



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE GRAU

**TÍTOL: DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR**

**AUTORS: RAMOS HERRERO, PAULA**

**DATA DE PRESENTACIÓ: Juny, 2021**

**COGNOMS: RAMOS HERRERO**

**NOM: PAULA**

**TITULACIÓ: ENGINYERIA MECÀNICA**

**PLA: 2021**

**DIRECTOR: HERNÁN ALBERTO GONZÁLEZ ROJAS**

**DEPARTAMENT: ENGINYERIA MECÀNICA (712)**

**QUALIFICACIÓ DEL TFG**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT**

ESCOLA FERNANDEZ,  
MARC

**SECRETARI**

SOLE ROVIRA,  
JOAN

**VOCAL**

GUASCH MURILLO,  
DANIEL

**DATA DE LECTURA: 13/07/2021**

**Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals:  Sí  No**

## RESUM

Els mecanismes caminadors tenen la mateixa finalitat que la roda, el transport, però són menys coneguts i utilitzats. Encara que això probablement és degut a una estructura més complexa, tenen un gran avantatge pel qual cada cop estan tenint més importància. Aquest és la capacitat de passar per sobre dels obstacles i la facilitat per circular per terrenys irregulars.

S'han patentat diferents mecanismes caminadors, amb diferents estructures, però el recorregut que fa el punt de contacte amb el terra és sempre el mateix: avança una distància determinada i després s'eleva aquest punt mentre torna cap enrere (al punt inicial) i torna a estar en contacte amb el terra.

Aquest projecte consisteix a escollir un d'aquests mecanismes, dissenyar-lo, fabricar-lo i implementar-lo en una bicicleta per així poder-lo mostrar en futures portes obertes de la universitat. Per determinar el mecanisme amb el qual treballar, s'han escollit dos (de tots els existents) i s'ha procedit a fer un anàlisi cinemàtic del moviment. Seguidament s'ha estudiat com integrar el mecanisme en una bicicleta, s'ha dissenyat i modelat en 3D mitjançant el programa NX i finalment s'ha procedit a la seva fabricació.

El principal repte ha sigut l'últim pas esmentat, la fabricació. Pel que fa al propi mecanisme, hi ha peces que s'han hagut de fabricar més d'un cop en elaborar-les malament la primera vegada; degut a les toleràncies, en no ser les peces exactes a les del model 3D s'ha complicat el seu muntatge i el correcte funcionament del mecanisme, i degut a la forma d'aquest, ha estat bastant confós el muntatge de les peces que el componen. Pel que fa a la integració d'aquest en la bicicleta s'ha hagut d'elaborar un acoblament, el qual s'ha hagut de modificar per errors de mesura. Un cop finalitzat, s'ha hagut de fer unes petites modificacions tant a l'acoblament com a la bicicleta per tal de poder unir-los.

Encara que no s'ha pogut acabar el projecte, ja que ha faltat incorporar les últimes dos peces, s'ha pogut posar en pràctica el contingut après en diferents assignatures cursades i no cursades. A més, s'ha comprovat satisfactòriament que el mecanisme escollit és adequat, i s'ha realitzat el disseny i la fabricació del mecanisme per tal de poder implementar-lo en la bicicleta adquirida.

### Paraules clau (màxim 10):

Cinemàtica	Recorregut	Posicions	Mecanisme Theo Jansen - Bicicleta
Mecanisme caminador	Acoblament del mecanisme		

## RESUMEN

Los mecanismos caminadores tienen la misma finalidad que la rueda, el transporte, pero son menos conocidos y utilizados. Aunque esto probablemente es debido a una estructura más compleja, tienen una gran ventaja por la cual cada vez están teniendo más importancia. Esta es la capacidad de pasar por encima de los obstáculos y la facilidad para circular por terrenos irregulares.

Se han patentado diferentes mecanismos caminadores, con diferentes estructuras, pero el recorrido que hace el punto de contacto con el suelo es siempre el mismo: avanza una distancia determinada y después se eleva este punto mientras vuelve hacia atrás (al punto inicial) y vuelve a estar en contacto con el suelo.

