se desplace más abajo (ver Figura 22). Por otro lado, en el presente diseño se ha mejorado la colocación de las pletinas con respecto las barras, con el fin de mejorar el equilibrio de fuerzas y tensiones, colocándose en esta ocasión en el centro de las barras y no en un lateral, como en el caso anterior. Dicha mejora se ha realizado haciendo una perforación tanto a las barras como a la unión mecánica central. Dichas modificaciones hacen que este diseño no sea aceptable debido a la gran longitud de la perforación en las barras (ver Figura 23), lo cual obliga a que éstas sean más vulnerables a cualquier fuerza o tensión indeseada. Además, esto hace que dichas barras disminuyan su sección y, en consecuencia, su resistencia. Por otro lado, dichas perforaciones implican un difícil mecanizado, lo que redunda en un incremento del coste, por lo que, aun siendo válido el diseño, parece lógico buscar una idea más eficiente en todos los sentidos.

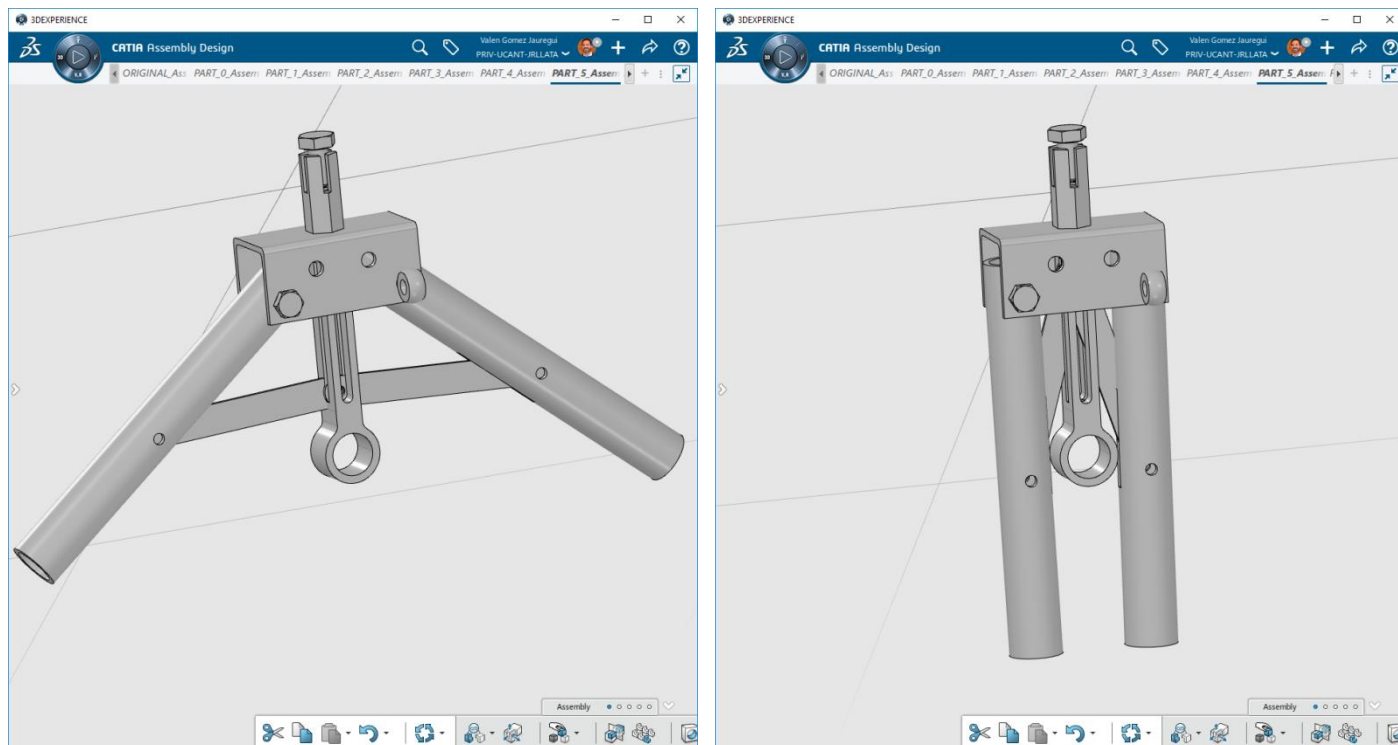


Figura 22. Diseño nº6. Apertura máxima vs Plegado máxima

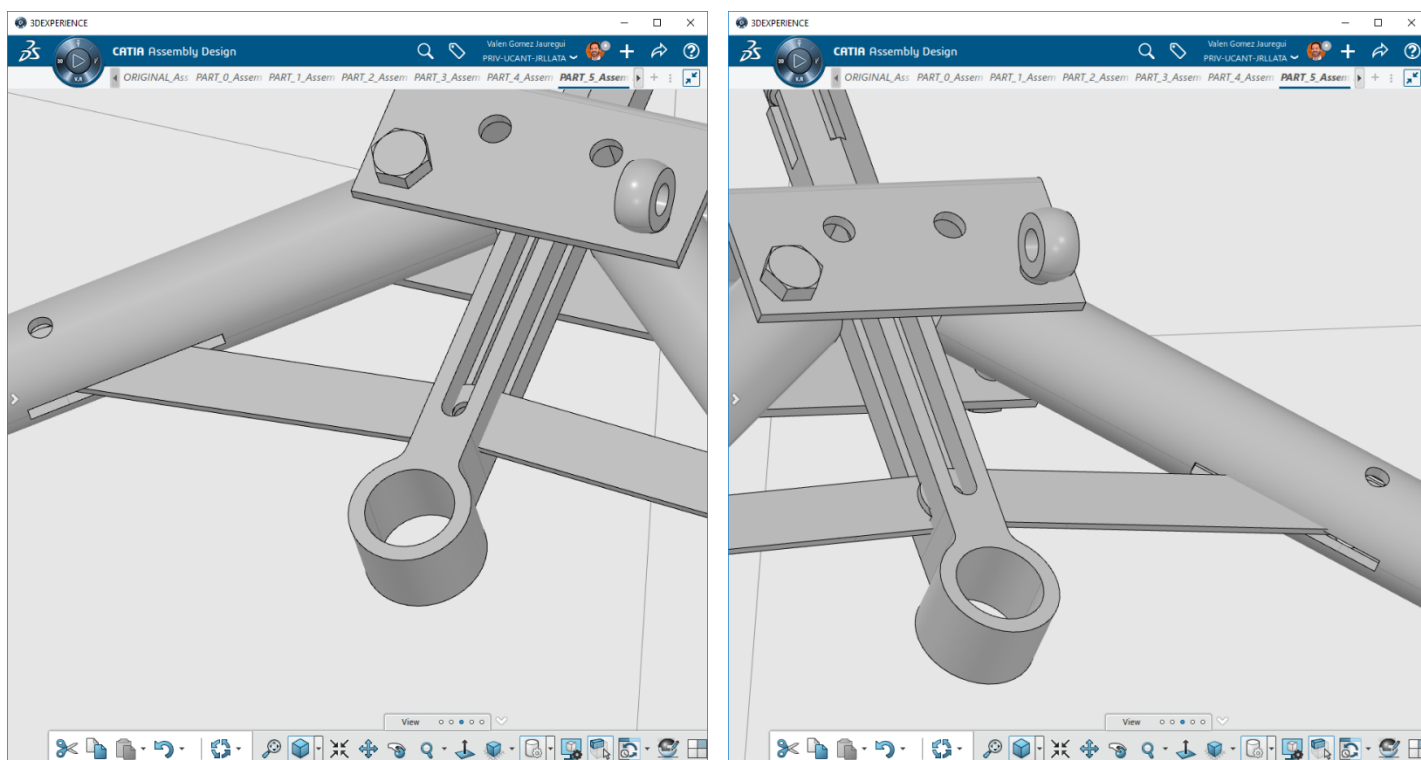


Figura 23. Diseño nº6. Perforación en barras y unión mecánica central

En el siguiente diseño, con el fin de evitar la perforación de las barras anteriormente descritas, elaboramos unas pletinas con sección en forma de U en un extremo y manteniendo la forma del diseño anterior en el otro (ver Figura 24). Además, cambiamos ligeramente la geometría del diseño con el fin de no colisionar con las barras, fundamentalmente, en el momento de máximo plegado del nudo. Aun así, seguía interfiriendo (ver Figura 25), por lo que este diseño no es aceptable. Por otro lado, descubrimos otro inconveniente a subsanar: en el momento de plegado máximo el extremo de la pletina colisiona en el interior de la unión mecánica central (ver Figura 25).

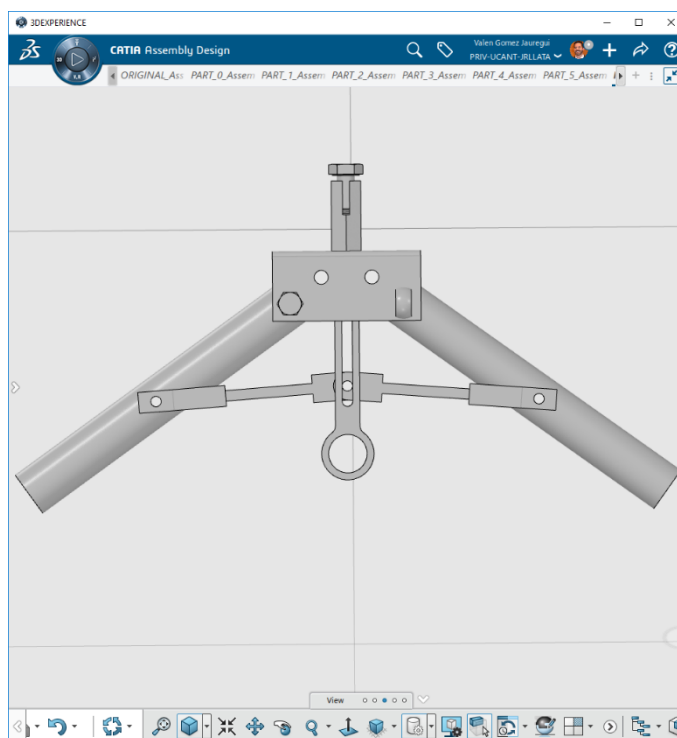


Figura 24. Diseño nº7. Forma de la nueva pletina

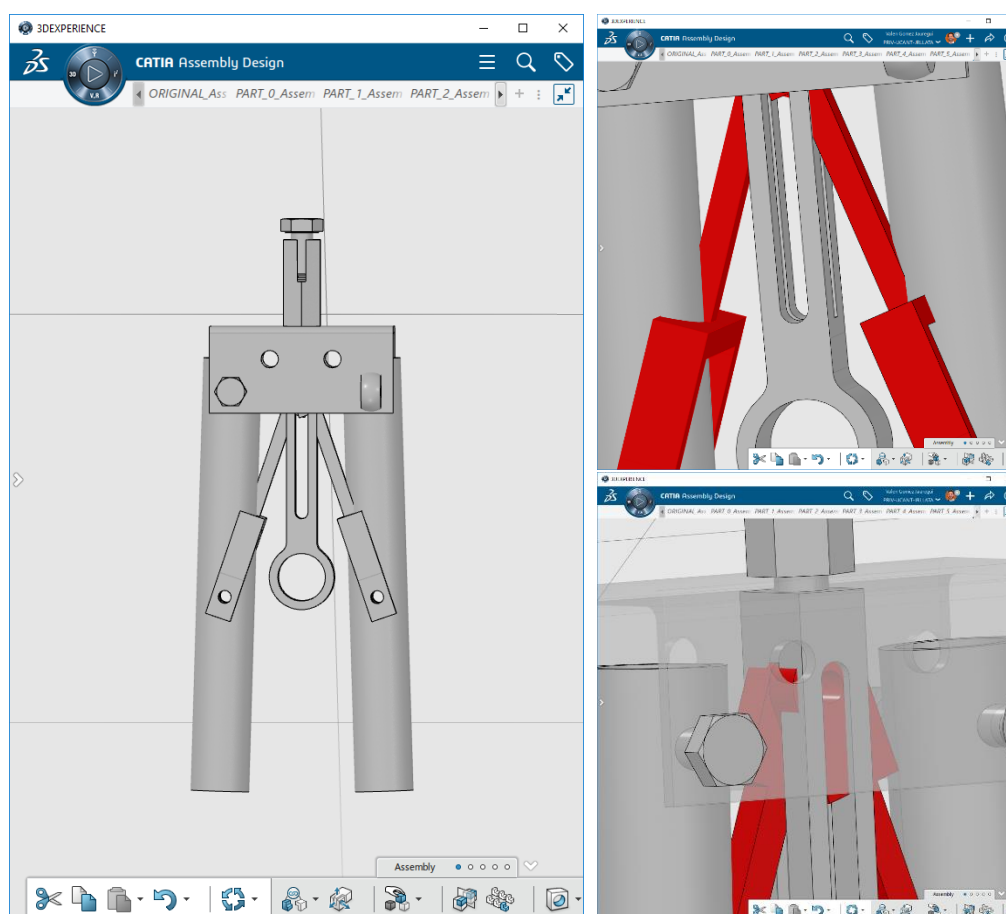


Figura 25. Diseño nº7. Plegado máximo del nudo y colisiones entre elementos

Con el fin de solventar los inconvenientes anteriores, eliminamos los agujeros de las barras y añadimos un tetón, el cual irá soldado a cada barra (ver Figura 26) con el objetivo de que en él se acoplen las pletinas, evitando que colisionen con las barras. Sin embargo, el problema permanece, ya que, ahora, las pletinas colisionan tanto con el tetón como con la argolla de la unión mecánica central (ver Figura 27).

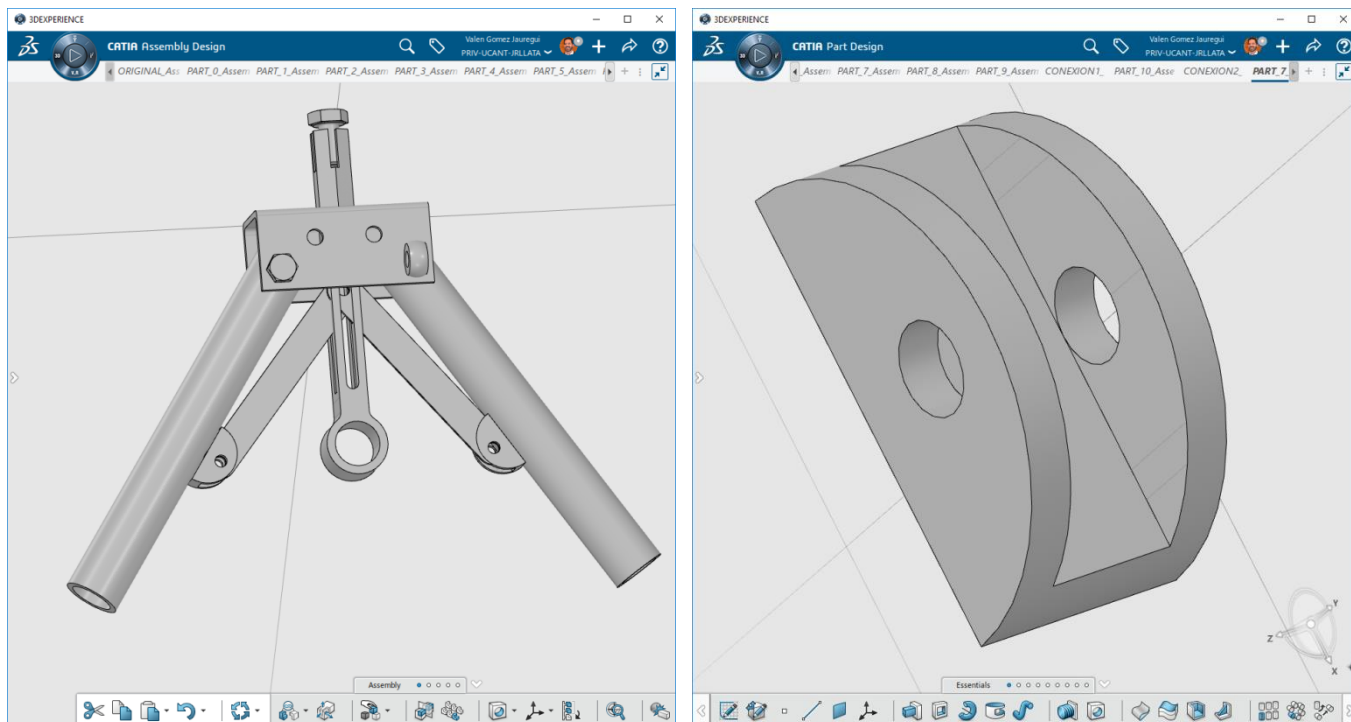


Figura 26. Diseño nº8. Ensamblaje final vs tetón

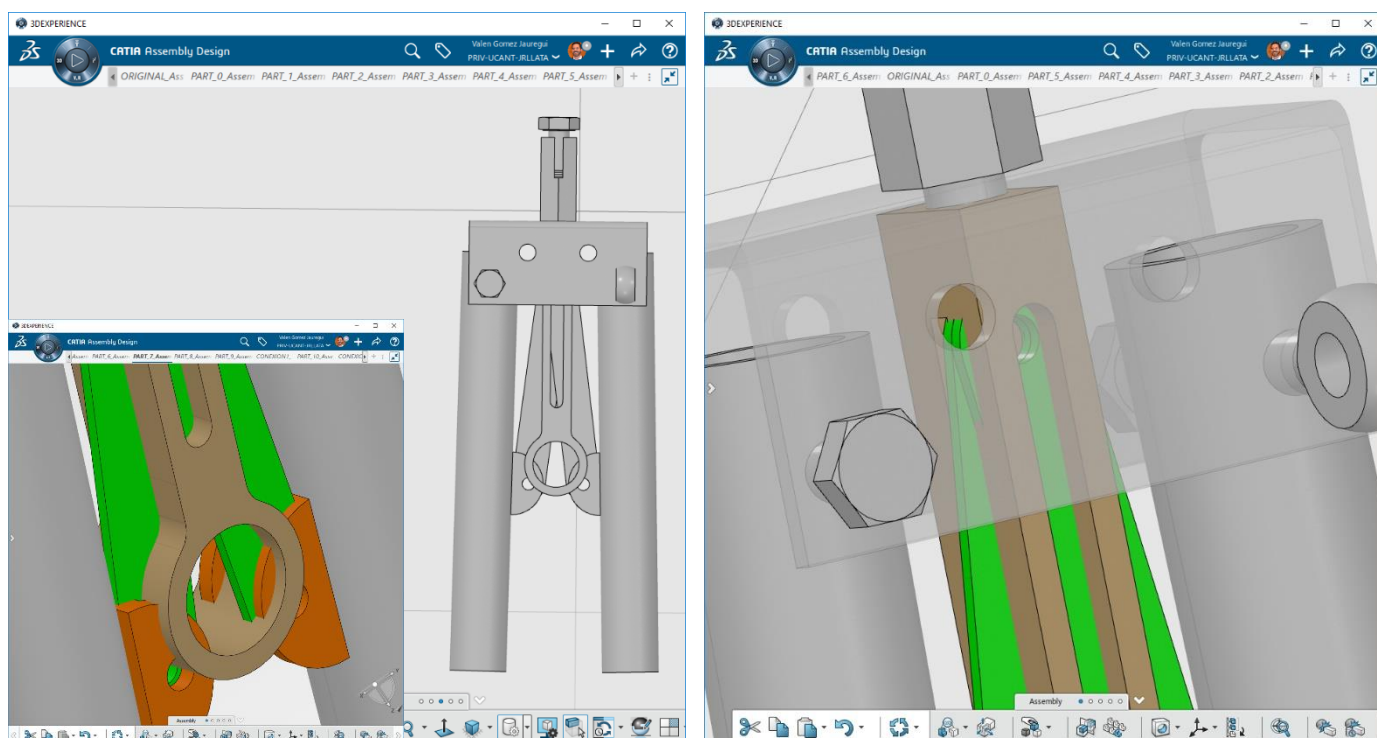


Figura 27. Diseño nº8. Plegado máximo del nudo y colisiones entre elementos

El siguiente diseño planteado mantiene la idea anterior. Consiste en dos tetones soldados a las barras, de tal forma que en éstos se acoplen las pletinas que otorgan la simetría de nuestro nudo. Para eliminar los problemas de colisión anteriores, hemos alargado la unión mecánica central, de tal forma que la argolla se sitúe unos centímetros más abajo y no colisione con ningún elemento. Además, hemos modificado sustancialmente la geometría de las pletinas, reduciendo su anchura en el extremo más cercano a los tetones con objeto de que no choque con éstos en el momento de máximo plegado del nudo (ver Figura 28). Así mismo, hemos realizado unas variaciones en el diseño de los tetones para que, de igual forma que con las pletinas, no colisione con ningún elemento. Dichas modificaciones son unas muescas, así como un cambio a geometría prismática, en oposición a la geometría semicircular que poseía anteriormente. Además, realizamos unos chaflanes en los propios tetones (ver Figura 29). Por ello, este diseño permite tanto el plegado máximo del nudo como una abertura de éste bastante aceptable. Con todo ello, podemos afirmar que este rediseño posee unas buenas características debido a la sencillez de sus elementos y a la conexión entre ellos (fijaciones a través de pernos y soldaduras), lo que conlleva un coste reducido.

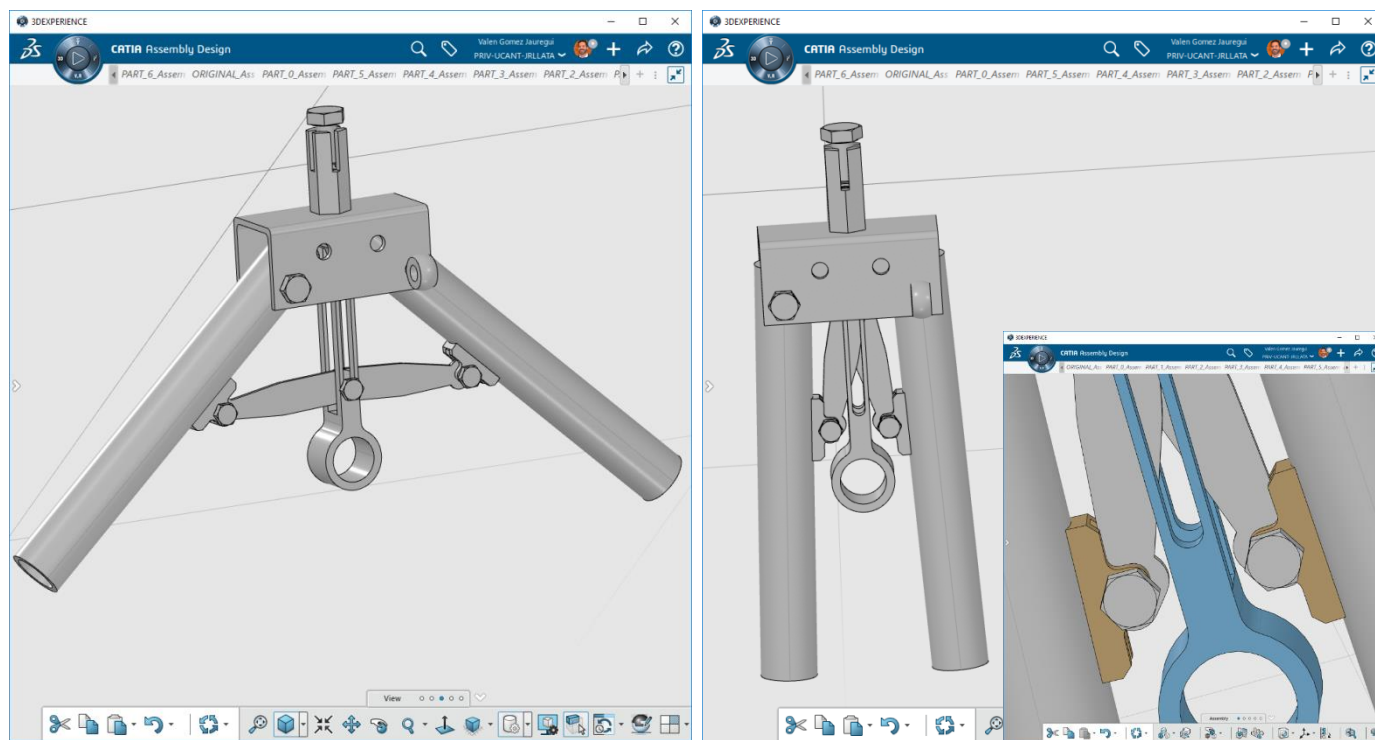


Figura 28. Diseño nº9. Apertura máxima vs plegado máximo

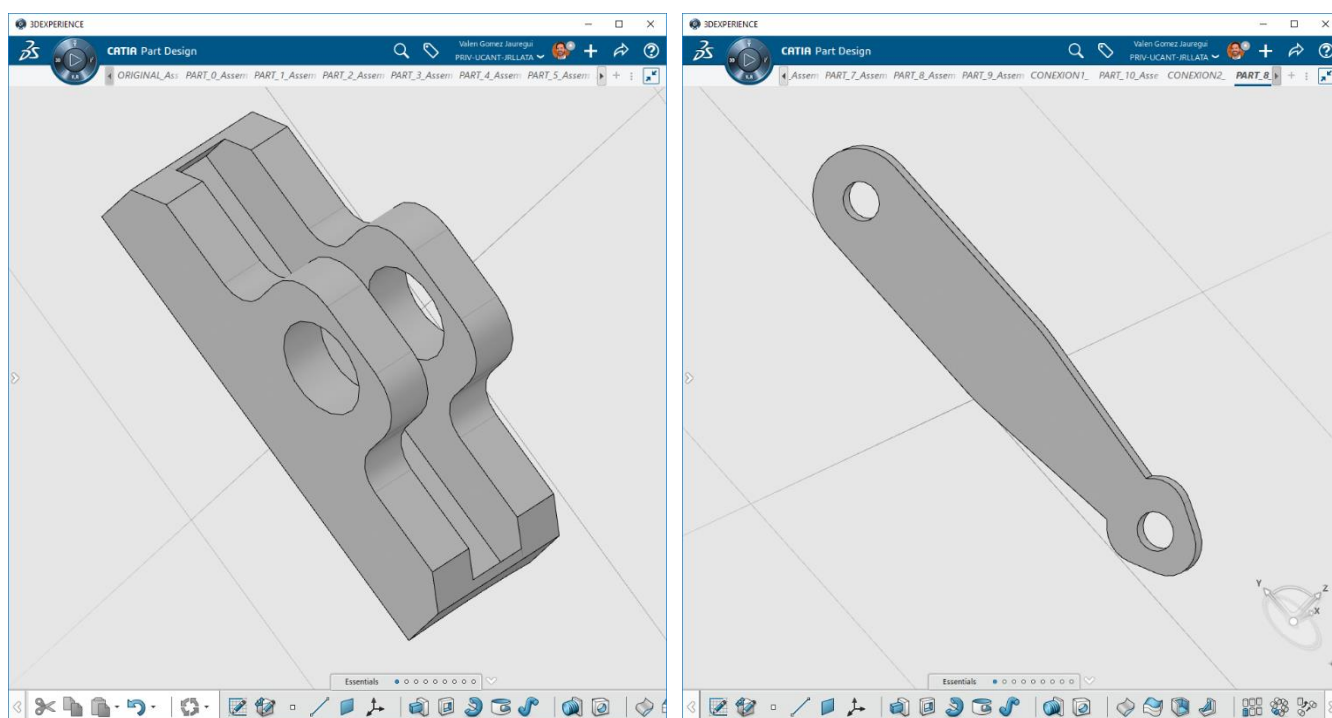


Figura 29. Diseño nº9. Tetón vs pletina

SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 2

Aun siendo un diseño bastante aceptable, hemos visto oportuno mejorar el núcleo central con sección en U, dándole una geometría que permita un acople mucho más compacto entre todos los núcleos. La mejora en cuestión trata de conferir al núcleo de una forma convexa por sus extremos, así como una forma cóncava por el centro (del mismo diámetro que en el extremo), de tal forma que a un núcleo se puedan acoplar otros dos en sentido perpendicular, desperdiciando el mínimo espacio posible. Además, hemos generado al núcleo un rebaje en su zona inferior con objeto de que dicho núcleo nunca colisione con las barras o con otros elementos del nudo. Por otro lado, se le han adaptado cuatro orejetas verticales con un agujero donde irán alojadas las barras con sus correspondientes tornillos (ver Figura 30). El resultado final es aceptable, ya que permite una apertura bastante adecuada de las barras y un plegado máximo sin colisiones (ver Figura 31).

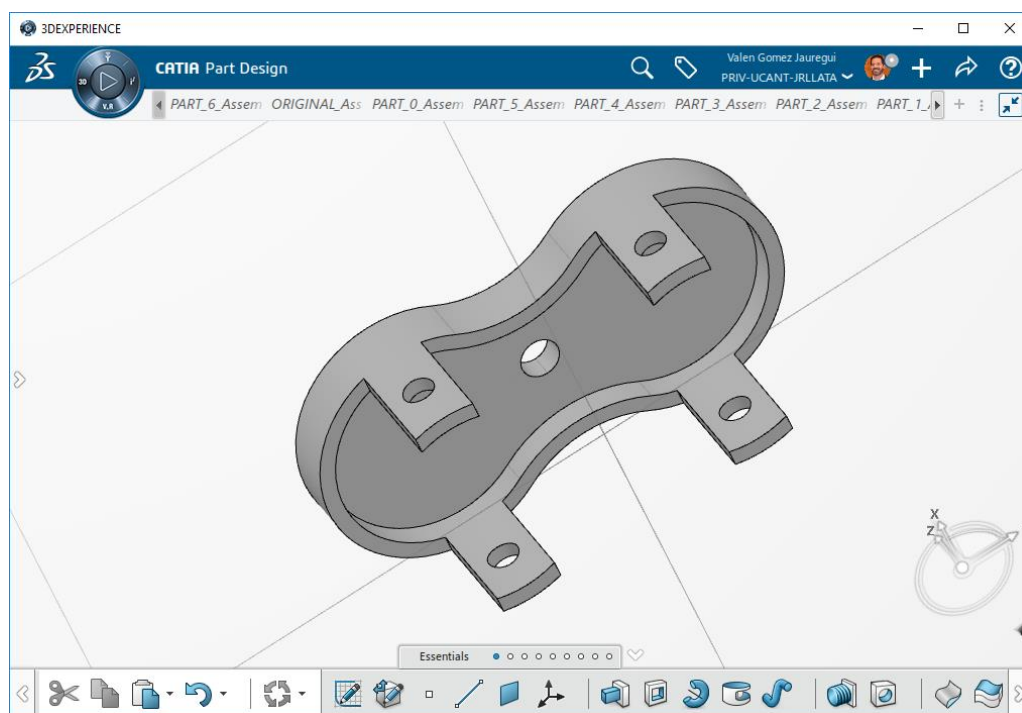


Figura 30. Diseño nº10. Núcleo central

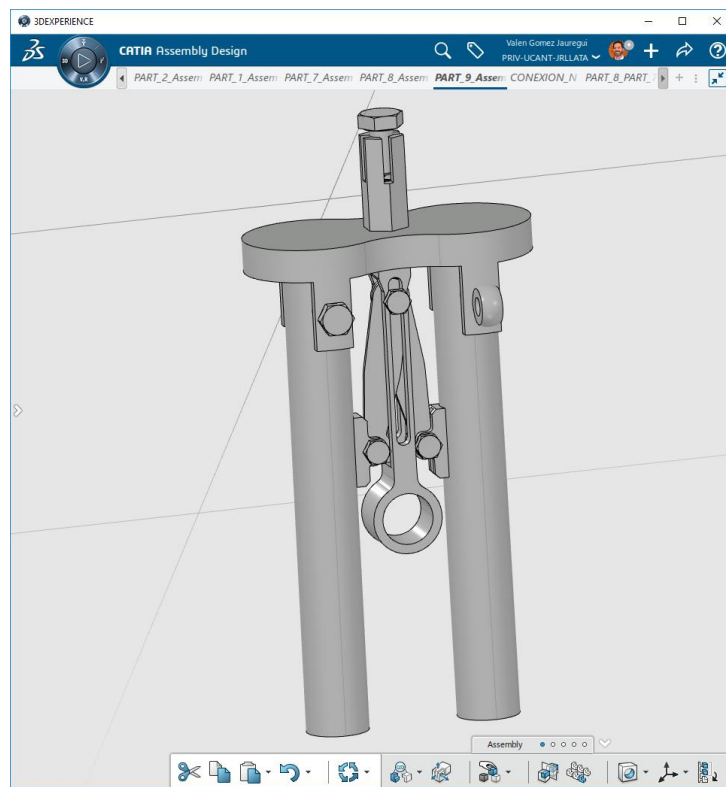
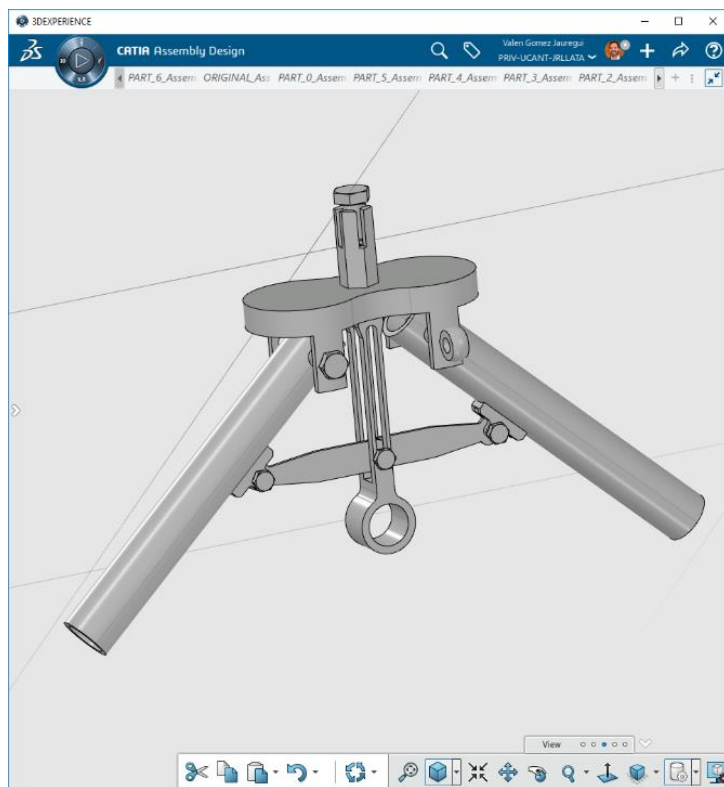


Figura 31. Diseño nº10. Apertura máxima y plegado máximo

Para comprobar cuan eficiente es este nudo, hemos visto pertinente yuxtaponer tres nudos, de tal forma que estén totalmente acoplados (ver Figura 32).

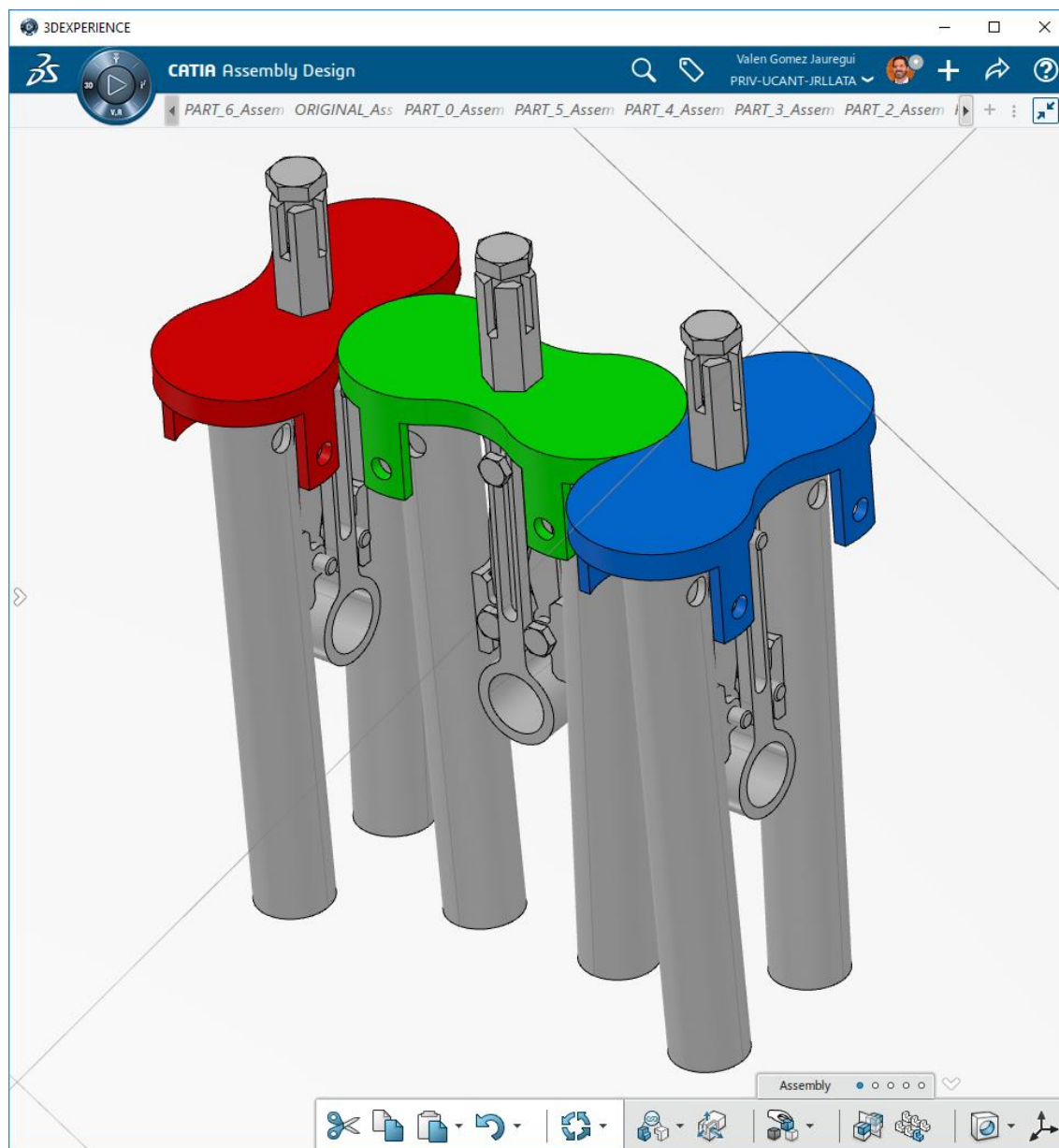


Figura 32. Diseño nº10. Acoplamiento de nudos

A través de la vista en planta (ver Figura 33) podemos observar que los tres núcleos se acoplan perfectamente cuando están a 90° (acoplamiento máximo), pero que sigue siendo posible que estén aún más acoplados.

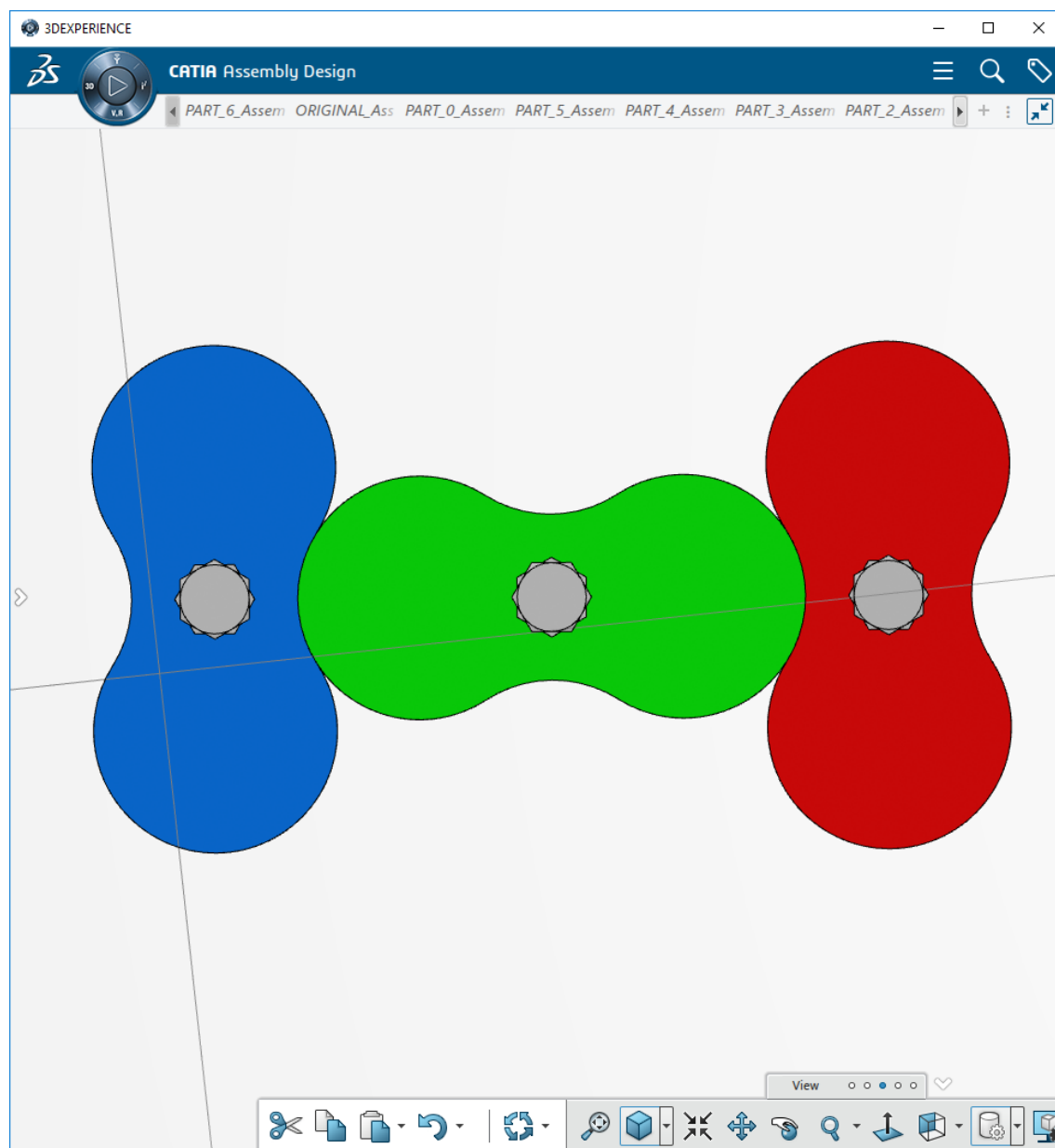


Figura 33. Diseño nº10. Acoplamiento de nudos (vista en planta)

Con objeto de mejorar el acoplamiento de nuestro nudo aún más, reducimos el tamaño del núcleo, de tal forma que la distancia entre la cazoleta y las barras sea reducida (ver Figura 34), aunque sería recomendable aumentar mínimamente dicha distancia para, de esta forma, poder fijar cables diagonales. Por otro lado, al reducir el tamaño del diámetro de los extremos nos obliga a reducir también el diámetro central donde se acoplarán otros dos núcleos. En ese momento nos encontramos en la tesitura de que tiene que haber un diámetro mínimo central para poder situar el conector cilíndrico puesto que, en caso contrario, no habría espacio suficiente. Esto nos supone el inconveniente de que el acoplamiento no sea máximo, ya que queda espacio desaprovechado, aun habiendo reducido los diámetros externos (ver Figura 35). Como solución, se sugiere modificar el elemento central y/o la cazoleta.

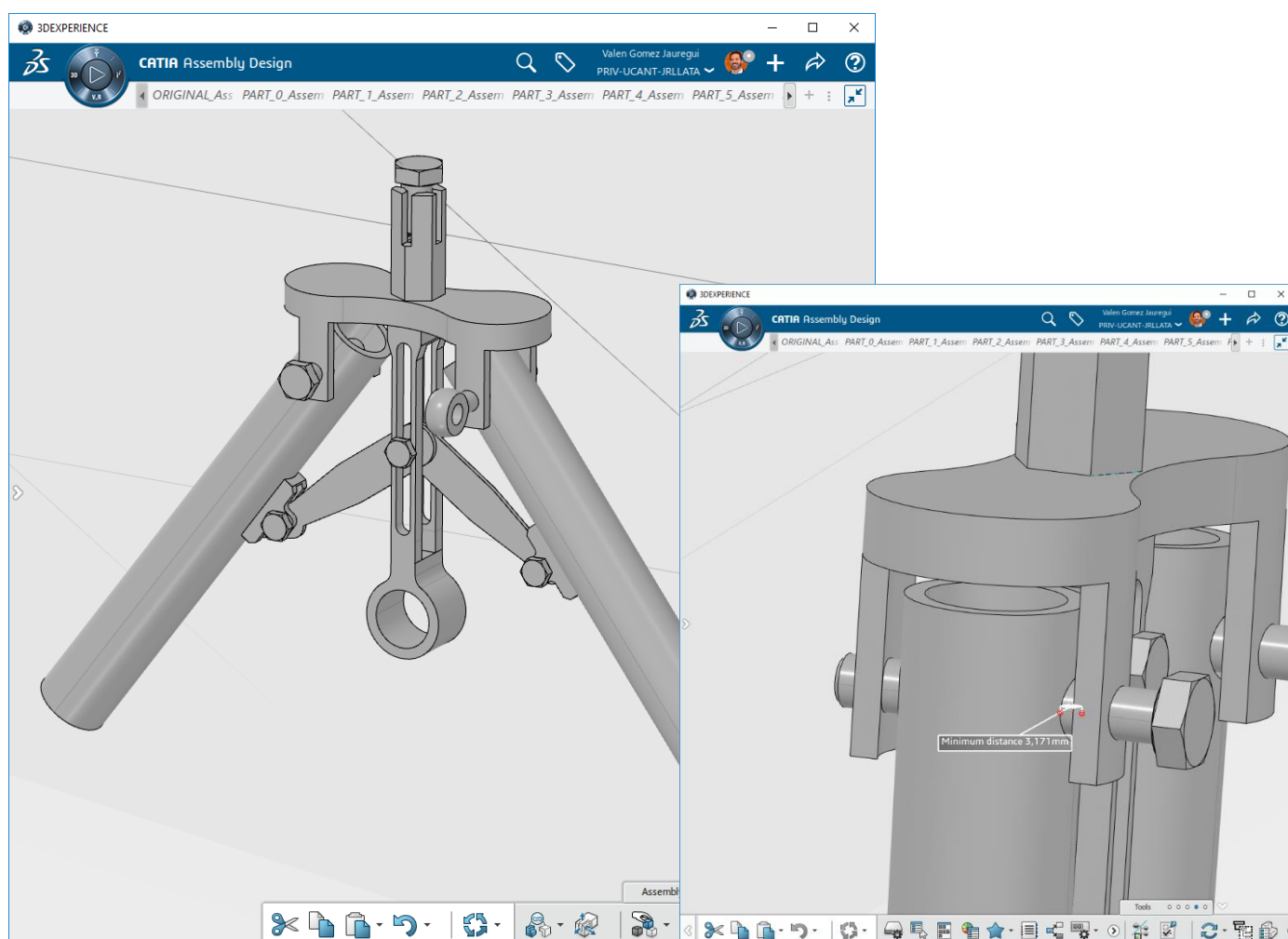


Figura 34. Diseño nº11

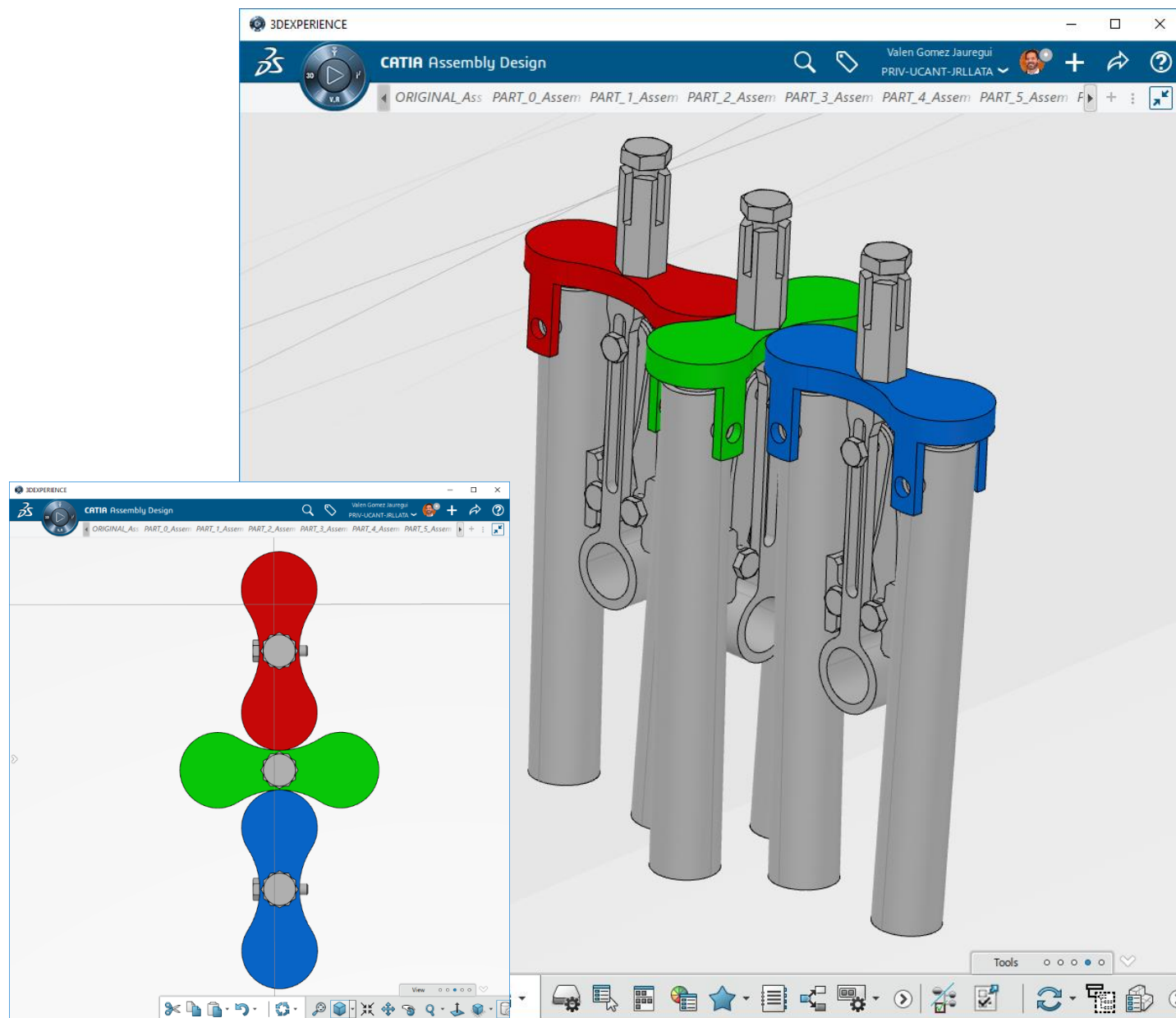


Figura 35. Diseño nº11. Acoplamiento de nudos

A la vista del mal acoplamiento del diseño anterior, como consecuencia de la diferencia entre el diámetro exterior e interior con objeto de que entrase el conector cilíndrico y, simultáneamente, se redujese la distancia entre la cazoleta y las barras, optamos por llegar a una situación de compromiso: aumentar el diámetro exterior del nudo unos centímetros respecto al anterior diseño, de tal forma que quede el espacio suficiente para poder alojar el conector cilíndrico sin problema (ver Figura 36).