Este proyecto consiste en escoger uno de estos mecanismos, diseñarlo, fabricarlo e implementarlo en una bicicleta para así poderlo mostrar en futuras puertas abiertas de la universidad. Para determinar el mecanismo con el cual trabajar, se han escogido dos (de todos los existentes) y se ha procedido a hacer un análisis cinemático del movimiento. Seguidamente se ha estudiado como integrar el mecanismo en una bicicleta, se ha diseñado y modelado en 3D mediante el programa NX y finalmente se ha procedido a su fabricación.

El principal reto ha sido el último paso mencionado, la fabricación. En cuanto al propio mecanismo, hay piezas que se han tenido que fabricar más de una vez al elaborarlas mal la primera vez; debido a las tolerancias, al no ser las piezas exactas a las del modelo 3D se ha complicado su montaje y el correcto funcionamiento del mecanismo, y debido a la forma de este, ha estado bastante confuso el montaje de las piezas que lo componen. En relación a la integración de este en la bicicleta se ha tenido que elaborar un acoplamiento, el cual se ha tenido que modificar por errores de medida. Una vez finalizado, se ha tenido que hacer unas pequeñas modificaciones tanto al acoplamiento como a la bicicleta para poder unirlos.

Aunque no se ha podido acabar el proyecto, puesto que ha faltado incorporar las últimas dos piezas, se ha podido poner en práctica el contenido aprendido en diferentes asignaturas cursadas y no cursadas. Además, se ha comprobado satisfactoriamente que el mecanismo escogido es adecuado, y se ha realizado el diseño y la fabricación del mecanismo para poder implementarlo en la bicicleta adquirida.

### Palabras clave (máximo 10):

Cinemática	Recorrido	Posiciones	Mecanismo Theo Jansen - Bicicleta
Mecanismo caminador	Acoplamiento del mecanismo		

## ABSTRACT

Walking mechanisms has the same purpose as the wheel, the transportation, but they are less known and used. Although this is probably due to a more complex structure, they have a great advantage for which they are becoming more and more important. This is the ability to get over obstacles and the ease of run on irregular terrain.

Different walking mechanisms have been patented, with different structures, but the path made by the point of contact with the ground is always the same: it advances a certain distance and then rises this point while returning backwards (to the starting point) and it returns in contact with the ground again.

This project consists of choosing one of these mechanisms, designing it, manufacturing it, and implementing it on a bicycle in order to display it in future open days at the university. To determine the mechanism to work with, two have been chosen (of all existing ones) and a kinematic analysis of the movement has been carried out. Then it has been studied how to integrate the mechanism into a bicycle, has been designed it and modelled it in 3D using the NX program and finally has been proceeded with its manufacture.

The main challenge has been the last step mentioned, the manufacture. As for the mechanism itself, there are pieces that have had to be made more than once as they were poorly crafted the first time; due to the tolerances, as the pieces are not exact to those of the 3D model, its assembly and the correct functioning of the mechanism have been complicated, and due to its shape, the assembly of the parts that compose it has been quite confusing. In relation to the integration of this in the bicycle, a coupling had to be elaborated, which had to be modified due to measurement errors. Once finished, a few small modifications had to be made to both the coupling and the bicycle to be able to join them.

Although it has not been possible to finish the project, as the last two pieces have not been incorporated, it has been possible to put into practice the content learned in different subjects taken and not taken. Furthermore, it has been satisfactorily verified that the chosen mechanism is suitable, and the design and manufacture of the mechanism has been carried out to be able to implement it in the purchased bicycle.

### Keywords (10 maximum):

Kinematics	Path	Positions	Theo Jansen Mechanism - Bicycle
Kinematics Walking mechanism	Docking of the mechanism		

## SUMARI

<b>INTRODUCCIÓ</b>	<b>13</b>
<b>1. ESTAT DE L'ART</b>	<b>14</b>
<b>1.1 DIFERENTS MECANISMES AMB LA MATEIXA FUNCIO UTILITZATS AL LLARG DE LA HISTÒRIA [1]</b>	<b>14</b>
<b>1.2 FUNCIONAMENT DELS MECANISMES DE LES BICICLETES [7]</b>	<b>15</b>
<b>1.3 ALTRES MECANISMES QUE ES PODRIEN UTILITZAR [8]</b>	<b>16</b>
1.3.1 ENLLAÇ DE THEO JANSEN [9]	16
1.3.2 ENLLAÇ DE KLANN [11]	18
1.3.3 MÀQUINA DE CAMINAR MECÀNICA GHASSEI [13]	18
1.3.4 MECANISME LAMBDA [14]	19
1.3.5 MECANISME DE POTES DE SIS I VUIT BARRES [16]	20
1.3.6 MECANISME DE POTA DE PANTÒGRAF 2 GRAUS DE LLIBERTAT I MECANISME DE 2 POTES 1 GRAU DE LLIBERTAT DEL TIPUS RPRPR [17]	21
1.3.7 CADIRA PER CAMINAR DE L'INSTITUT DE TECNOLOGIA DE TÒQUIO	22
1.3.8 TROTBOT / STRIDER [18]	23
<b>2. SIMULACIONS, MITJANÇANT COORDENADES, DE MECANISMES CAMINADORS EN L'OCTAVE</b>	<b>25</b>
<b>2.1 SIMULACIÓ DE POSICIONS</b>	<b>25</b>
2.1.1 ARXIU EQUACIONS	25
2.1.1.1 ANÀLISI CINEMÀTIC	26
2.1.1.1.1 MECANISME DE KLANN	30
2.1.1.1.2 MECANISME DE THEO JANSEN	32
2.1.2 ARXIU ITERACIONS	33
<b>2.2 MECANISME CAMINADOR ESCOLLIT</b>	<b>37</b>
<b>3. DISSENY DEL PROTOTIP</b>	<b>43</b>
<b>3.1 MÒDUL DEL MECANISME CAMINADOR</b>	<b>43</b>
3.1.1 BARRES	44
3.1.1.1 ELABORACIÓ BARRES	44
3.1.1.2 ELABORACIÓ ESTRUCTURES	45
3.1.2 UNIONS	48
3.1.2.1 ELABORACIÓ DELS CASQUETS	48
3.1.3 CONJUNT DELS ELEMENTS DEL MECANISME CAMINADOR	49
<b>3.2 MÒDUL D'ACOBLEMENT (DEL MECANISME CAMINADOR A LA BICICLETA)</b>	<b>49</b>
3.2.1 ELABORACIÓ DE L'ACOBLEMENT	51
3.2.1.1 FIXACIÓ DE LES BARRES A LES MANOVELLES	51
3.2.1.2 FIXACIÓ DE LES BARRES A UN SUPORT	55
3.2.1.3 FIXACIÓ DELS PLATS A LES BARRES	63

<b>3.3</b>	<b>INTEGRACIÓ DE L'ACOBLEMENT A LA BICICLETA</b>	<b>67</b>
<b>3.3.1</b>	<b>UNIÓ DE L'ACOBLEMENT I LA BICICLETA</b>	<b>67</b>
<b>3.3.2</b>	<b>CANVI DEL PLAT DE LA BICICLETA</b>	<b>70</b>
<b>3.3.3</b>	<b>PROCEDIMENT PER POSAR LES CADENES</b>	<b>71</b>
<b>3.4</b>	<b>MATERIALS</b>	<b>72</b>
<b>3.5</b>	<b>PROTOTIP</b>	<b>73</b>
<b>4.</b>	<b>PRESSUPOST</b>	<b>75</b>
<b>5.</b>	<b>ASPECTES MEDIAMBIENTALS</b>	<b>76</b>
	<b>RESULTATS</b>	<b>77</b>
	<b>CONCLUSIONS</b>	<b>78</b>
	<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>79</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>80</b>
	<b>ANNEX</b>	<b>82</b>