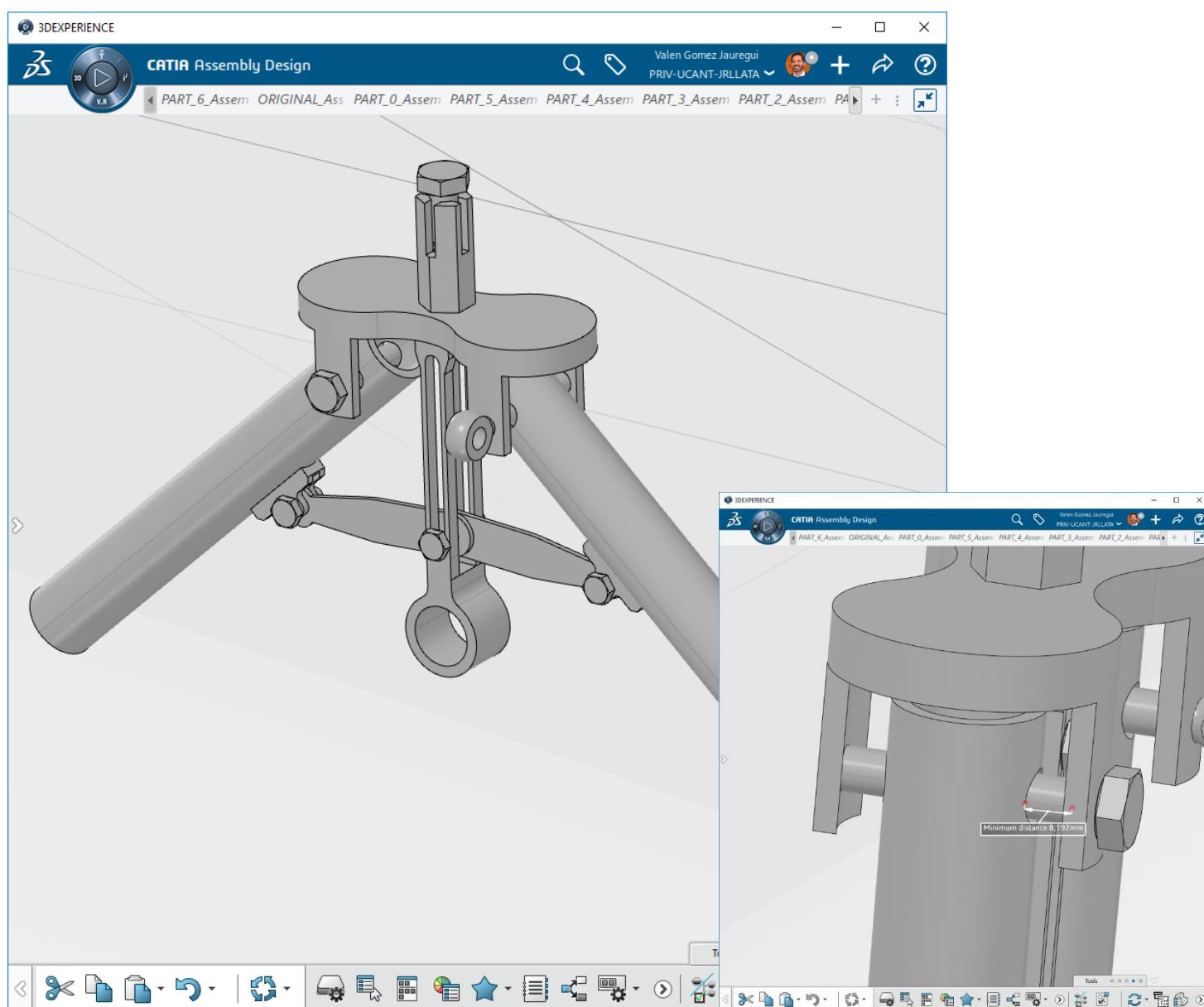


Figura 36. Diseño nº12

Posteriormente acoplamos varios nudos para observar el acoplamiento. A la vista de los resultados, podemos afirmar que el acoplamiento es bueno, ya que hay relativamente poco desperdicio de espacio (ver Figura 37). Sin embargo, dicho acoplamiento resulta ser bastante inestable, pudiendo salirse los nudos de ese estado de desequilibrio en cualquier momento. Por ello, habrá que modificar el diseño del núcleo central.

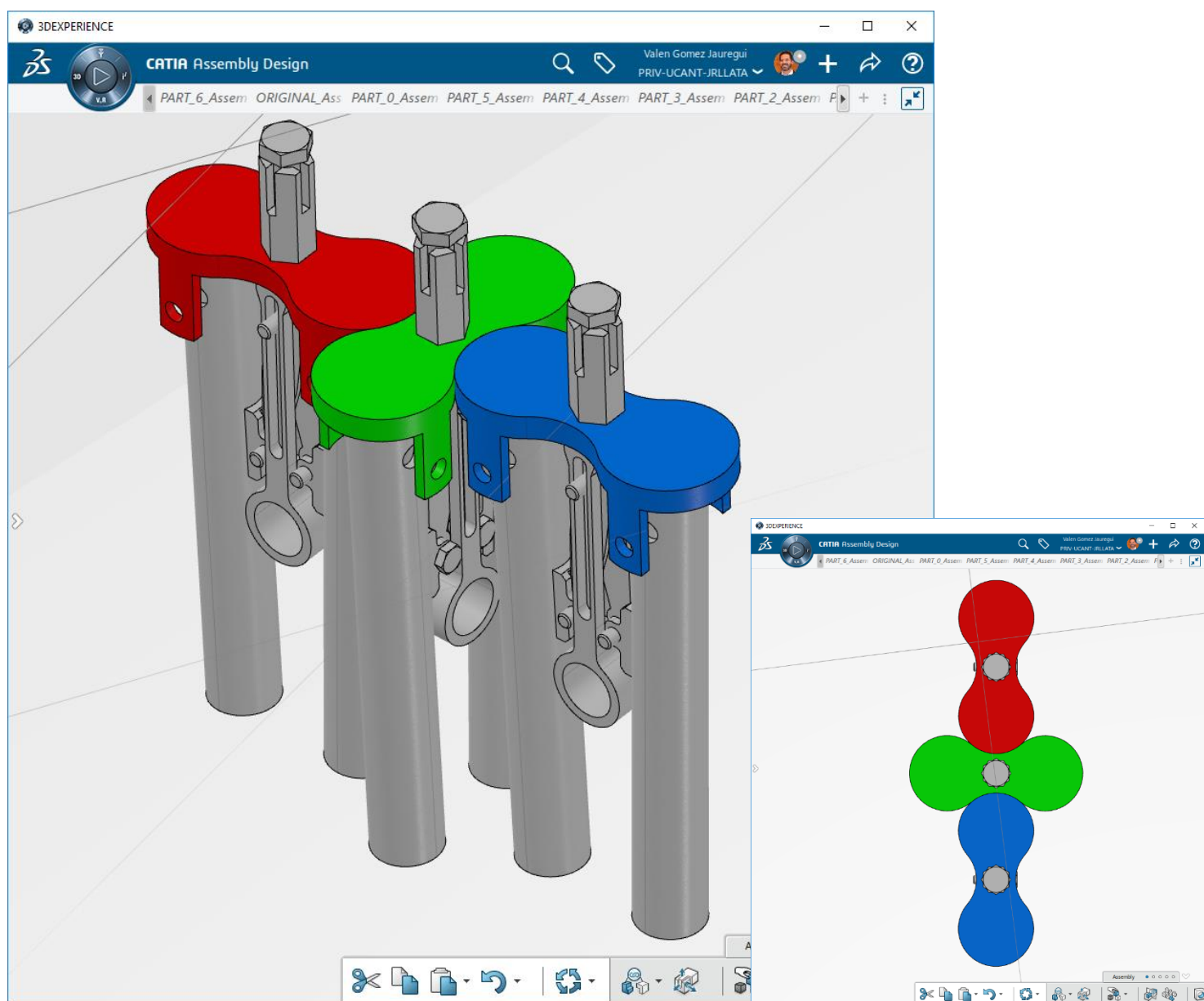


Figura 37. Diseño nº12. Acoplamiento de nudos

A continuación, optamos por modificar sustancialmente el diseño de la cazoleta, de tal forma que los nudos se acoplen mucho mejor y éstos no se salgan. El diseño en cuestión consta de una cazoleta, como en los casos anteriores, en la que se ha ensanchado la parte central con objeto de que el conector cilíndrico entre sin problema. Además, se ha creado unos salientes laterales en la zona entrante central para que el nudo que se vaya a alojar no se salga de su emplazamiento tan fácilmente (ver Figura 38). Dicha cazoleta se adapta perfectamente al resto de elementos (ver Figura 39), siendo el principal problema el hecho de que tiene bastantes aristas y extremos puntiagudos, lo que puede dar lugar a concentración de tensiones, provocando la rotura del elemento. Además, dichas zonas son frágiles y peligrosas.

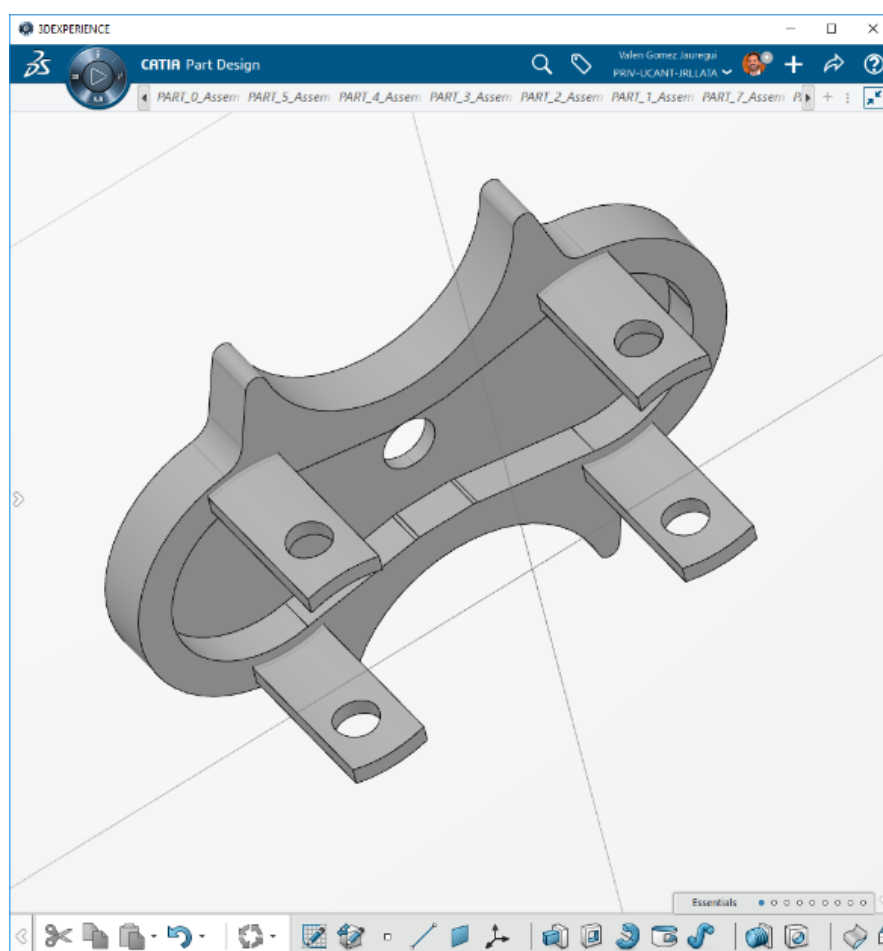


Figura 38. Diseño nº13. Núcleo central

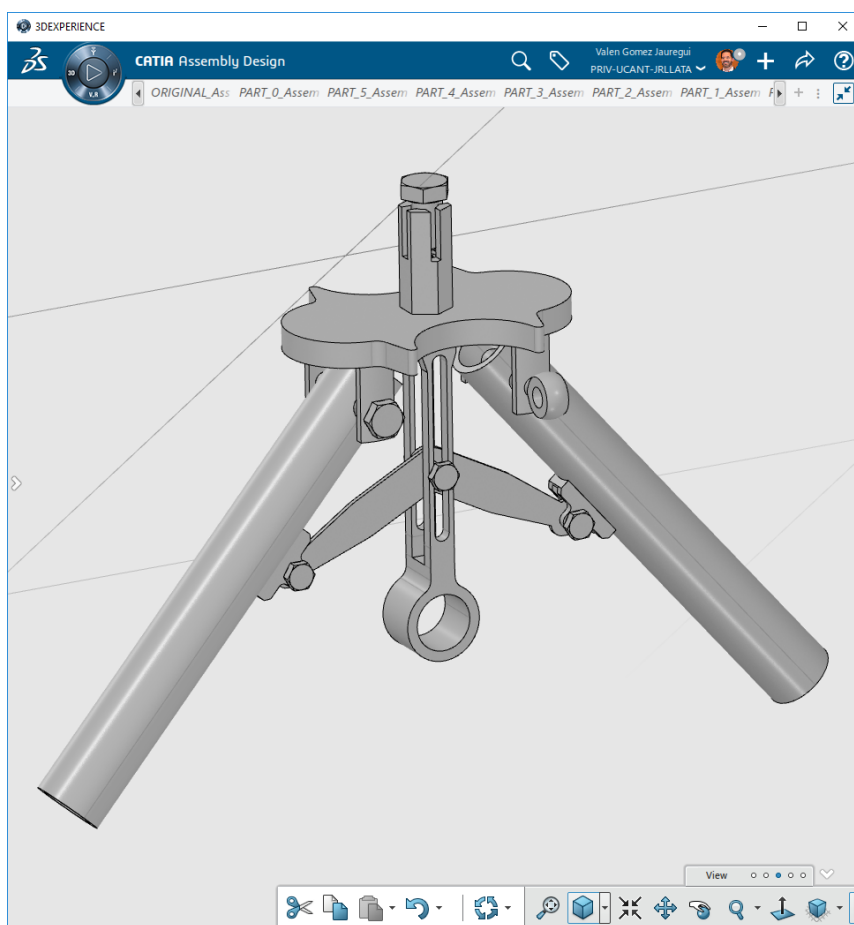


Figura 39. Diseño nº13

A la hora de yuxtaponer tres nudos entre sí, observamos que presenta un buen acoplamiento (ver Figura 40), sin embargo, al igual que en planteamiento anterior, dichos nudos se pueden salir con facilidad de su alojamiento, ya que no están sujetos de ninguna manera. Además, como hemos mencionado anteriormente, observamos con mayor claridad la posibilidad de rotura debido a las aristas vivas. Estos aspectos deberán ser mejorados en posteriores planteamientos.

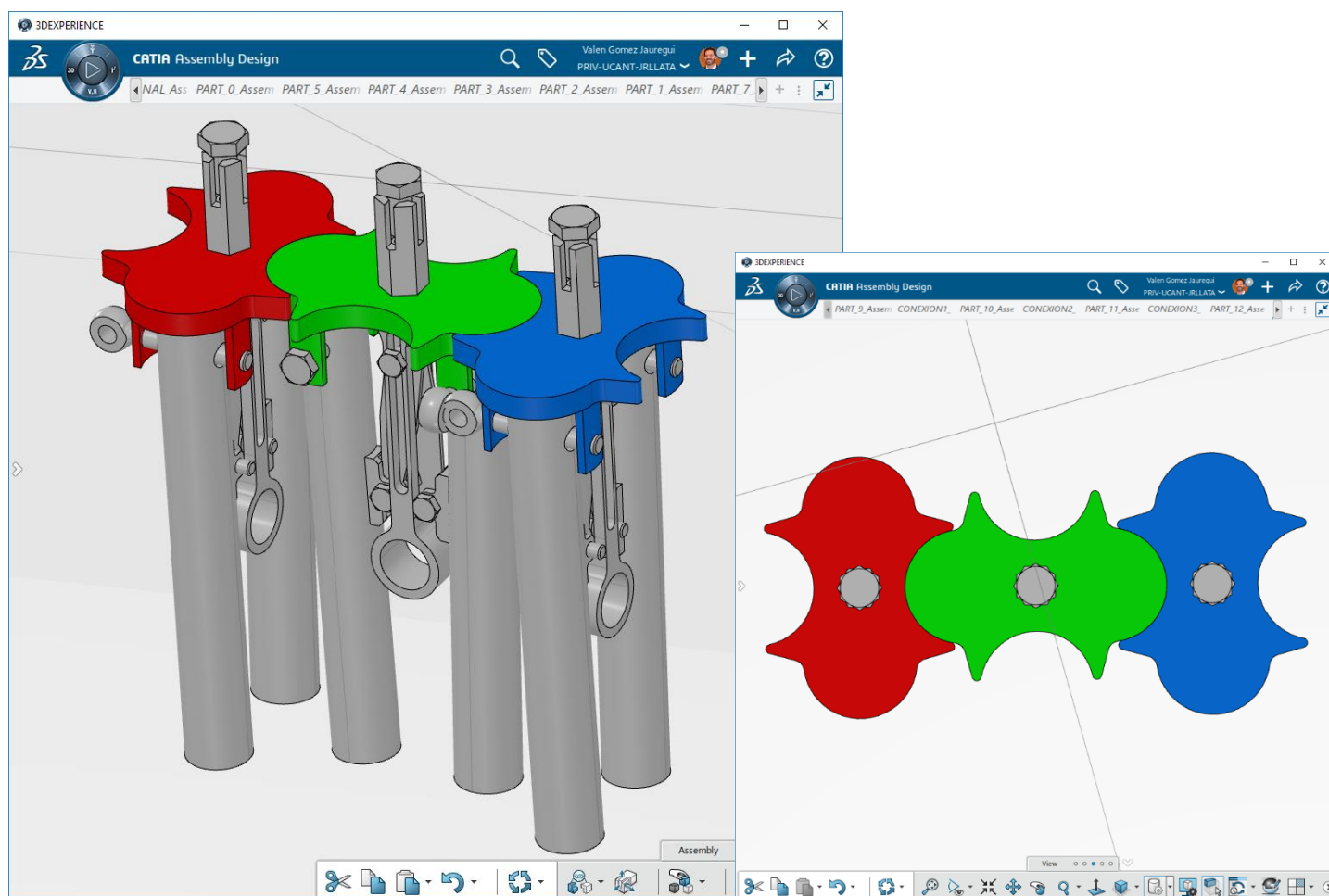


Figura 40. Diseño nº13. Acoplamiento de los nudos

SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 3

Con objeto de que el acoplamiento de los nudos sea mucho más eficiente, optamos por continuar modificando la geometría de la cazoleta. En este caso, el diseño está basado en la dinámica de un puzle, de tal forma que una parte de la cazoleta se ha prolongado, y en la homóloga se ha realizado una muesca (ver Figura 41). Además, se han eliminado las aristas vivas del diseño anterior por el peligro y problemas que acarreaban. Sin embargo, el presente diseño sigue sin ser válido ya que, en el momento de máximo acople del nudo, a pesar de ser más estable que en el caso anterior, sigue sin haber realmente ningún elemento de fijación que haga que el nudo permanezca inmóvil. Por otro lado, a la hora de acoplarse los nudos, los salientes creados en el contorno de éstos se verán sometidos a constantes esfuerzos, siendo

la parte más vulnerable de todo el nudo y pudiendo, en el peor de los casos, llegar a su rotura. Por lo tanto, habrá que seguir mejorando la idea.

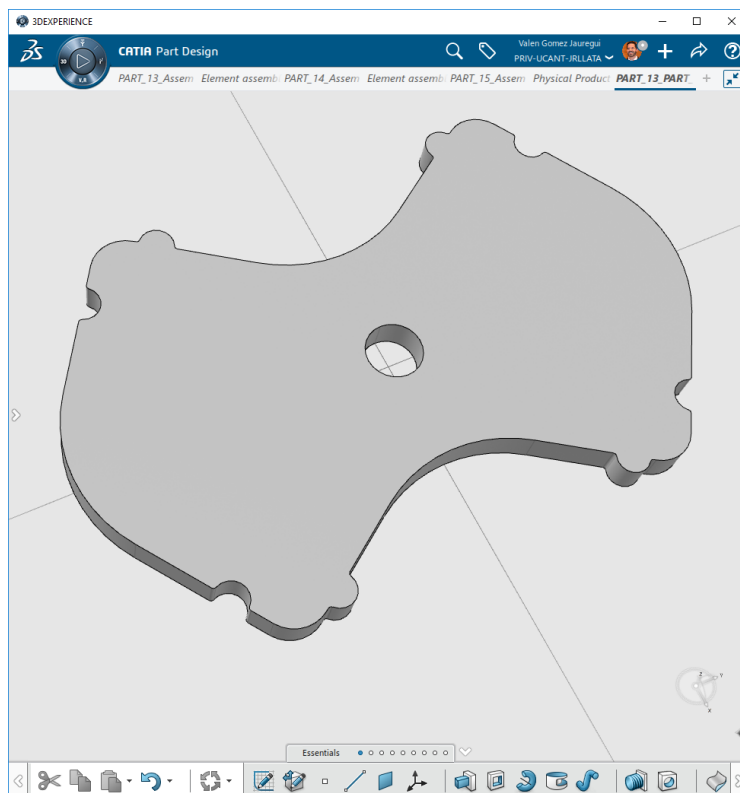


Figura 41. Diseño nº14. Cazoleta

Añadir, que en la imagen adjunta únicamente está representado la forma superior de la cazoleta, faltaría añadir las orejetas en las que irán insertadas las barras del nudo, a través de sus correspondientes pernos, pero hemos optado por representar y explicar la idea genérica.

El siguiente diseño mantiene la dinámica del puzzle del planteamiento anterior, sin embargo, en este caso, los salientes no tienen forma de semicircunferencia, sino que tiene una geometría cuasi circular estrechándose casi en el cierre de dicho círculo y de igual forma en su agujero homólogo (ver Figura 42), con objeto de que sea más sencillo que el nudo homólogo se inserte en él pero que sea más difícil que se separen. Sin embargo, tiene la desventaja de que, al acoplarse los núcleos, los mencionados salientes estarán sometidos a fuertes esfuerzos, como consecuencia de que los huecos donde irán tienen que ceder unos milímetros para que el acoplamiento sea eficaz (ver Figura 43). Además, al igual que en planteamiento

anterior, toda la carga recaerá en los salientes, por lo que puede dar lugar a la rotura inminente de éstos. Por todo ello, este diseño no es aceptable.

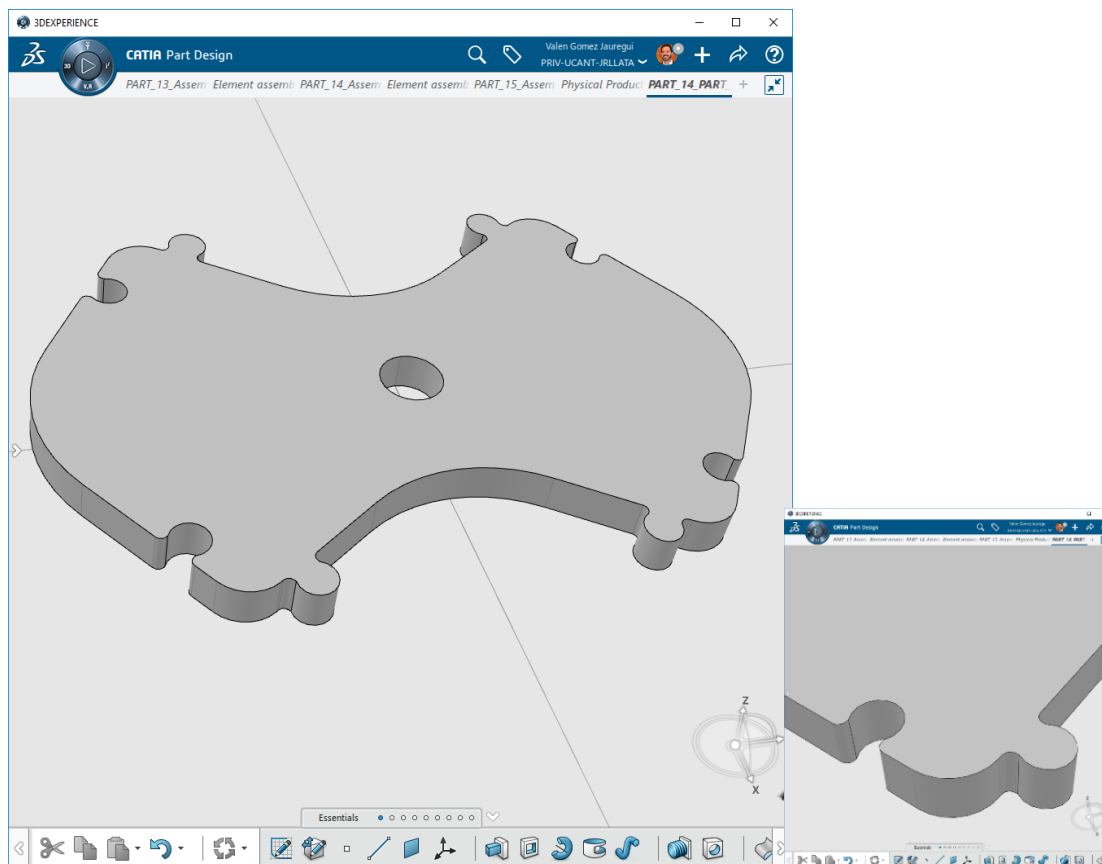


Figura 42. Diseño nº15. Cazoleta

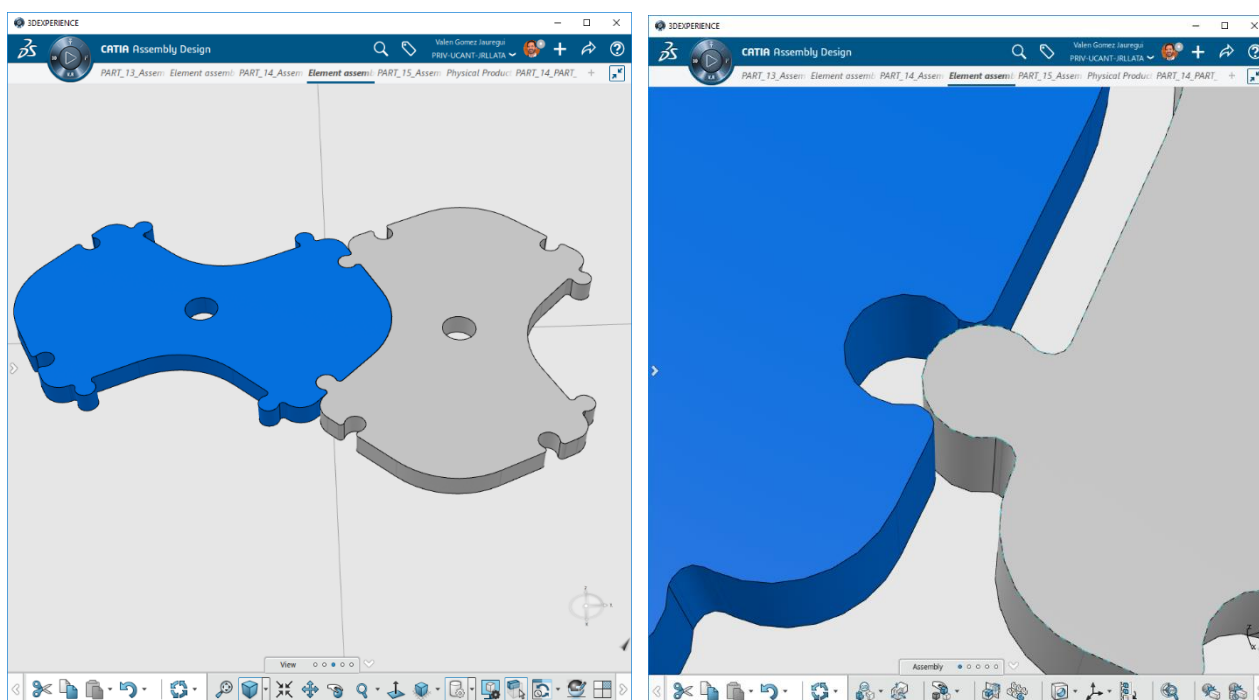


Figura 43. Diseño nº15. Acoplamiento entre nudos

Con objeto de subsanar los inconvenientes de los diseños anteriores y optimizar el mecanizado, fabricación y, por lo tanto, presupuesto del diseño final, se ha optado por hacer una fusión entre el diseño nº13 (ver Figura 38) y el diseño nº15 (ver Figura 42) eliminando las desventajas de ambos. Así, se ha modificado ligeramente la geometría del diseño nº13 de tal forma que se han eliminado las aristas vivas que tantos problemas generaban y, además, se han suavizado las aristas para que éstas no queden a 90°, repartiéndose así las tensiones uniformemente por toda la cazoleta. Por otro lado, se han insertado unas pequeñas pestañas (junto con sus huecos homólogos), en base al diseño nº15, para que el acoplamiento entre los nudos sea lo más eficiente posible. En la zona inferior de la cazoleta, hemos añadido unas orejetas similares a las de diseños anteriores, con la salvedad de que la hemos ensanchado con objeto de insertar dos agujeros más para que puedan alojarse los cables diagonales, lo que hará a nuestro nudo más versátil (ver Figura 44). De ésta forma, la cazoleta queda ensamblada con el resto de los elementos de forma óptima (ver Figura 45). Además, este diseño tiene una principal ventaja con respecto al anterior: en este caso, el acoplamiento es mucho más compacto (ver Figura 46) ya que en el momento de la inserción de un nudo en otro, la zona sometida a esfuerzos es mucho mayor pudiéndose repartir a lo largo de ésta y, por ende, disminuyendo la probabilidad de rotura del nudo por esa zona. Desde el punto de vista de la fabricación, hemos realizado una serie de mejoras bastante interesantes: el vaciado realizado en la cazoleta en el diseño nº10 (ver Figura 30) y posteriores con objeto de que las barras no colisionaran con el nudo, lo hemos subsanado eliminando dicho rebaje y alargando las pletinas para evitar el choque. Además, hemos reducido el espesor de la cazoleta levemente con objeto de que nuestro nudo sea más ligero. Consecuentemente, estos cambios conllevan más facilidades en la fabricación y mecanizado de nuestro nudo, lo que hará que se abarate sustancialmente. Sin embargo, hay una serie de colisiones a causa de las nuevas orejetas: debido a la separación entre éstas, las barras del nudo colisionan con las propias orejetas y, además, los agujeros donde se alojan los cables diagonales chocan con las barras (ver Figura 47), por lo que habrá que realizar mejoras al respecto.

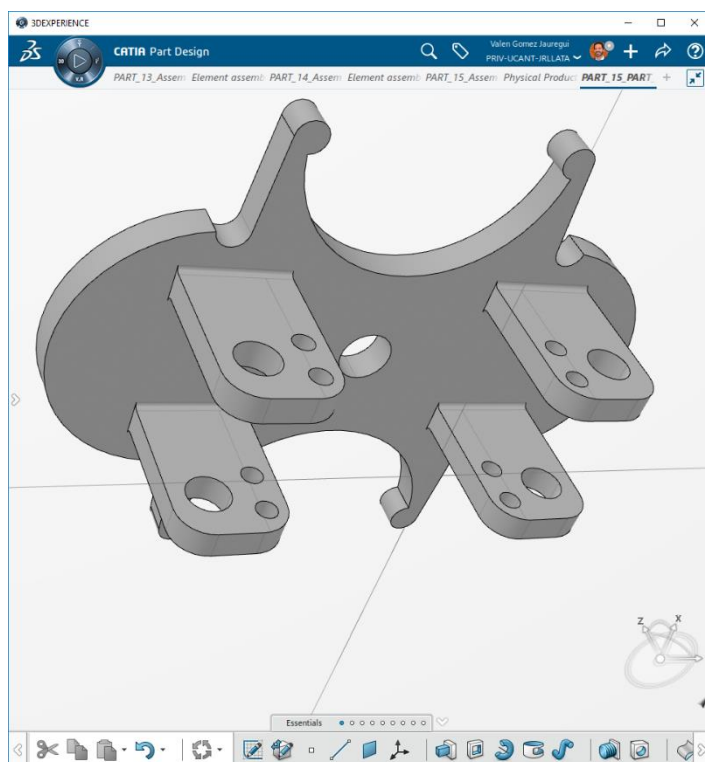
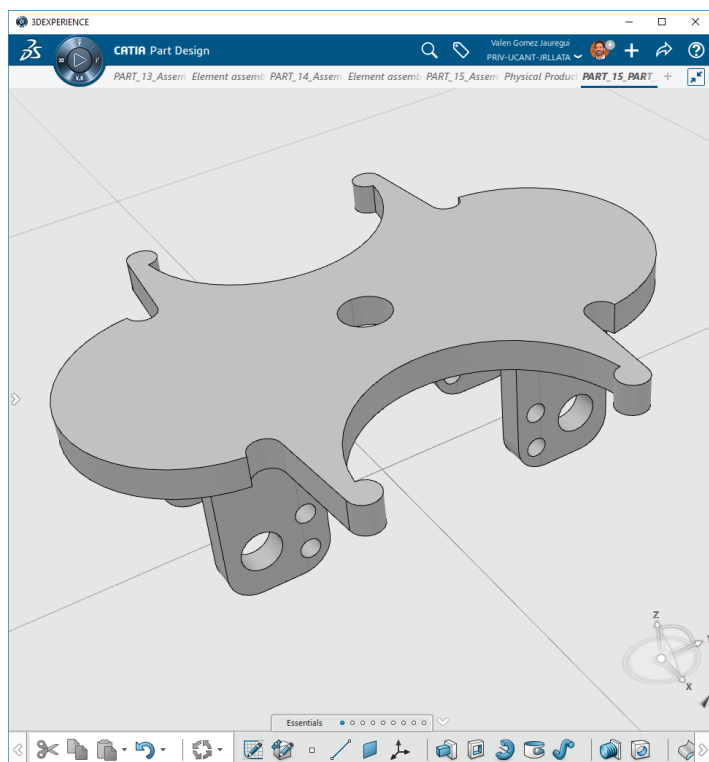


Figura 44. Diseño nº16. Cazoleta

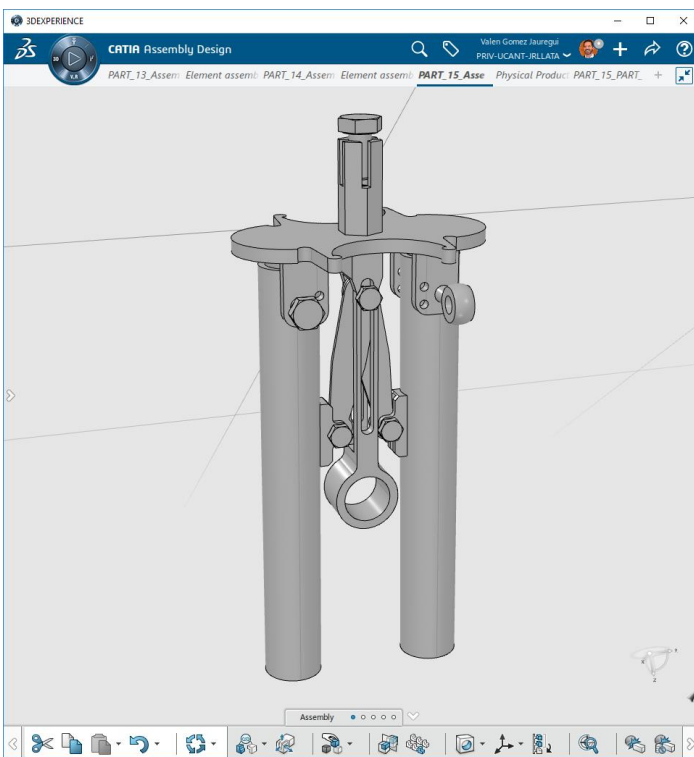
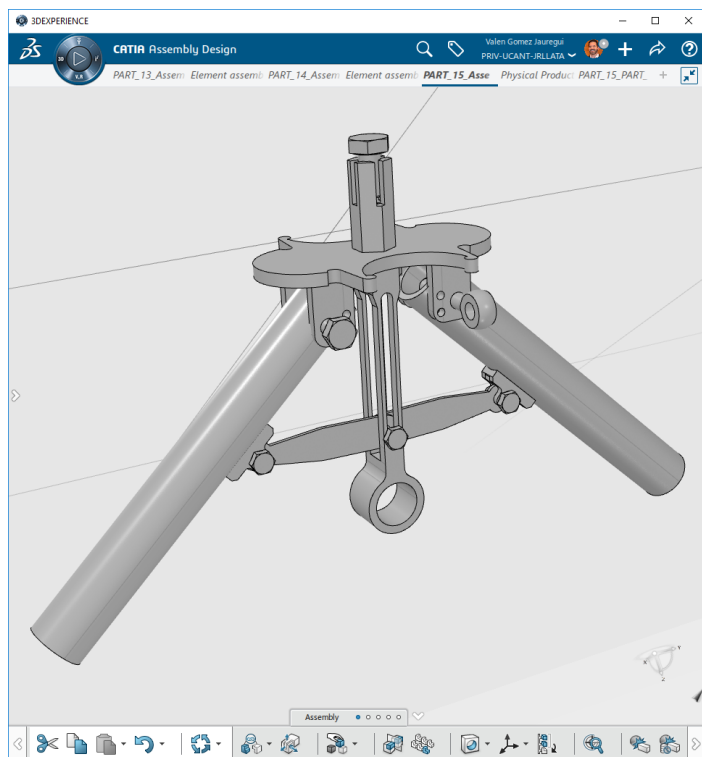


Figura 45. Diseño nº16. Nudo

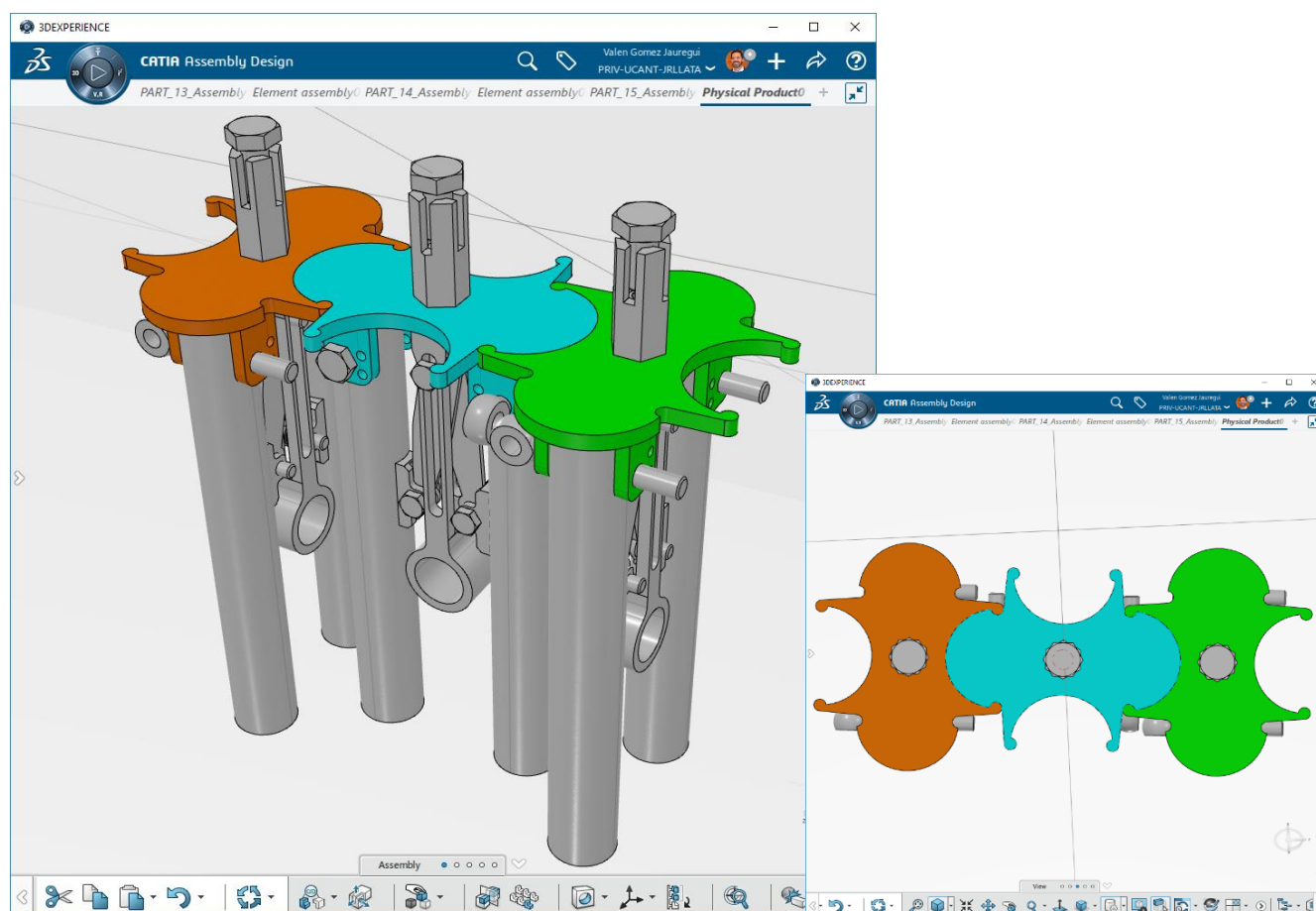


Figura 46. Diseño nº16. Acoplamiento de nudos

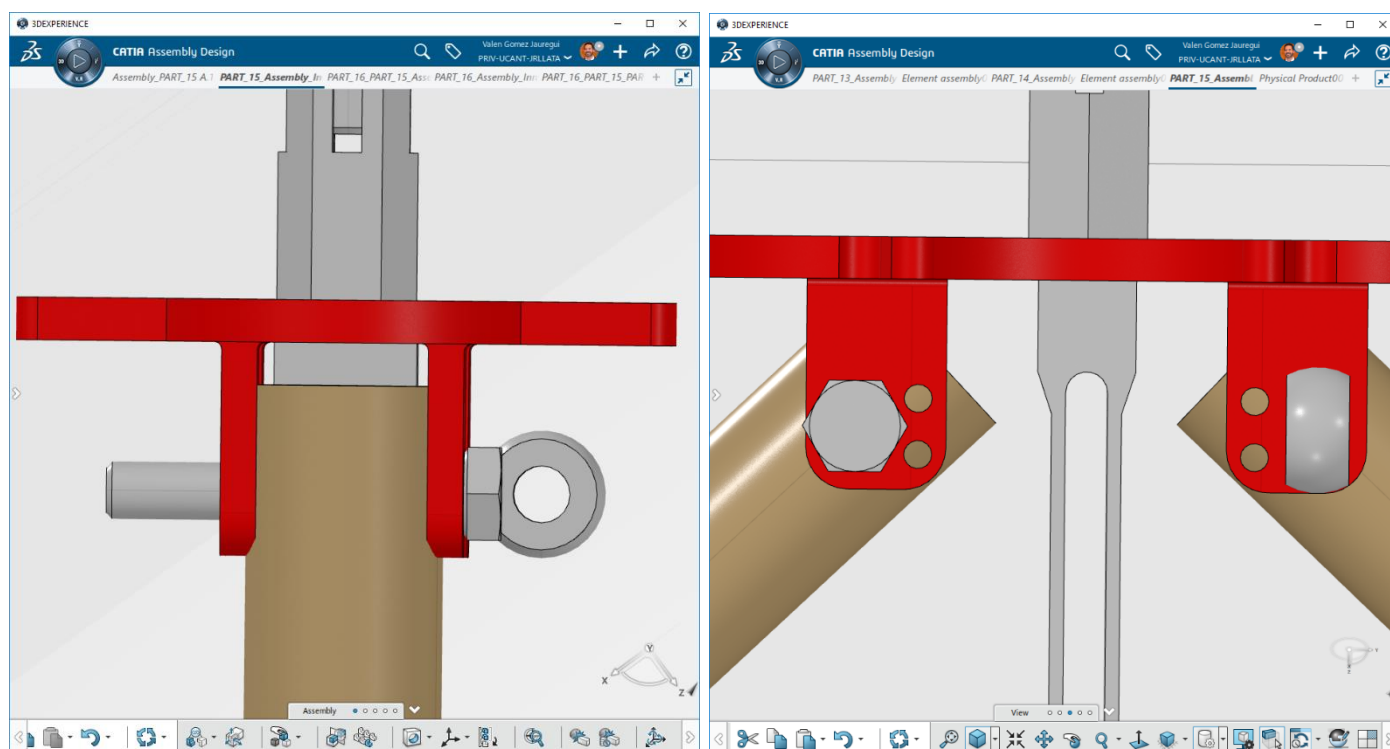


Figura 47. Diseño nº16. Colisiones entre elementos

Para evitar los principales problemas del diseño nº16 -colisiones entre elementos-, realizamos una serie de modificaciones:

- 1) Reducimos el espesor y aumentamos la separación entre las orejetas verticales del núcleo central
- 2) Cambiamos la geometría de las orejetas verticales con objeto de que los cables diagonales no choquen con las barras del núcleo central (ver Figura 48).
- 3) Ensanchamos las orejetas con el mismo propósito que anteriormente.
- 4) Desplazamos los agujeros de las orejetas. Uno de ellos hacia arriba y el otro ligeramente hacia abajo con el mismo fin que en 2.

Tras la realización de dichos cambios, ensamblamos todos los elementos nuevamente y observamos que tanto el pliegue máximo como la apertura máxima del nudo es correcta (ver Figura 49). De esta forma, hemos subsanado los inconvenientes del anterior diseño (comparar Figura 47 y Figura 50). Únicamente encontramos el inconveniente de que las orejetas verticales están demasiado juntas del propio contorno de la cazoleta (ver Figura 51), por lo que habrá buscar una solución al respecto.