## SUMARI DE FIGURES

FIGURA 1. CARRO SUMERI DE BATALLA. CIRCA 2500 AC. FONT: BBC NEWS	14
FIGURA 2. TRANSPORT DE PEDRES PER A LA CONSTRUCCIÓ D'UNA PIRÀMIDE. FONT: VIX	14
FIGURA 3. BARCA FLUVIAL 1420 AC. FONT: WIKIPEDIA	15
FIGURA 4. DRASIANA. FONT: WIKIPEDIA	15
FIGURA 5. GRAN BI. FONT: EL MUNDO	16
FIGURA 6. BICICLETA. FONT: ES HORA DE CAMBIAR LA HISTORIA	16
FIGURA 7. ESCULTURA CINÈTICA STRANDBEESTEN. FONT: STRANDBEEST	17
FIGURA 8. MECANISME THEO JANSEN 1. FONT: WIKIPEDIA	17
FIGURA 9. MECANISME THEO JANSEN 2. FONT: GEOMETRIADINAMICA	17
FIGURA 10. MECANISME DE KLANN. FONT: WIKIPEDIA	18
FIGURA 11. ROBOT SUBMARÍ. FONT: UWE BRISTOL	18
FIGURA 12. MECANISME GHASSEI. FONT: AMANDA GHASAEI	19
FIGURA 13. MÀQUINA DE CAMINAR MECÀNICA GHASSEI. FONT: AMANDA GHASSEI	19
FIGURA 14. MECANISME LAMBDA 1. FONT: WIKI	20
FIGURA 15. MECANISME LAMBDA 2. FONT: WIKI	20
FIGURA 16. CONJUNT DE QUATRE MECANISMES LAMBDA. FONT: WIKI	20
FIGURA 17. MECANISME DE SIS BARRES. FONT: UNIVERSITY OF OULU, FINLAND	21
FIGURA 18. MECANISME DE VUIT BARRES. FONT: UNIVERSITY OF OULU, FINLAND	21
FIGURA 19. MECANISME DE 2 POTES. FONT: TEXAS A&M UNIVERSITY CORPUS CHRISTI	22
FIGURA 20. MECANISME DE POTA DE PANTÒGRAF. FONT: TEXAS A&M UNIVERSITY CORPUS CHRISTI	22
FIGURA 21. MECANISME D'UNA CADIRA PER CAMINAR. FONT: WIKIPEDIA	23
FIGURA 22. MECANISME TROTBOT. FONT: TEAM TROTBOT	23
FIGURA 23. MECANISME STRIDER. FONT: DIY WALKERS	23
FIGURA 24. TROTBOT ELABORAT. FONT: TEAM TROTBOT	24
FIGURA 25. STRIDER ELABORAT. FONT: DIY WALKERS	24
FIGURA 26. ARXIU EQUACIONS OCTAVE. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	26
FIGURA 27. COORDENADES NATURALS D'UNA BARRA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	27
FIGURA 28. TRIANGLE RECTANGLE 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	28
FIGURA 29. TRIANGLE RECTANGLE 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	28
FIGURA 30. TRIANGLE RECTANGLE 3. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	29
FIGURA 31. ESQUEMA MECANISME DE KLANN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	30
FIGURA 32. ESQUEMA MECANISME DE THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	32
FIGURA 33. ARXIU ITERACIONS 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	34
FIGURA 34. ARXIU ITERACIONS (1). FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	34
FIGURA 35. ARXIU ITERACIONS 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	34
FIGURA 36. ARXIU ITERACIONS 3. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	35
FIGURA 37. ARXIU ITERACIONS 4. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	35
FIGURA 38. ARXIU ITERACIONS 5. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	35
FIGURA 39. ARXIU ITERACIONS 6. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	36
FIGURA 40. ARXIU ITERACIONS 7. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	36
FIGURA 41. ARXIU ITERACIONS 8. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	36
FIGURA 42. ARXIU ITERACIONS 9. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	36
FIGURA 43. RECORREGUT MECANISME DE KLANN	37
FIGURA 44. RECORREGUT MECANISME DE THEO JANSEN	37
FIGURA 45. RECORREGUT DEL MECANISME DE KLANN AMB UNA DIMENSIÓ SIMILAR A L'ALTRE MECANISME. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	38
FIGURA 46. RECORREGUT DEL MECANISME DE THEO JANSEN AMB UNA DIMENSIÓ SIMILAR A L'ALTRE MECANISME. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	39
FIGURA 47. RECORREGUT DEL MECANISME DE KLANN ON ES POT OBSERVAR AMB EXACTITUD LES DIMENSIONS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	40
FIGURA 48. RECORREGUT DEL MECANISME DE THEO JANSEN ON ES POT OBSERVAR AMB EXACTITUD LES DIMENSIONS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	40
FIGURA 49. SUPERPOSICIÓ DEL RECORREGUT DE BAIXADA I EL RECORREGUT DE PUJADA PER TROBAR EL PUNT DE TRANSICIÓ. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	42
FIGURA 50. MECANISME THEO JANSEN 3. FONT: WIKIPEDIA	43



FIGURA 51. MECANISME THEO JANSEN 4. FONT: WIKIPEDIA	44
FIGURA 52. EXEMPLE BARRA J DEL MECANISME. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	44
FIGURA 53. BARRA J. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 54. BARRA F. FONT ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 55. BARRA K. FONT ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 56. EXEMPLE PRIMER FORAT D'UNA BARRA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 57. EXEMPLE SEGON FORAT D'UNA BARRA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 58. EXEMPLE ESTRUCTURA CUIXA DEL MECANISME. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	45
FIGURA 59. BARRES QUE COMPONEN LES ESTRUCTURES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	46
FIGURA 60. ESQUEMA SOLDADURA PER ARC ELÈCTRIC. FONT: DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	46
FIGURA 61. ESTRUCTURA PEU SOLDADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	47
FIGURA 62. TAULA UTILITZADA PER A SOLDAR. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	47
FIGURA 63. ESTRUCTURA PEU ESMOLADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	47
FIGURA 64. ESTRUCTURA CUIXA FORADADA PER PRIMERA VEGADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	47
FIGURA 65. ESTRUCTURA CUIXA FORADADA PER SEGONA VEGADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	47
FIGURA 66. CASQUET 3. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	48
FIGURA 67. MODEL 3D DEL CASQUET 3. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	48
FIGURA 68. MECANISME THEO JANSEN D'ELABORACIÓ PRÒPIA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	49
FIGURA 69. MODEL 3D DE LES QUATRE POTES POSICIONADES EN PARAL·LEL. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	50
FIGURA 70. PRIMER PUNT ON LA BARRA ACCIONADORA SE SUPERPOSA AMB UNA DE LES DUES BARRES DE LES POTES ESMENTADES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	50
FIGURA 71. SEGON PUNT ON LA BARRA ACCIONADORA SE SUPERPOSA AMB UNA DE LES BARRES DE LES POTES ESMENTADES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	50
FIGURA 72. MODEL 3D DE LA POSICIÓ DE LES POTES I LA TRANSMISSIÓ DE ROTACIÓ DEL SEGON PARELL. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	51
FIGURA 73. MODEL 3D DE L'ACOBLEMENT DE LES POTES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	52
FIGURA 74. MODEL 3D DE LA MANOVELLA DEL MECANISME THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	52
FIGURA 75. MODEL 3D DE LES POTES I EL SEU ACOBLEMENT A LES BARRES ACCIONADORES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	52
FIGURA 76. FORAT ROSCAT PER PODER FIXAR LA PEÇA A UN TROS DE FUSTA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	53
FIGURA 77. PROGRAMA DE LA FRESADORA ACTIVAT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	53
FIGURA 78. BUIDATGE REALITZAT AMB LA FRESADORA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	53
FIGURA 79. FRESADORA TREBALLANT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	53
FIGURA 80. FORAT DE DIÀMETRE EQUIVALENT AL DE LA BARRA ACCIONADORA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 81. BUIDATGE COMPLETAT (AMB EL CÚTER) I FORAT DE DIÀMETRE EQUIVALENT AL FORAT DE LA MANOVELLA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 82. FORAT PASSANT PERPENDICULAR A LES CARES 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 83. FORAT PASSANT PERPENDICULAR A LES CARES 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 84. MANOVELLA DEL MECANISME THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 85. MECANISME COMPLET THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	54
FIGURA 86. AVELLANAT D'UN DELS FORATS DE LA MANOVELLA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	55
FIGURA 87. BICICLETA A UTILITZAR EN EL PROJECTE. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	55
FIGURA 88. BANDA INTERNA DE LA PART INFERIOR DEL QUADRE DE LA BICICLETA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	55
FIGURA 89. MODEL 3D DE LES BARRES, ELS PERFILS I LES POTES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	56
FIGURA 90. FORAT ROSCAT DE LA BARRA DEL SEGON PUNT FIX. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	57
FIGURA 91. CONJUNT DELS PERFILS I LES BARRES DEL SEGON PUNT FIX. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	57
FIGURA 92. SOLDADURA DE LES BARRES I ELS PERFILS UN COP ESMOLADA 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	58
FIGURA 93. SOLDADURA DE LES BARRES I ELS PERFILS UN COP ESMOLADA 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	58
FIGURA 94. BARRA ACCIONADORA AMB L'ACOBLEMENT DE LES POTES I LA MANOVELLA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	58