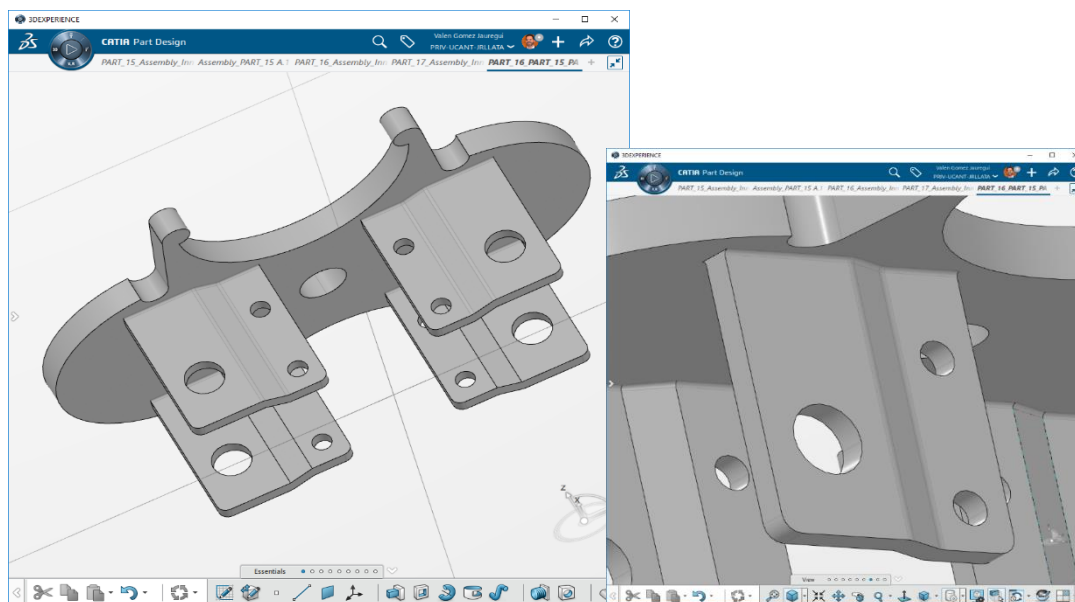


Figura 48. Diseño nº17. Cambio en la geometría de las orejetas

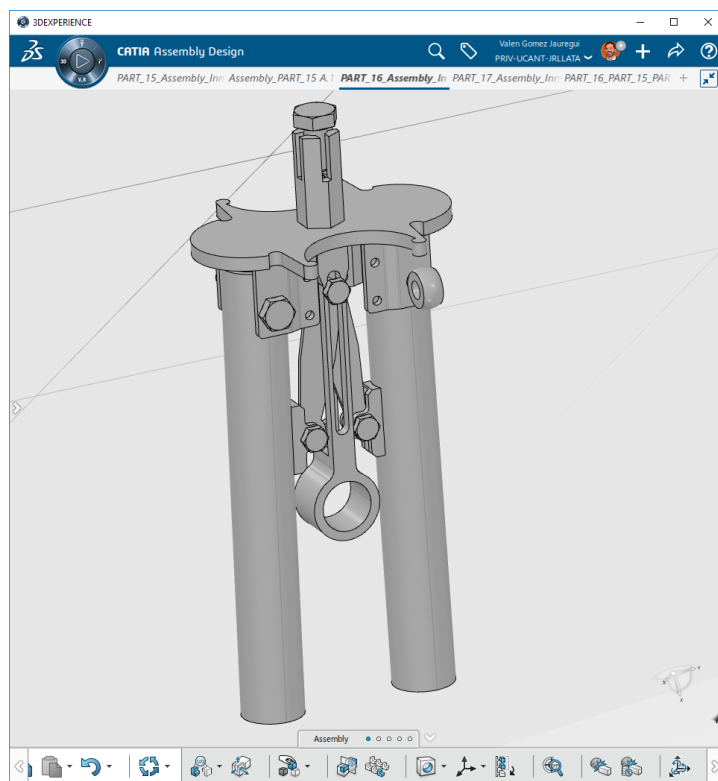
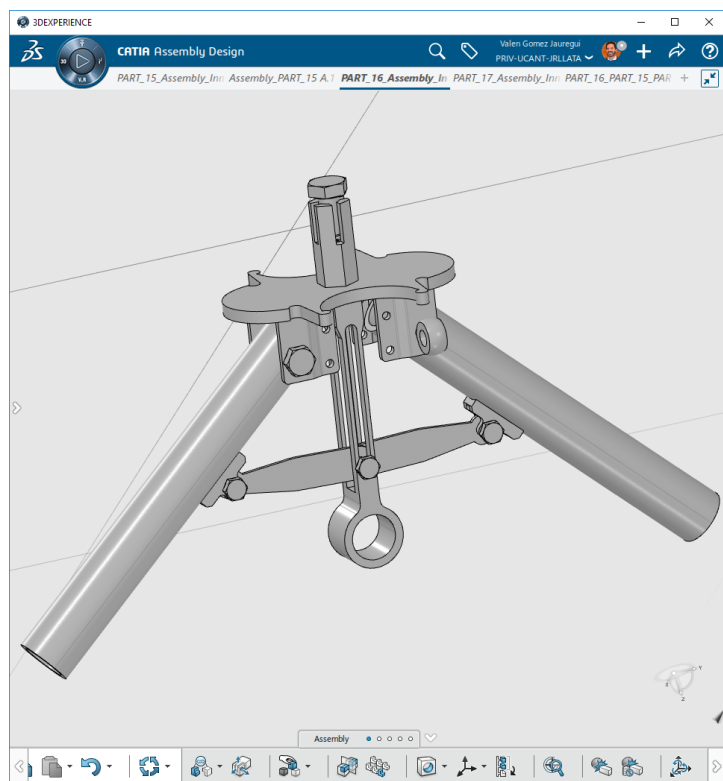


Figura 49. Diseño nº17. Apertura y plegado máximo del nudo

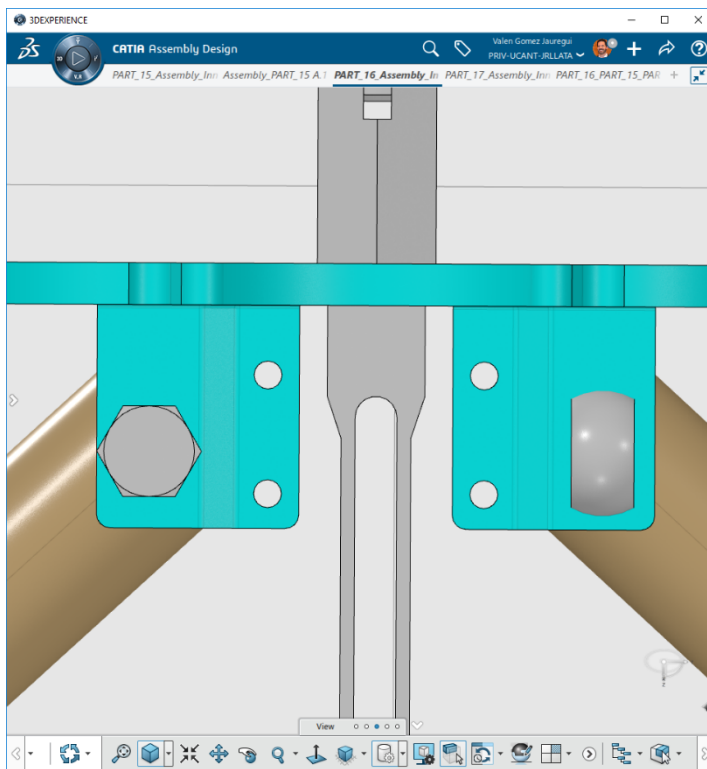
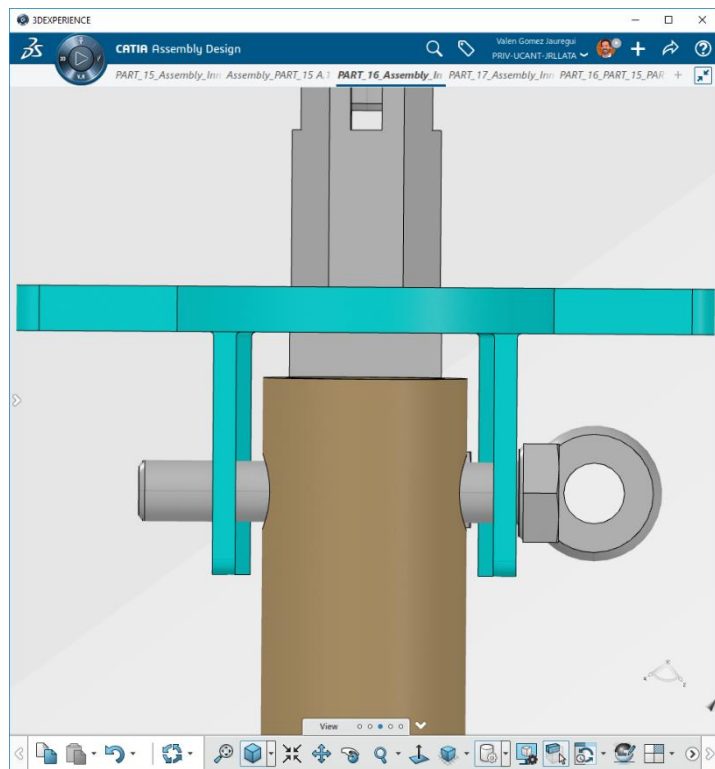


Figura 50. Diseño nº17. Resolución de colisiones

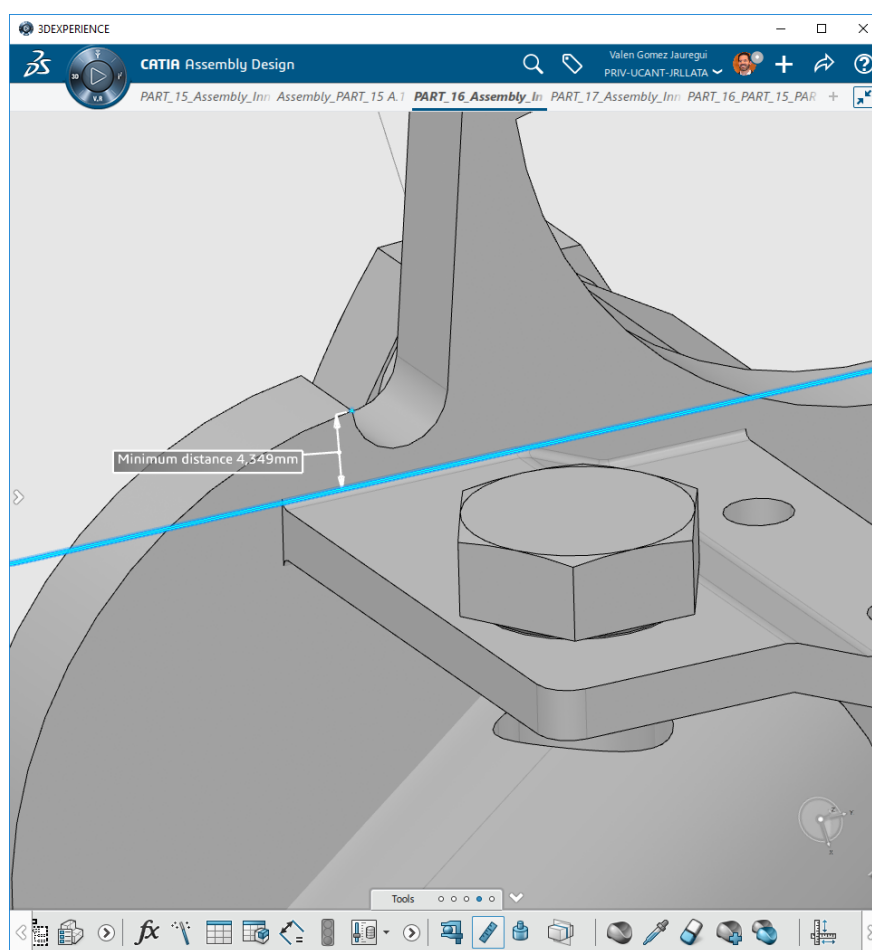


Figura 51. Diseño nº17. Distancia reducida orejeta-contorno núcleo central

Para resolver el problema de la proximidad de las orejetas al contorno de la cazoleta, simplemente, reducimos la distancia entre las propias orejetas de tal forma que siga quedando una holgura suficiente entre las barras del nudo y las orejetas (ver Figura 52). Así, tenemos un diseño del nudo aceptable que permite uno de los objetivos de nuestro diseño, el plegado de éste (ver Figura 53), y, además, que dicho nudo se acople eficazmente, optimizando el espacio sobrante (ver Figura 54). Por otro lado, es preciso mencionar que el presente diseño también responde al acople de nudos a diferentes niveles, permitiendo de igual forma un acoplamiento eficiente (ver Figura 55).

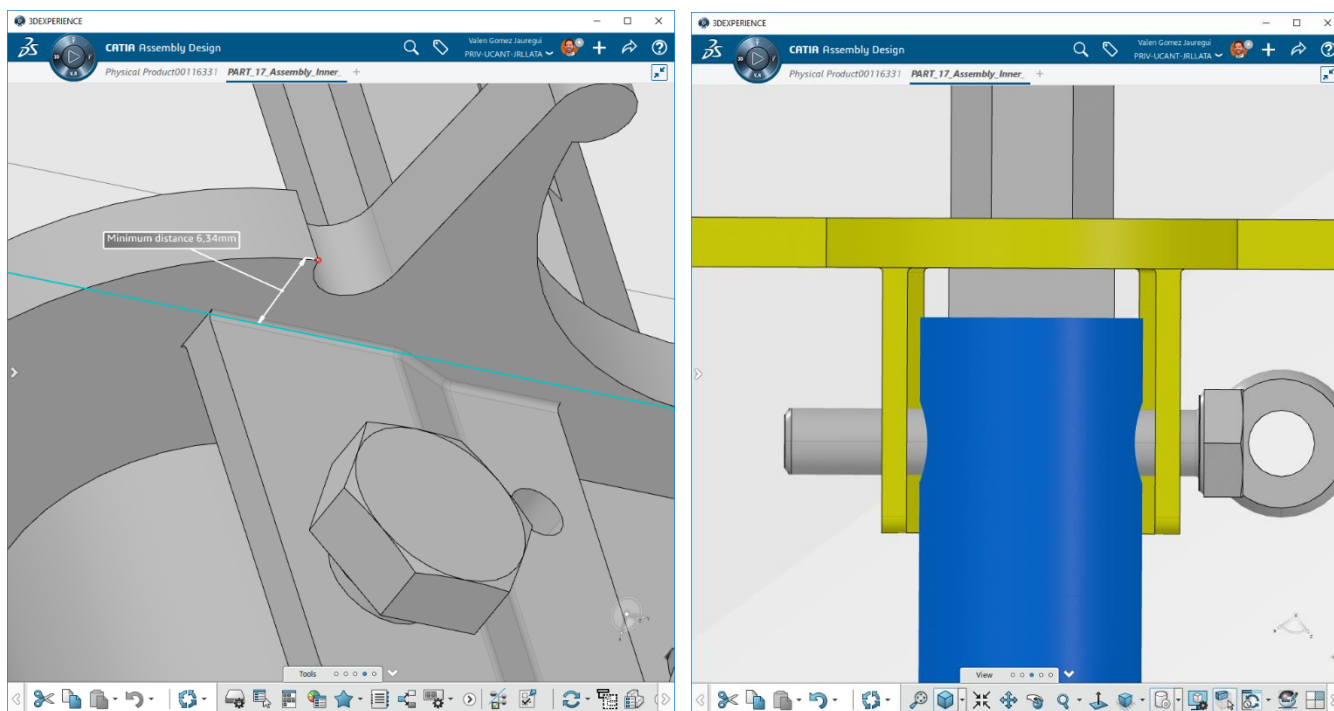


Figura 52. Diseño nº18. Resolución de problemas del diseño nº17

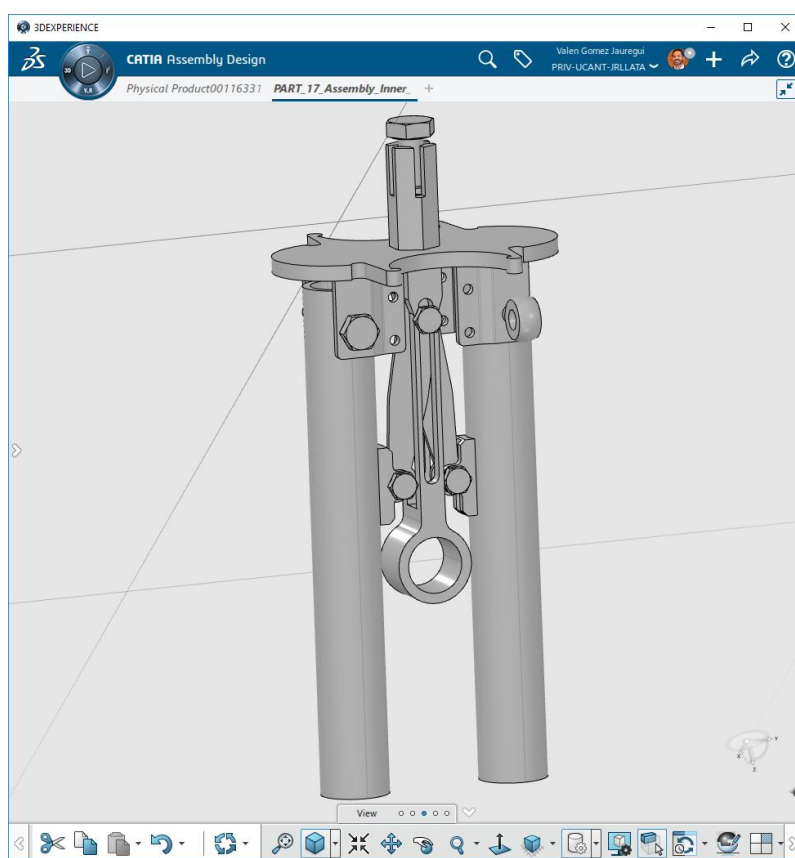


Figura 53. Diseño nº18. Plegado del nudo

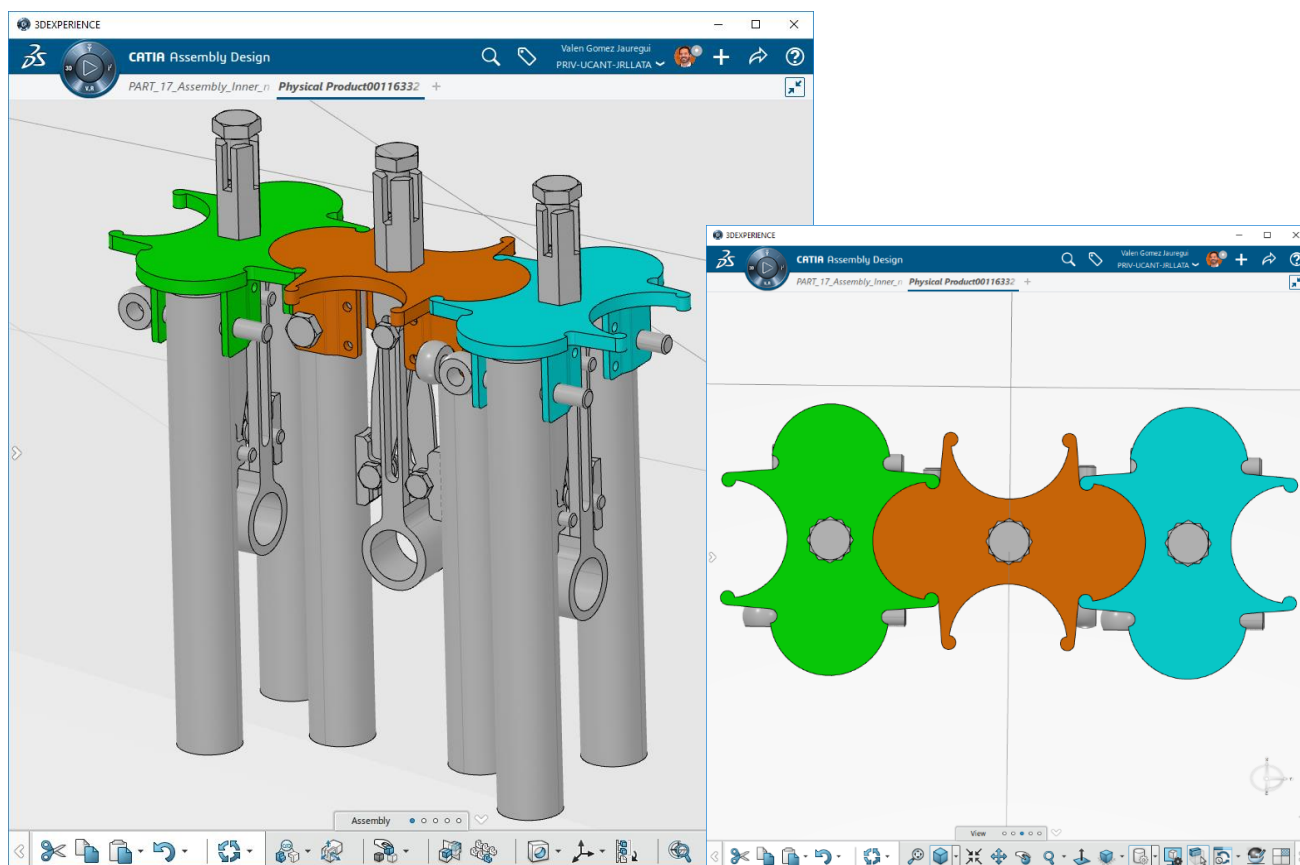


Figura 54. Diseño nº18. Acople de nudos al mismo nivel

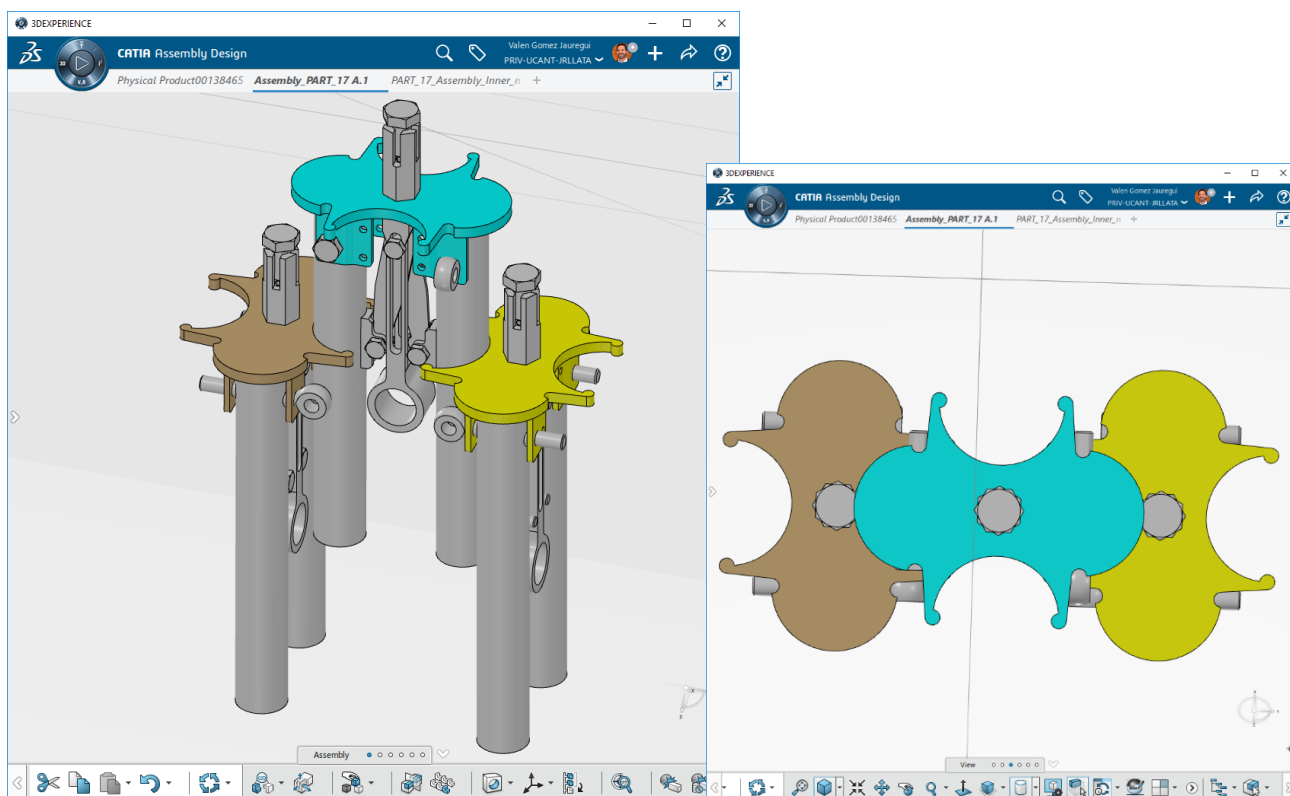


Figura 55. Diseño nº18. Acople de nudos a distinto nivel

SOLUCIÓN AL REQUERIMIENTO N.º 4

El siguiente aspecto a mejorar en nuestro diseño es la unión mecánica central, a lo que a partir de ahora llamaremos sujetacables cilíndrico. El objetivo es diseñar un elemento que permita multitud de tipologías de mallas espaciales, es decir, una multitud de ángulos entre los cables horizontales superiores, lo que proporcionará a nuestro nudo de mayor versatilidad. Para ello, hemos optado por tres elementos cilíndricos (para un nudo con dos cables horizontales) los cuales tienen hendiduras para poder alojar los cables horizontales. El elemento central es diferente al elemento superior e inferior ya que éste se tiene que adaptar a los otros dos, de tal forma que el elemento central tiene dos hendiduras y los elementos superior e inferior solamente una (ver Figura 56). Como hemos comentado, estos elementos facilitan la posibilidad de alojar cables con multitud de ángulos entre ellos. Para poder adaptar nuestro nudo al ángulo deseado, simplemente habrá que cambiar el elemento central, modificando en ángulo de la hendidura (en la Figura 57 podemos observar un ejemplo para cables que forman 90°). Además, dichos elementos tienen la opción de adaptarse a una multitud de cables, simplemente añadiendo un elemento más, cumpliéndose siempre la igualdad $c=n+1$, siendo c el número de elementos y n el número de cables horizontales.

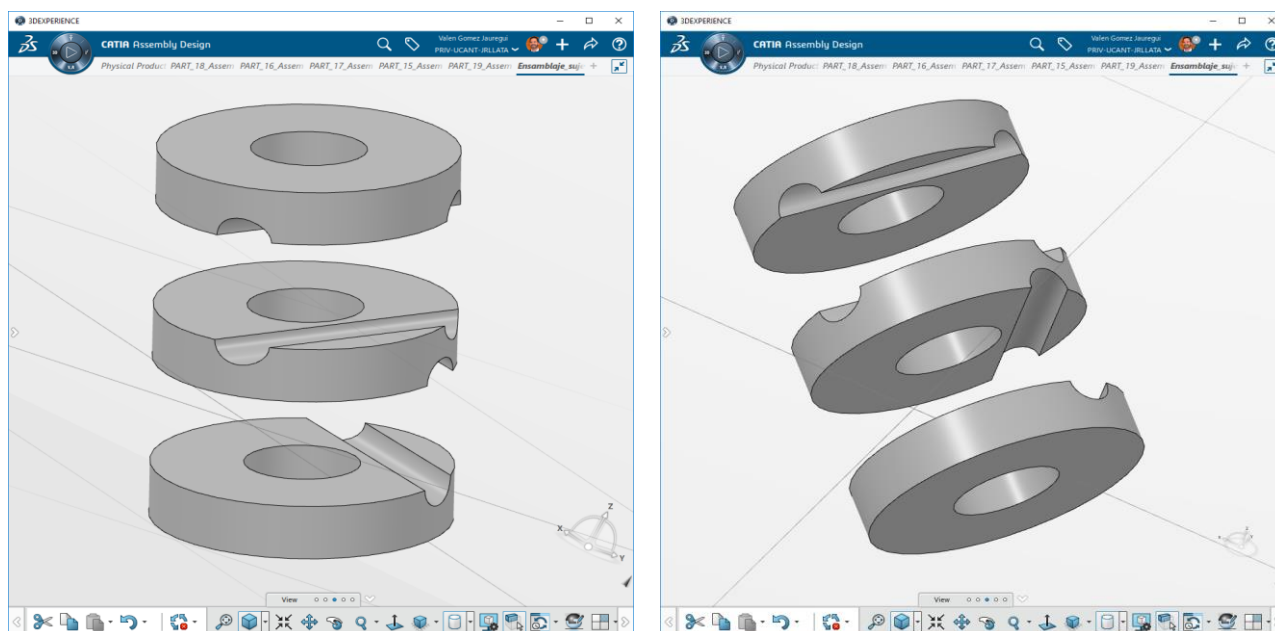


Figura 56. Diseño nº19. Sujetacables cilíndricos

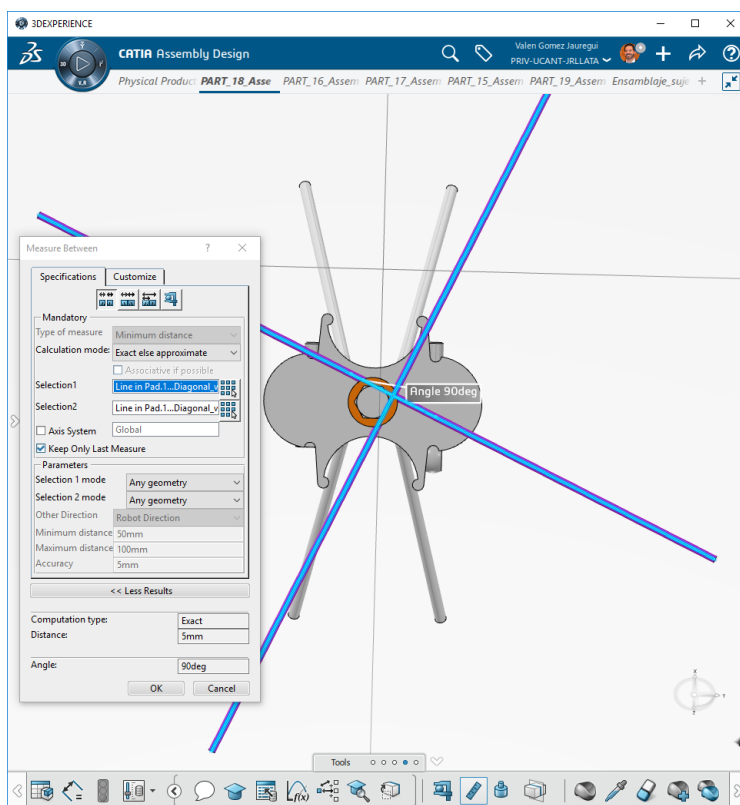


Figura 57. Diseño nº19. Ensamblaje (vista en planta)

El ensamblaje con el resto de los elementos, donde ya hemos añadido los cables diagonales y horizontales y hemos eliminado el quiebro de las pletinas de la cazoleta con objeto de facilitar la fabricación de la misma, lo podemos ver en la siguiente imagen:

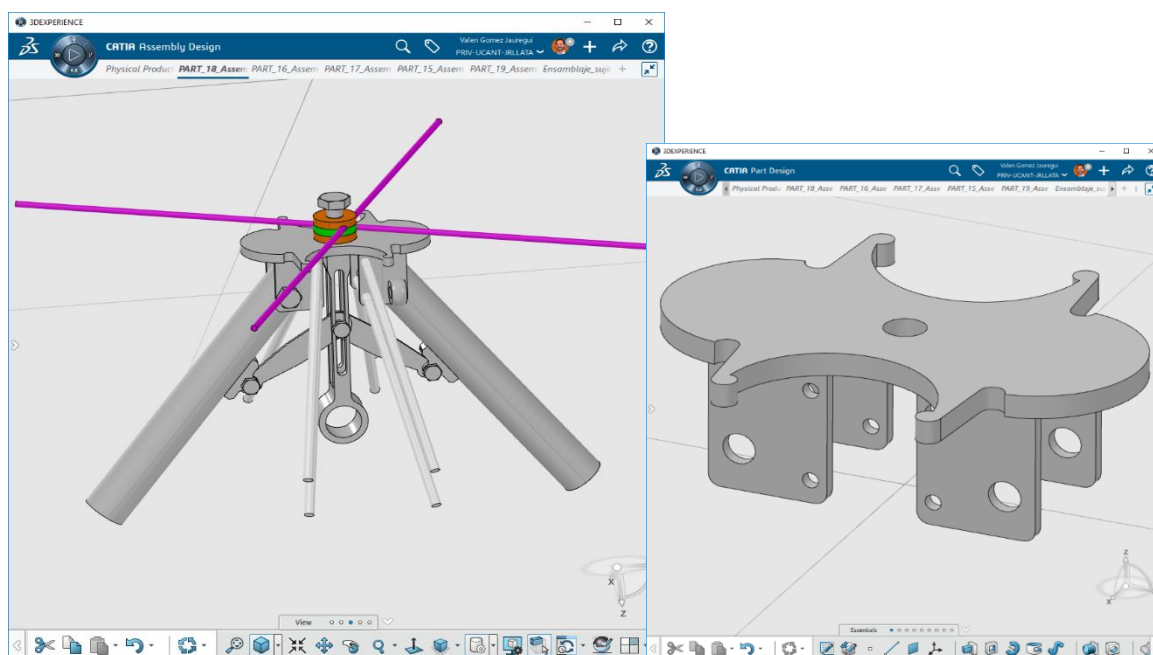


Figura 58. Diseño nº19. Ensamblaje (vista isométrica) y cazoleta modificada

Tras imprimir en 3 dimensiones las cazoletas, nos percatamos de que el acople entre ellas no era del todo optimo, sino que era complicada la inserción de una cazoleta en otra (ver Figura 59), lo que empeoraría bastante en condiciones reales (en acero). Además, la cazoleta estaba modelada con un pequeño saliente cerca del hueco donde se introduciría la cazoleta homóloga, el cual no permitía que dichas cazoletas se acoplaran adecuadamente (ver Figura 60).

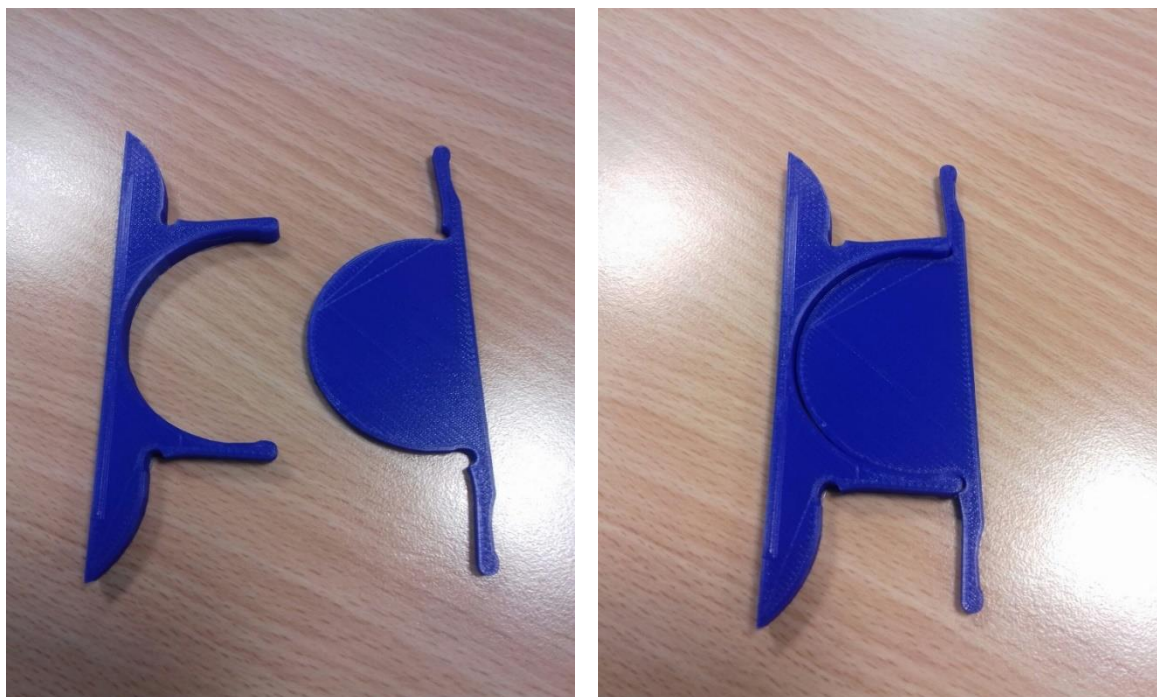


Figura 59. Deficiente acople entre cazoletas



Figura 60. Deficiente acople entre cazoletas (2)

Por ello, hemos modificado la geometría de la cazoleta, fundamentalmente las pestañas y sus huecos homólogos, facilitando el acople entre las cazoletas. Además, hemos eliminado el saliente anteriormente mencionado (ver Figura 61).

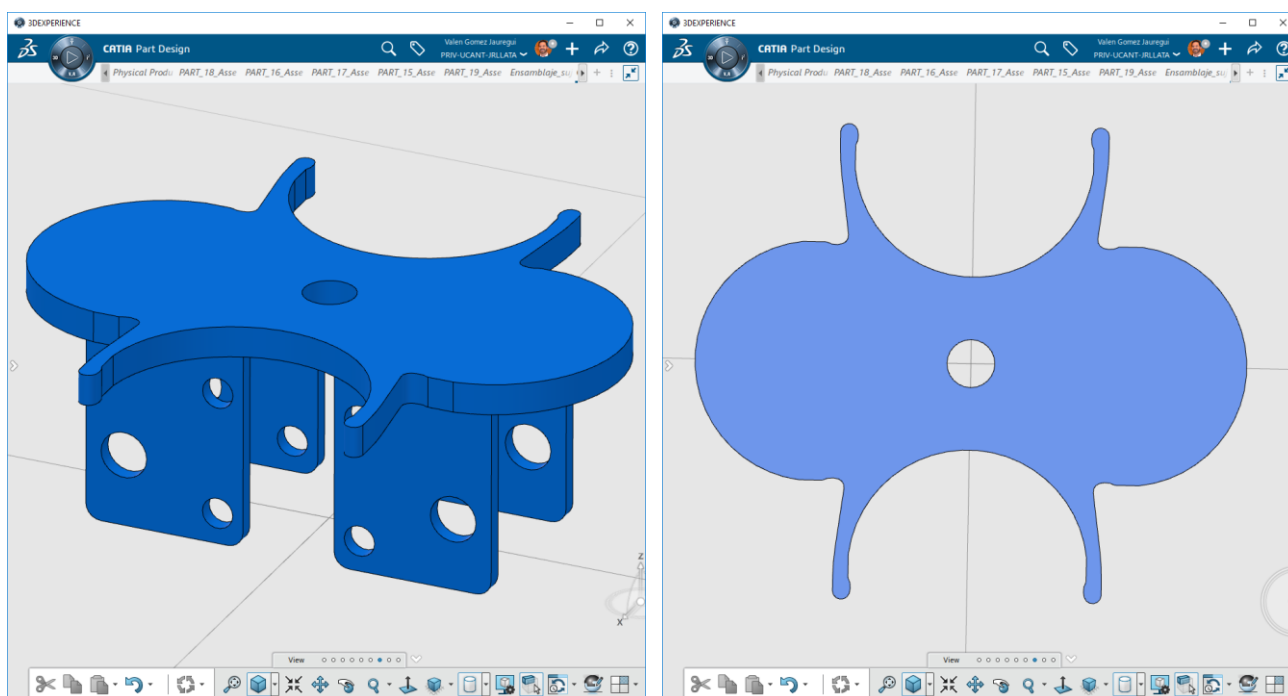


Figura 61. Diseño nº20. Cazoleta modificada

Así, el ensamblaje definitivo es el siguiente:

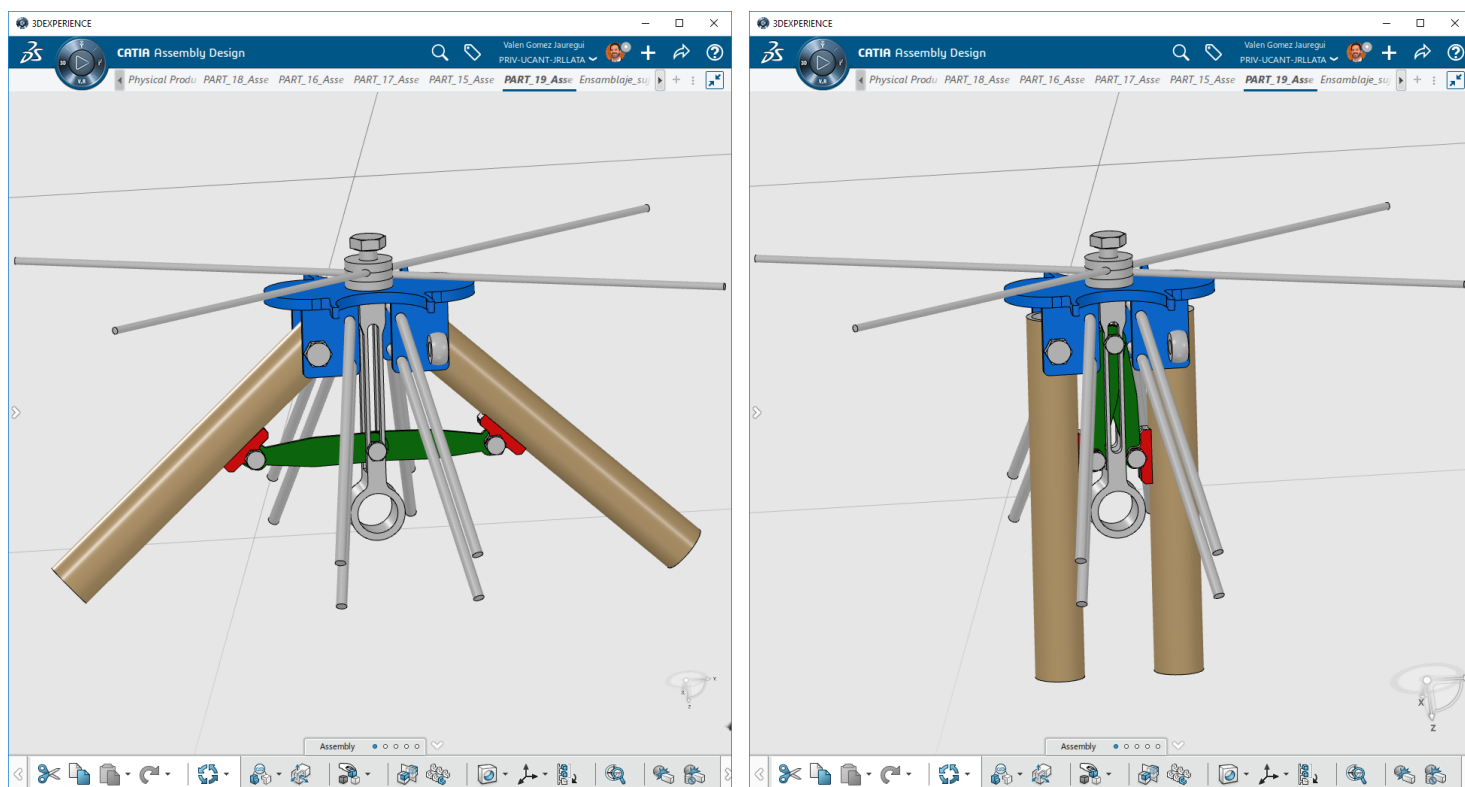


Figura 62. Diseño nº20. Ensamblaje definitivo

Y el acople entre nudos, donde se han eliminado los cables diagonales para visualizar bien la geometría del nudo, es el siguiente:

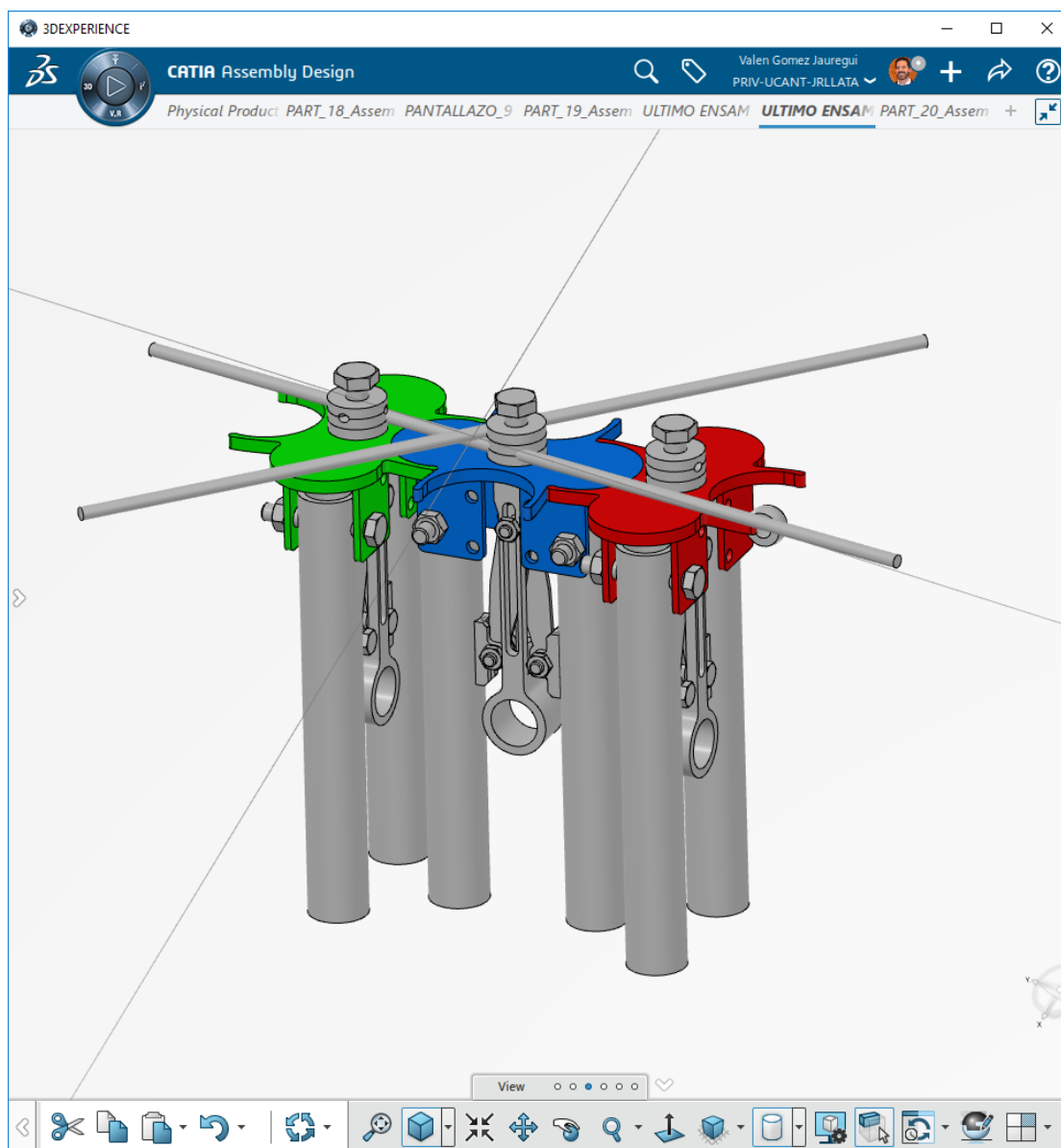


Figura 63. Diseño nº20. Acople entre nudos (vista isométrica)

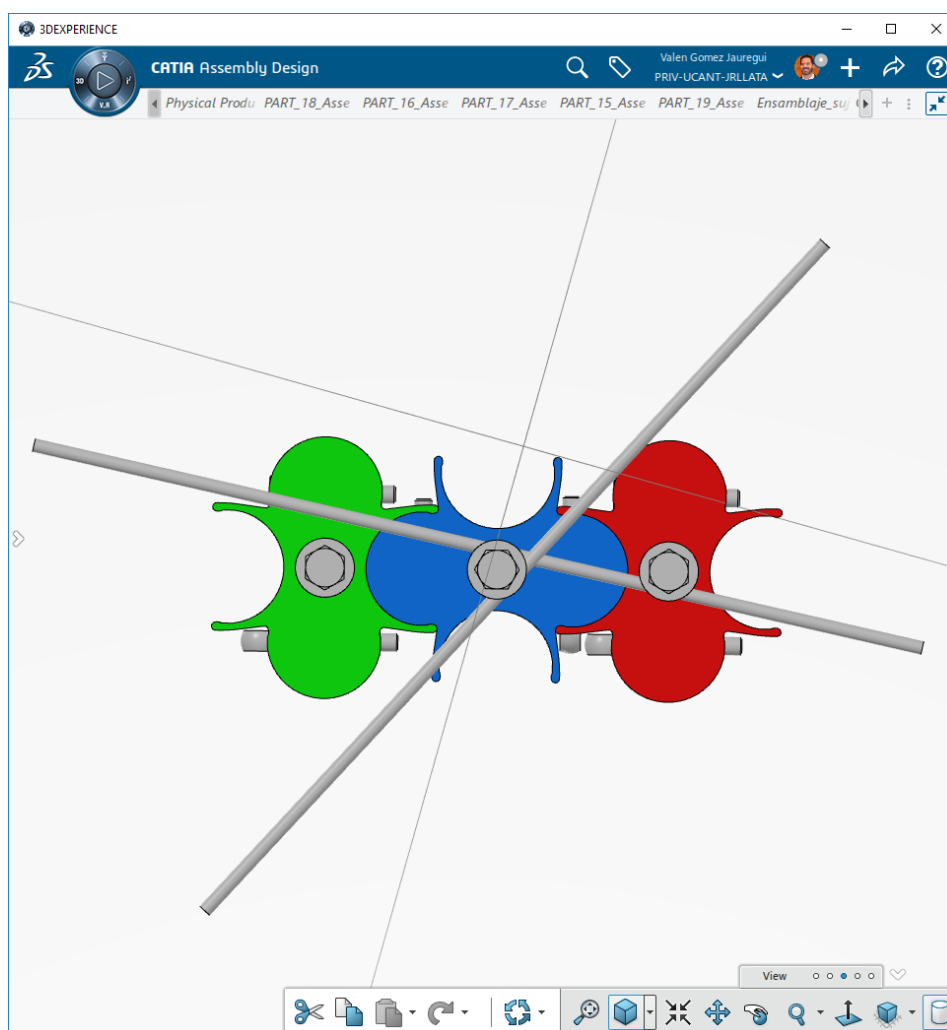


Figura 64. Diseño nº20. Acople entre nudos (vista en planta)

5.3.2 MODELADO 3D DE NUDO K=4

Por último, hemos estudiado el caso del nudo $k=4$, siendo k la clase de una malla de tensegridad, que alude al número de elementos a compresión (generalmente barras) que confluyen en el nudo, en este caso 4.

De forma análoga al modelado del nudo $k=2$, hemos implementado el modelado del nudo $k=4$, en el que concurren 4 barras. En este caso, algunos de los elementos los hemos mantenido inamovibles en cuanto a diseño ya que son compatibles con ambos nudos. Ejemplo de ello son los sujetacables cilíndricos, el tetón y las barras.

En cuanto a cazoleta, la hemos tenido que adaptar para poder alojar en ella 4 barras (ver Figura 65). Para ello, hemos alargado la cazoleta del nudo $k=2$ y hemos añadido 4 pletinas más, perpendiculares a las pletinas originales para poder alojar las otras dos barras. Además, hemos realizado un pequeño hueco con forma semicircular en las pletinas nuevas con objeto de que éstas no interfieran con las barras cuando el nudo está totalmente desplegado (ver Figura 66). Por otro lado, añadir que en las nuevas pletinas solo hemos podido realizar un agujero para el paso de los cables radiales por motivos de colisión con las barras.

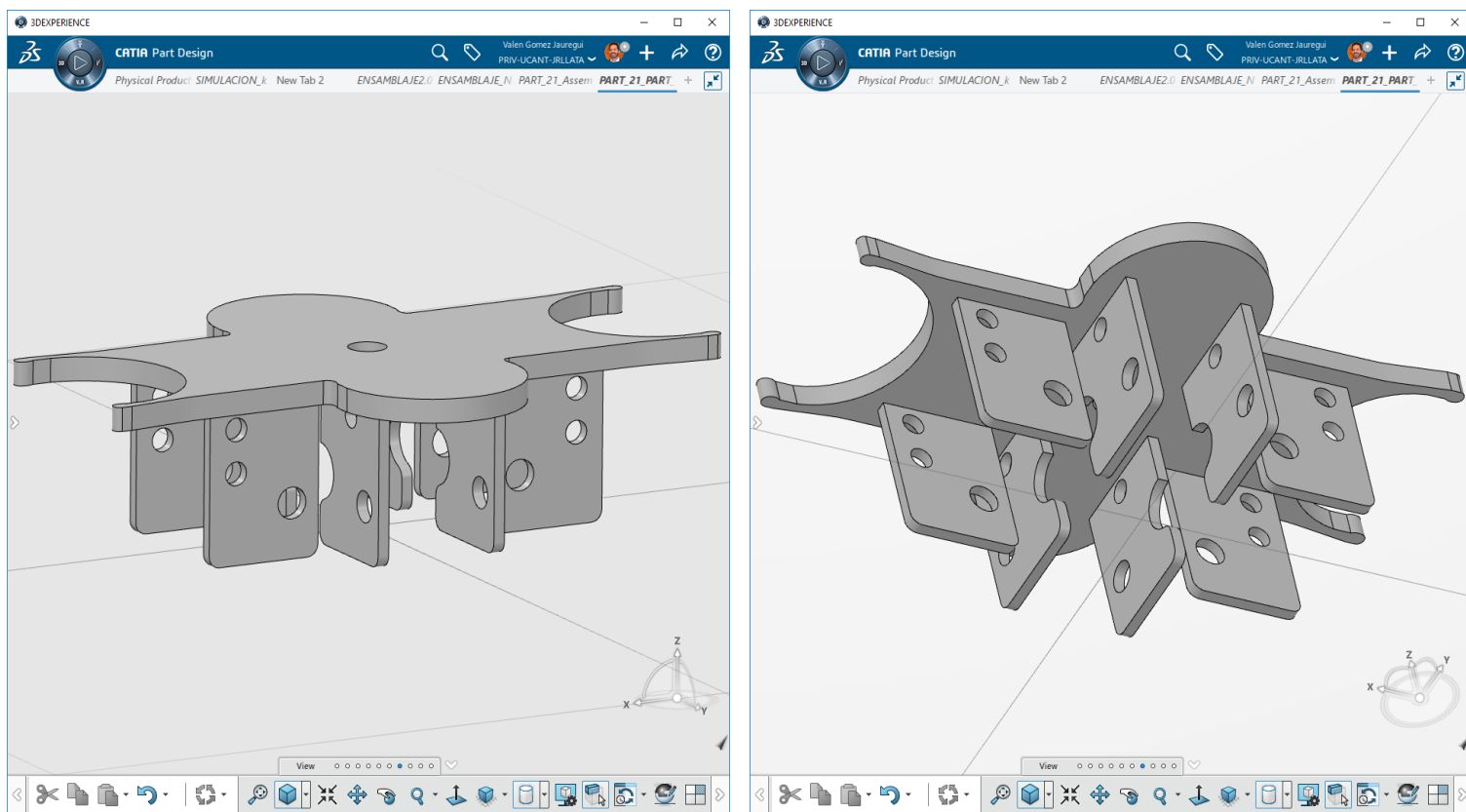


Figura 65. Cazoleta nudo $k=4$

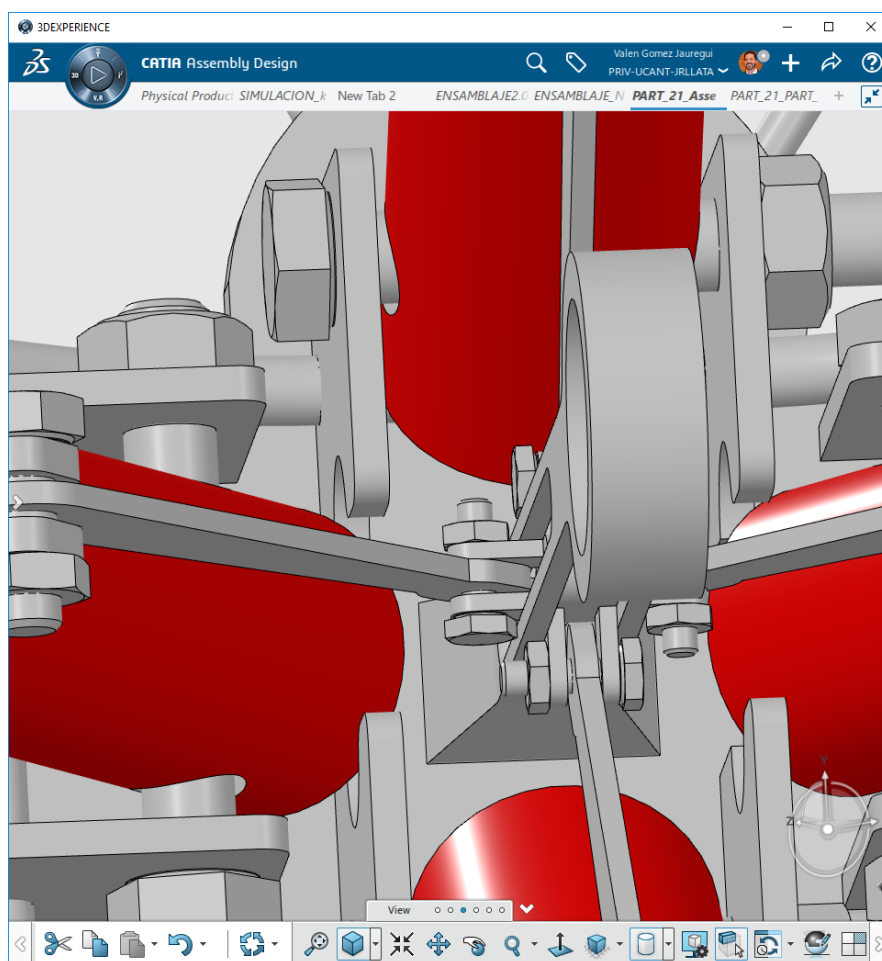
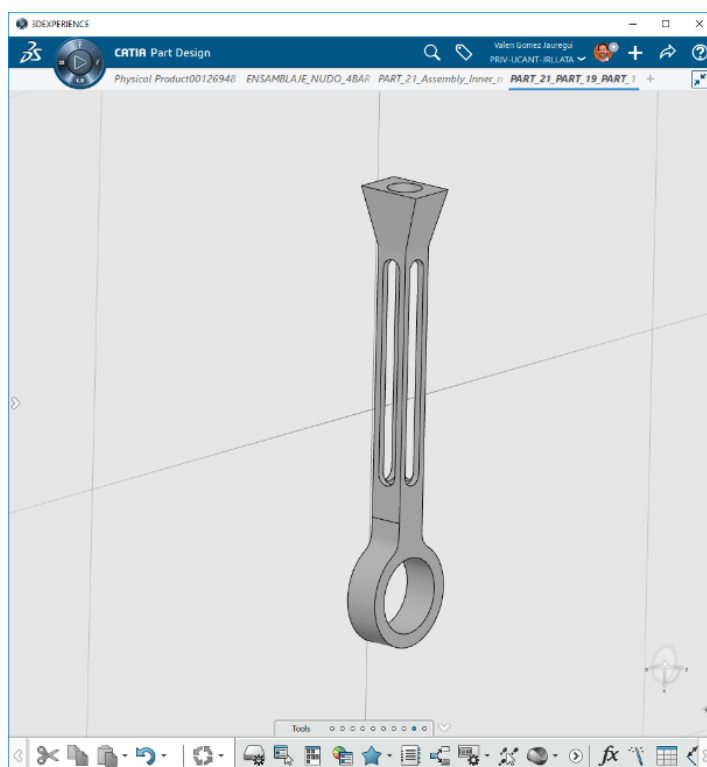
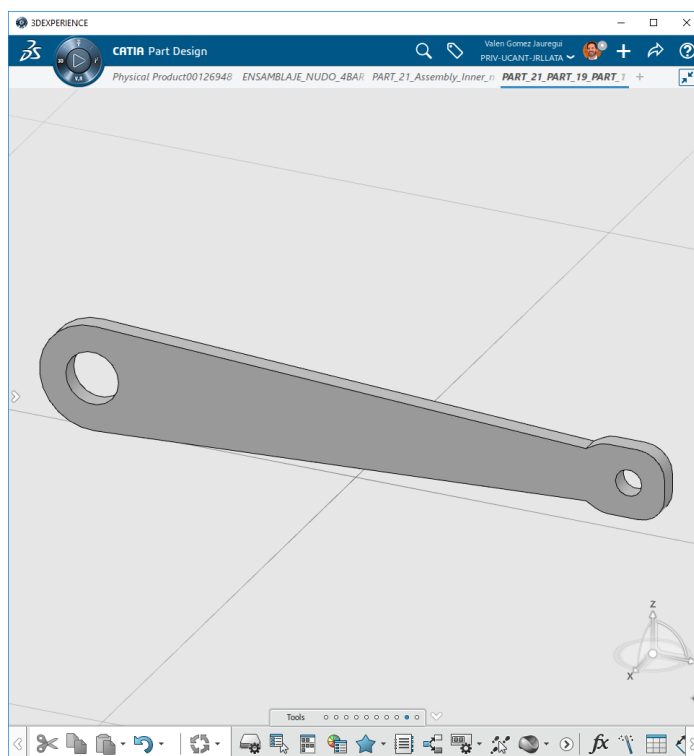


Figura 66. Interferencias pletinas-barras

En cuanto al cáncamo-guía, lo hemos modificado ligeramente para permitir el paso de las cuatro pletinas y que, a su vez, las barras formen el mismo ángulo respecto al plano medio de la cazoleta. Para ello, hemos hecho el cáncamo-guía doblemente simétrico (realizando otras dos guías en las otras dos caras) y hemos modificado la parte superior del cáncamo-guía para que no haya colisiones con las pletinas en el momento de máximo plegado del nudo (ver Figura 67).

Figura 67. Cáncamo-guía nudo $k=4$

Por último, hemos modificado ligeramente la geometría de las pletinas con objeto de que no choquen con los tetones así como con el cáncamo-guía (ver Figura 68).

Figura 68. Pletina nudo $k=4$

Con todo ello, hemos conseguido un nudo de clase $k=4$ con un acoplamiento eficaz entre nudos (ver Figura 69).

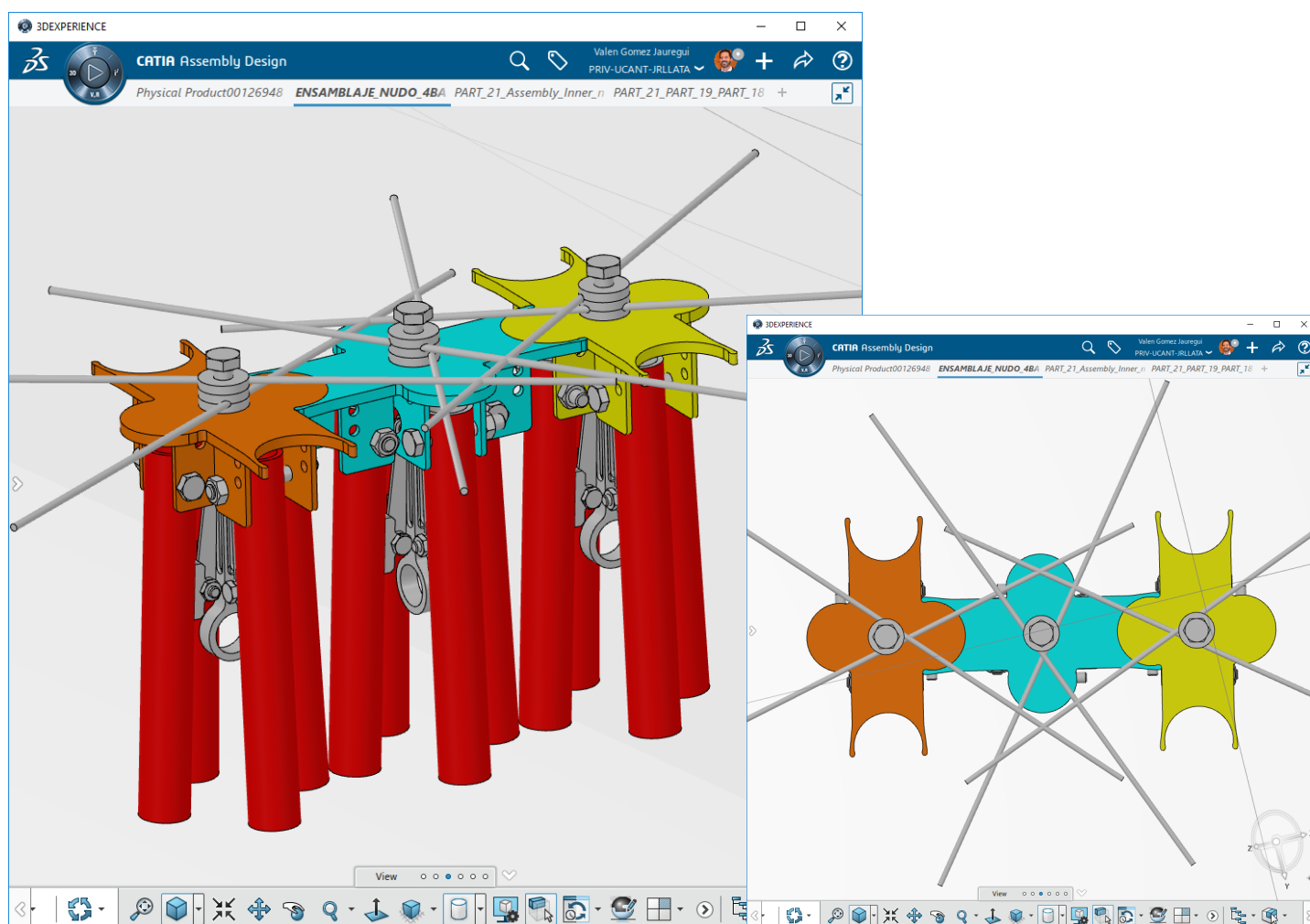


Figura 69. Acoplamiento nudos $k=4$

5.4 PROTOTIPOS MODELADOS EN 3D

Con objeto de hacer más tangible el diseño del nudo y poder comprobar de forma realista el resultado de nuestro modelado a través de software CAD, vimos oportuno realizar una impresión 3D de nuestro modelo. Para ello, nos ayudamos de la impresora 3D del Departamento de Ingeniería Geográfica y Expresión Gráfica de la Universidad de Cantabria, en el que se ha realizado el presente TFG. Dicha impresora es de la marca PRUSA i3 (ver Figura 70) y puede alcanzar una velocidad de hasta 100 mm/s, admitiendo gran variedad de materiales como PLA, ABS, HIPS o FilaFlex.

Todas nuestras piezas han sido impresas de material PLA, cuyas principales características son que no emite gases nocivos a la atmósfera y que admite una amplia gama de colores en contraste con el material ABS, su principal competidor en el mercado. También hay que añadir que el PLA tiene más limitaciones resistiendo altas temperaturas y que el postprocesado es más deficiente, aspectos poco relevantes para el objetivo de nuestro proyecto. Para que nuestra impresora pueda “leer” los elementos que deseamos imprimir, antes debemos exportar todos ellos a formato STL a través de 3D Experience Platform. Añadir, que las piezas que van con soldadura como la barra y el tetón se imprimen de forma conjunta por razones obvias.

Hasta llegar al resultado definitivo, tuvimos que hacer diversas versiones de algunos de los elementos. Por ejemplo, en el caso de la cazoleta, al imprimir la primera de las versiones nos dimos cuenta de que el acople no era del todo óptimo (ver Figura 60) por lo que tuvimos que eliminar la pestaña sobrante, tal como se ha explicado en otros apartados del presente TFG, con objeto de mejorar el acople entre los nudos. Otra de las piezas que tuvimos que imprimir varias veces fue el cáncamo-guía, ya que era indispensable que el tornillo superior que fijaba todo el nudo entrase lo suficiente justo para que se pudiera roscar correctamente.

El proceso de impresión de algunas de las piezas se puede visualizar en las siguientes imágenes:

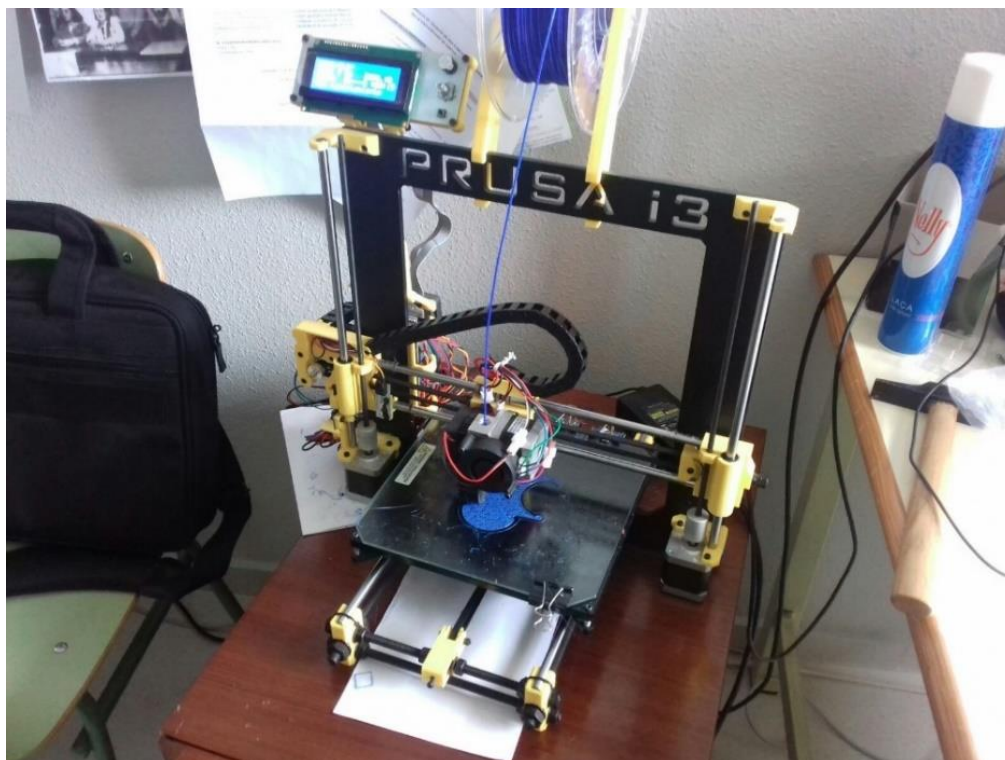


Figura 70. Impresora 3D Prusa i3

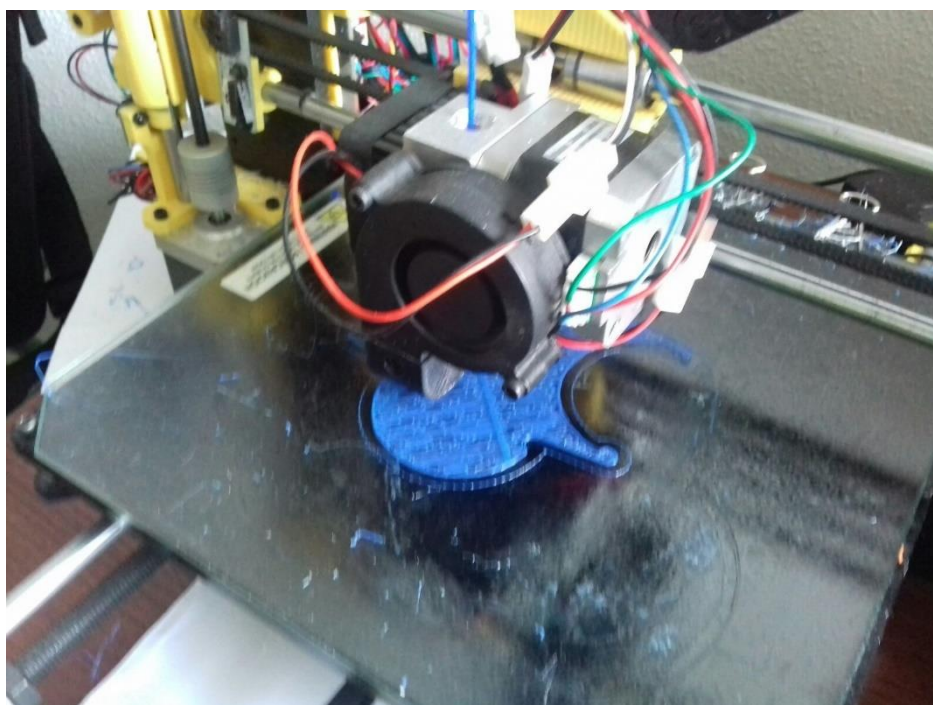


Figura 71. Impresión de cazoleta

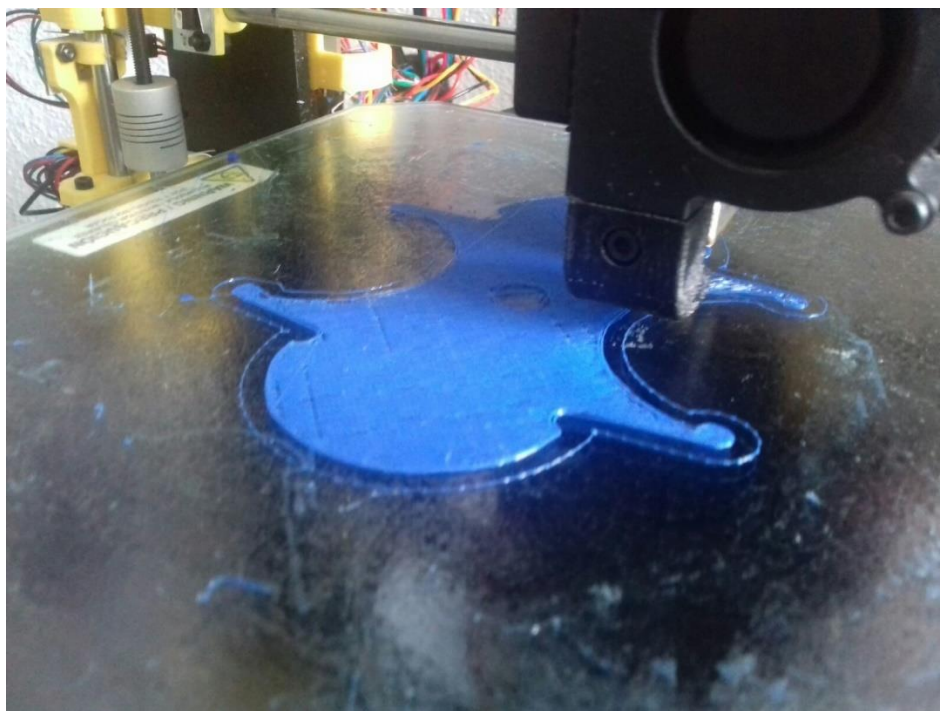


Figura 72. Impresión de cazoleta (2)



Figura 73. Impresión de barra-tetón



Figura 74. Impresión de cáncamo-guía

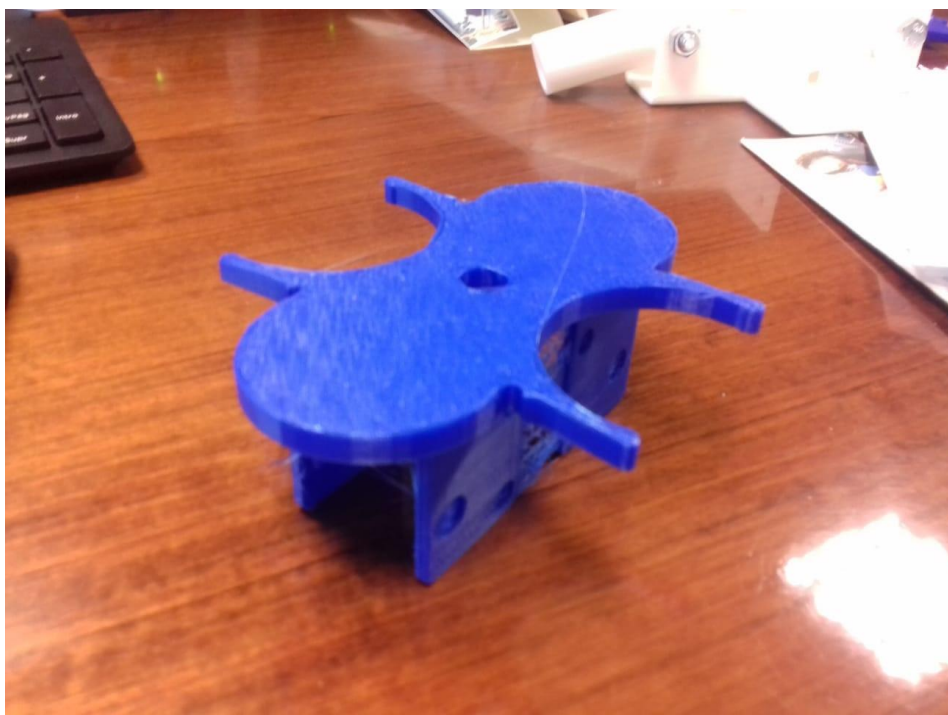


Figura 75. Cazoleta impresa

Una vez finalizada la impresión de todos los elementos, los ensamblamos mediante el empleo de la tornillería adecuada (ver Figura 76 y Figura 77), la cual en algunos casos debía ser muy exigente, como es el caso del tornillo superior ya que, si su caña es demasiado larga, los cables horizontales no quedaban lo suficientemente fijos.



Figura 76. Nudo ensamblado abierto



Figura 77. Nudo ensamblado plegado

Debido a las exigencias de longitud y métrica de la tornillería (no es posible adquirir un tornillo de cualquier medida) comentada anteriormente, tuvimos ciertos problemas con los sujetacables, ya que éstos no estaban suficientemente comprimidos, lo que conlleva que los cables horizontales no funcionasen adecuadamente. Además, al intentar desplegar el nudo completamente, observamos que las pletinas centrales bajaban de forma forzada, lo que conlleva ciertos problemas de rigidez. Por ello, añadimos una arandela en el tornillo superior (ver Figura 78), así como varias arandelas a los lados del tornillo central (ver Figura 79), para que de esta forma las pletinas bajasen con más fluidez.

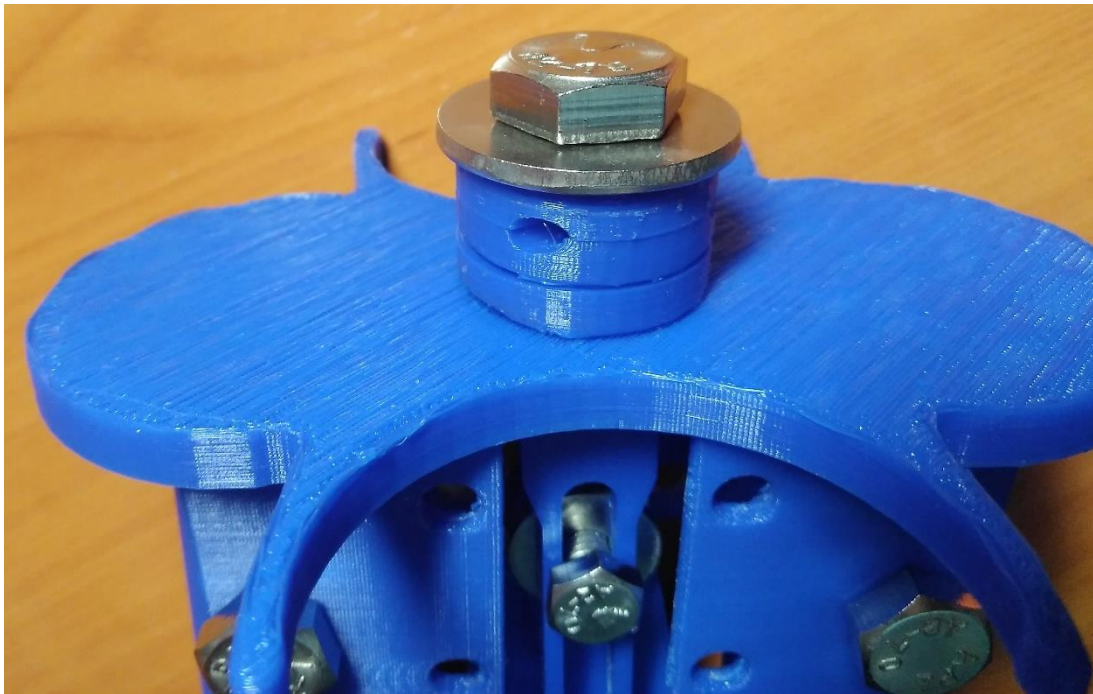


Figura 78. Arandelas en el tornillo superior

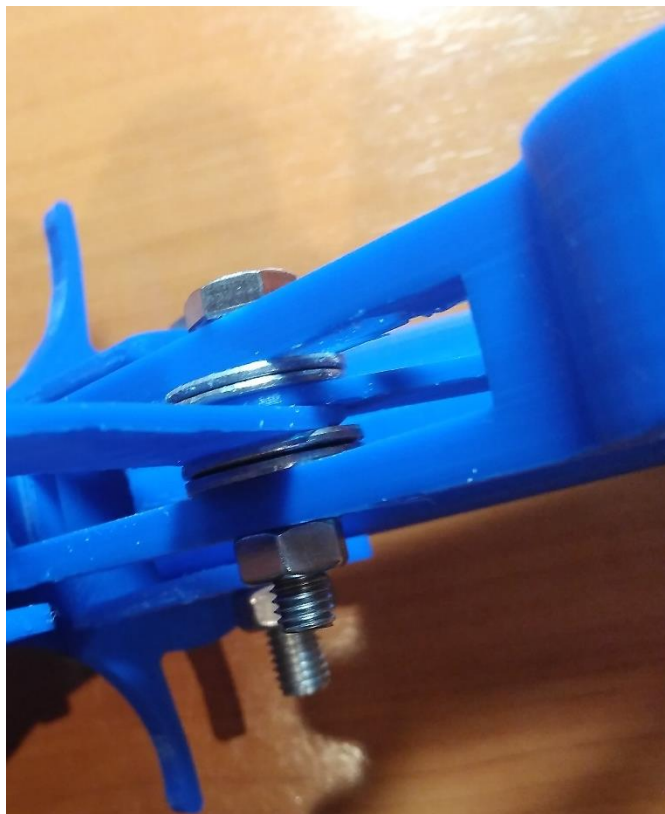


Figura 79. Arandelas en la guía-cáncamo



Figura 80. Ensamblaje

Posteriormente, al añadir los cables radiales en el sujetacables nos dimos cuenta de qué el problema persistía, es decir, los sujetacables seguían sin estar totalmente pegados lo que haría que los cables horizontales no estuviesen tensos. Más tarde, nos dimos cuenta de que el problema radicaba en que los sujetacables estaban mal impresos por una de sus caras, debido a las imprecisiones de la impresora, lo que hacía que cuando juntábamos las caras mal impresas había una separación indeseable entre los diferentes elementos del sujetacables. Por ello, nos dispusimos a limar las caras mal impresas hasta dejarla lo más lisas posibles, solucionando, de esta forma, el inconveniente. Por otro lado, el problema de que las pletinas se movieran de forma poco fluida a través del cáncamo-guía radicaba en el exceso de hueco por donde éstas se insertaban, por lo que tuvimos que disminuir el mencionado hueco, dejando la tolerancia adecuada para las pletinas más una pequeña holgura para que hubiera juego (ver Figura 81).

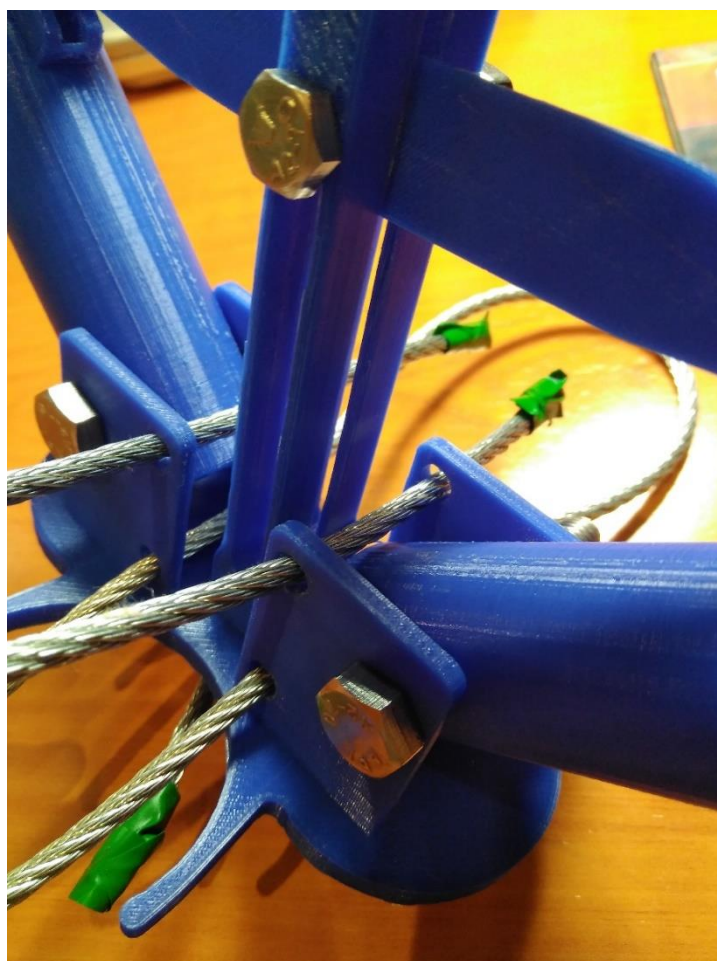


Figura 81. Modificación de hueco en guía-cáncamo

Finalmente, tras los cambios mencionados anteriormente, obtuvimos el prototipo de nuestro nudo de conexión de clase $k=2$, dónde hemos insertado un cable trenzado de acero en los sujetacables y la cazoleta emulando los cables horizontales y diagonales respectivamente. El resultado final se puede ver en las siguientes imágenes, dónde podemos ver que los cables horizontales forman 60° entre sí



Figura 82. Prototipo nudo $k=2$ (vista en planta)



Figura 83. Prototipo nudo $k=2$ (plegado máximo)

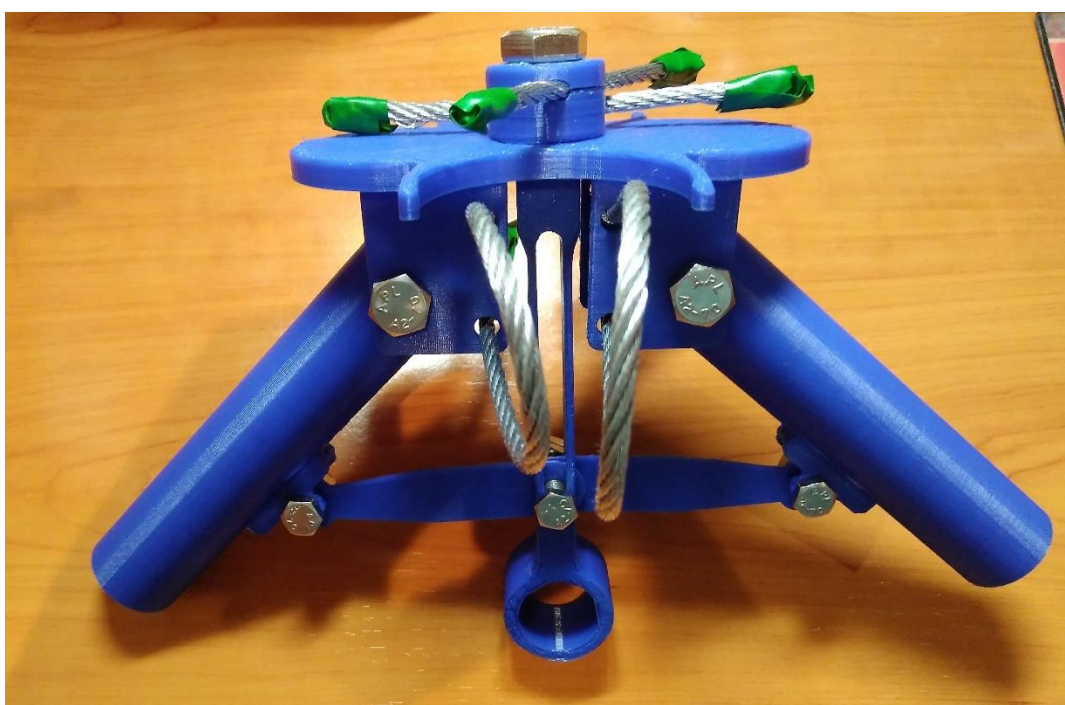


Figura 84. Prototipo nudo $k=2$ (desplegado máximo)

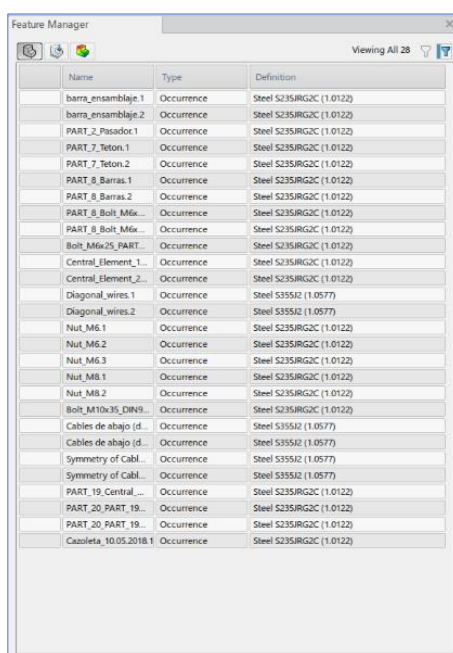
5.5 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES

Una vez modelado el nudo en tres dimensiones, era hora de estudiar la viabilidad del mismo a través de su análisis de tensiones por elementos finitos. Para ello, al igual que en el resto del presente proyecto, utilizaremos 3D Experience Platform pero en este caso gracias a su software interno de simulación: Simulia.

Destacar que tanto para análisis del nudo $k=2$ como para el nudo $k=4$, nos hemos apoyado en el artículo *Design, Fabrication and Construction of a Deployable Double-Layer Tensegrity Grid* [2], especialmente a la hora de establecer las cargas iniciales así como en el momento de establecer los materiales de los diferentes elementos.

5.5.1 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES NUDO K=2

Inicialmente debemos detectar todas las partes a tener en cuenta en el análisis, es decir, todo el conjunto general del ensamblaje. Seguido, hay que establecer el material del que está formado nuestras diferentes piezas. En nuestro caso, todo el ensamblaje es de acero, siendo un acero S335J2 (1.0577) para los cables radiales (horizontales y diagonales), y un acero S235JRG2C (1.0122) para el resto de los elementos (ver Figura 85).



Name	Type	Definition
barra_ensamblaje.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
barra_ensamblaje.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_2_Pasador.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_7_Teton.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_7_Teton.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Barras.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Barras.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Bolt_Mix...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Bolt_Mix...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Bolt_Mix25_PART...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Central_Element_1...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Central_Element_2...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Diagonal_wires.1	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Diagonal_wires.2	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Nut_M6.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Nut_M6.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Nut_M6.3	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Nut_M8.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Nut_M8.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Bolt_M10x35_DIN9...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Cables de abajo (d...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Cables de abajo (d...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Symmetry of Cabl...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Symmetry of Cabl...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
PART_19_Central_...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_20_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_20_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Cazoleta_10.05.2018.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)

Figura 85. Materiales nudo $k=2$

A continuación, tuvimos que establecer los contactos entre las diferentes piezas de nuestro nudo. Para ello, nos servimos de la opción de detección automática de contactos que posee el propio Simulia. Bien es cierto, que no todos los contactos los localiza de manera automática (ver Figura 86), sino que algunos de ellos hay que establecerlo manualmente.



Figura 86. Fallo en contactos

Una vez identificados todos los contactos, es hora de insertar las restricciones. Las restricciones son aquellas caras o superficies de las piezas que usamos como referencia porque permanecen inmóviles. En nuestro caso, hemos fijado la cara superior de la cazoleta (ver superficie rayada amarilla de la Figura 87).

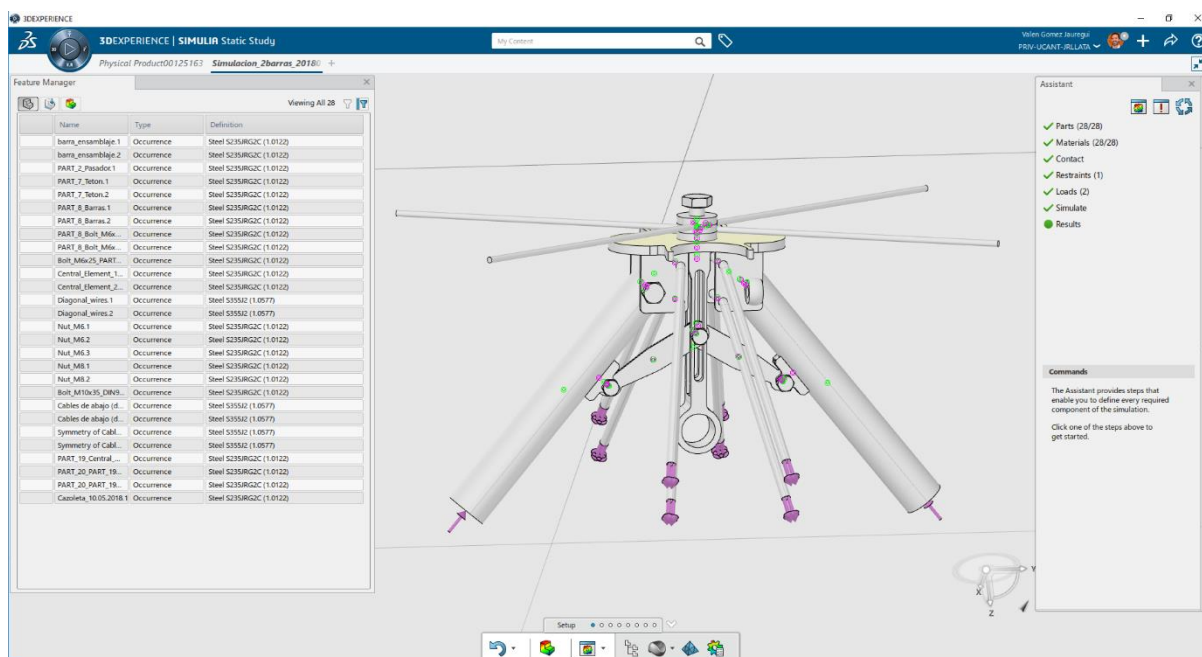


Figura 87. Restricciones

A continuación, es momento de establecer las diferentes cargas en el lugar adecuado. Este es quizá el paso más importante puesto que de él dependen la distribución de tensiones final y por ende la viabilidad de nuestros elementos y del nudo. Hay que añadir, que, tras simular el nudo, hay que tener muy en cuenta que las tensiones no excedan el límite elástico del material, puesto que de manera contraria el material entraría en zona plástica y todas las deformaciones se volvería irreversibles, pudiendo provocar un final indeseable. Es por ello, que resulta lógico que haya que iterar hasta que el valor de las cargas aplicadas no supere el límite elástico y que además haya una distribución realista de las tensiones.

Inicialmente, aplicamos unas tensiones de 40,25 MPa (a compresión) para las barras y de 643 MPa (a tracción) para los cables radiales, según las tensiones máximas arrojadas del proyecto experimental [1]. A la vista de los resultados, observamos que la máxima tensión de Von Mises es 2840 MPa (ver Figura 88) y que por lo tanto dicha tensión está fuera del rango elástico de nuestro material S235JRG2C, cuyo límite elástico es 235 MPa.

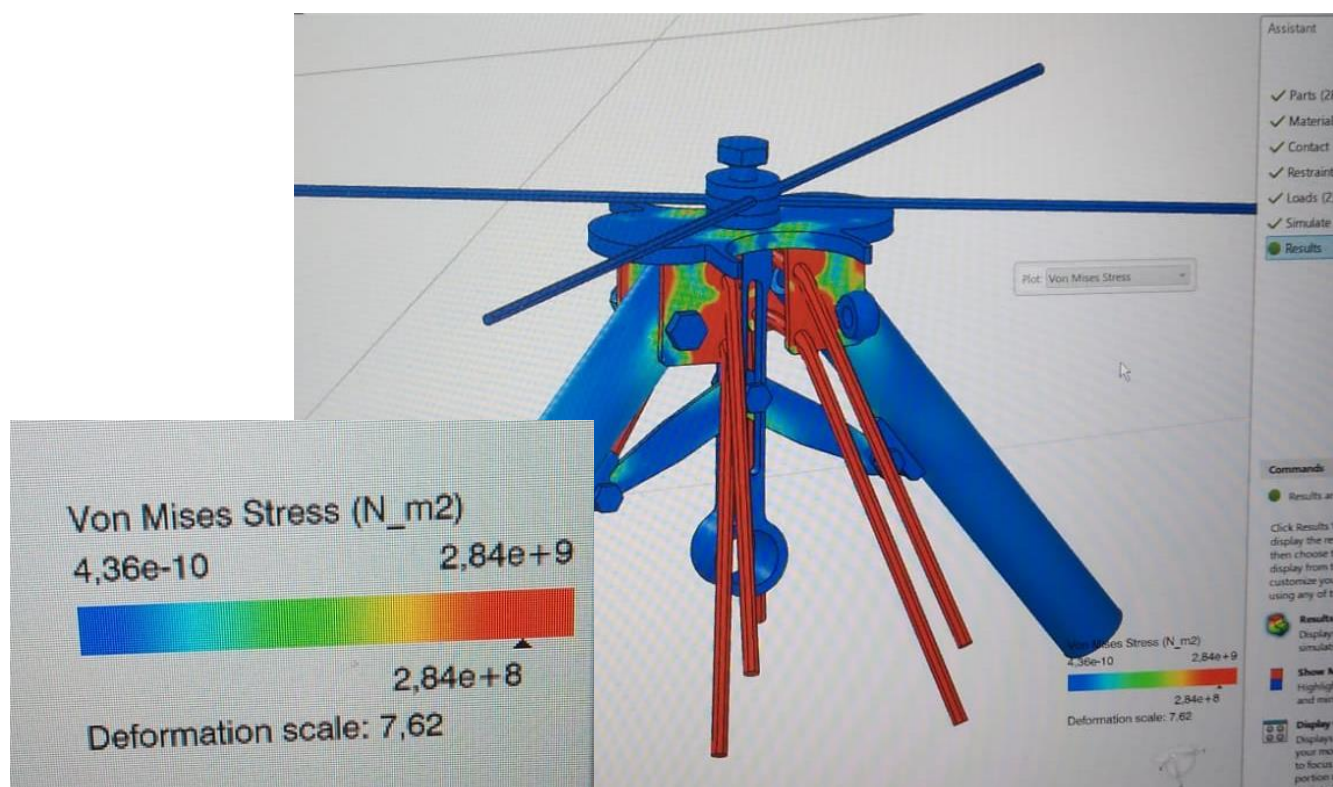


Figura 88. Primera iteración

Por lo tanto, tuvimos que variar las cargas sustancialmente. En este caso, aplicamos unas cargas de 2,025 MPa (a compresión) para las barras y 34,3 MPa (a tracción) para los cables radiales (ver Figura 89), siendo éstas cargas aptas para las condiciones a las que estará expuesto nuestro nudo por lo que no ha sido necesario modificar el diseño.

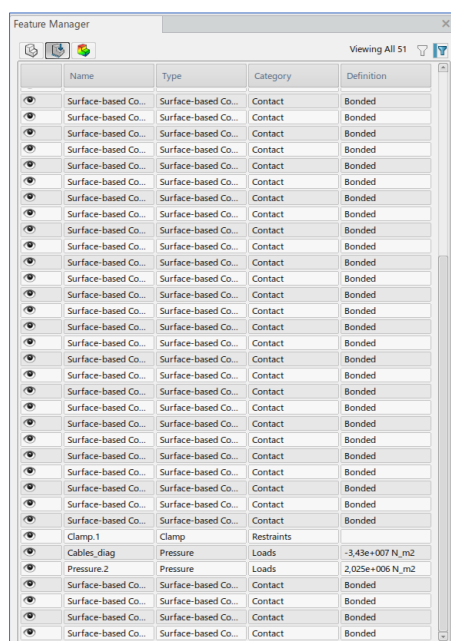


Figura 89. Cargas aplicadas nudo k=2

A la vista de los resultados, observamos que las cargas son aceptables ya que la máxima tensión de Von Mises en todo el nudo es de 155 MPa, valor 80 unidades inferior al límite elástico del material, por lo que hemos dejado un coeficiente de seguridad adecuado. A continuación, se muestran varias imágenes del análisis de tensiones con diferentes perspectivas, donde se puede observar que la máxima concentración de tensiones se encuentra en los cables diagonales, así como en las zonas próxima de la intersección de dichos cables con la cazoleta. También, podemos ver un exceso de carga en los tornillos en torno a los cuales giran las barras y las pletinas de nuestro nudo, aspecto lógico puesto que es una zona que está muy propensa a concentrar tensiones.