FIGURA 95. VARETA DE L'ACOBLAMENT DE LES POTES I LA BARRA ACCIONADORA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	59
FIGURA 96. PLATINA SUPORT COIXINET FORADADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	59
FIGURA 97. PEÇA SUPORT COIXINET FORADADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	59
FIGURA 98. PERFIL FORADAT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	59
FIGURA 99. MUNTATGE DE LA PEÇA SUPORT COIXINET, PLATINA SUPORT COIXINET I COIXINET SOBRE EL PERFIL. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	60
FIGURA 100. PUNT ON XOQUEN LES POTES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	60
FIGURA 101. PART DAVANTERA DELS PERFILS UN COP TALLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	61
FIGURA 102. PART POSTERIOR DELS PERFILS UN COP TALLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	61
FIGURA 103. PERFILS FORADATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	61
FIGURA 104. BARRES AGREGADES ALS PERFILS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	62
FIGURA 105. BARRA FORADADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	62
FIGURA 106. BARRES CARGOLADES ALS PERFILS 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	62
FIGURA 107. BARRES CARGOLADES ALS PERFILS 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	62
FIGURA 108. BARRES I PERFILS SOLDATS 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	63
FIGURA 109. BARRES I PERFILS SOLDATS 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	63
FIGURA 110. BARRES I PERFILS SOLDATS 3. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	63
FIGURA 111. BARRES I PERFILS SOLDATS 4. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	63
FIGURA 112. MODEL 3D DEL CONJUNT DE POTES, ACOBLAMENT D'AQUEST CONJUNT, PLATS I ELS SEUS ACOBLAMENTS A LES BARRES ACCIONADORES. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	64
FIGURA 113. MODEL 3D DE LA VARETA D'ACOBLAMENT DELS PLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	64
FIGURA 114. MODEL 3D DE L'ACOBLAMENT DELS PLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	64
FIGURA 115. PEÇA A PARTIR DE LA QUAL ES FARÀ L'ACOBLAMENT DELS PLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	64
FIGURA 116. PEÇA CILINDRADA I FORADADA 2. FONT ELABORACIÓ PRÒPIA	65
FIGURA 117. PEÇA CILINDRADA I FORADADA 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	65
FIGURA 118. PLAT A SOBRE DE LA PEÇA PER MARCAR EL PERÍMETRE DELS FORATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	65
FIGURA 119. PEÇA FORADADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	65
FIGURA 120. MARCA DEL PERÍMETRE DELS FORATS EN LA PEÇA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	65
FIGURA 121. FORAT PER PASSAR LA VARETA 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	66
FIGURA 122. FORAT PER PASSAR LA VARETA 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	66
FIGURA 123. VARETA PER L'ACOBLAMENT DELS PLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	66
FIGURA 124. BICICLETA SENSE LA RODA POSTERIOR. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	67
FIGURA 125. TAULÓ PRINCIPAL TALLAT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	67
FIGURA 126. UN DELS TRES NERVIS TALLATS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	67
FIGURA 127. TAULÓ PRINCIPAL FORADAT. ELABORACIÓ PRÒPIA	68
FIGURA 128. SUPORT PER AL CONJUNT ACOBLAMENT I MECANISME CAMINADOR. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	68
FIGURA 129. BARRA D'ENGANXAMENT A LA BICICLETA PREPARADA PER A SOLDAR. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	68
FIGURA 130. BARRA D'ENGANXAMENT A LA BICICLETA SOLDADA 1. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	69
FIGURA 131. BARRA D'ENGANXAMENT A LA BICICLETA SOLDADA 2. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	69
FIGURA 132. BARRA D'ENGANXAMENT A LA BICICLETA CILINDRADA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	69
FIGURA 133. PART POSTERIOR DEL QUADRE DE LA BICICLETA ON S'UNEIX EL CONJUNT DE L'ACOBLAMENT I EL MECANISME CAMINADOR. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	69
FIGURA 134. ACOBLAMENT DEL MECANISME UNIT A LA BICICLETA. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	70
FIGURA 135. BICICLETA SENSE ELS PLATS I EL PEDAL. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	70
FIGURA 136. PLATS I PEDAL EXTRETS DE LA BICICLETA. FONT ELABORACIÓ PRÒPIA	70
FIGURA 137. EXTRACTOR DE PLATS. FONT: AMAZON	70
FIGURA 138. PARTS D'UNA CADENA TANCADA MANUALMENT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	72
FIGURA 139. PARTS ESPECÍFIQUES D'UN ESLAVÓ D'ENGANXAMENT. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	72
FIGURA 140. PRIMERA CADENA POSADA (UNIÓ DELS PLATS DE LES BARRES ACCIONADORES). FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	72
FIGURA 141. PROTOTIP FINAL DEL PROJECTE. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA	74