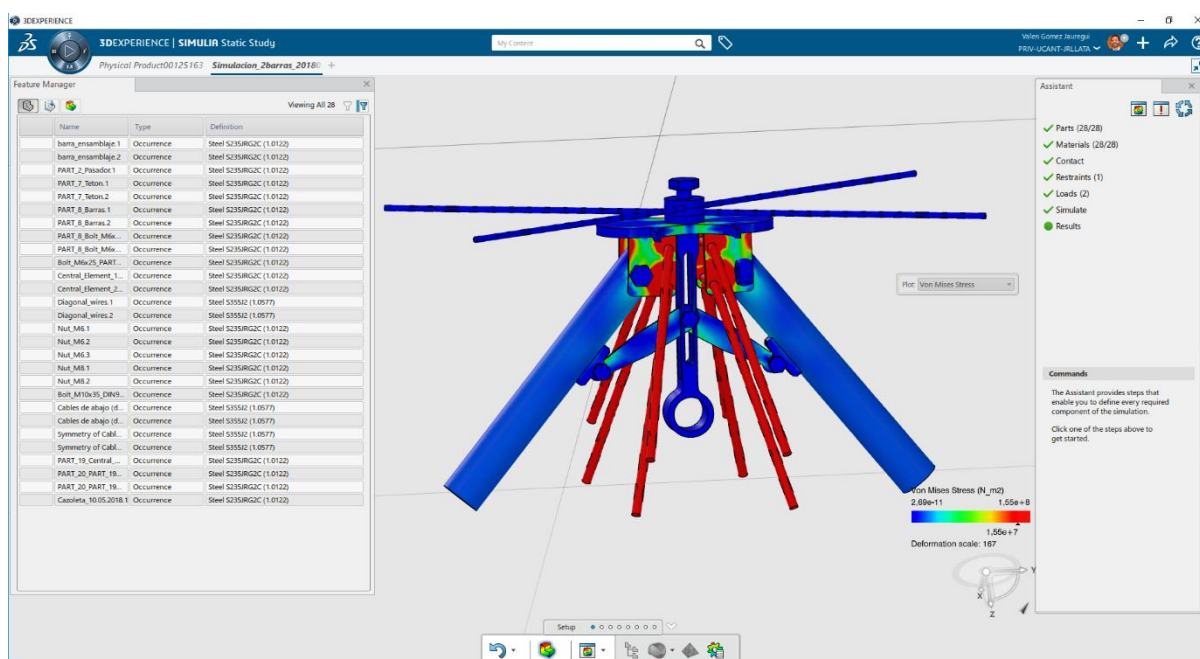


Figura 90. Análisis de tensiones nudo k=2 (1)

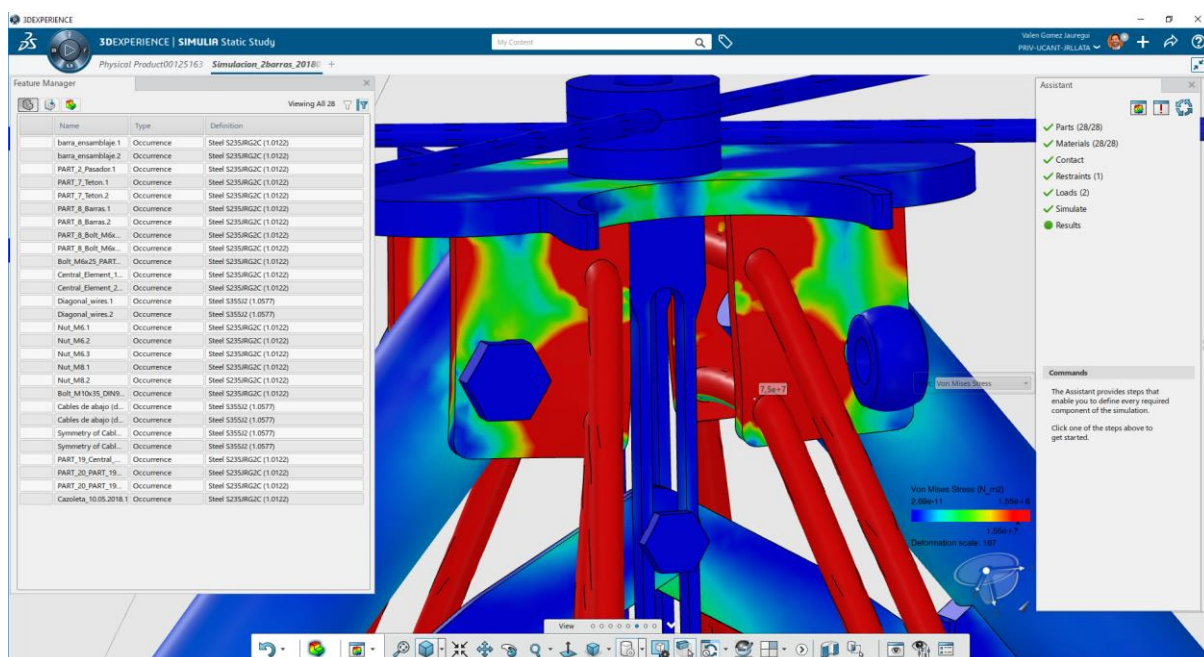


Figura 91. Análisis de tensiones nudo k=2 (2)

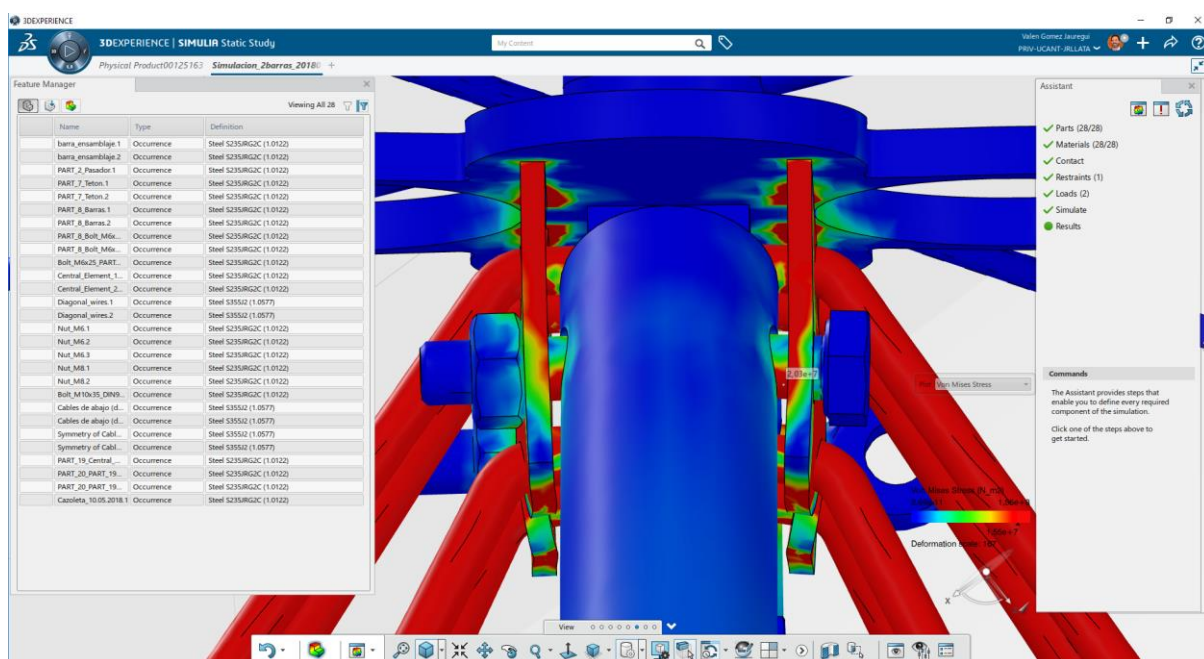


Figura 92. Análisis de tensiones nudo k=2 (3)

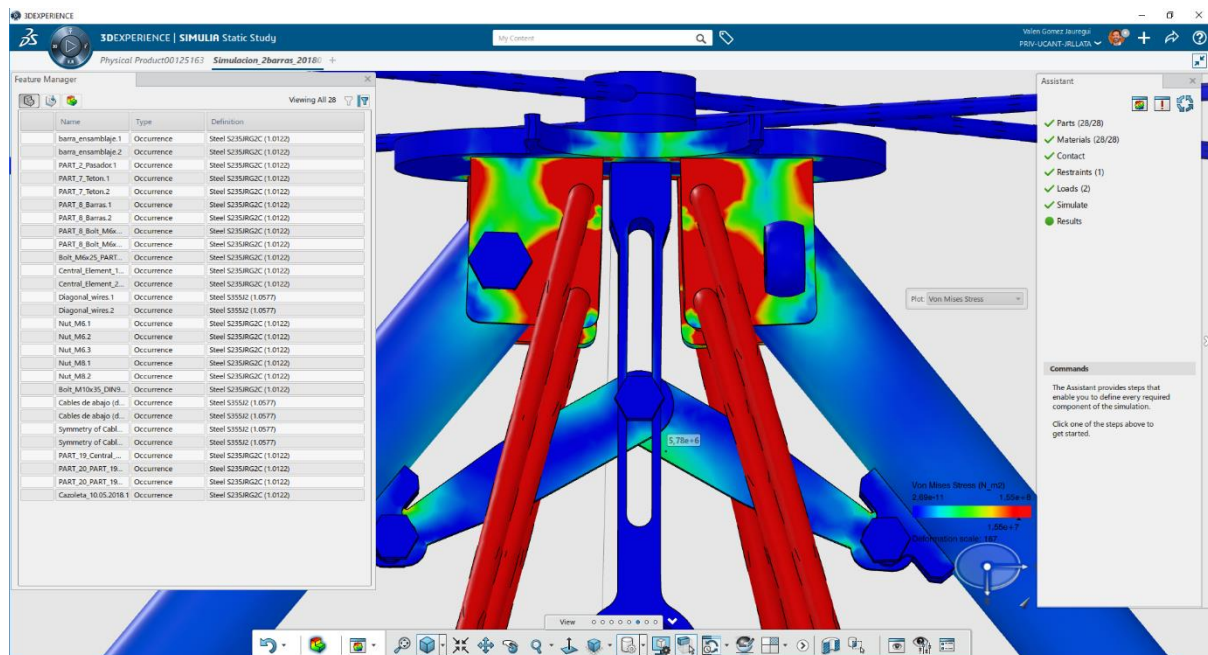


Figura 93. Análisis de tensiones nudo k=2 (4)

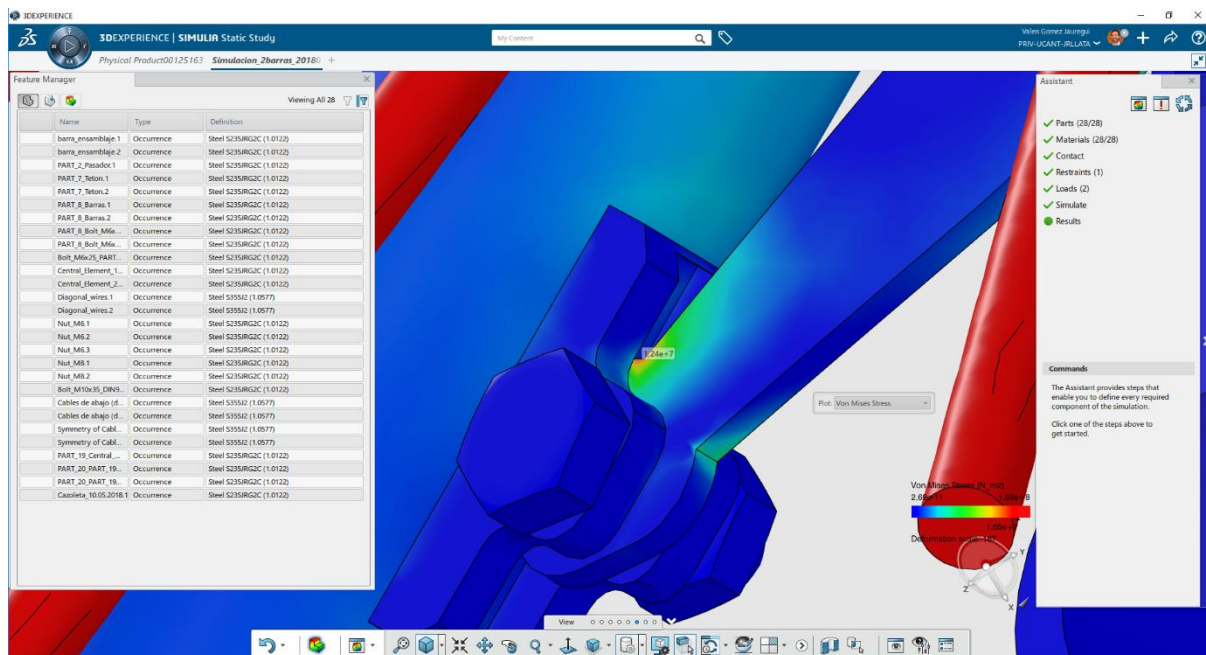


Figura 94. Análisis de tensiones nudo k=2 (5)

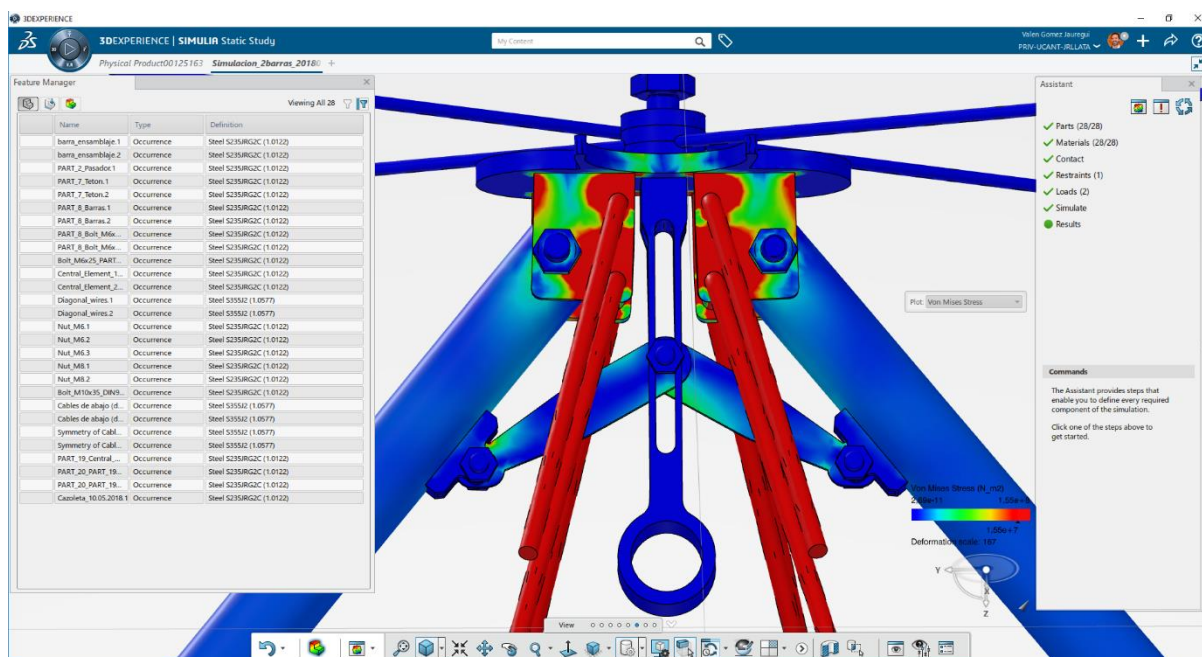


Figura 95. Análisis de tensiones nudo k=2 (6)

Además, hemos estudiado la deformación del nudo, donde hemos visto que la deformación máxima es de 0,235 mm, correspondiéndose ésta a los cables axiales. Aspecto lógico ya que es donde está aplicada la máxima tensión y por la propia naturaleza elástica de los cables.

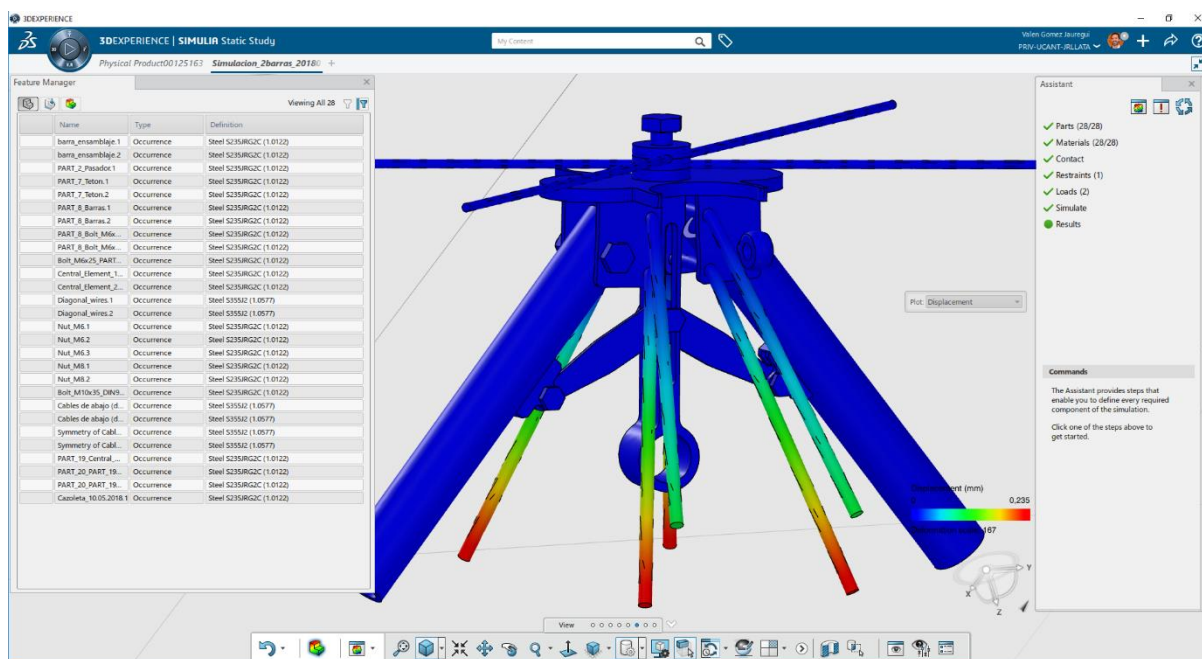


Figura 96. Análisis de deformación nudo k=2 (1)

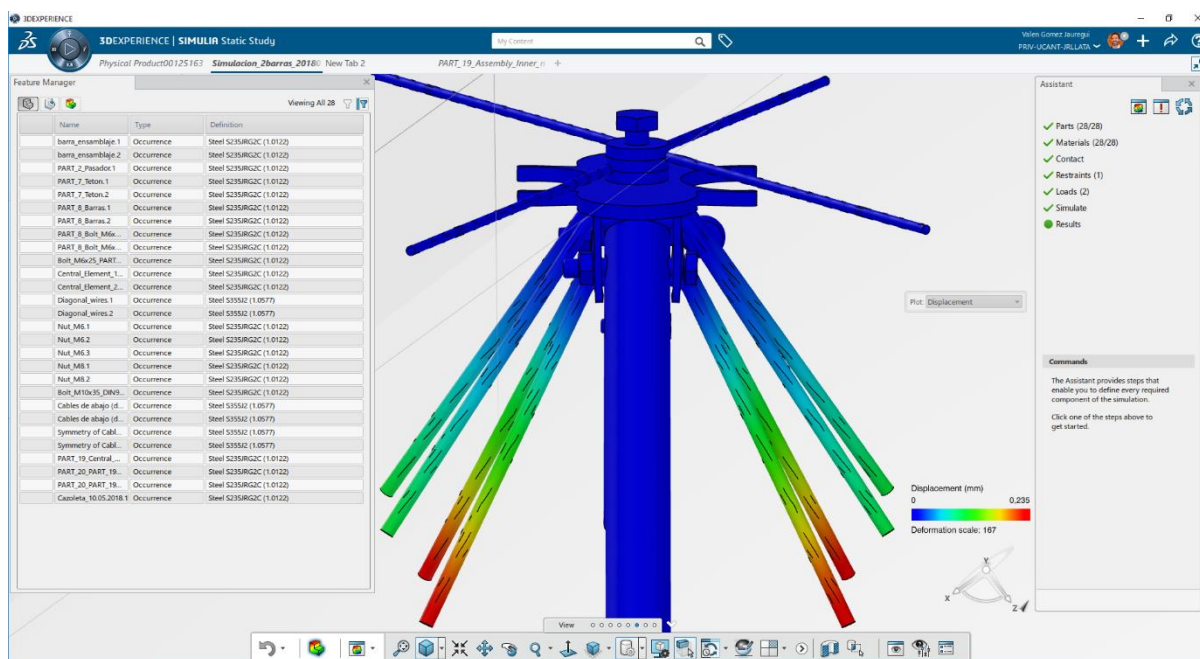


Figura 97. Análisis de deformación nudo k=2 (2)

Por último, en la siguiente imagen (ver Figura 98) podemos ver los resultados del análisis del nudo k=2, en donde podemos observar un resumen numérico de la explicación anteriormente expuesta.

Feature Manager		
Name	Min	Max
Deformation	-----	-----
Displacement	0 mm	0,235 mm
Von Mises Stress	2,69e-11 N_m2	1,55e+8 N_m2
Contact Shear In Direction 1	-1,08e+8 N_m2	1,11e+8 N_m2
Contact Shear In Direction 2	-8,85e+7 N_m2	8,77e+7 N_m2
Contact Pressure	-2,33e+8 N_m2	1e+8 N_m2
Reaction Force Vector	0 N	150 N
Compression - Tension	-6,41e+7 N_m2	1,08e+8 N_m2

Figura 98. Resultados del análisis nudo k=2

5.5.2 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE TENSIONES NUDO K=4

De forma análoga al estudio del análisis de tensiones del nudo k=2, hemos realizado una simulación para observar la viabilidad del nudo k=4.

Inicialmente, identificamos todas las partes del nudo, siendo más elevadas que en el nudo k=2 ya que éste es más complejo

Los materiales asignados a cada uno de los elementos del nudo, como no podía ser de otra manera, son los mismos que los del nudo k=2, es decir, acero S335J2 (1.0577) para los cables radiales (horizontales y diagonales), y un acero S235JRG2C (1.0122) para el resto de los elementos (ver Figura 99).

Name	Type	Definition
barra_ensamblaje.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
barra_ensamblaje.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_2_Pasador.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_7_Teton.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_7_Teton.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Barras.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Barras.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_8_Bolt_M6x...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_9_New_node.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Central_Element_1...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Central_Element_2...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Central_Element_1...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Diagonal_wires.1	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Diagonal_wires.2	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Nut_M6.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Nut_M8.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Bolt_M10x35_DIN9...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Pasador.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M8.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M8.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M8.3	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M6.1	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M6.2	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 102 122244...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 144 114726...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 102 122244...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 144 114726...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 144 114726...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_PART_19...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
PART_21_Nut_M6.3	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 102 122244...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
SFS FN 144 114726...	Occurrence	Steel S235JRG2C (1.0122)
Cablediag2_k=4.1	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Cablediag1_K=4.3	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Symmetry of Cabl...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Cablediag2_k=4.2	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Symmetry of Cabl...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)
Symmetry of Cabl...	Occurrence	Steel S355J2 (1.0577)

Figura 99. Materiales para nudo k=4

Posteriormente, señalamos nuestra superficie de referencia, que también ha sido la superficie superior de la cazoleta.

A continuación, nos dispusimos a aplicar las cargas. Como hemos mencionado anteriormente, este paso es crítico ya que la máxima tensión de Von Mises no puede exceder el límite elástico del material puesto que, de forma contraria, entraríamos en zona plástica y las deformaciones se volverían irreversibles. Como ya teníamos la experiencia del caso anterior, no nos ha hecho falta tener que iterar ninguna vez, simplemente hemos aplicado las cargas del nudo anterior y hemos obtenido unos resultados favorables. Las mencionadas cargas son 2,025 MPa (a compresión) para las barras y 34,3 MPa (a tracción) para los cables diagonales (ver Figura 100). En la Figura 101 se puede apreciar las cargas simbólicas de una forma representativa.

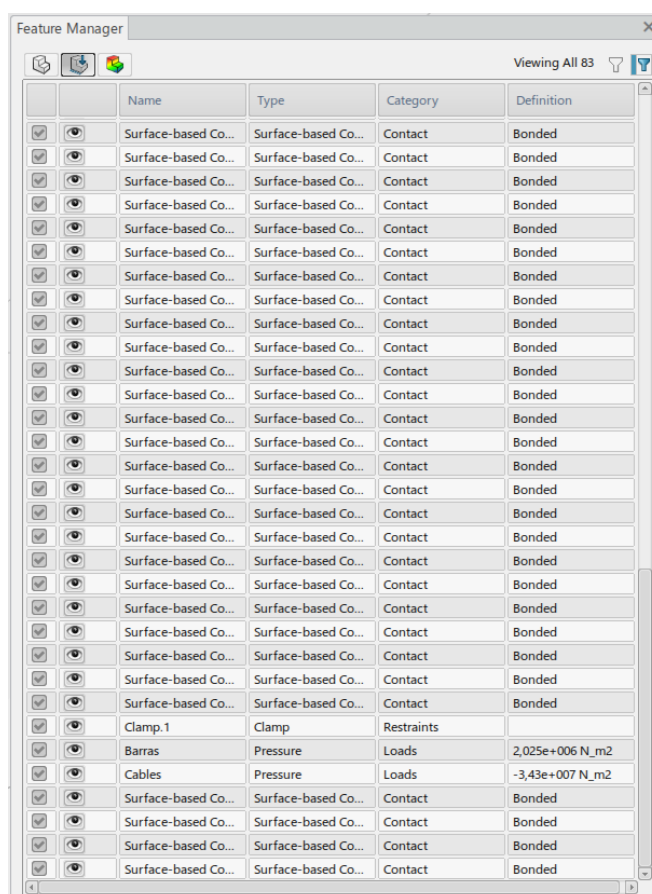


Figura 100. Cargas aplicadas nudo k=4

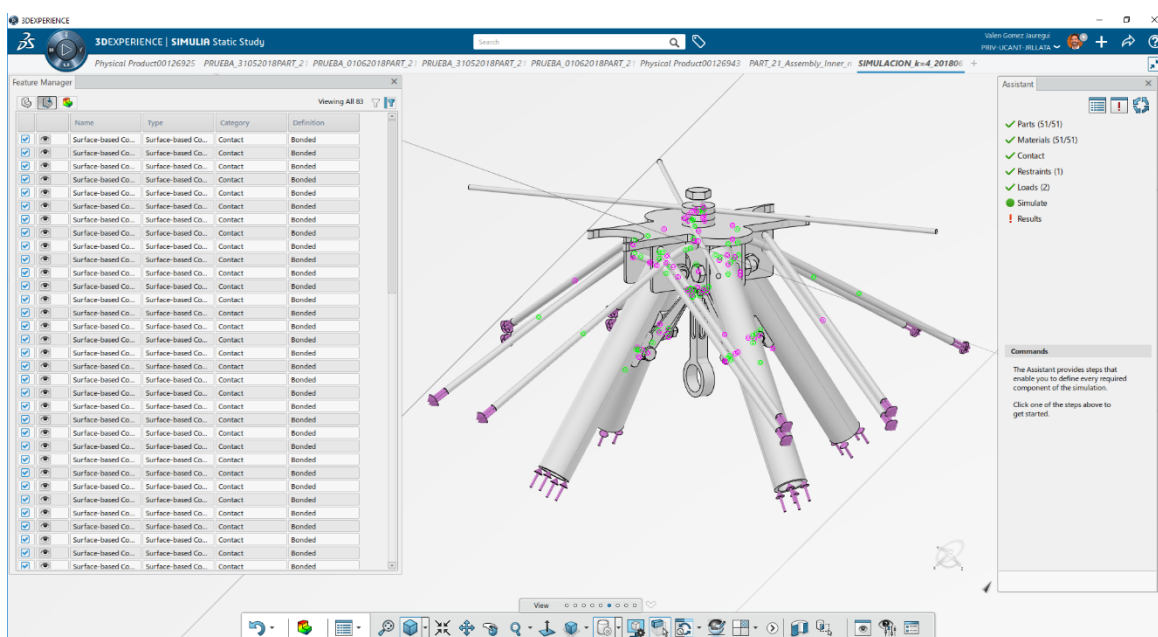


Figura 101. Representación de las cargas nudo k=4

Posteriormente, analizamos la viabilidad del nudo a través de la distribución de tensiones de Von Mises en el mismo. Se pueden apreciar unos resultados similares a los del nudo k=2, ya que las tensiones más altas se encuentran en los cables diagonales y en las zonas próximas a la intersección de la cazoleta con los cables diagonales, así como en los tornillos en torno a los cuales giran las barras y las pletinas. En las siguientes imágenes podremos ver dicha distribución desde diferentes perspectivas:

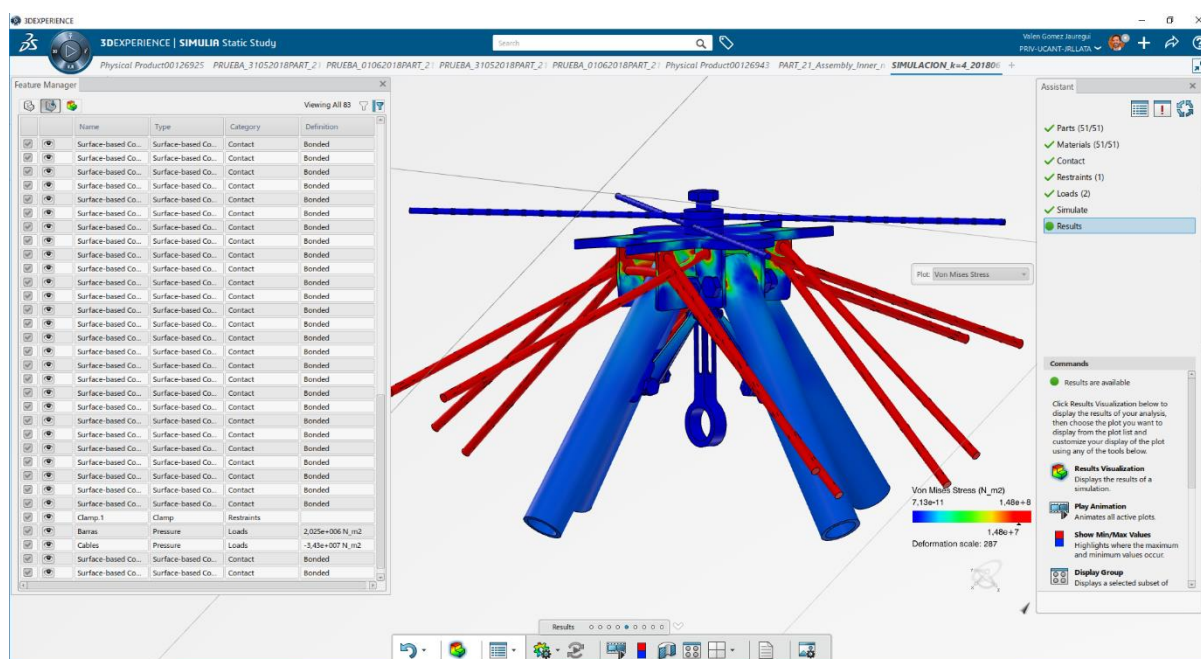


Figura 102. Análisis de tensiones nudo k=4 (1)

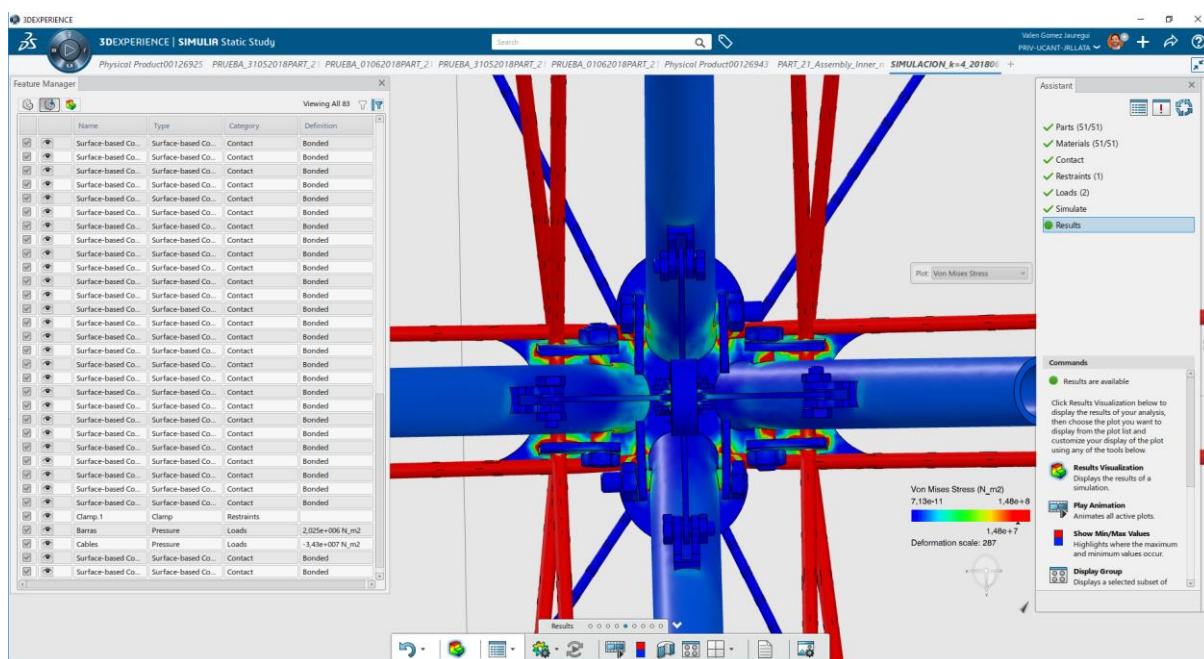


Figura 103. Análisis de tensiones nudo k=4 (2)

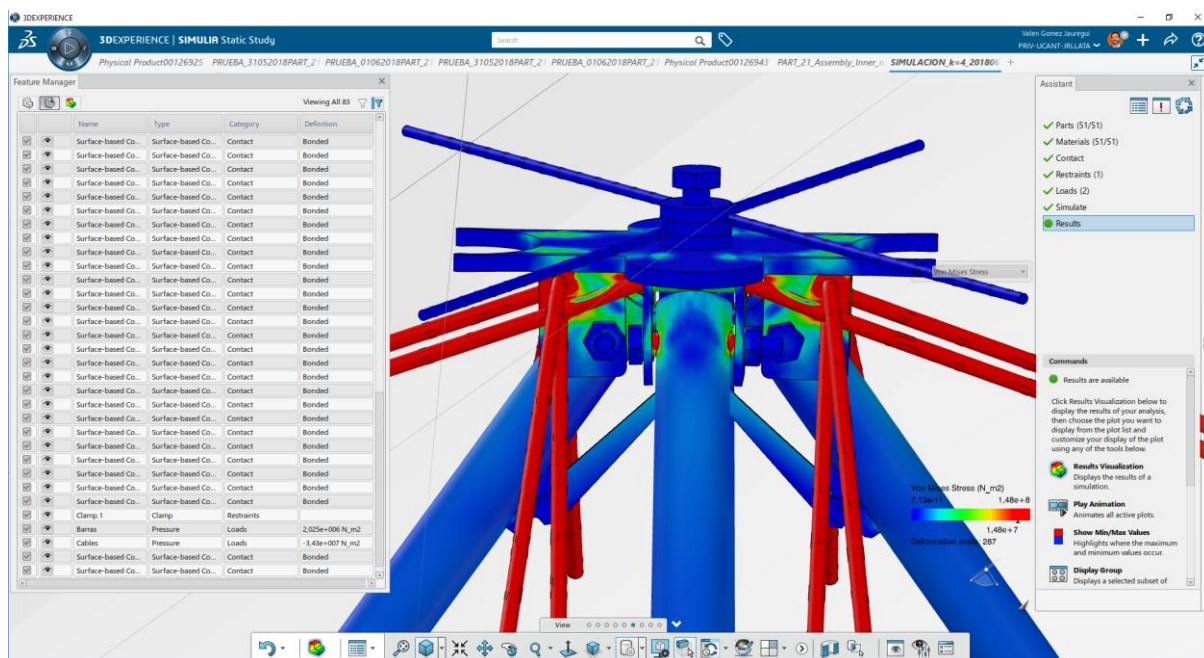
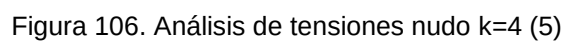
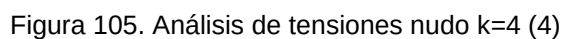
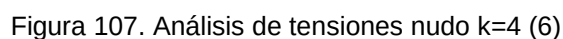
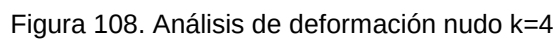


Figura 104. Análisis de tensiones nudo k=4 (3)

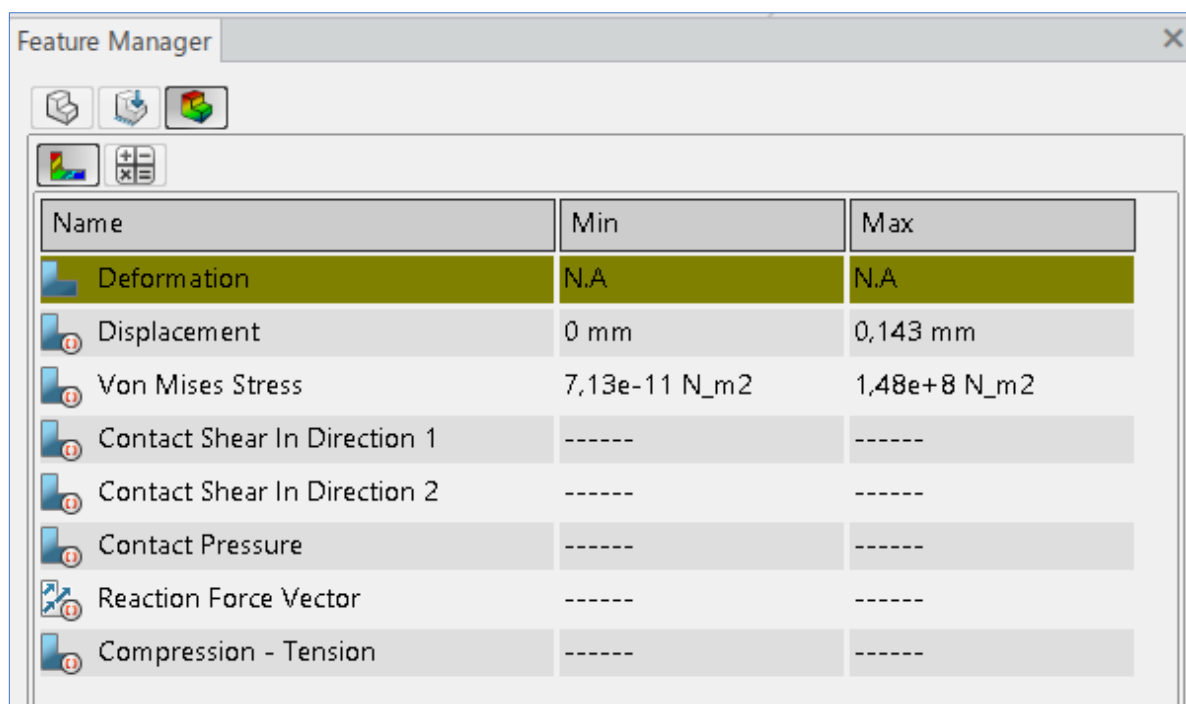




Además, estudiamos la deformación del nudo en la que, al igual que en el nudo $k=2$, toda ella se centra en los cables diagonales



Por último, en la siguiente imagen (ver Figura 109) podemos ver los resultados del análisis del nudo k=2, en donde podemos observar un resumen numérico de la explicación anteriormente expuesta.



Name	Min	Max
Deformation	N.A	N.A
Displacement	0 mm	0,143 mm
Von Mises Stress	7,13e-11 N_m2	1,48e+8 N_m2
Contact Shear In Direction 1	-----	-----
Contact Shear In Direction 2	-----	-----
Contact Pressure	-----	-----
Reaction Force Vector	-----	-----
Compression - Tension	-----	-----

Figura 109. Resultados numéricos nudo k=4

5.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras diseñar el nudo con software CAD y estudiar su viabilidad a través de su análisis por elementos finitos, nos disponemos a desarrollar de forma explícita los resultados finales, los cuales satisfacen los objetivos iniciales.

Por un lado, uno de nuestros objetivos era asegurar la simetría entre las barras del nudo con objeto de evitar fuerzas indeseadas. Dicho objetivo se ha cumplido satisfactoriamente a través de la creación del cáncamo-guía, las pletinas y los tetones adecuadamente posicionados, permitiendo además el plegado del nudo, así como una puesta en servicio con una apertura de las barras adecuada. Para comprobarlo, a continuación, se muestran unas imágenes, donde podemos observar diferentes posiciones de las barras y por lo tanto, diferentes ángulos entre el plano medio del nudo y las barras.

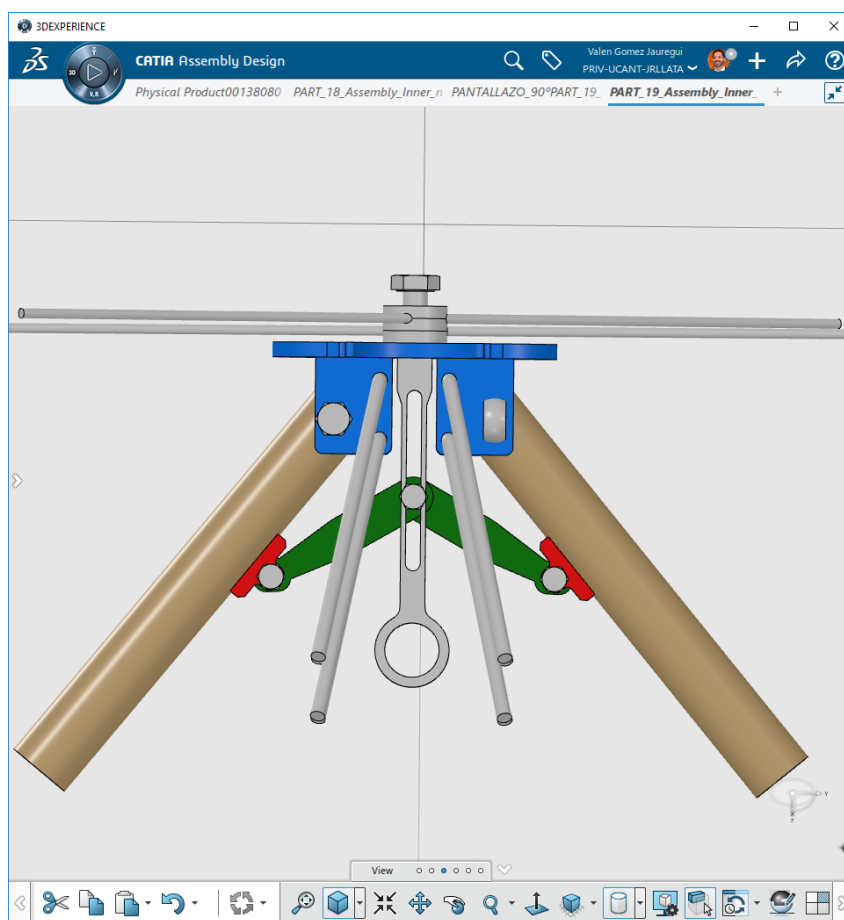


Figura 110. Resultados. Posición estándar del nudo

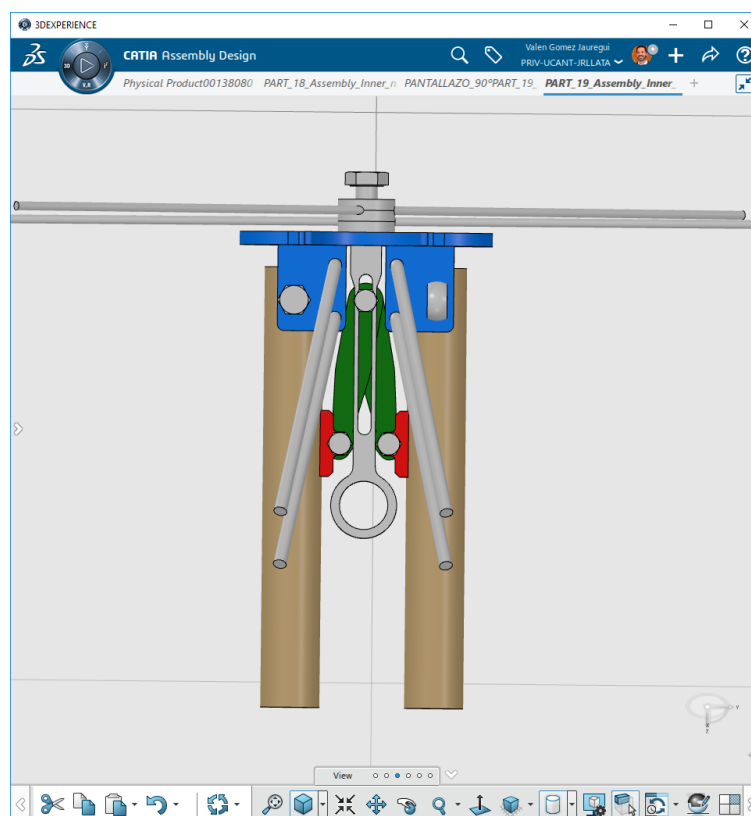


Figura 111. Resultados. Plegado máximo del nudo

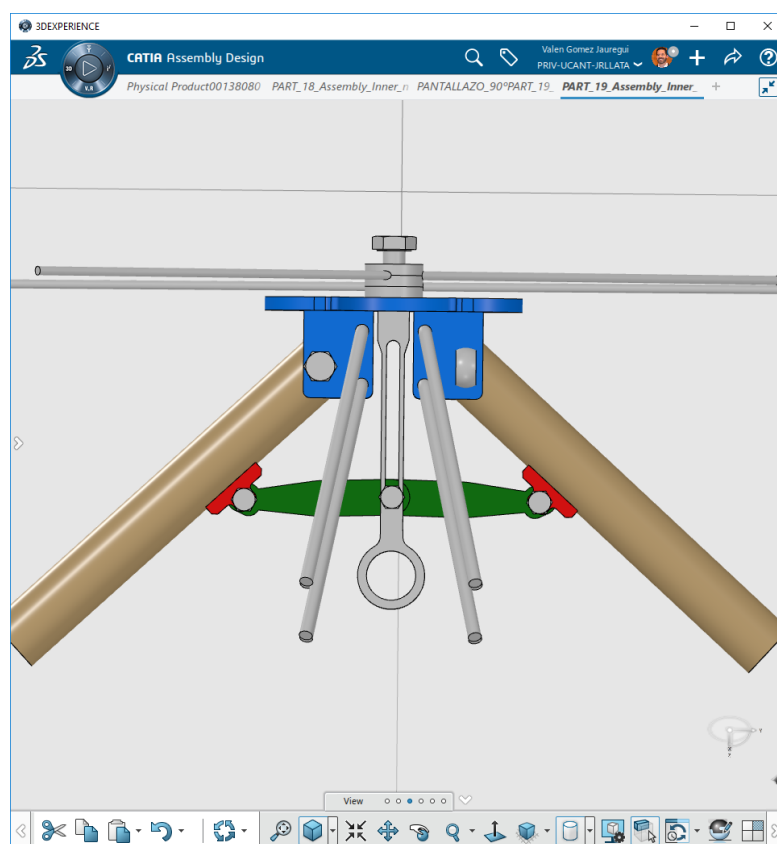


Figura 112. Resultados. Desplegado máximo del nudo

El segundo y tercero de nuestros objetivos era garantizar un acoplamiento eficaz entre nudos y barras así como que dicho acoplamiento permitiese que los nudos se fijen fácilmente y que, a su vez, no se separen cuando la estructura está totalmente plegada. El mencionado objetivo también se cumplió de forma satisfactoria, a través del remodelado del núcleo central del nudo original, modificando totalmente la geometría de éste y añadiendo unas protuberancias en forma de pestañas que permitiesen un acople óptimo del nudo, de tal forma que éste permaneciese inmóvil en el momento de máximo plegado de la estructura. A continuación, mostramos algunas imágenes donde podemos apreciar dichos resultados. Añadir que, en algunas de las imágenes se ha prescindido de los cables horizontales y/o de los cables diagonales con el objeto de poder visualizar con mayor claridad la geometría de la cazoleta o de los propios nudos.

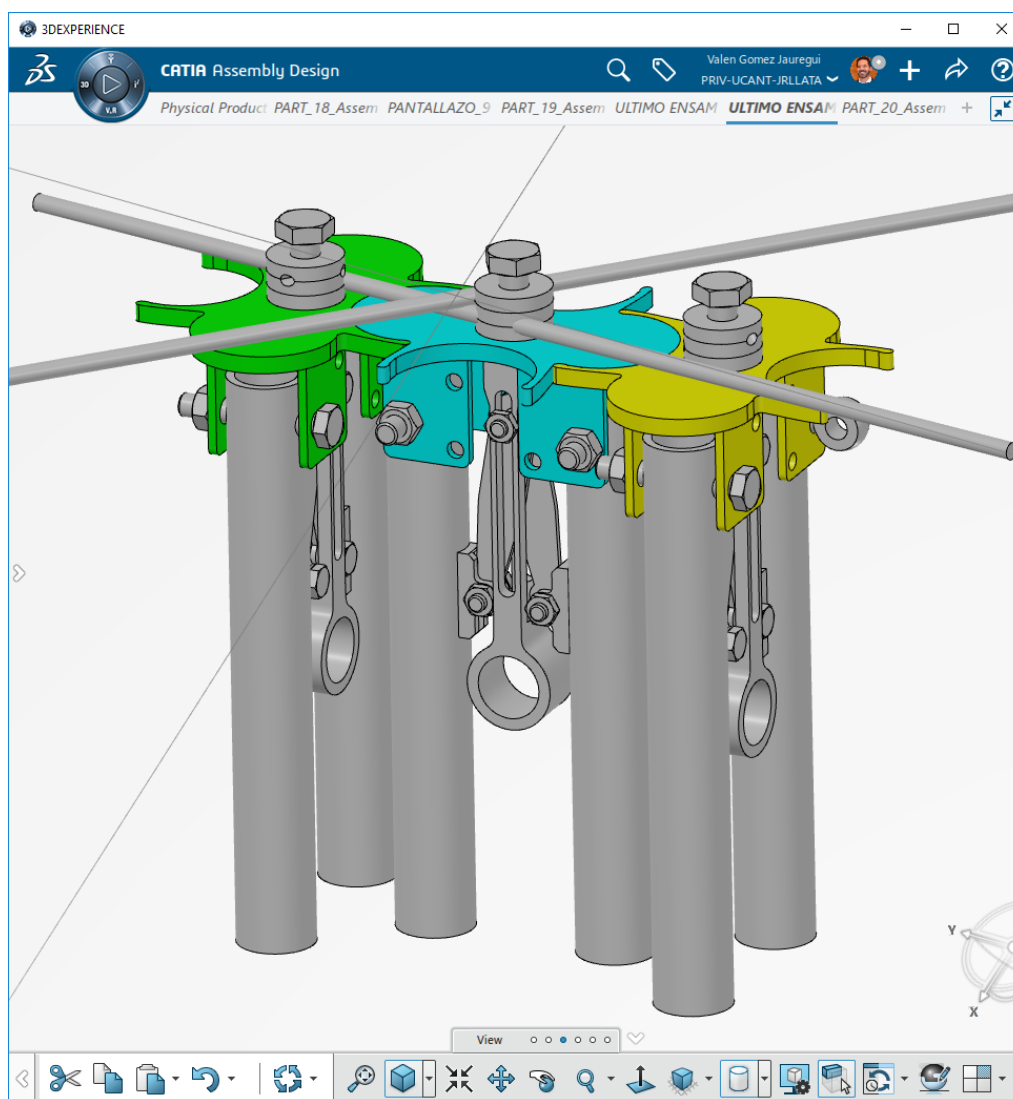


Figura 113. Resultados. Acople entre nudos $k=2$ (vista en perspectiva). Misma altura

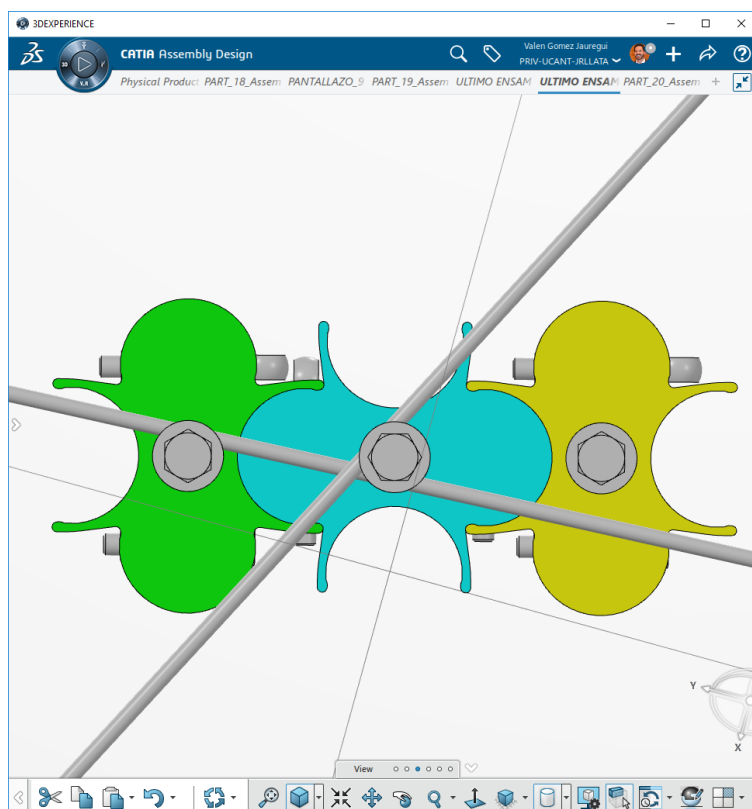


Figura 114. Resultados. Acople entre nudos $k=2$ (vista en planta). Misma altura

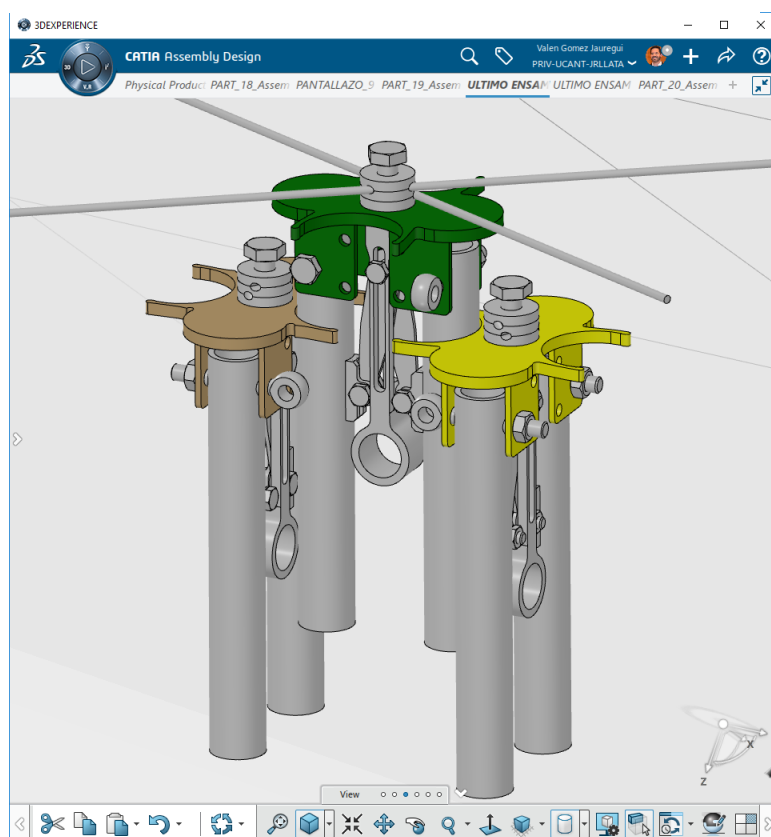


Figura 115. Resultados. Acople entre nudo $k=2$ y barras (vista en perspectiva). Diferente altura

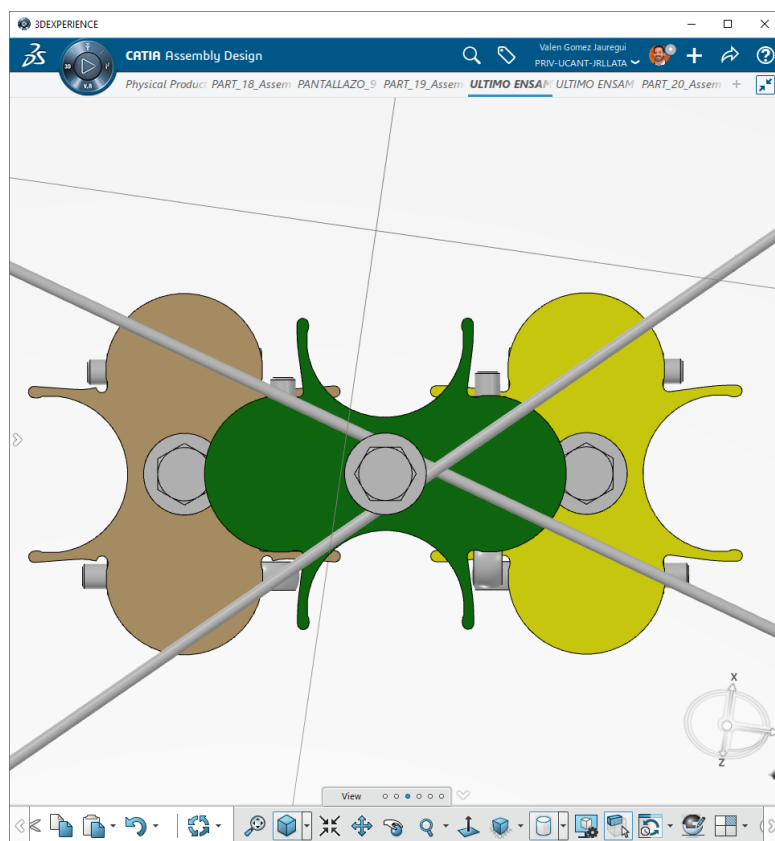


Figura 116. Resultados. Acople entre nudo $k=2$ y barras (vista en planta). Diferente altura

Por último, el cuarto de los objetivos era permitir una amplia variedad de tipologías de malla a través de los cables diagonales. Es decir, tener la posibilidad de aglutinar dos o más cables horizontales y que éstos pudieran formar una multitud de ángulos entre sí de forma versátil. Para ello, hemos sustituido el conector cilíndrico del nudo original por unos sujetacables que permitiesen adaptar al nudo a diferentes tipologías de malla, en cuanto a número de cables y ángulos entre ellos. Dichos sujetacables son piezas independientes en las que los sujetacables de los extremos son siempre los mismos, teniendo que cambiar y/o añadir solamente los sujetacables centrales, dependiendo de si queremos añadir cables a nuestra malla y/o cambiar el ángulo entre éstos. Con todo ello, proporcionamos al nudo gran versatilidad, pudiéndose adaptar a un sinfín de mallas. A continuación, mostramos algunas imágenes con variaciones en cuanto a número de cables horizontales y ángulos entre ellos:

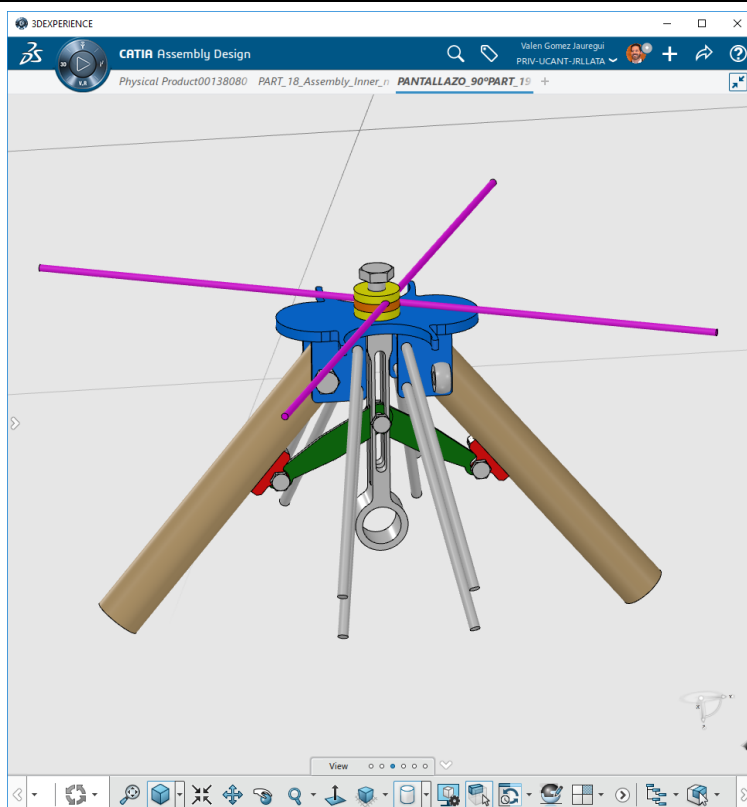


Figura 117. Resultados. Dos cables horizontales a 90° (vista en perspectiva)

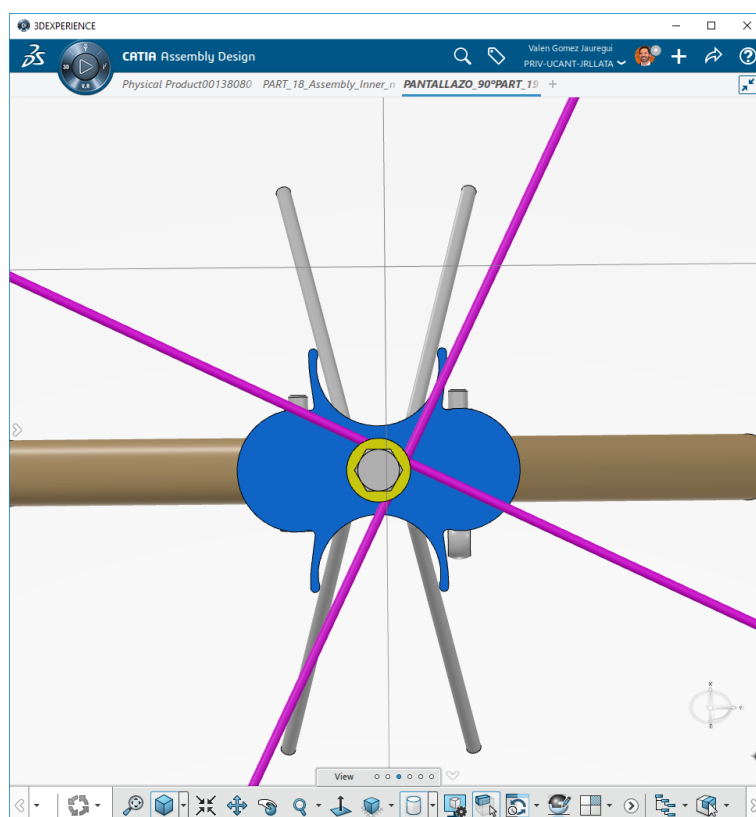


Figura 118. Resultados. Dos cables horizontales a 90° (vista en planta)

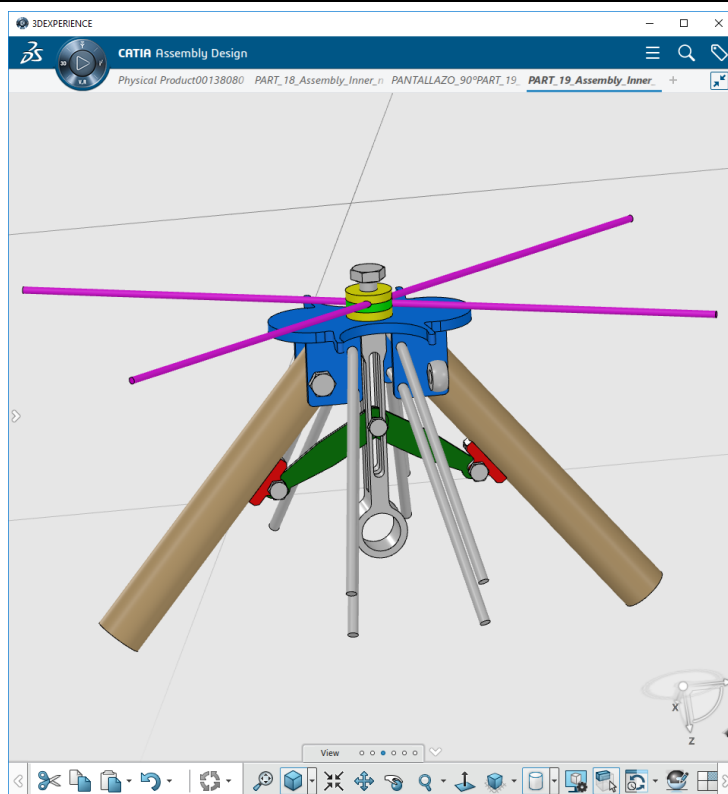


Figura 119. Resultados. Dos cables horizontales a 60° (vista en perspectiva)

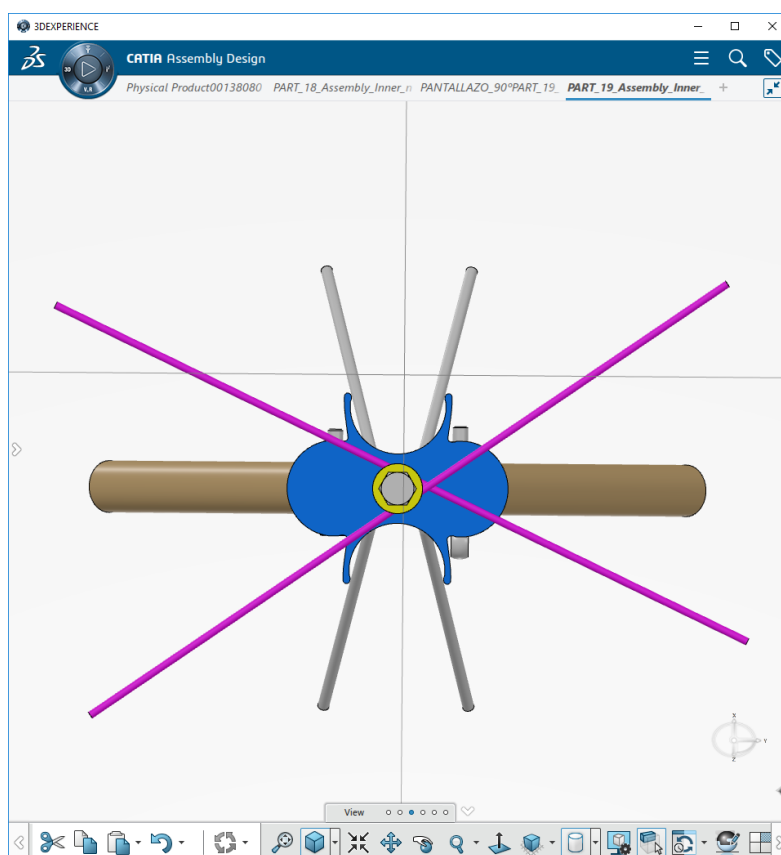


Figura 120. Resultados. Dos cables horizontales a 60° (vista en planta)

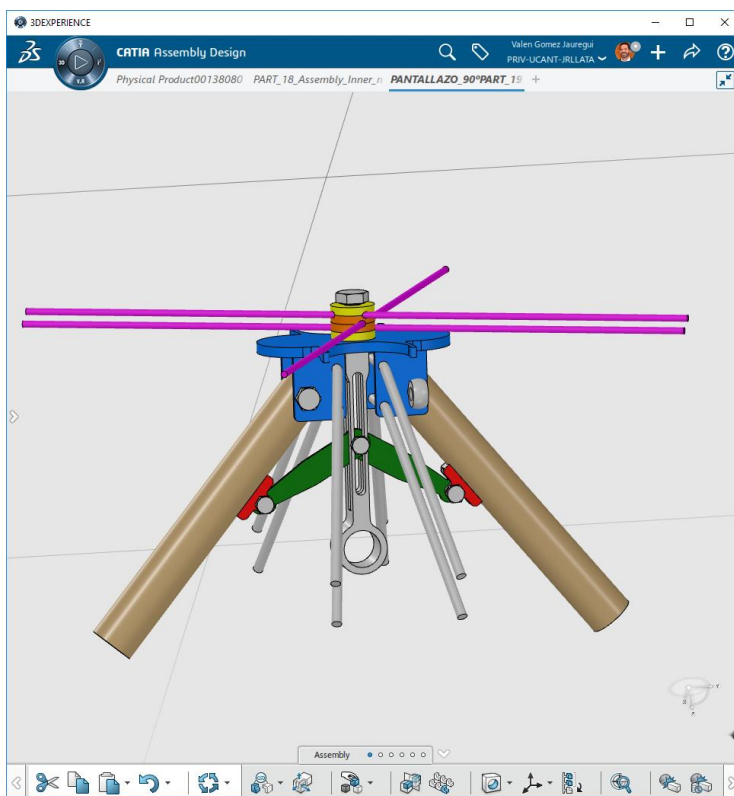


Figura 121. Resultados. Tres cables horizontales a 90° (vista en perspectiva)

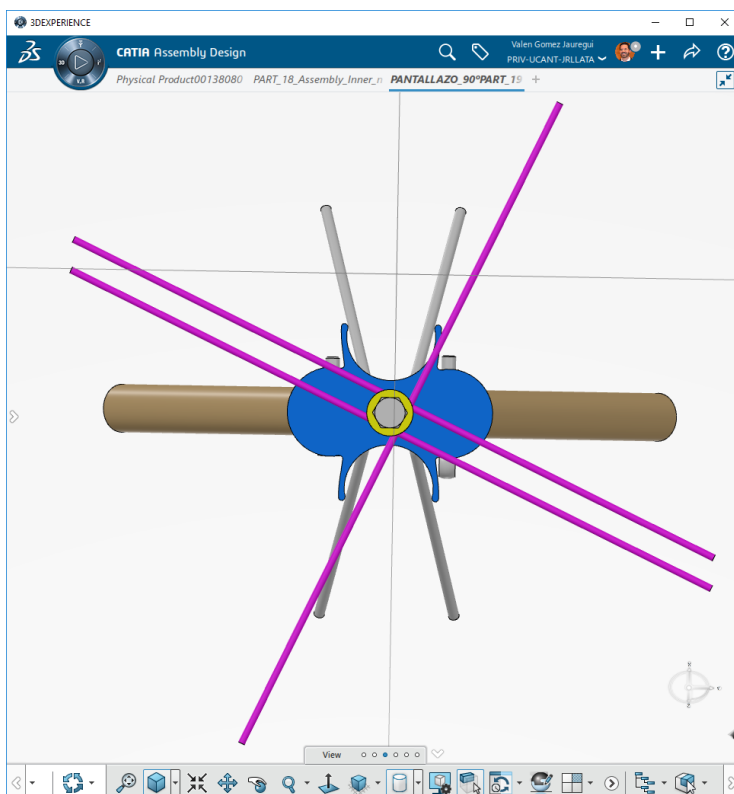


Figura 122. Resultados. Tres cables horizontales a 90° (vista en planta)

Para terminar, hemos diseñado, de forma análoga, otro nudo pero de clase $k=4$, en el que únicamente hemos modificado sustancialmente la geometría de la cazoleta para poder alojar las cuatro barras y hemos variado ligeramente las pletinas y el cáncamo-guía para evitar colisiones entre elementos. Por lo tanto, todos los objetivos se cumplirán satisfactoriamente puesto que es una evolución del nudo de clase $k=2$, y en consecuencia hemos seguido la misma metodología y técnica para el diseño del mismo. A continuación, se muestran dos imágenes para comprobar que el acople de un nudo $k=4$ es igual de óptimo que el de $k=2$:

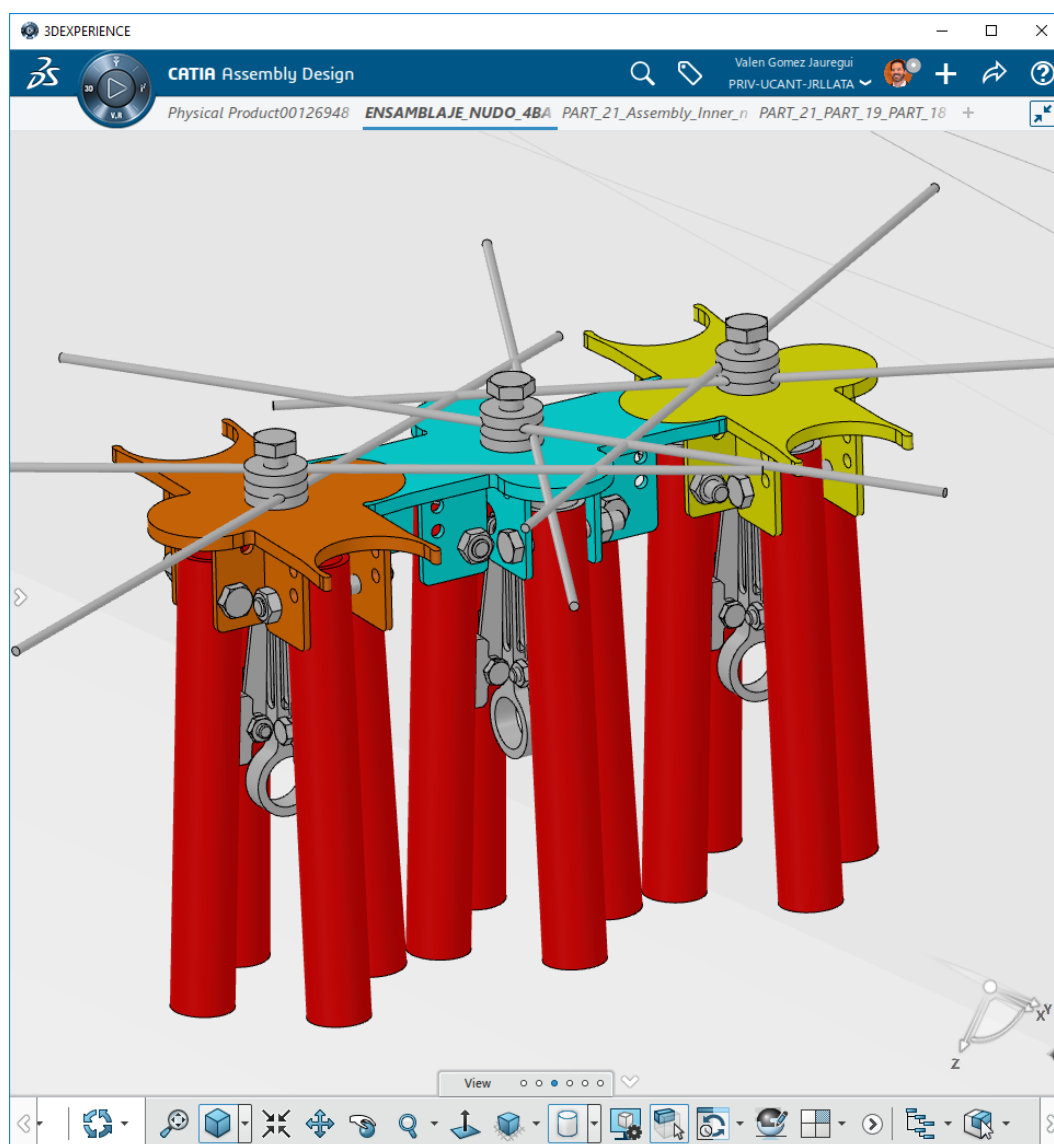


Figura 123. Resultados. Acoplamiento nudo $k=4$ (vista en perspectiva)

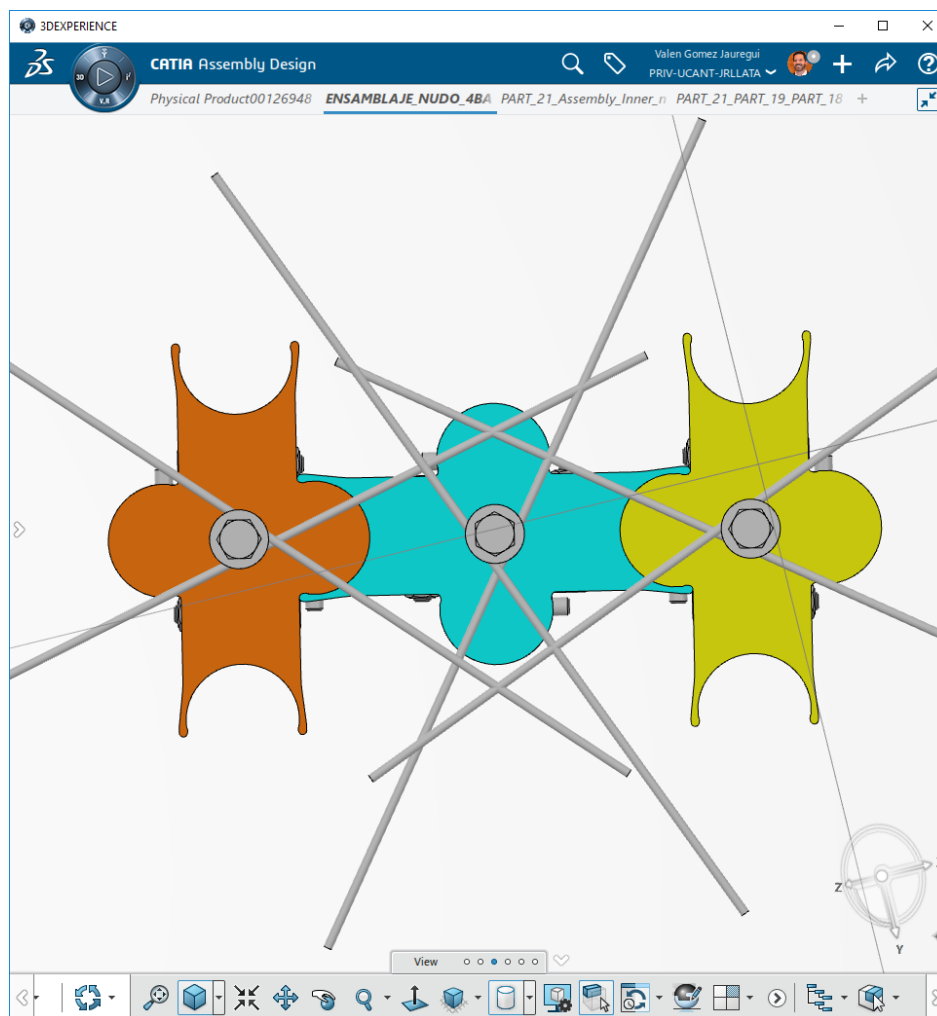


Figura 124. Acoplamiento nudo k=4 (vista en planta)

6. CONCLUSIONES TÉCNICAS

El proceso de modelado del nudo de conexión ha resultado satisfactorio, cumpliendo ampliamente con los objetivos iniciales y siendo éste un diseño conferido a través de elementos mecánicos, simples, ligeros, manejables y sencillos de fabricar y ensamblar. Así, hemos conseguido asegurar la simetría entre barras, hemos garantizado un acoplamiento eficaz entre nudos y barras tal que los nudos se fijen con facilidad y no se separen involuntariamente cuando la estructura se encuentra totalmente plegada y, hemos permitido una amplia variedad de tipologías de malla a través de los cables radiales. Además, hemos realizado una evolución de dicho nudo, de tal forma que éste permita alojar cuatro barras en su seno (clase $k=4$). Por último, hemos realizado un análisis de tensiones de los nudos, los cuales han garantizado la viabilidad de nuestros diseños.

Con todo ello, el autor del presente proyecto junto con los miembros del grupo de investigación EgiCAD de la Universidad de Cantabria, hemos publicado una patente del presente nudo cuya portada de la solicitud se puede visualizar en el Documento II: Anexos (Anexo III).

Por otro lado, hemos redactado un artículo de divulgación científica para la *International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing (JCM 2018)*, que versa sobre el novedoso software de modelado CAD usado en el presente proyecto y que se explica más detalladamente en el apartado 7. Software de trabajo del presente proyecto y que, además, se puede leer en el Documento II: Anexos (Anexo I) junto con la portada del programa JCM 2018 y la página concreta de éste dónde se encuentra la hora y día en la que se ha expuesto el mencionado artículo.

7. SOFTWARE DE TRABAJO

El presente TFG ha sido modelado y analizado íntegramente con 3D Experience Platform, el sofisticado y reciente desarrollo de Dassault Systèmes. Dicha plataforma surge como consecuencia de la era totalmente digitalizada en la que vivimos, comúnmente conocida como Industria 4.0 o Industria del Futuro (IoF – Industry of the Future).

En la actualidad, hay diferentes softwares de modelado CAD aplicados a la ingeniería industrial desarrollado por multitud de empresas de gran prestigio como Autodesk (AutoCAD, Inventor), Siemens PLM Software (Solid Edge, NX Unigraphics), Dassault Systèmes (Catia, Solid Works), Bentley Systems (Microstation, ProjectWise), etc. Una de las principales características de estos softwares es la posibilidad de trabajar en un entorno compartido [7]. Ejemplo de ello, es Vault (creado por Autodesk), PLM (creado por Siemens), Creo (creado por PTC) o Bentley software.

Una de las organizaciones más competitivas a nivel mundial en software de modelado y diseño 3D es Dassault Systèmes, la cual proporciona universos virtuales a empresas e individuales con objeto de crear innovaciones sostenibles. Todo ello, se logra a través de su software más sofisticado como Catia [8] -software de diseño 3D, desarrollo y análisis de productos-, Delmia -software para la ingeniería de procesos de fabricación que permite planificar, administrar y aprovechar mejor el tiempo-, Simulia -software que proporciona simulaciones reales y análisis por elementos finitos (MEF)- o Enovia -software que permite administrar y almacenar toda la información relacionada con materiales, geometrías, modificaciones o proyectos en general.

De acuerdo con la Industria 4.0, Dassault Systèmes crea 3D Experience Platform [9], una plataforma colaborativa que integra algunos de los softwares de Dassault Systèmes en un único entorno de trabajo. Esta plataforma online ofrece aplicaciones líderes en la industria para cada uno de los departamentos de una empresa, desde el de compras y marketing hasta departamentos más técnicos, como los de la ingeniería. 3D Experience Platform (ver Figura 125) incluye varios de los softwares más punteros de Dassault Systèmes: Catia, Delmia, Simulia y Enovia. Catia, es el software usado fundamentalmente en este proyecto para el modelado y diseño de nuestro nudo en tres dimensiones, y Simulia, lo hemos utilizado para estudiar la viabilidad de nuestro nudo a través de su análisis y cálculo de tensiones por elementos finitos. Por otro

lado, Delmia y Enovia, permiten gestionar el proceso de producción de una fábrica y almacenar grandes cantidades de información sobre materiales, geometrías, etc.

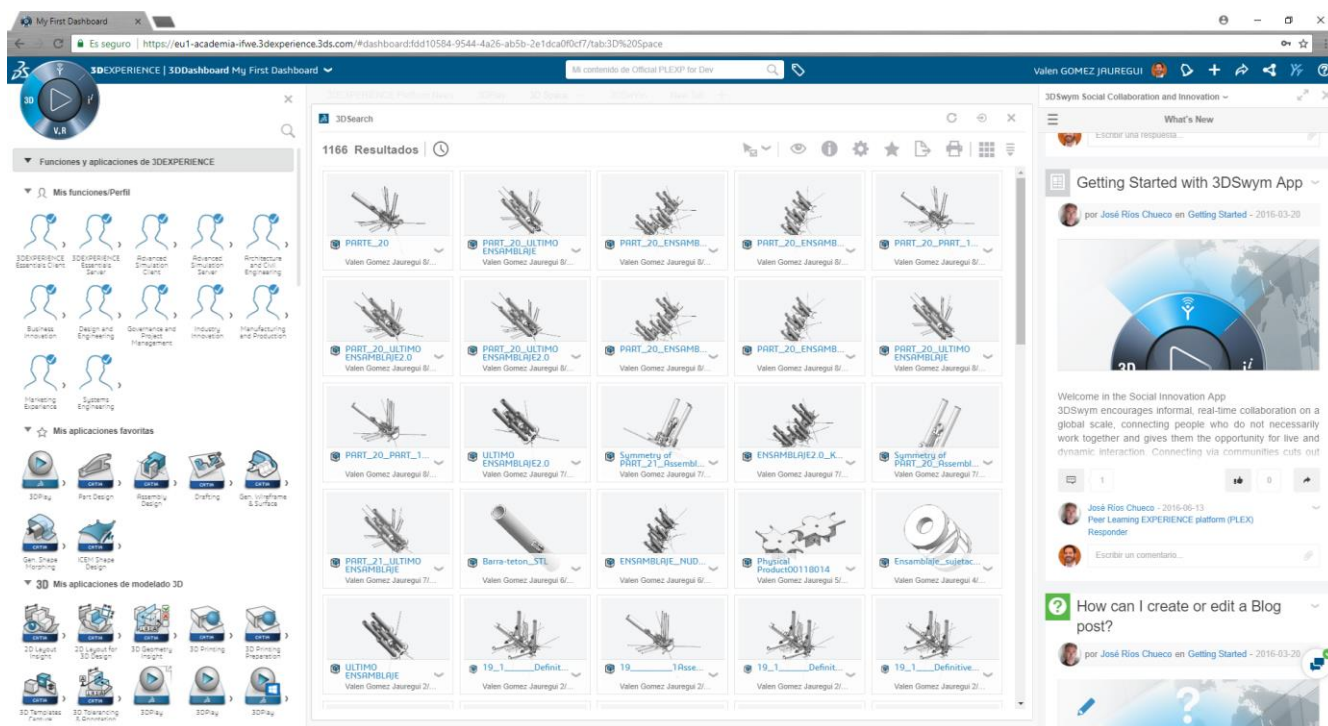


Figura 125. 3D Experience Platform

La plataforma está organizada en cuatro grandes bloques, que son los característicos de su logo: Aplicaciones de modelado 3D, Aplicaciones de simulación y contenido, Aplicaciones de inteligencia y Aplicaciones Sociales y colaborativas. La primera de ellas, Aplicaciones de modelado 3D, en el que los usuarios tienen acceso a la herramienta más potente de Dassault Systèmes –Catia- a través de sus diferentes módulos como Part Design, Assembly, Drafting, etc. En las Aplicaciones de simulación y contenido nos encontramos con los softwares Delmia (ver Figura 126) y Simulia, con los que podremos emular cualquier mecanismo y diseño. En las Aplicaciones de inteligencia, tenemos acceso a herramientas básicas como calculadora, e-mail o el bloc de notas. Finalmente, las Aplicaciones sociales y colaborativas es una de las secciones más interesantes de 3D Experience Platform, ya que podemos tener acceso a Enovia (ver Figura 127) y, además, nos permite trabajar en la nube, de forma que todos los usuarios pueden administrar sus proyectos en un entorno común y colaborativo, estando continuamente en contacto a través del chat online.

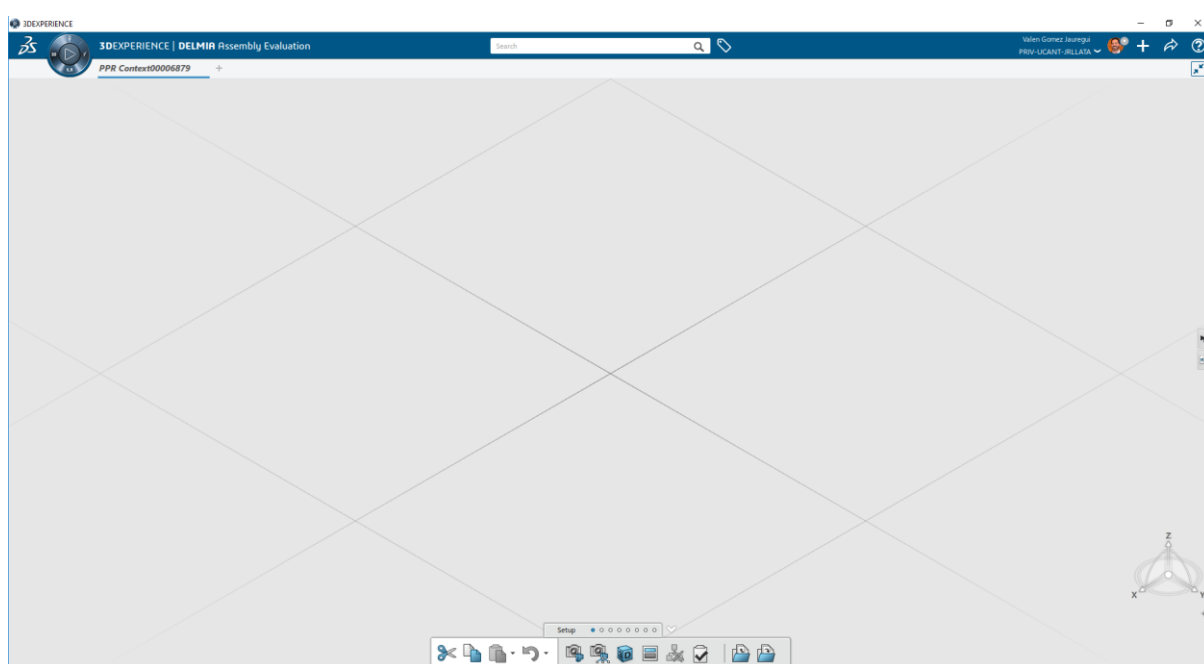


Figura 126. Delmia en 3D Experience Platform

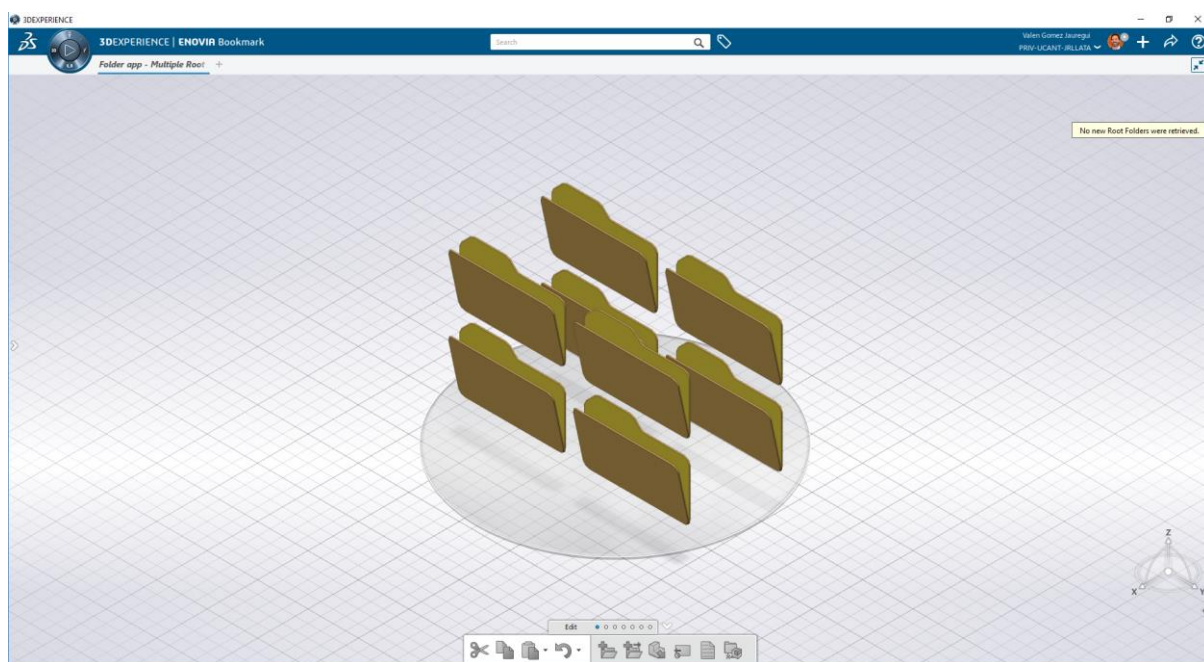


Figura 127. Enovia en 3D Experience Platform

3D Experience Platform está disponible como software local y, además, en un entorno de nube pública o privada, lo que transformará la forma de hacer negocios de las empresas ya que aporta un valor añadido en el sector de la innovación. Por lo tanto, esta opción ofrece una experiencia rentable y sin problemas, adaptabilidad y flexibilidad, una mejora colaborativa a nivel mundial, seguridad y eficiencia.

Como hemos mencionado, 3D Experience Platform tiene acceso al entorno de la nube. A pesar de ello, esta característica no es nueva en el mundo de la informática, ya que otras aplicaciones como Google Drive, iCloud, Dropbox, Office 365 o Autodesk 360 disponen de esta aplicación. La nube, característica de la Industria 4.0, tiene numerosas ventajas como el uso eficiente de la energía, la posibilidad de trabajar en un entorno común con otras empresas o la posibilidad de prescindir de un determinado tipo de software si solamente se va a usar para una mera visualización. Sin embargo, también tiene algunas desventajas como la dependencia a Internet o que puede dar lugar a problemas por temas de seguridad.

Otra de las principales novedades de 3D Experience Platform, es la posibilidad de aprender a usar dicha plataforma y cada una de sus aplicaciones de una forma interactiva y colaborativa entre expertos, universidades y personas con los mismos intereses. Para ello, Dassault Systèmes ha creado varios portales web. Uno de ellos es Peer Learning Experience (PL'EXP) [10], el cual ofrece material didáctico a través de la nube de una pluralidad de temas como ingeniería, diseño, gestión de proyecto, etc. Así, los contenidos son compartidos por una diversidad de personal, por lo que la calidad del material mejora constantemente. De hecho, los usuarios tienen acceso a tutoriales de todos los módulos de 3D Experience Platform, material usado por el autor del presente proyecto para iniciarse en el uso de 3D Experience Platform. Otro de los portales web es Companion Learning Space [11], donde expertos y aprendices pueden navegar en búsqueda de información sobre tecnología e ingeniería. Además, los usuarios pueden filtrar sus búsquedas por nivel de dificultad, sector de la ingeniería que más les interesa o el software específico de Dassault Systèmes que desean usar.

Tanto PL'EXP como Companion Learning Space están basados principalmente en el aprendizaje basado en problemas o Project-Based Learning (PBL). PBL es un importante método pedagógico basado en los estudiantes como protagonistas de su propio aprendizaje y en la necesidad de cambiar el concepto de la educación actual, en la cual los estudiantes adquieren conocimientos sin saber la utilidad o el sentido que tienen en la vida práctica. Para ello, el trabajo colaborativo es esencial, ya que los estudiantes pueden compartir información en la que son expertos así como ampliar conceptos de otros temas a través del estudio y realización de tutoriales o trabajos de otras personas [12]. En este contexto, la Universidad de Cantabria proporciona material didáctico (diseño 3D, ensamblaje, realización de planos, etc.), el

cual proporciona un valor añadido tanto a expertos como a aprendices (ver Figura 128).

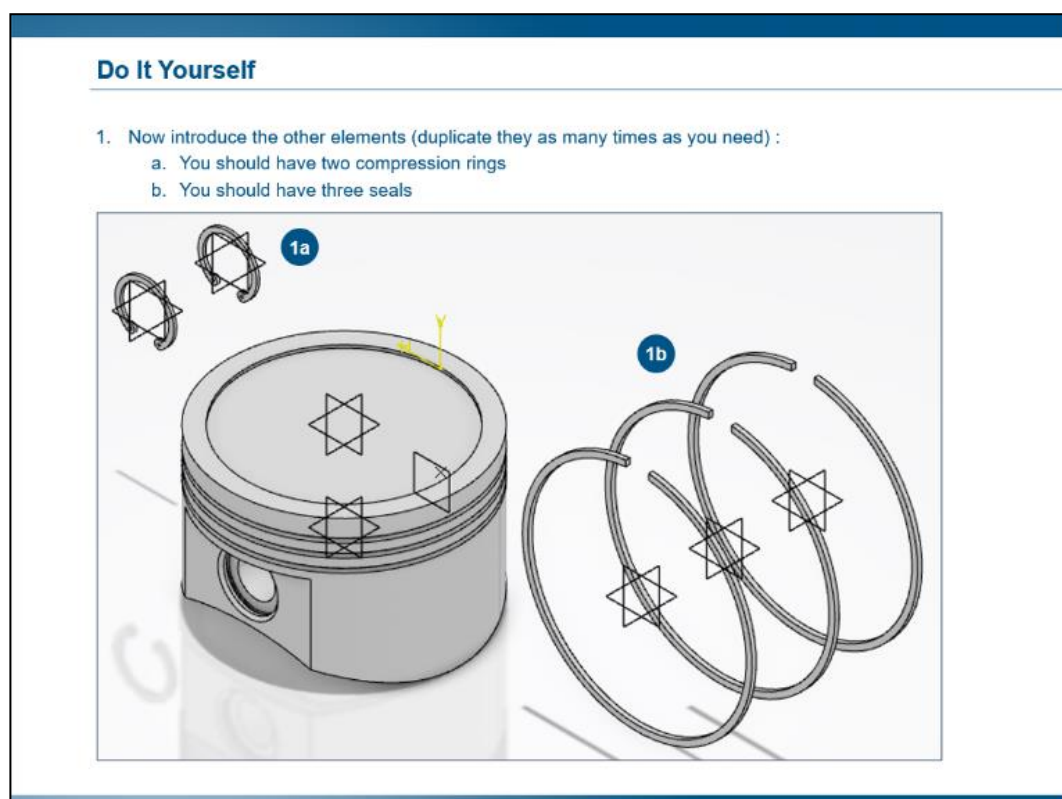


Figura 128. Ejemplo de material docente creado por la Universidad de Cantabria

En particular, el autor del presente TFG, durante la realización del mismo, ha participado en la creación de material docente para Dassault Systèmes sobre programación VBA (Visual Basic por Applications) (ver Figura 129). **Figura 129. Material docente creado por el autor del presente proyecto para Dassault Systèmes**). Hasta llegar a la creación de los tutoriales ha habido un proceso de aprendizaje, ejemplo de ello puede ser el TFG de Ángel Caballero Bazán [13], donde se da una pequeña iniciación sobre programación en Catia V5, explicando su entorno, la interfaz, cómo grabar una macro y otros conceptos de vital importancia para la programación. Además, hemos visualizado foros de Catia [14] [15], así como otras páginas web dónde información muy interesante sobre líneas de código para comandos específicos [16].