## SUMARI DE TAULES

TAULA 1. DADES PER CALCULAR ELS GRAUS DE LLIBERTAT DEL MECANISME DE KLANN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	30
TAULA 2. DADES PER CALCULAR LES EQUACIONS DE RESTRICCIÓ NECESSÀRIES PER AL MECANISME DE KLANN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	31
TAULA 3. DADES PER CALCULAR ELS GRAUS DE LLIBERTAT DEL MECANISME DE THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	32
TAULA 4. DADES PER CALCULAR LES EQUACIONS DE RESTRICCIÓ NECESSÀRIES PER AL MECANISME DE THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	33
TAULA 5. MESURES MECANISME DE THEO JANSEN. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	43

## SUMARI DE GRÀFIQUES

GRÀFICA 1. DESGLOSSAMENT DELS COSTS. FONT: ELABORACIÓ PRÒPIA .....	75
--	----

## INTRODUCCIÓ

La finalitat d'aquest projecte és elaborar un mecanisme caminador i implementar-lo en una bicicleta. En aquest cas s'integraran quatre mecanismes Theo Jansen i es farà un acoblament per tal d'unir-los amb la bicicleta i fer-la funcionar.

La dificultat d'aquest treball és aconseguir construir adequadament el mecanisme i l'acoblament, que funcioni bé el mecanisme sol, amb l'acoblament i un cop posats aquests en la bicicleta i finalment que una persona pugui utilitzar aquesta per desplaçar-se.

### OBJECTIUS

Construir una bicicleta que funcioni mitjançant un mecanisme caminador que sigui totalment funcional, per desplaçar-se i per poder ser mostrada en les portes obertes de la universitat.

Per aconseguir aquest objectiu caldrà fer prèviament:

- Estudiar que el mecanisme escollit és el més indicat per aplicar en aquest cas, pel qual es necessitarà una simulació cinètica.
- Fabricar un mecanisme caminador funcional.
- Fabricar un acoblament al mecanisme caminador.
- Integrar l'acoblament i el mecanisme caminador a la bicicleta.

### METODOLOGIA

Primerament s'ha realitzat l'estat de l'art on entre d'altres s'ha fet un estudi sobre els diferents mecanismes caminadors existents per poder escollir un amb el qual treballar.

Per fer això, s'han estudiat amb més profunditat els dos mecanismes més ben valorats mitjançant les coordenades naturals. Aquests s'han esquematitzat per poder obtenir les equacions de restricció i així mitjançant un programa realitzat en l'Octave poder iterar-les i obtenir la trajectòria del punt del mecanisme caminador en contacte amb el sòl per escollir el més adequat dels dos.

Finalment per a la fabricació, s'han modelat en 3D totes les peces usant el programa NX i s'ha procedit a elaborar-les en el taller de mecànica (amb l'ajuda prèvia dels plànols i els fulls de ruta).

## 1. ESTAT DE L'ART

Com que aquest treball tracta sobre el mecanisme que utilitza un vehicle determinat per caminar, a continuació s'analitzaran: els diferents mecanismes amb la mateixa funció utilitzats al llarg de la història, el funcionament dels mecanismes de les bicicletes i altres mecanismes que es podrien utilitzar.

### 1.1 DIFERENTS MECANISMES AMB LA MATEIXA FUNCIO UTILITZATS AL LLARG DE LA HISTÒRIA [1]

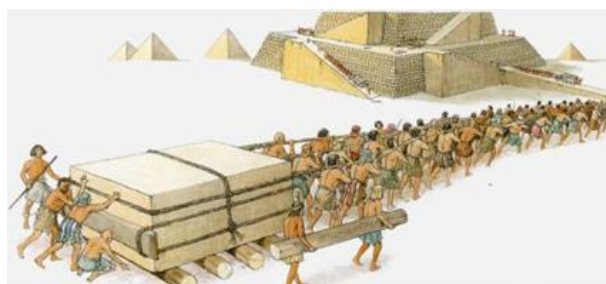
En la primera etapa de la història de la humanitat, la prehistòria, no tenien cap mena de tecnologia en el camp dels transports. Les persones es transportaven caminant i transportaven objectes/materials ells mateixos o bé subjectats en animals. En aquest cas el mecanisme caminador serien les cames i les potes les quals funcionen mitjançant l'aparell locomotor.