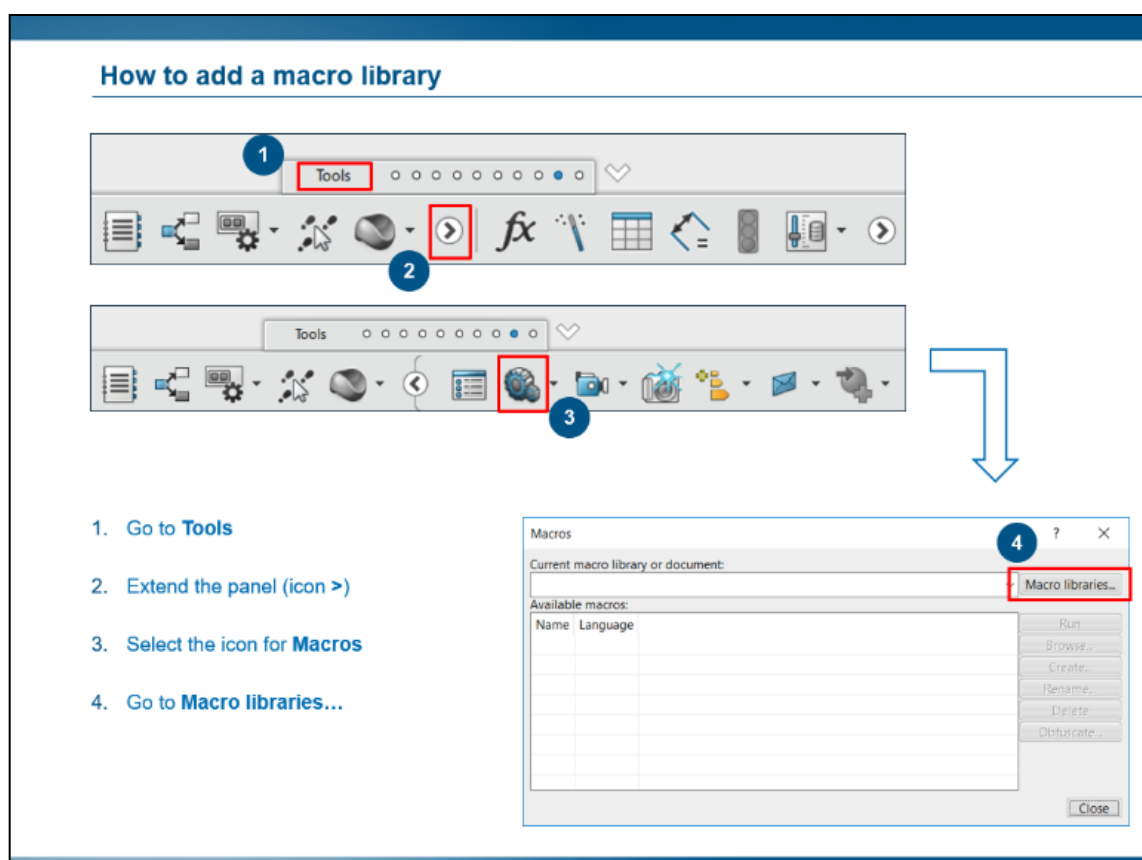


Figura 129. Material docente creado por el autor del presente proyecto para Dassault Systèmes

A pesar de las diferentes ventajas que tiene 3D Experience Platform, hay que tener en cuenta que aún está en proceso de desarrollo, por lo que algunas características deben ser mejoradas. Una de ellas es la velocidad del software, ya que en ocasiones tarda demasiado tiempo en ejecutarse los comandos. En esta línea, hay que añadir un problema que ocurre con cierta frecuencia: la imposibilidad de acceder a la plataforma o a algunos de sus aplicaciones, bien por periodos de mantenimiento o, simplemente por fallos del sistema. Por último, sería interesante añadir algunos otros módulos de Dassault Systèmes, como por ejemplo Geovia, para modelar y simular el entorno natural de las infraestructuras.

Todo ello, ha sido objeto de un artículo de divulgación científica para la *International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering and Advanced Manufacturing (JCM 2018)*, por parte del autor del presente proyecto junto con miembros del grupo

EgiCAD de la Universidad de Cantabria, cuyo título es *Education for the Industry of the Future (IoF) with 3D Experience Platform* [17] y que se puede encontrar en el Documento II: Anexos (Anexo I).

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gómez-Jauregui V.; Quilligan M.; Manchado C.; Otero C. Design, Fabrication and Construction of a Deployable Double-Layer Tensegrity Grid. *Structural Engineering International*, Volumen 28, **2018**, Páginas 13-20. DOI: 10.1080/10168664.2018.1431379
- [2] Gómez-Jáuregui V.; Métodos CAD/CAE aplicados a la generación de nuevas mallas tensegríticas de doble capa. Tesis doctoral. Universidad de Cantabria, **2015**
- [3] Gómez-Jáuregui V; Otero C.; Manchado C.; Iglesias A.; Gálvez A.; Quilligan M.; Casey T. Nudo de conexión para estructuras desplegables. Patente ES2555635B2, **2016**
- [4] García A.; Diseño de una cúpula mediante nudo paramétrico para la cubrición del monumento Jose María Pereda. Trabajo fin de grado, Universidad de Cantabria, **2016**
- [5] Cavia Sorret P. Las mallas espaciales y su aplicación en cubiertas de grandes luces. *Teoría y técnicas de edificación*, **1993**
- [6] Gómez-Jauregui V. Tensegridad, estructuras tensegríticas en ciencia y arte. Universidad de Cantabria, **2007**. ISBN: 9788481024371
- [7] J.Y.H. Fuh; W.D. Li. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the-art. *Computer-Aided Design*, Volumen 37, **2005**, Páginas 571-581, ISSN 0010-4485, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.005>
- [8] Software Catia. Disponible online: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>, último acceso Junio 2018
- [9] 3D Experience Platform. Disponible online: <https://www.3ds.com/>, último acceso Junio 2018

[10] Peer Learning Platform. Disponible online: "<https://academy.3ds.com/plexp>", último acceso Junio 2018.

[11] Companion Learning Space. Disponible online: <https://companion.3ds.com/CompanionManager/ui/#/user/>, último acceso Junio 2018

[12] Maldonado M. Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. Volumen 14, **2008**, Páginas 158-180

[13] Caballero A. Fundamentos de programación de Visual Basic en CATIA V5. Aplicación al diseño de engranajes rectos y helicoidales de ejes paralelos. Trabajo fin de grado, Universidad de Sevilla, **2014**

[14] Foros Catia. Disponible online: <http://foroscatia.geo3d.es/>, último acceso Junio 2018

[15] Community of experts of Dassault Systèmes Solutions. Disponible online: <http://www.coe.org/>, ultimo acceso Junio 2018

[16] CATIADOC. Disponible online: <http://catiadoc.free.fr/>, último acceso Junio 2018

[17] Gómez-Jáuregui; Cue-Palencia F.; Manchado C.; Otero C. (). "Education for the Industry of the Future (IoF) with the 3D Experience Platform". Proceedings of the International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing (JCM 2018), 20-22 June **2018**. Cartagena, Spain. pp. 215-216. ISBN 978-84-16325-71-9.

DOCUMENTO II

ANEXOS

1. ARTÍCULO PARA CONFERENCIA JCM

Education for the Industry of the Future (IoF) with 3D Experience Platform

Abstract

The role of universities is essential for the divulgation of the competences of the Industry of the Future (IoF) in students around the world. Therefore, the existence of different CAD software for Industrial Engineering, developed by several computer software companies (e.g. Autodesk, Siemens, Dassault Systèmes or Bentley Systems among many others), together with its possibility of working in a shared environment have vital importance. In this way, Dassault Systèmes, one of the most recognized software modeling company in the world, created 3D Experience Platform. This platform jointly includes some of the programs of the Dassault Systèmes package such as Catia, Delmia or Enovia. Moreover, it is available on the premises and in a public or private cloud environment, where there is the Peer Learning Experience Platform, which offers teaching material, mainly based on Project-Based Learning (PBL). These characteristics make it an important tool for the future of the engineering world, in accordance to Industry 4.0, in which some Spanish universities currently have a key role.

Keywords: Industry of the Future; 3D Experience; Peer Learning; Education; Design

1 Introduction

Since the second half of the 18th century to the present, the industry has undergone profound changes to adapt to the demand and to take advantage of the technology of the moment (Fig. 1 shows schematically this evolution). It all started with one of the most important changes in the history of mankind: The First Industrial Revolution. It began in the 18th century in United Kingdom (UK) with appearance of the steam engine, which was applied to new means of transport such as rail and steamboat. This meant a great social, economic and technological change throughout the world. In the 19th century, The Second Industrial Revolution emerged with new sources of gas, oil or electricity, as well as other major appearances like automobile, telephone or radio. In the middle of the 20th century, The Third Industrial Revolution (also called “the digital revolution”) arose, more focused on renewable energies, process automation and the use of the Internet [1]. The current industrial revolution is called Industry 4.0 or Industry of the Future (IoF). It was originated in 2011 by the German government to describe the intelligent factory, a vision of computerized information with all processes interconnected by Internet of Things (IoT). IoF consists of the digitalization of the productive processes of the factories through sensors and information systems to transform and make them more efficient. For this purpose, it is necessary the incorporation of new technologies to the industry such as artificial intelligence, cloud computing, Big Data, IoT, augmented reality, cybersecurity or robotics (Fig. 1).

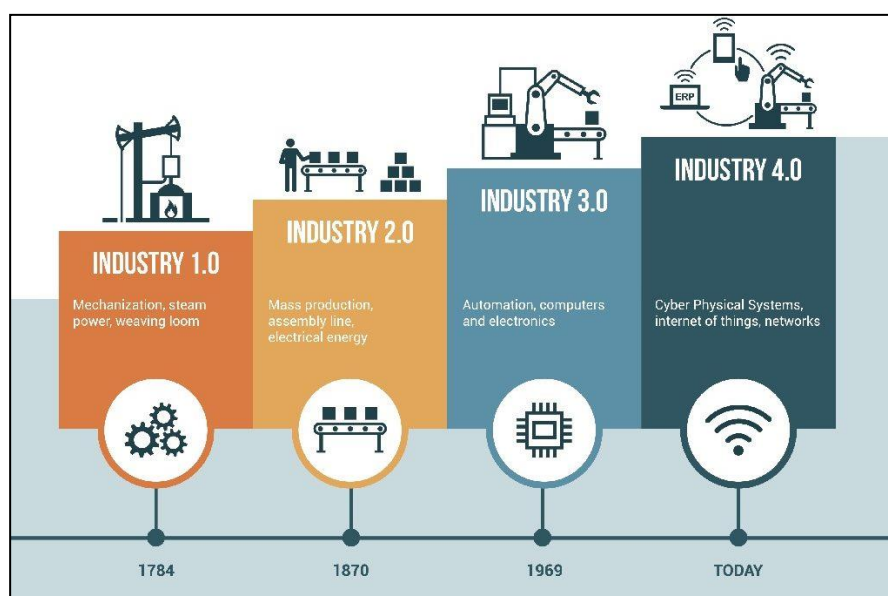


Fig. 1. Evolution of the industry at world level. (Source : <http://www.aberdeenessentials.com/opspro-essentials/industry-4-0-industrial-iot-manufacturing-sneak-peek>)

In Spain, IoF is also being implemented little by little. One of the most interesting ways of establishing all the competences and skills of this revolutionary industrial movement in the whole society is through education. For this reason, the role of the universities is vital because, nowadays, some engineering students finalize their academic degrees without receiving the adequate training in the face of a highly technological society [2]. Specially, in the industrial and engineering sector there are some specific aspects that should be disseminated in the education world: i) knowledge and competences on computational technologies (mainly programming), ii) understanding and competences in planning and management of project, and iii) competences in teamwork [3]. Moreover, engineering students must be trained in technical knowledge, practical tasks, skills in CAX (Computer-Aided Applications, which refers to the use of computer technologies associated with the lifecycle of a product such as CAD, CAM, CAE, CAID, among others) and collaborative work skills, that is, Project-Based Learning (PBL).

In particular, the role of teachers and teaching staff is essential because current engineering students will be a fundamental part of human evolution and they will have to work in a context of Industry 4.0 (maybe even version 5.0 to come). The Universidad de Cantabria, with eleven other Spanish universities - Cádiz, Jaén, Jaume I Castellón, León, Mondragon, Basque Country, Politècnica de Catalunya, Politècnica de Madrid, Sevilla, Vigo and Zaragoza -, three French universities - ENI Metz, EC Nantes and U. Versailles S-Q-Y - and one Italian university - Politecnico di Milano - have participated in different workshops, seminars, webinar, etc. for the coordination of the project named “Accelerating the adoption of Industry of Future (IoF) supporting technologies by Spanish Universities” [3]. This project was partially organized by La Fondation Dassault Systèmes, establishing as the main topic the great importance that universities have for dissemination of the competences of IoF. This project is focused on three main objectives:

- Accelerate the adoption of learning practices and competences in IoF technologies, in particular, related to CAX-PLM in the manufacturing area.
- Harmonize the lecturing practices and educational material to contribute actively to an international community of educators with similar motivation in the field
- Improve the students’ learning experience, their digital competences in IoF and, consequently, their employment perspectives.

There also exist some other similar projects, such as “Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework” [4]. This project is about the importance that some applications like Computer-Aided Applications (CAx) or Product Lifecycle Management (PLM) can have in the development of Industry 4.0.

This communication does not intend to show an experimental research project or a study case, but to show the capabilities of the teaching methodology supported by a certain software. Therefore, the next stage will be to design an experiment for researching about the efficiency of the method based on the teachers’ opinion, the academic results and the students’ feedback.

2 Present about CAD model and 3D design software

Currently, there are multiple modelling CAD software [5] for Industrial Engineering developed by several computer software companies, such as Autodesk (e.g. AutoCAD, Inventor), Siemens PLM Software (e.g. Solid Edge, NX Unigraphics), Dassault Systèmes (e.g. Catia, Solid Works), Bentley Systems (e.g. Microstation, ProjectWise), etc. These CAD solutions have many applications for the real engineering products, which are used by leading companies. One of the main characteristics of some of these types of software is the possibility of working in a shared environment, which allows to users to save, manage and share models and files directly online [6]. Among many others, an example of working collaboratively is Vault, by Autodesk, that allows each member of the team to work without changing the data of the other co-workers and sharing the projects with people outside the design group. Other example is PLM, by Siemens, that offers the management and administration of information throughout the lifecycle of a product, which allows to design, produce and control all features of the product with a single software. We can also mention Creo, by PTC, which is a software that offers the possibility of working in a multi-CAD environment in order to avoid inefficiencies and redundancies. Finally, any Bentley software offers a collaborative environment that allows to share content and products in a more controlled and managed environment.

One of the most competitive organizations recognized worldwide in modelling software and 3D design is Dassault Systèmes. This company provides virtual universes to business and people in order to imagine sustainable innovations. All of this is achieved with the help of its sophisticated software as Catia [7] -software of 3D design, product development and analysis-, Delmia -software for the engineering of the manufacturing processes that allows to plan, manage and take better advantage of the time-, Simulia -software that provides realistic simulation and Finite Element Analysis (FEM)- or Enovia -software that allows to manage and store all the information related to materials, geometries, modifications or projects in general.

3 3D Experience Platform on the cloud

In accordance with the Industry 4.0 or IoF, Dassault Systèmes created the 3D Experience Platform [8], a collaborative platform that integrates some of their software in a unique working interspace. This online platform provides industry-leading applications for each of the company’s departments, from sales marketing to engineering: Design & Engineering, Manufacturing & Production, Simulation, Governance & Lifecycle, 3D Design Experience for Professionals, as well as a broad catalog of services that were also included in the original packages of Catia, Simulia and Delmia.

Thanks to a single user-friendly interface, it encourages industry solution experiences, based on 3D design software, analysis, simulation and intelligence in an interactive collaborative environment. It is available on the premises and in a public or private cloud environment, which will transform the way companies do business due to it brings value on the innovation side. So, this possibility offers cost effective and seamless experience, adaptability and flexibility, improve collaboration globally and, security and efficiency.

The platform allows the user to register in the different roles or profiles depending on their position in the company or entity. This platform is divided mainly into four sections, corresponding to the four parts of its characteristic logo. These are: 3D Modelling Apps, Content and Simulation Apps, Information Intelligence Apps and Social & Collaborative Apps. In the section of 3D Modelling, the users have access to the most powerful mechanical design software of Dassault Systèmes -Catia- along with all its characteristic modules such as Part Design, Drafting, Generative Wireframe & Surface, etc. In the simulation section users have access to the Delmia and Simulia software, very useful tools to emulate and simulate different mechanisms and designs. In Information Intelligence Apps, there are basic tools like calculator, mail or web notes. Finally, the collaborative section is one of the most interesting parts of 3D Experience Platform, allowing the users to relate their work environment through the cloud in a simple way and to contact colleagues immediately via chat.

3D Experience Platform has access to the cloud environment (Fig. 2). This technology is not new, and some other trending applications work also on the cloud. Applications based on cloud computing (like Google Drive, iCloud, Dropbox, Office 365 or Autodesk 360 among many others) have numerous advantages, such as efficient use of the energy, possibility of working in a common environment with other companions or that the client can dispense with installing any kind of software. However, it also has some disadvantages like the availability of applications depends on the Internet connection, the security issues or the software size, which means that for some applications it is needed to have a powerful computer.

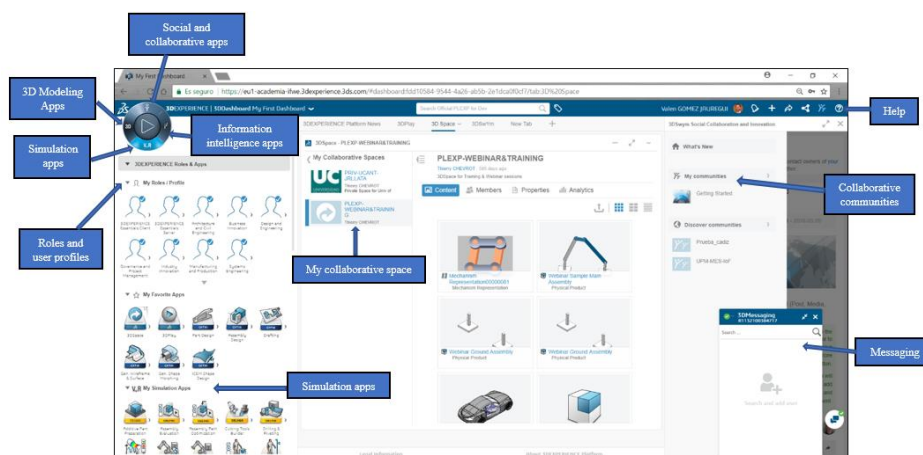


Fig. 2. Graphical user interface on the 3D Experience on the cloud Platform

It must be taken into account that 3D Experience Platform is still under development. This implies that some features of the platform should be improved. One of the main aspects to enhance is the speed of the software, since it usually takes some time to execute the commands. In this context, other typical problem of 3D Experience Platform is that it is often not possible to access it, sometimes due to maintenance periods or simply due to systems crashes. Moreover, it could be interesting to include some other solution modules like Geovia for modelling and simulating the natural environment of the infrastructures.

4 Peer Learning Experience and Companion Learning Space

Nowadays, we are immersed in a process of change that involves a qualitative leap in the educational model of the European Union. It is derived from the different agreements reached by the European Union to build a European Higher Education Area (EHEA). For this reason, the skills and abilities that society demands of its future professionals is a fundamental aspect that must be considered in the design of any educational strategy [9]. In this context, 3D Experience Platform provides a web portal that offers on-cloud teaching material of

PL'EXP and Companion Learning Space are mainly based in Project-Based Learning (PBL), which is a very important concept for education. It is a pedagogical method based on students as protagonists of their own learning

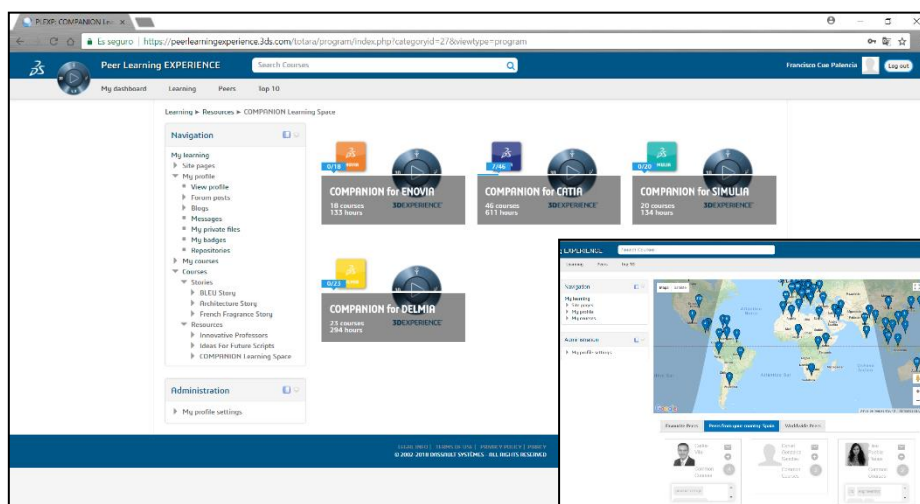


Fig. 3. Peer Learning Experience Platform: Learning and Peers Sections (lower right corner)

Apart from PL'EXP, Dassault Systèmes provides another web portal to start or reinforce knowledge about 3D Experience Platform. This cybernetic resource is Companion Learning Space [11], where experts and apprentices can navigate in search of information about science or engineering. Furthermore, the users can filter their searches by level of difficulty, engineering sector in which you are interested or specific software of Dassault Systèmes you wish to use it (e.g. Catia, Delmia, Enovia, etc.) (Fig. 4).

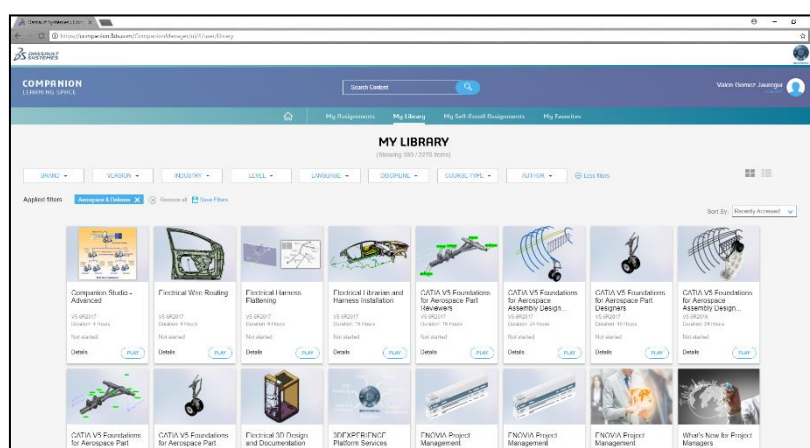


Fig. 4. Companion Learning Space

in which the acquisition of knowledge takes a fundamental factor. It is based on the need to change the concept of the current learning in which, sadly, the students acquire concepts without knowing their usefulness or what sense it has in practical life. In this way, collaborative work is essential since students can share information in which they are specialists as well as expand information by observing the projects and work of other people [12]. In this context, the Universidad de Cantabria supplies teaching material (e.g. tutorials about designing, assembling, drafting, programming, etc.), which provides added value for both educators and apprentices because, at the same time, it is an innovative and efficient way to learn and teach (Fig. 5 and Fig. 6).

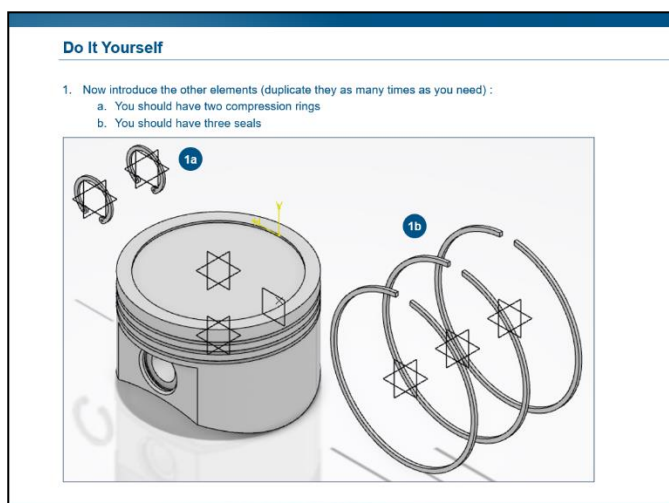


Fig. 5. Example of teaching material (Assembling tutorial) created by Universidad de Cantabria

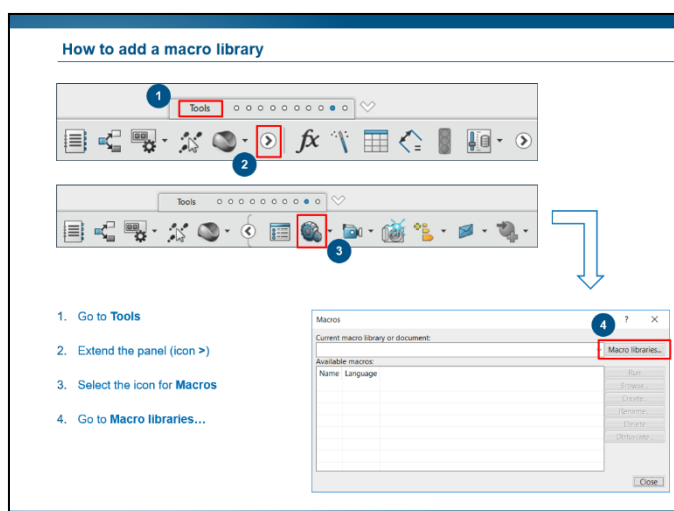


Fig. 6. Example of teaching material (Programming tutorial) created by Universidad de Cantabria

In addition, PBL method offers an essential role to students, avoiding their passive character and, therefore, facilitating them to work actively and critically in their tasks. This learning method is in the vein of Industry 4.0 and it has several advantages:

- Developing skills and competences like collaboration, project planning, communication, decision making and time management by students.
- Increasing motivation.

- Preparing students better to face real problems.
- Increasing students' self-esteem and self-confidence.
- Learning in a practical way the use of science and technology.

Conclusions

In all probability, software applications like the 3D Experience Platform will be useful tools for the future of the engineering, improving the life of the whole society, in accordance with the IoF. For this, the role of the universities will be of vital importance, since they will have the possibility of providing and disseminating all the skills and competences for a highly technological society. Therefore, self-learning platforms, like Peer Learning Platform, are based on the students as the protagonists of their own learning process. This can be very positive, being their skills able to improve progressively through the material uploaded to the platform by their peers, in accordance with the Project-Based Learning (PBL) pedagogical system. Moreover, both 3D Experience and Peer Learning Platforms will be accessible to all engineering companies, providing a connection to the whole planet through the cloud, simply by accessing to Internet.

Further stages will consider the design of an experiment for researching about the efficiency of the method based on the teachers' opinion, the academic results and the students' feedback.

References

- [1] H. Mario; P. Tobias; O. Boris. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *System Sciences, Hawaii International Conference*, **2016**, Print ISSN 1530-1605, DOI 10.1109/HICSS.2016.488
- [2] R. Dolchinkov. Teaching methods in process system computer design, International Conference of Education, Research and Innovation, Seville, Spain, 18-20 November 2013; Pages 5785-5795
- [3] Ríos J.; Mas F.; Marcos-Bárcena M.; Chevrot T. Accelerating the adoption of Industry of the Future (IoF) supporting technologies by Spanish Universities. Unpublished. Available online: <https://www.researchgate.net/project/Accelerating-the-adoption-of-Industry-of-the-Future-IoF-supporting-technologies-by-Spanish-Universities> (accessed on February 2018) **2016**
- [4] Vila C.; Ugarte D.; Ríos J.; Abellán J.V. Project-based collaborative engineering learning to develop Industry 4.0 skills within a PLM framework. **2017**. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.09.050
- [5] Narayan, K. Lalit. Computer-aided design & manufacturing; PHI learning Pvt. Ltd.: New Delhi, India, 2008; p. 3, ISBN 812033342X
- [6] J.Y.H. Fuh; W.D. Li. Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art. *Computer-Aided Design*, Volume 37, Issue 5, **2005**, Pages 571-581, ISSN 0010-4485, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.08.005>
- [7] Catia Software. Available online: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>, last accessed on February 2018
- [8] 3D Experience Platform. Available online: <https://www.3ds.com/>, last accessed on February 2018
- [9] de los Ríos I.; Cazorla A.; Díaz-Puente J.M.; Yagüe J. L.; Project-based learning in engineering higher education: two decades of teaching competences in real environments. *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, Volume 2, Issue 2, **2010**, Pages 1368-1378, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.202>

- [10] Peer Learning Platform. Available online: <https://academy.3ds.com/plexp>, last accessed on February 2018
- [11] Companion Learning Space. Available online: <https://companion.3ds.com/CompanionManager/ui/#/user/>, last accessed on May 2018
- [12] Maldonado M.; Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. Volume 14, Issue 28, **2008**, Pages 158-180



JCM 2018
Cartagena Spain
20th-22nd June



Universidad
Politécnica
de Cartagena

CONFERENCE PROGRAM

International Joint Conference on Mechanics,
Design Engineering and Advanced Manufacturing

20th-22nd June, 2018

Cartagena (Spain)



JCM 2018
Cartagena Spain
20th-22nd June

International Joint Conference on Mechanics,
Design Engineering and Advanced Manufacturing



Universidad
Politécnica
de Cartagena

27



ICM 2018
Cartagena, Spain
20th-22nd June

International Joint Conference on Mechanics,
Design Engineering and Advanced Manufacturing



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Oral Sessions

Friday 22nd June – 11:00-13:00 h.

REPSOL ROOM

Chair: Manuel Paredes

06-010 Education for the Industry of the Future (IoF) with the 3D Experience Platform
Valentín Gomez-Jauregui, Francisco Cue-Palencia, Cristina Manchado and Cesar Otero

06-011 A guide for learning design practice
Rosana Sanz Segura, Arantza Fernández Vázquez, Eduardo Manchado Pérez and Ignacio López Forniés

06-013 Implementation of Learning by doing method in the Graphical Engineering field
Manuel Damián Mañán-Granados, Elidia Beatriz Blázquez-Parra, Patricia Mora-Segado, Laia Miravet-Garret, Francisco J. Ortiz-Zamora, Fernando Gómez-Hermosa and Elena Olvera-García

06-014 Project-based Learning of CAD/CAE Tools for the Integrated Design of Automatic Machines
Giovanni Berselli, Pietro Bilancia and Roberto Razzoli

06-016 Collaborative and Inverse Engineering as methods of teaching innovation for 3d modeling in Graphic Engineering
Francisco Villena Manzanares, Rafael Reina Valle and Juan Gámez González

28



ICM 2018
Cartagena, Spain
20th-22nd June

International Joint Conference on Mechanics,
Design Engineering and Advanced Manufacturing



Universidad
Politécnica
de Cartagena

2. PORTADA DE PATENTE DE NUDO ORIGINAL



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 555 635**

⑫ Número de solicitud: 201500190

⑬ Int. Cl.:

E04B 1/19 (2006.01)

⑭

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

⑮ Fecha de presentación:

03.03.2015

⑯ Fecha de publicación de la solicitud:

05.01.2016

Fecha de la concesión:

25.04.2016

⑰ Fecha de publicación de la concesión:

03.05.2016

⑱ Titular/es:

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (100.0%)
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n
39005 Santander (Cantabria) ES

⑲ Inventor/es:

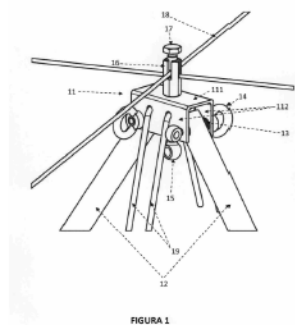
GÓMEZ JÁUREGUI, Valentin ;
OTERO GONZÁLEZ, César Antonio ;
MANCHADO DEL VAL, Cristina ;
IGLESIAS PRIETO, Andrés ;
GÁLVEZ TOMIDA, Akemi ;
QUILLIGAN, Michael y
CASEY, Tom

⑳ Título: **Nudo de conexión para estructuras desplegables**

㉑ Resumen:

Nudo de conexión para una estructura desplegable configurado para aglutinar dos o más barras (12) y recibir una pluralidad de cables (18, 19), que comprende:

- Un núcleo central (11) formado por al menos un módulo de simetría axial, donde cada módulo de simetría axial comprende: un alma (111) y dos alas laterales (112);
- Tantas fijaciones mecánicas (13) como barras (12);
- Tantas fijaciones hembras (14) como fijaciones mecánicas (13);
- Una unión mecánica central (15) configurada para unir un conector cilíndrico (16) al núcleo central (11);
- Un conector cilíndrico (16) configurado para evitar que la unión mecánica central (15, 35) se salga de su alojamiento y para guiar y/o amordazar a varios cables radiales (18);
- Un tope mecánico (17) configurado para evitar que los cables radiales (18) se salgan del conector cilíndrico (16) y para amordazarlos.



ES 2 555 635 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

3. SOLICITUD DE LA NUEVA PATENTE DEL NUDO PROPUESTO

Por temas de confidencialidad, se presenta en siguientes páginas la solicitud de patente desenfocada para que no aparezcan información sensible. Los datos generales de la solicitud de patente son los siguientes:

Modalidad: PATENTE DE INVENCIÓN

Título de la invención: “CONEXIÓN ACOPLABLE PARA ESTRUCTURAS DESPLEGABLES”

Solicitante: UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (NIF Q3918001C)

Inventores: GÓMEZ-JÁUREGUI, V., MANCHADO, C., OTERO, C., IGLESIAS, A., GALVEZ, A., CUE-PALENCIA, F.

Fecha de presentación: 29/06/2018

	GOBIERNO DE LAS ISLAS CANARIAS GOVERNMENT OF THE CANARY ISLANDS		MINISTERIO DEL INTERIOR MINISTRY OF THE INTERIOR
INSTANCIA DE SOLICITUD APPLICATION FORM			
ENTRADA ENTRY		12 00 00 12 00 00	
1. IDENTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD IDENTIFICATION OF THE APPLICATION			
Nombre y apellidos: _____ Name and surnames: _____		Documento Nacional de Identidad: _____ National Identity Document: _____	
Domicilio: _____ Address: _____		Fecha de nacimiento: _____ Date of birth: _____	
Lugar de nacimiento: _____ Place of birth: _____		Fecha de expedición: _____ Date of issue: _____	
2. FOLIO DE LA SOLICITUD SHEET OF THE APPLICATION			
Número de expediente: _____ File number: _____			
12 00 00 12 00 00			
3. IDENTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD IDENTIFICATION OF THE APPLICATION			
Nombre y apellidos: _____ Name and surnames: _____		Documento Nacional de Identidad: _____ National Identity Document: _____	
Domicilio: _____ Address: _____		Fecha de nacimiento: _____ Date of birth: _____	
Lugar de nacimiento: _____ Place of birth: _____		Fecha de expedición: _____ Date of issue: _____	
4. FOLIO DE LA SOLICITUD SHEET OF THE APPLICATION			
Número de expediente: _____ File number: _____			
12 00 00 12 00 00			
5. IDENTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD IDENTIFICATION OF THE APPLICATION			
Nombre y apellidos: _____ Name and surnames: _____		Documento Nacional de Identidad: _____ National Identity Document: _____	
Domicilio: _____ Address: _____		Fecha de nacimiento: _____ Date of birth: _____	
Lugar de nacimiento: _____ Place of birth: _____		Fecha de expedición: _____ Date of issue: _____	
6. FOLIO DE LA SOLICITUD SHEET OF THE APPLICATION			
Número de expediente: _____ File number: _____			
12 00 00 12 00 00			
7. IDENTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD IDENTIFICATION OF THE APPLICATION			
Nombre y apellidos: _____ Name and surnames: _____		Documento Nacional de Identidad: _____ National Identity Document: _____	
Domicilio: _____ Address: _____		Fecha de nacimiento: _____ Date of birth: _____	
Lugar de nacimiento: _____ Place of birth: _____		Fecha de expedición: _____ Date of issue: _____	
8. FOLIO DE LA SOLICITUD SHEET OF THE APPLICATION			
Número de expediente: _____ File number: _____			
12 00 00 12 00 00			
9. IDENTIFICACIÓN DE LA SOLICITUD IDENTIFICATION OF THE APPLICATION			
Nombre y apellidos: _____ Name and surnames: _____		Documento Nacional de Identidad: _____ National Identity Document: _____	
Domicilio: _____ Address: _____		Fecha de nacimiento: _____ Date of birth: _____	
Lugar de nacimiento: _____ Place of birth: _____		Fecha de expedición: _____ Date of issue: _____	
10. FOLIO DE LA SOLICITUD SHEET OF THE APPLICATION			
Número de expediente: _____ File number: _____			
12 00 00 12 00 00			

PLATE 0100

SECTION 1. GENERAL INFORMATION Name of the person or entity: _____ Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____		Date of birth: _____ Date of issue: _____ Date of expiration: _____
SECTION 2. IDENTIFICATION Description of the person or entity: _____ Identification number: _____ Signature: _____		
SECTION 3. VERIFICATION Verification of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____ Verification of the signature: _____		

SECTION 4. ADDITIONAL INFORMATION

Name of the person or entity: _____ Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____	Name of the person or entity: _____ Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____	Name of the person or entity: _____ Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____	Name of the person or entity: _____ Address: _____ City: _____ State: _____ Zip: _____
--	--	--	--

SECTION 5. SIGNATURE AND VERIFICATION

Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____
--	--	--	--

SECTION 6. VERIFICATION OF THE SIGNATURE

Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____
--	--	--	--

SECTION 7. VERIFICATION OF THE IDENTIFICATION NUMBER

Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____
--	--	--	--

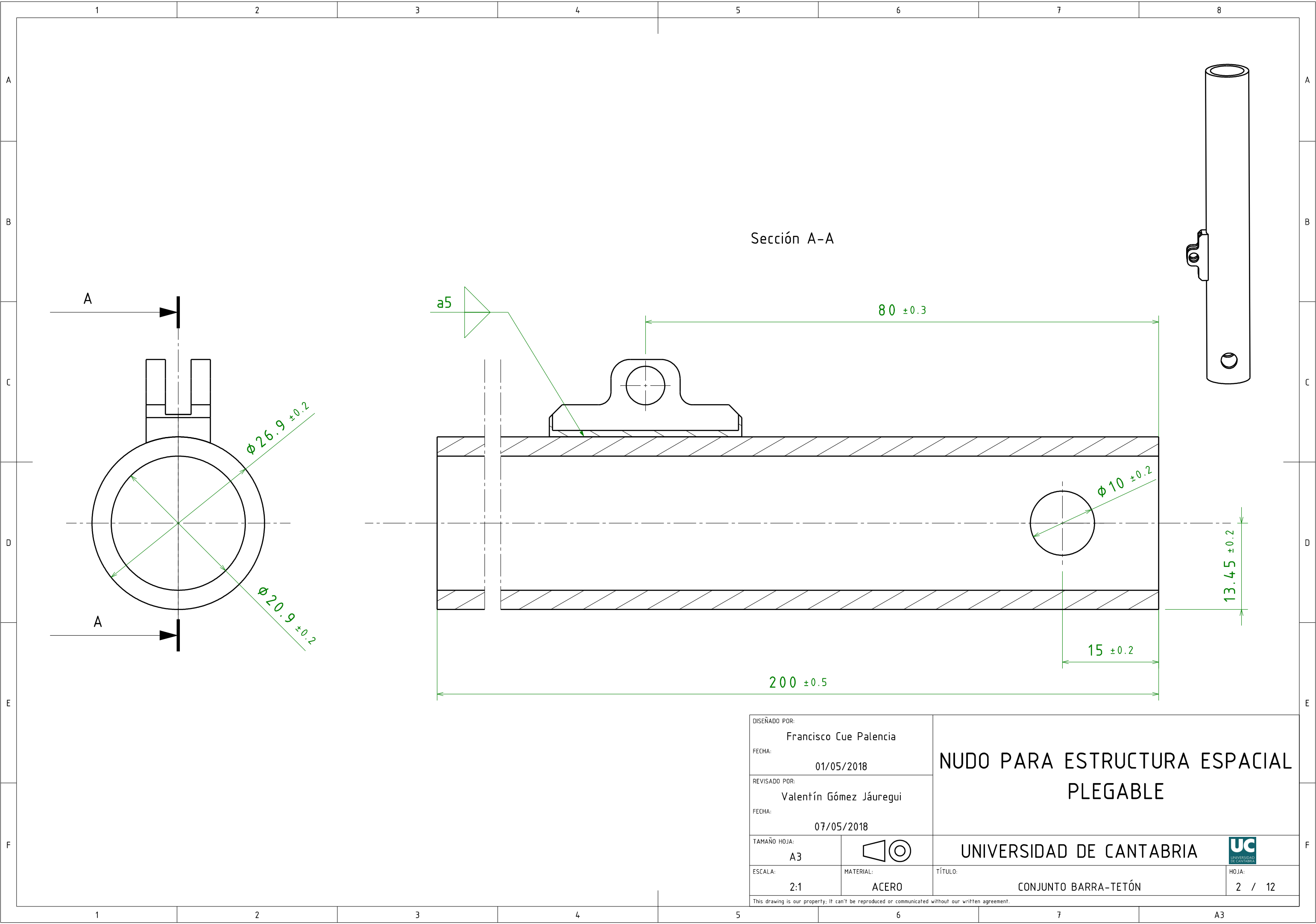
SECTION 8. VERIFICATION OF THE SIGNATURE AND IDENTIFICATION NUMBER

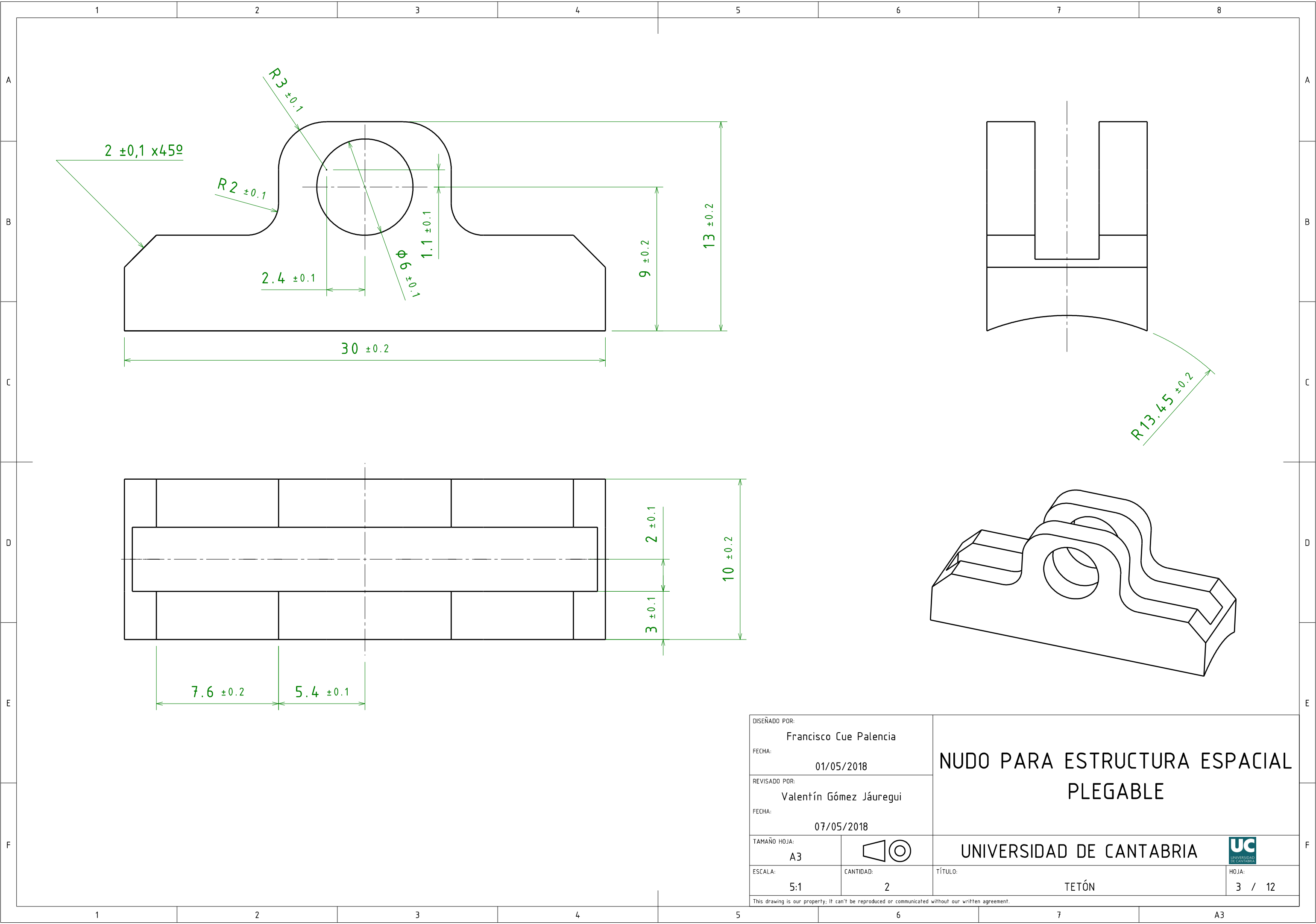
Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____ Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____ Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____ Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____	Signature of the person or entity: _____ Verification of the signature: _____ Identification number of the person or entity: _____ Verification of the identification number: _____
--	--	--	--

DOCUMENTO III

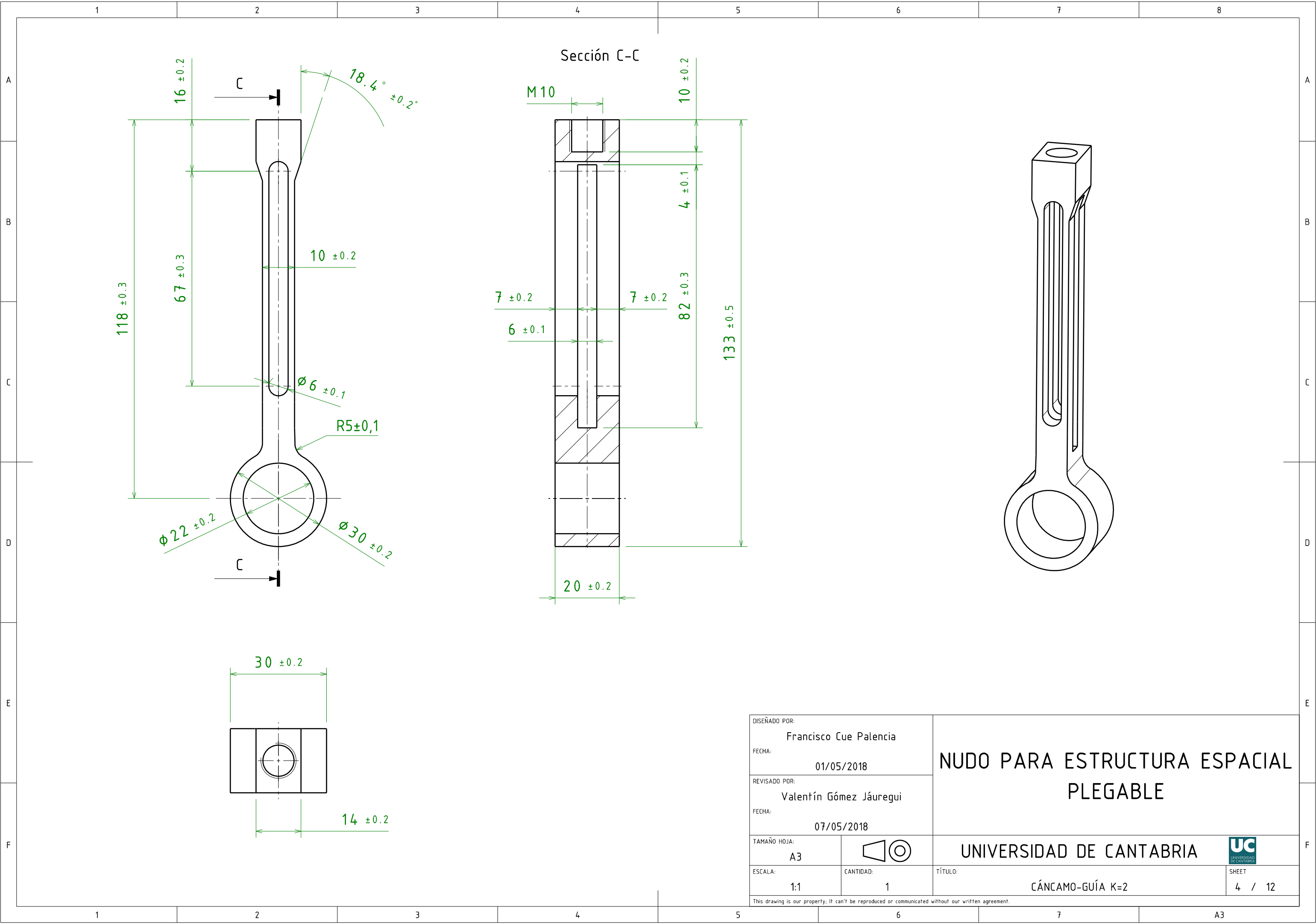
PLANOS

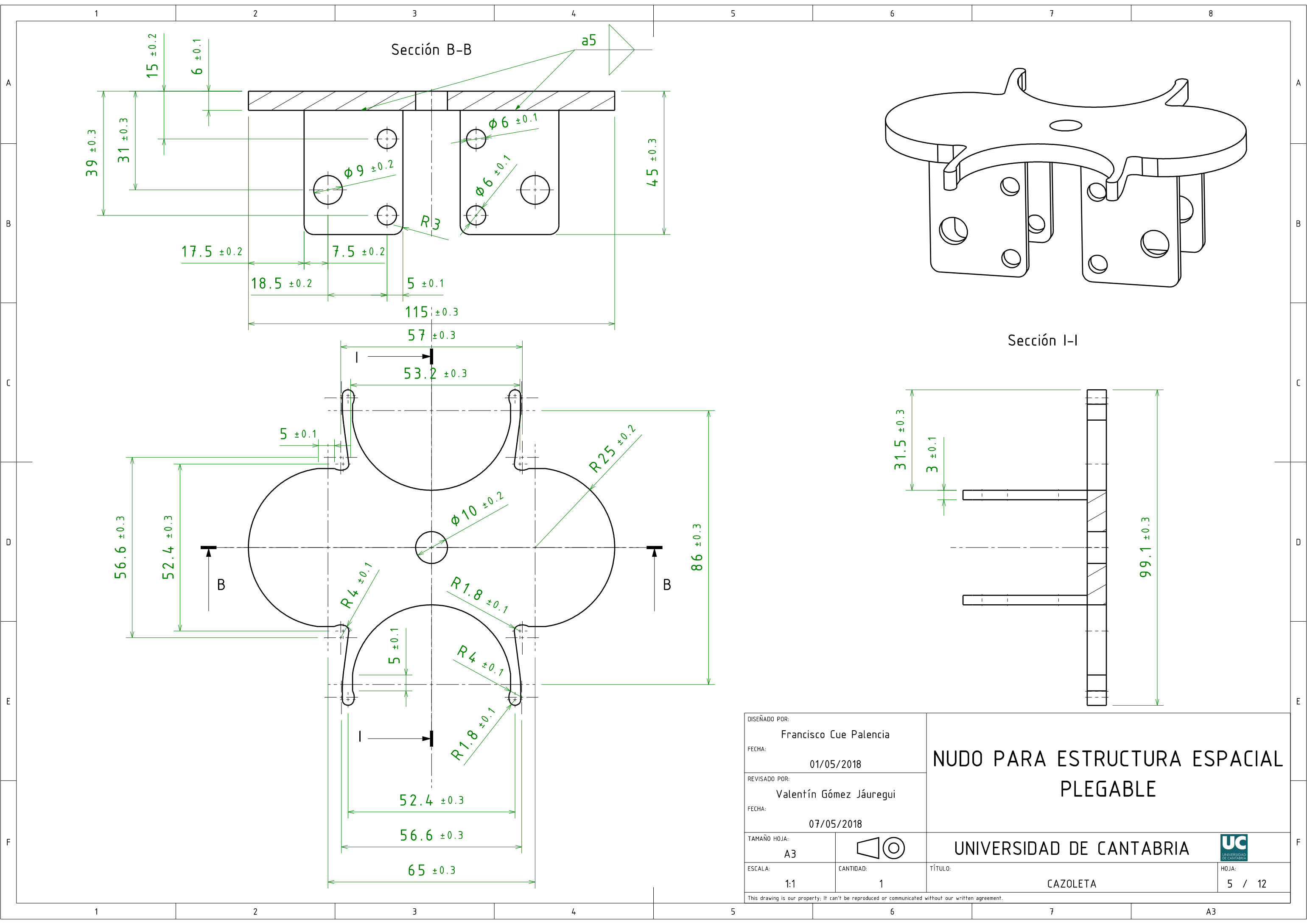
En algunos de los planos se ha ocultado la visualización de los cables diagonales y/o los cables horizontales, así como una de las barras en el caso del nudo de clase $k=4$ con objeto de observar con más claridad la geometría del nudo y/o de los nudos colindantes en el caso de los planos referidos al acople de varios nudos.



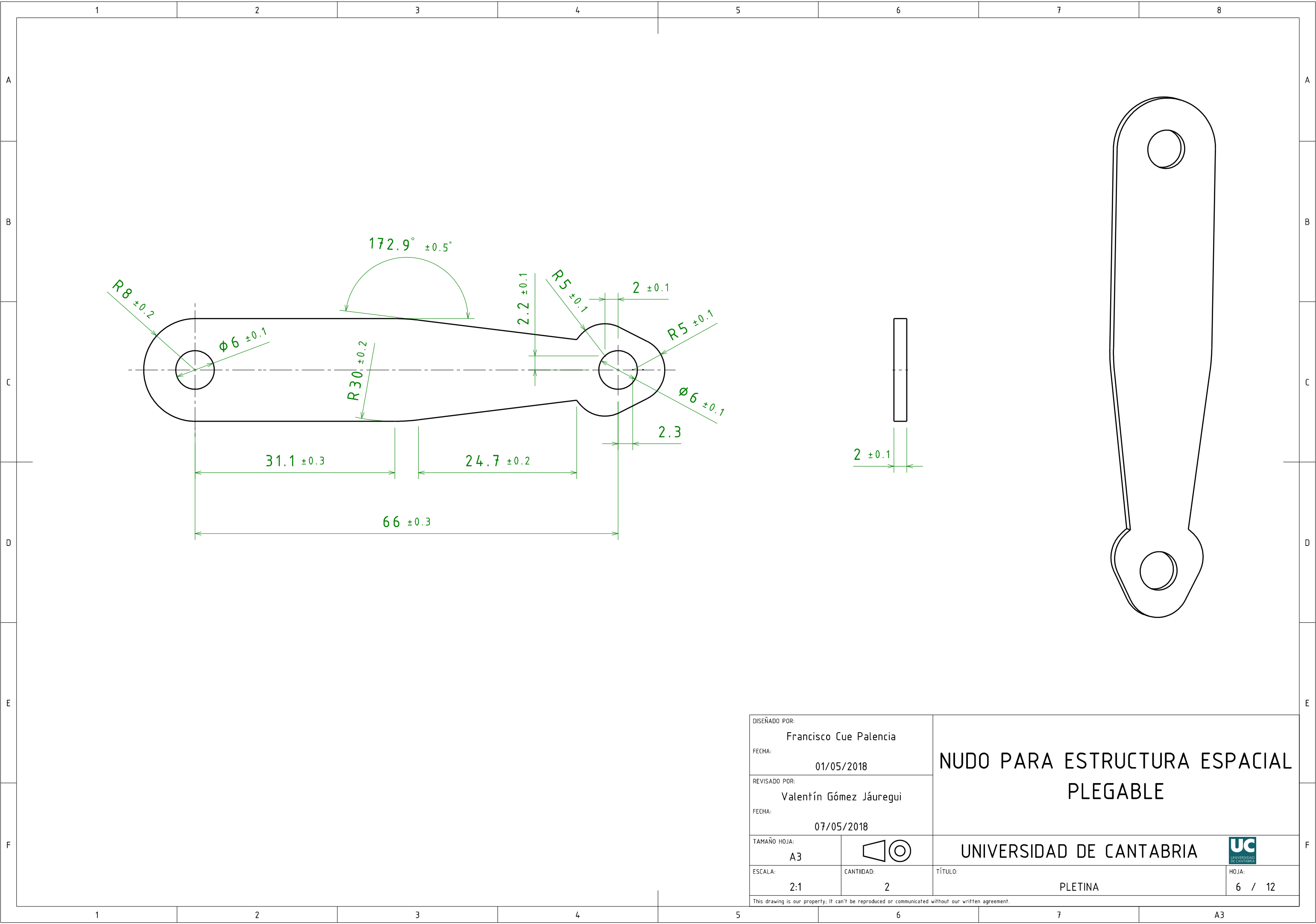


DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 5:1	CANTIDAD: 2	TÍTULO: TETÓN	HOJA: 3 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

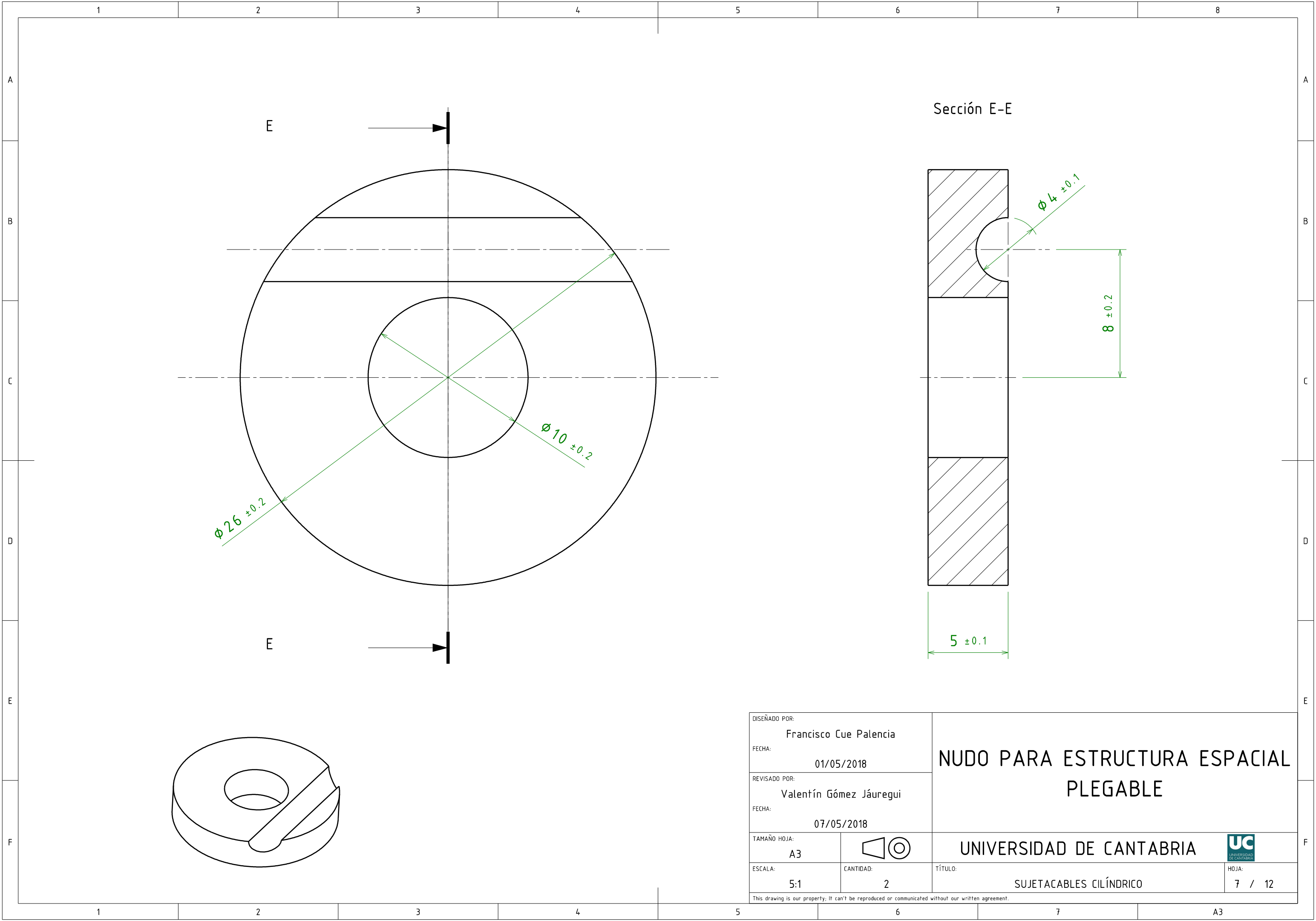


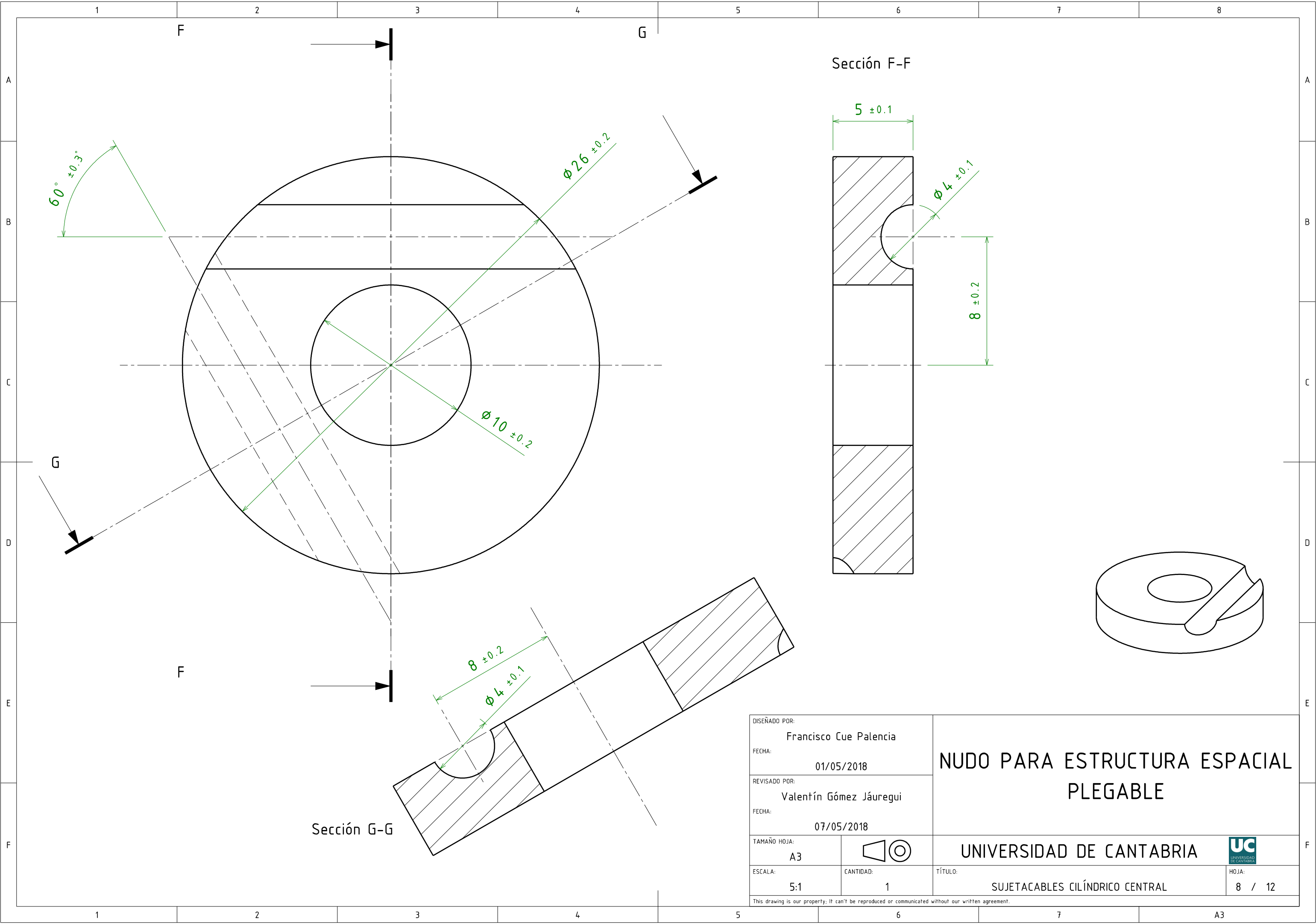


DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 1:1	CANTIDAD: 1	TÍTULO: CAZOLETA	HOJA: 5 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

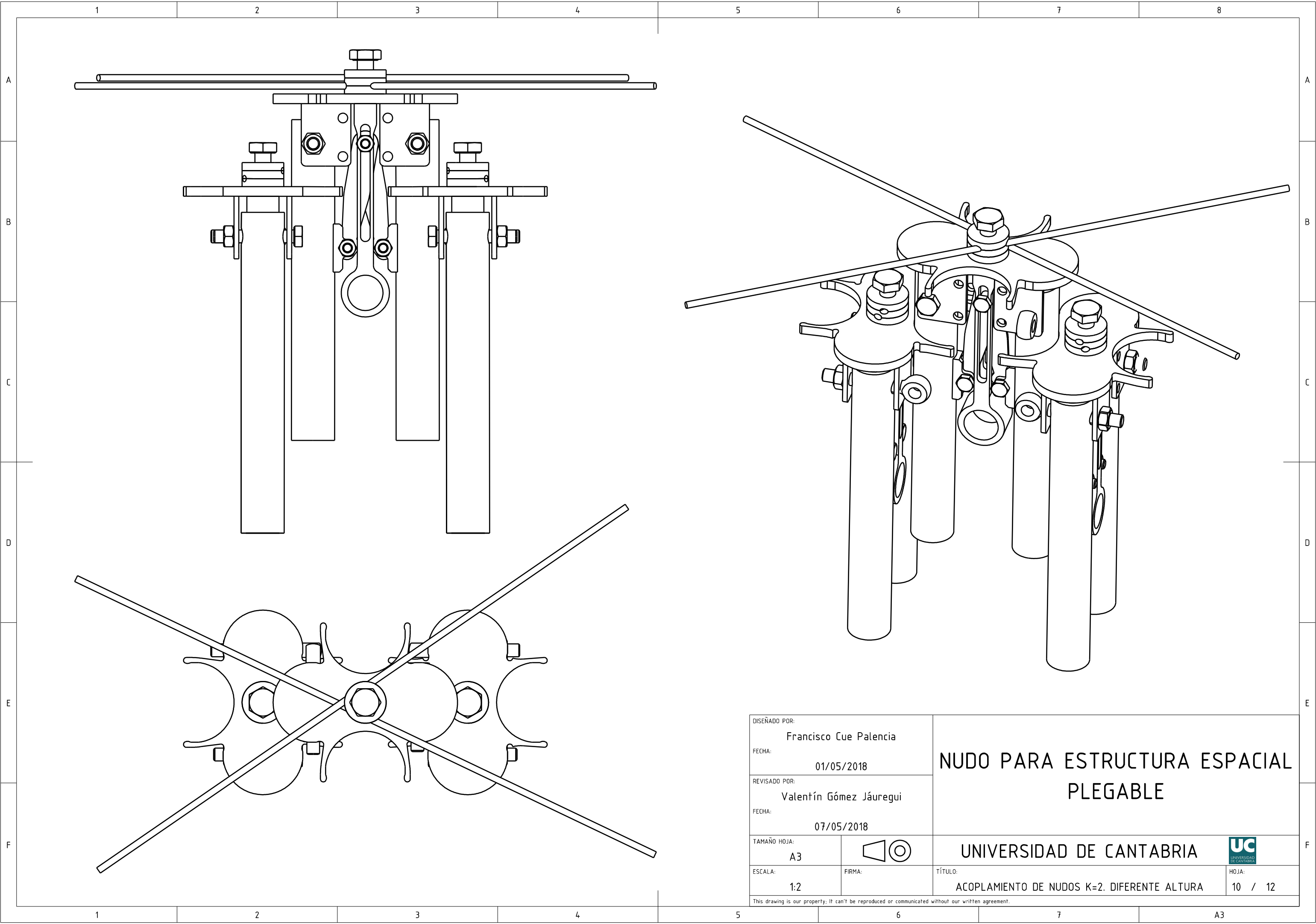


DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 2:1	CANTIDAD: 2	TÍTULO: PLETINA	HOJA: 6 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

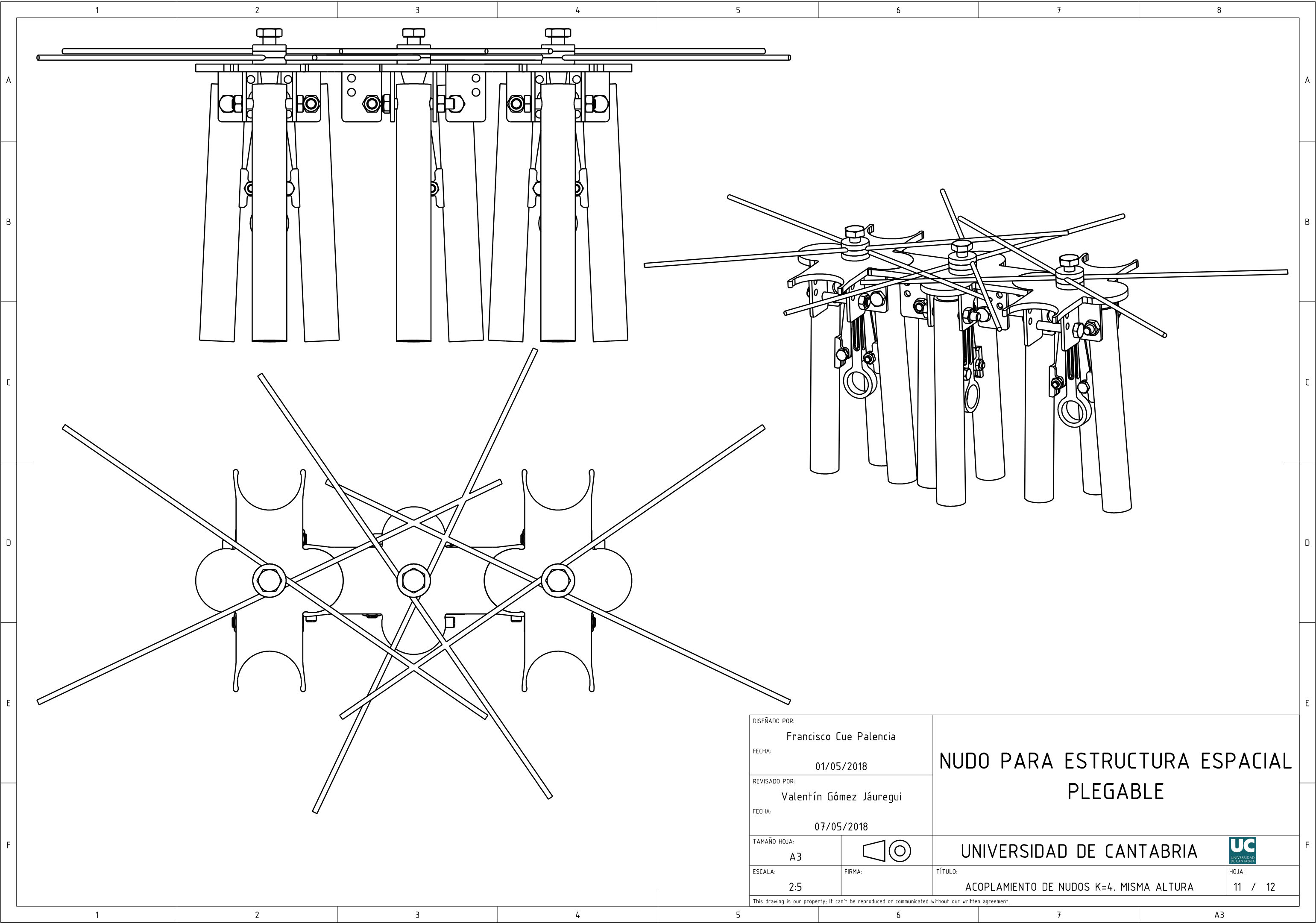




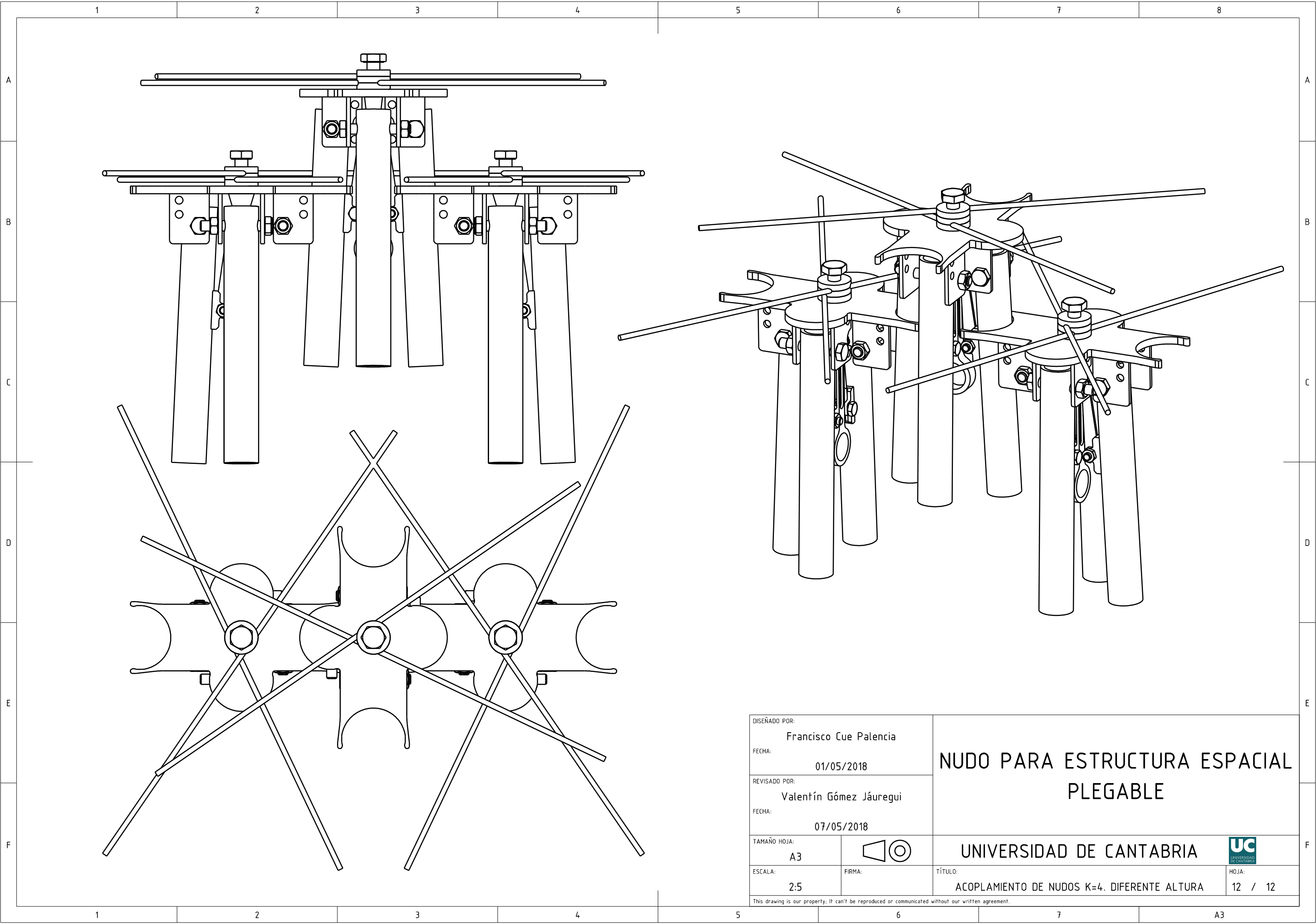
DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 5:1	CANTIDAD: 1	TÍTULO: SUJETACABLES CILÍNDRICO CENTRAL	HOJA: 8 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			



DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 1:2	FIRMA:	TÍTULO: ACOPLAMIENTO DE NUDOS K=2. DIFERENTE ALTURA	HOJA: 10 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			



DISEÑO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 2:5	FIRMA:	TÍTULO: ACOPLAMIENTO DE NUDOS K=4. MISMA ALTURA	HOJA: 11 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			



DISEÑADO POR: Francisco Cue Palencia		NUDO PARA ESTRUCTURA ESPACIAL PLEGABLE	
FECHA: 01/05/2018			
REVISADO POR: Valentín Gómez Jáuregui			
FECHA: 07/05/2018			
TAMAÑO HOJA: A3		UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	
ESCALA: 2:5	FIRMA:	TÍTULO: ACOPLAMIENTO DE NUDOS K=4. DIFERENTE ALTURA	HOJA: 12 / 12
This drawing is our property; It can't be reproduced or communicated without our written agreement.			

DOCUMENTO IV

PLIEGO DE CONDICIONES

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

1.1.1 FABRICACIÓN

La fabricación de cada una de las piezas del nudo se hará de acuerdo a los planos suministrados para tal fin.

Debido a las exigencias geométricas de algunas de las piezas, no todas ellas se mecanizarán por el mismo método. Así, las pletinas y la cazoleta, debido a su compleja geometría, se fabricarán mediante mecanizado por control numérico (CNC), en particular un sistema de electroerosión o corte por hilo, proceso que garantiza gran precisión y calidad. Los tetones y el cáncamo-guía se fabricarán también mediante mecanizado por control numérico (CNC), pero en este caso sin ser prioritario el método. Por último, todos los sujetacables se pueden fabricar a través de mecanizado por torno o fresadora convencional, ya que su geometría no tiene demasiada complejidad. Añadir que, para proceder a la fabricación de las piezas mediante CNC, el encargado de desarrollar los planos deberá exportarlos en formato DXF.

1.1.2 MONTAJE

El montaje del nudo se llevará a cabo de acuerdo a la normativa CTE vigente: Cálculo y ejecución de estructura metálica y montaje de estructuras metálicas y uniones. Así, el encargado podrá organizar el montaje de la forma que estime oportuna, o bien en el propio taller para facilitar tareas de transporte o bien en la propia obra.

1.1.3 SOLDADURA

Todas las soldaduras a realizar entre las barras y el tetón así como en las pletinas soldadas a la cazoleta deberán estar de acuerdo a la norma UNE correspondiente. Se podrá emplear tanto mecanizado TG, para una mayor resistencia a la corrosión y mayor ductilidad, así como MIG, para una mayor productividad en el proceso.

1.1.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Todos los tratamientos se efectuarán de acuerdo a la norma UNE correspondiente y serán compatibles con las soldaduras.

El único tratamiento que daremos a cada una de las piezas del nudo será un galvanizado en caliente con el objetivo de evitar la oxidación y corrosión de los elementos que confieren el nudo.

1.1.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Los componentes necesarios para la fabricación de nuestro nudo serán los especificados en el plano nº.1 del presente proyecto, donde se indica la nomenclatura utilizada para cada elemento y las cantidades de los mismos.

De esta forma y como viene redactado en el presente proyecto, el material de todos los elementos del nudo será preferentemente S235JRG2C, y se acogerá a la norma UNE-EN 10020:2001, debiéndose cumplir exactamente las prescripciones sobre composición química y características mecánicas estipuladas en la mencionada norma. Bien es cierto, que, a petición del encargado, podrá emplearse cualquier otro material que cumpla los pertinentes requisitos de resistencia, tenacidad, dureza y durabilidad.

1.2 DISPOSICIONES GENERALES DE SEGURIDAD Y SALUD

1.2.1 OPERACIONES CON MÁQUINA-HERRAMIENTA

A continuación, se describen las disposiciones mínimas generales de seguridad recogidas en el Real Decreto 1215/1997, del 18 de julio, que deben reunir las máquinas herramientas, cuyo cumplimiento contribuye a prevenir los riesgos más frecuentes que se derivan de la manipulación de estos equipos y que básicamente son: contacto accidental con la herramienta o la pieza en movimiento; atrapamiento con los órganos de movimiento de la máquina; proyección de la pieza o de la

herramienta, y dermatitis por contacto con los fluidos de corte utilizados como refrigerantes.

ÓRGANOS DE ACCIONAMIENTO

Los órganos de servicio de estas máquinas deben ser claramente visibles e identificables y en caso necesario, llevar el etiquetado apropiado. Los colores indicativos de dichos órganos son:

- Puesta en marcha o en tensión: BLANCO.
- Parada o puesta fuera de tensión: NEGRO.
- Parada de emergencia: ROJO.
- Supresión de condiciones anormales: AMARILLO.
- Rearme: AZUL.

Los órganos de mando pueden ser de los siguientes tipos:

- Pulsador: Salvo el de parada deben estar encastrados.
- Pedal: Protegido contra accionamientos involuntarios.
- Barra paralela: Según la normativa vigente no debe utilizarse.
- Mando a dos manos: Será de tipo pulsador. Debe tener sincronismo y ser eficaz contra el burlado.

Estarán situados en la proximidad del puesto de mando y fuera de la zona de peligro, salvo el de parada de emergencia. Asimismo, desde el puesto de mando se dominará toda la zona de operación. En caso contrario, la puesta en marcha será precedida de alguna señal de advertencia acústica o visual.

PUESTA EN MARCHA

Debe obedecer a una acción voluntaria del operador sobre un órgano de accionamiento puesto a tal fin. Tras un corte de energía (eléctrica, neumática, hidráulica), su posterior reanudación no deberá dar lugar a la puesta en marcha de las partes peligrosas de la máquina. Se debe impedir que una máquina herramienta se ponga en marcha:

- Por el cierre de un resguardo con dispositivo de enclavamiento.
- Cuando una persona se retira de una zona cubierta por un dispositivo sensible, tal como una barrera inmaterial.
- Por la maniobra de un selector de modo de funcionamiento.
- Por el desbloqueo de un pulsador de parada de emergencia.
- Por el rearme de un dispositivo de protección térmico.

PARADA

La orden de parada debe tener prioridad sobre todas las demás. Se consideran los siguientes tipos de paradas:

- Parada general: Toda máquina herramienta debe tener una parada de categoría 0, es decir, supresión inmediata de la energía de los accionadores de la máquina.
- Parada desde el puesto de trabajo: Está destinada a permitir que un operador pueda parar la máquina cuando tenga que intervenir en una zona peligrosa para una operación concreta. A su vez, este tipo de parada puede ser:
 - De categoría 1, de modo que al ordenar la función de parada ésta se produce cuando la máquina se halla en posición de seguridad
 - De categoría 2, de manera que al ordenar la función de parada la máquina se detiene en ese momento, pero mantiene sus fuentes de energía activadas.
- Parada de emergencia: Accionada por un dispositivo que debe permitir la parada de la máquina en las mejores condiciones posibles, mediante una deceleración óptima de los elementos móviles. Esta parada puede ser de categoría 0 o de categoría 1.

El órgano de mando que permite obtener esta función de parada de emergencia (pulsador de manotazo, cable, barra, etc.) debe ser de color rojo y estar colocado sobre fondo amarillo. La colocación de un dispositivo de parada de emergencia sólo tiene sentido en el caso de que el tiempo de parada que permite obtener sea

netamente más corto que el obtenido con la parada normal, lo que requiere un frenado eficaz.

CAÍDAS Y PROYECCIONES DE OBJETOS

Debe prevenirse la proyección de viruta y las salpicaduras de fluidos de corte, así como la posible caída de objetos, debidos tanto al funcionamiento propio de la máquina como a circunstancias accidentales. Las medidas preventivas a adoptar estarán destinadas a proteger no sólo a los operadores, sino también a cualquier otra persona que pueda estar expuesta a estos peligros. Consistirán esencialmente en dotar a las máquinas de resguardos fijos o móviles de resistencia adecuada y en colocar obstáculos o cualquier otro medio para impedir que las personas próximas puedan estar expuestas a estos riesgos.

EMISIÓN DE GASES, VAPORES, LÍQUIDOS Y POLVOS

Cuando en una máquina herramienta pueda existir riesgo de emisión de algunos de estos elementos (por ejemplo, nieblas de fluidos de corte), se procurará efectuar su captación en su propio origen mediante un dispositivo de extracción localizada, integrado en lo posible en los resguardos o carcasas. Se estudiará en cada caso particular el tipo de emisión producida y se diseñará el elemento extractor en función de sus características.

MANTENIMIENTO

- Se respetarán las condiciones de utilización de estas máquinas, tal como se recomienda por los fabricantes.
- Se prestará un atento cuidado al mantenimiento, especialmente cuando no sea posible colocar protectores eficaces y se realizará un correcto reglaje.
- La limpieza y reparaciones se llevarán a cabo con la máquina parada. En cuanto a las reparaciones en concreto, solamente las realizará personal especializado y debidamente autorizado.

SEPARACIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

En lo referente a la energía eléctrica, la separación puede quedar asegurada mediante:

- Un interruptor-seccionador.
- Un disyuntor que disponga de la función de seccionado.
- Una toma de corriente para una intensidad inferior o igual a 16 amperios y una potencia total inferior a 3 KW.

Los dispositivos de separación deben ofrecer todas las garantías de que a cada posición (abierto/cerrado) del órgano de mando corresponda de forma inmutable la posición (abierto/cerrado) de los contactos.

SEÑALIZACIÓN Y ADVERTENCIA

En aquellas máquinas que tras adaptarle medidas de protección adecuadas persista un riesgo residual, éste deberá estar adecuadamente señalado mediante indicadores normalizados.

PUESTA EN OBRA

La máquina estará ubicada en lugar nivelado y firme. Asimismo, la zona de ubicación estará limpia, seca y ventilada. Dispondrá de un servicio eléctrico encabezado por un diferencial adecuado con su correspondiente interruptor magnetotérmico y petaca de conexión tipo estanca, de conformidad con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. Las máquinas no se ubicarán en lugares que puedan generar riesgos de caídas de altura.

UTILIZACIÓN

El personal que manipule este tipo de máquinas contará con la debida autorización y formación específica.

La máquina se fijará de manera que no se produzcan movimientos no deseables originados por vibraciones. Antes de poner en marcha una máquina, se comprobará que no hay nadie manipulándola.

OTRAS CONSIDERACIONES

Cualquier máquina herramienta deberá llevar su marcado CE correspondiente. Si su adquisición ha sido anterior a 1995 y carece de dicho marcado, se procederá a su puesta en conformidad. Toda máquina dispondrá del correspondiente manual de instrucciones y libro de mantenimiento y revisiones en castellano facilitado por el fabricante.

1.2.2 OPERACIONES DE SOLDADURA

La soldadura puede considerarse un proceso con aporte de calor, mediante el cual se unen dos piezas metálicas, pudiendo o no intervenir otra sustancia o material ajeno a las piezas, o de su misma naturaleza.

Este tipo de operaciones suele ser frecuente en los talleres mecánicos y a pesar de su aparente simplicidad, nunca debe olvidarse que se manipulan fuentes de energía capaces de alcanzar temperaturas en torno a los 3000 °C, constituyendo focos de ignición que pueden provocar incendios, explosiones, quemaduras y lesiones de diversa consideración, así como la generación de humos de naturaleza variada, cuya inhalación puede afectar la salud de las personas expuestas.

Estos posibles riesgos hacen necesario un profundo conocimiento por parte de los usuarios, tanto del correcto funcionamiento de los equipos, como de las circunstancias del entorno que puedan propiciar accidentes más o menos graves. Aunque para un mayor conocimiento de los riesgos que se derivan de las operaciones de soldadura y de las medidas que deben adoptarse para paliarlos, se puede recurrir al manual correspondiente, su importancia y frecuencia de uso en estos locales de trabajo, aconseja prestarles la debida atención en el Pliego de condiciones del presente proyecto.

Atendiendo a la fuente de calor, la soldadura puede ser eléctrica, cuando utiliza este tipo de energía o autógena, cuando el calor proviene de la combustión de un gas. A su vez, la soldadura eléctrica puede ser por resistencia o al arco.

SOLDADURA DE MATERIAL ELECTRÓNICO Y ELÉCTRICO

La soldadura utilizada para esta aplicación suele ser la conocida como soldadura por resistencia, basada en el efecto Joule, mediante el cual, el calor necesario para fundir los metales que intervienen en la operación (generalmente el estaño) procede del calor producido al calentarse un electrodo que actúa como resistencia eléctrica al pasar una determinada intensidad de corriente.

Este tipo de soldadura presenta escasos riesgos (contactos térmicos y eléctricos principalmente) si bien es conveniente tener en cuenta algunas recomendaciones de carácter general, a saber:

- Antes de comenzar el trabajo, comprobar que los equipos eléctricos y el instrumental, se encuentran en perfectas condiciones de uso. Al terminar, no extraer la clavija de su enchufe tirando del cable, sino de la propia clavija.
- Disponer el soldador de resistencia en un soporte adecuado, orientado el electrodo en sentido contrario a donde se encuentra el operador y mientras esté caliente no debe dejarse sobre la mesa de trabajo.
- No guardar el soldador hasta que el electrodo esté a temperatura ambiente.
- Evitar la inhalación de los humos que se produzcan en la soldadura, especialmente cuando se utilicen resinas fundentes.

SOLDADURA POR ARCO

En este tipo de soldadura, la fuente de calor proviene del arco eléctrico que se produce al aproximar dos elementos metálicos en tensión.

Los riesgos más frecuentes que se derivan de este tipo de soldadura son básicamente:

- Contacto eléctrico
- Contacto térmico
- Incendio
- Inhalación de humos

A su vez, las precauciones a tener en cuenta para evitar estos riesgos son las siguientes:

- Manejo y transporte del equipo
 - Todos los conductores, tanto los de alimentación eléctrica al grupo, como los de soldadura, deberán estar protegidos durante su transporte o utilización, contra posibles daños mecánicos.
 - Los cables de conexión a la red, así como los de soldadura, deben enrollarse para ser transportados y nunca se tirará de ellos para mover la máquina
 - Si se observa algún cable o elemento dañado deberá notificarse y repararse de modo inmediato, no debiendo ser utilizado bajo ningún concepto.
- Conexión segura del equipo a soldar
 - Los bornes de conexión de los circuitos de alimentación deberán estar aislados y protegidos. Asimismo, la superficie exterior de los portaelectrodos deberá estar aislada en la zona de contacto con la mano.
 - La pinza de masa o retorno deberá estar rígidamente fijada a la pieza a soldar, debiendo minimizarse la distancia entre el punto a soldar y la citada pinza.
 - No utilizar nunca las estructuras metálicas de los edificios, tuberías, etc., como conductores de retorno, cuando éstos no sean la pieza a soldar.
- Soldadura en el interior de recintos cerrados
 - Cuando se trabaje en lugares estrechos o recintos de reducidas dimensiones, se insuflará continuamente aire fresco, nunca oxígeno, a fin de eliminar gases, vapores y humos.

- En caso de que no sea posible procurar una buena ventilación, se utilizarán equipos de protección respiratoria con aporte de aire.
- Utilizar ropa tanto interior como exterior difícilmente inflamable.
- Si los trabajos de soldadura se efectúan en lugares muy conductores (calderas, conducciones metálicas, túneles, etc.) no se emplearán tensiones superiores a 50 V, debiendo permanecer el equipo de soldadura en el exterior del recinto en que opere el trabajador.

- Equipos de protección individual

Para soldar al arco, el equipo de protección personal estará compuesto por los siguientes elementos:

- Pantalla de protección de cara y ojos.
- Guantes largos de cuero.
- Mandil de cuero.
- Polainas de apertura rápida, con los pantalones por encima.
- Calzado de seguridad aislante

- Precauciones de carácter general

- Se evitará soldar en lugares donde se encuentren almacenados productos inflamables. Si ello es necesario, se ventilará el local hasta conseguir que en la atmósfera interior no haya restos de sustancias que puedan originar riesgo de incendio o explosión.
- Habida cuenta que en la soldadura eléctrica al arco se alcanzan temperaturas muy elevadas, frecuentemente se genera una gran cantidad de humos, lo que debe evitarse en lo posible. Para ello, se recurre al uso de mesas de soldadura provistas de extracción localizada y si las piezas a soldar son de gran tamaño, se utilizan bocas móviles de extracción. Estas precauciones deben extremarse cuando se realizan operaciones de soldadura en piezas galvanizadas o pintadas con cromato de plomo o recubiertas de imprimaciones antioxidantes

de minio. De no ser posible emplear este tipo de protecciones generales, se recurrirá al uso de protección respiratoria individual.

SOLDADURA AUTÓGENA Y OPERACIONES DE OXICORTE

En este tipo de soldadura, así como en el oxicorte, la fuente de calor proviene de la combustión de un gas, en muchos casos el acetileno.

Los riesgos más frecuentes que se derivan de este tipo de operaciones son muy similares a los de la soldadura eléctrica al arco, con algunas excepciones, es decir:

- Contacto térmico
- Incendio
- Inhalación de humos
- Caída de las botellas

De acuerdo con estas consideraciones, las precauciones a tener en cuenta para evitar tales riesgos son:

- Botellas
 - Las botellas de gases deben estar adecuadamente protegidas para evitar las caídas, ya sea mediante abrazaderas en la pared o fijadas a las carretillas en caso de equipos móviles.
 - Comprobar la última fecha de prueba oficial, que debe estar en el período de vigencia.
 - Las válvulas de acetileno sin volante deben ir provistas siempre de la correspondiente llave, para su manipulación en caso de emergencia.
- Condiciones generales de seguridad
 - Se debe comprobar que ni las botellas de gas ni los equipos que se acoplan a ellas tienen fugas.

- Proteger las botellas contra golpes y calentamientos peligrosos.
- Antes de acoplar la válvula reductora de presión, se deberá abrir la válvula de la botella por un corto periodo de tiempo, a fin de eliminar la suciedad.
- Las mangueras deben encontrarse en perfecto estado de conservación y admitir la presión máxima de trabajo para la que han sido diseñadas.
- Todas las uniones de mangueras deben estar fijadas mediante abrazaderas, de modo que impidan la desconexión accidental.
- Todas las conexiones deben ser completamente estancas. La comprobación se debe hacer mediante solución jabonosa neutra. Nunca debe utilizarse una llama abierta.
- No se debe comprobar la salida de gas manteniendo el soplete dirigido contra partes del cuerpo, ya que puede inflamarse la mezcla gas-aire por chispas dispersas y provocar quemaduras graves.
- El soplete debe funcionar correctamente a las presiones de trabajo y caudales indicados por el suministrador.
- Al terminar el trabajo, se debe cerrar la válvula de la botella y purgar la válvula reductora de presión. Asimismo, los aparatos y conducciones no deberán guardarse en armarios cerrados ni en cajas de herramientas.
- Al igual que en la soldadura eléctrica al arco, en la soldadura autógena y oxicorte se alcanzan temperaturas muy elevadas, produciéndose una gran cantidad de humos. Con el fin de evitar este problema, se puede recurrir al empleo de mesas de soldadura provistas de extracción localizada o de bocas móviles de extracción, si las piezas a soldar son grandes. Estas precauciones deben extremarse cuando se sueldan piezas galvanizadas o recubiertas de cromato de plomo o de minio. Si no es posible emplear este tipo de protecciones generales, se debe recurrir al uso de protección respiratoria individual.

- Equipos de protección individual

El equipo de protección individual para realizar operaciones de soldadura autógena y oxicorte es muy similar al utilizado en soldadura eléctrica y consta básicamente de:

- Gafas de protección adecuadas.
- Guantes largos de cuero.
- Mandil de cuero.
- Polainas de apertura rápida, con los pantalones por encima.
- Calzado de seguridad aislante.

DOCUMENTO V

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DE MATERIALES NUDO K=2

En el presente documento se proporcionará el coste de fabricación, de forma aproximada, de un nudo de conexión para estructuras espaciales plegables. Para ello, hemos consultado precios a talleres de mecanizado, en concreto Talleres Arriaj S.L para la fabricación de cada pieza del nudo y el catálogo que proporciona Suministros Industriales Sija S.L en su página web para los componentes comerciales.

1.1 FABRICACIÓN DEL NUDO

A continuación, se detalla el precio de cada pieza del nudo. El presupuesto deberá absorber el costo de los utillajes, herramientas de corte específicas y medios de control, así como el mantenimiento de las diferentes máquinas-herramienta.

PIEZA	CANTIDAD (uds)	PRECIO/UNIDAD (€/ud)	TOTAL (€)
TETÓN	2	250	500
CÁNCAMO-GUÍA	1	400	400
CAZOLETA	1	700	700
PLETINA	2	150	300
SUJETACABLES CILÍNDRICO	2	150	300
SUJETACABLES CILÍNDRICO CENTRAL	1	200	200
TOTAL			2400€

1.2 TORNILLERIA

A continuación, se detalla el precio de cada elemento comercial (tornillos y tuercas), donde hemos escogido tornillos de cabeza hexagonal DIN 933.8 y tuercas hexagonal DIN 934 8.8.

ELEMENTO	CANTIDAD (uds)	PRECIO/UNIDAD (€/ud)	TOTAL (€)
TORNILLO M10x35	1	0,25260 €	0,2526 €
TORNILLO M8x50	2	0,20100 €	0,402 €
TORNILLO M6x16	2	0,05292 €	0,10584 €
TORNILLO M6x25	1	0,06550 €	0,06550 €
TUERCA M6	3	0,01550 €	0,0465 €
TUERCA M8	2	0,03514 €	0,07028 €
TOTAL			0,94€

1.3 PRESUPUESTO GENERAL

En el presupuesto general incluiremos el coste de fabricación y tornillería anteriormente obtenidos así como un porcentaje de margen de riesgo industrial del 8% y un 21% de IVA.

PRESUPUESTO GENERAL	%	TOTAL (€)
COSTES DE FABRICACIÓN		2400 €
COSTES DE TORNILLERÍA		0,94 €
COSTE TOTAL		2400,94 €
MARGEN Y RIESGO INDUSTRIAL	8%	192,07 €
IMPUESTO SOBRE EL VALOR AÑADIDO	21%	544,53 €
	TOTAL	3137,54€

Finalmente, el presupuesto de fabricación de nuestro nudo de conexión de clase $k=2$ para estructuras espaciales plegables asciende a un total de TRES MIL CIENTO TREINTA Y SIETE CON CINCUENTA Y CUATRO EUROS (3137,54 €).

2. PRESUPUESTO DE MATERIALES NUDO K=4

Como hemos comentado en capítulos anteriores, el nudo de clase $k=4$ es una evolución del nudo clase $k=2$, por lo que el presupuesto del mismo será análogo a éste.

2.1 FABRICACIÓN DEL NUDO

En este caso, hay algunas piezas que presentan mayor complejidad, como son el cáncamo-guía, la cazoleta y las pletinas, por lo que hemos estimado un aumento del 50% por unidad con respecto a su misma pieza en el nudo de clase $k=2$. Por otro lado, el tetón, el sujetacables cilíndrico y el sujetacables cilíndrico central son idénticos a los del nudo de clase $k=2$, por lo que su coste también será el mismo. Como hemos mencionado anteriormente, el presupuesto deberá absorber el costo de los utillajes, herramientas de corte específicas y medios de control, así como el mantenimiento de las diferentes máquinas-herramienta. A continuación, se detalla el precio de cada pieza del nudo:

PIEZA	CANTIDAD (uds)	PRECIO/UNIDAD (€/ud)	TOTAL (€)
TETÓN	2	250	500
CÁNCAMO-GUÍA	1	600	600
CAZOLETA	1	1050	1050
PLETINA	2	225	450
SUJETACABLES CILÍNDRICO	2	150	300
SUJETACABLES CILÍNDRICO CENTRAL	1	200	200
TOTAL			3100€

2.2 TORNILLERÍA

A continuación, se detalla el precio de cada elemento comercial (tornillos y tuercas), donde hemos escogido tornillos de cabeza hexagonal DIN 933.8 y tuercas hexagonal DIN 934 8.8. En este caso, el número de tornillos y tuercas ha aumentado (y en consecuencia el coste total de tornillería) ya que el nudo de clase $k=4$ es más robusto y está formado por más elementos.

ELEMENTO	CANTIDAD (uds)	PRECIO/UNIDAD (€/ud)	TOTAL (€)
TORNILLO M10x35	1	0,25260 €	0,2526 €
TORNILLO M8x50	4	0,20100 €	0,804 €
TORNILLO M6x16	4	0,05292 €	0,21168 €
TORNILLO M3x10	4	0,05210 €	0,20 €
TUERCA M6	4	0,01550 €	0,062 €
TUERCA M8	4	0,03514 €	0,14056 €
TUERCA M3	4	0,00945 €	0,0378 €
TOTAL			1,71 €

2.3 PRESUPUESTO GENERAL

En el presupuesto general incluiremos el coste de fabricación y tornillería anteriormente obtenidos así como un porcentaje de margen de riesgo industrial del 8% y un 21% de IVA.

PRESUPUESTO GENERAL	%	TOTAL (€)
COSTES DE FABRICACIÓN		3100 €
COSTES DE TORNILLERÍA		1,71 €
COSTE TOTAL		3101,71 €
MARGEN Y RIESGO INDUSTRIAL	8%	248,14 €
IMPUESTO SOBRE EL VALOR AÑADIDO	21%	703,47 €
	TOTAL	4053,32 €

Finalmente, el presupuesto de fabricación de nuestro nudo de conexión de clase $k=4$ para estructuras espaciales plegables asciende a un total de CUATRO MIL CINCUENTA Y TRES CON TREINTA Y DOS EUROS (4053,32 €).

Santander, a 5 de julio de 2018

Francisco Cue Palencia