En l'edat antiga va sorgir un dels invents més importants de la història, la roda. Concretament es va inventar al 3500 aC a Mesopotàmia. Inicialment, aquest mecanisme funcionava mitjançant la força d'una persona o d'un animal que s'encarregava de moure el vehicle.



**Figura 1.** Carro sumeri de batalla. Circa 2500 aC.  
Font: BBC NEWS

En aquesta època, també es va determinar un segon mètode de transport, l'arrossegament. En la superfície terrestre utilitzaven un camí fet per objectes cilíndrics (de fusta o pedra) que es col·locaven horitzontalment; l'objecte a arrossegar es col·locava a sobre i degut a que es produïa un efecte de lliscament, la força que s'havia d'aplicar per produir moviment era menor. En la superfície, no marítima sinó fluvial, utilitzaven els corrents del riu o la força del vent per fer lliscar embarcacions a través dels rius.[2]



**Figura 2.** Transport de pedres per a la construcció d'una piràmide. Font: VIX



**Figura 3.** Barca fluvial 1420 aC. Font: Wikipedia

A partir de l'edat moderna es van inventar diferents vehicles, però tots tenien el mateix "mecanisme caminador", la roda. La diferència entre aquestes invencions, pel que respecta al mecanisme caminador, és el funcionament del mecanisme.

Durant el segle XIX es van inventar diferents mètodes: màquines de vapor, motors de gasolina, mecanismes de pinyó i cadena (com és el cas de la bicicleta) i bateries elèctriques.

Durant el segle XX: energia elèctrica proporcionada per catenàries, motor dièsel i transmissió hidràulica, motor elèctric i motor de gas. [3, 4, 5]

Durant el segle XXI: energia elèctrica proporcionada per un raíl i patins de contacte i el motor d'hidrogen. [6]

## 1.2 FUNCIONAMENT DELS MECANISMES DE LES BICICLETES [7]

El disseny més antic d'una bicicleta, data del 1817 i no es deia bicicleta, sinó drasiana (en honor al creador d'aquest que s'anomenava Karl Christian Ludwig Drais). Aquesta consistia en dues rodes en un mateix eix i es movia mitjançant un impuls que havia de fer el viatger amb els peus (actualment aquest mecanisme s'utilitza per a motos de plàstic o bicicletes de fusta perquè els nens petits aprenguin a mantenir l'equilibri).



**Figura 4.** Drasiana. Font: Wikipedia

El següent tipus de bicicleta va ser la Gran Bi. Aquesta és coneguda per la diferència de mida entre la roda davantera i posterior, donat que la primera era molt més gran degut a que així un es podia desplaçar més ràpidament. Aquesta també es movia amb dues rodes, però no mitjançant un impuls, sinó gràcies al manillar i al pedal.



**Figura 5.** Gran Bi. Font: EL MUNDO

Finalment, en 1890 John Boyd Dunlop va dissenyar la bicicleta actual. Aquesta es va diferenciar per la posició dels pedals (en el centre de la bicicleta, en comptes d'en el centre de la roda davantera), els pneumàtics i finalment el sistema de transmissió amb el qual es mouen les rodes (compost per un plat, un pinyó i una cadena).



**Figura 6.** Bicicleta. Font: Es Hora De Cambiar La Historia

### **1.3 ALTRES MECANISMES QUE ES PODRIEN UTILITZAR** **[8]**

Els mecanismes que es mostraran a continuació, són mecanismes caminadors els quals simulen la funcionalitat d'una cama o una pota a l'hora de caminar. Al contrari de l'invent caminador explicat anteriorment en l'apartat 1.1, és a dir, la roda, aquest es diferencia pel fet que és capaç d'esquivar obstacles passant per damunt d'aquests (sempre que la mesura de l'obstacle i la mida de la cama/pota sigui adequada).

#### **1.3.1 ENLLAÇ DE THEO JANSEN [9]**

Aquest mecanisme ha estat dissenyat per en Theo Jansen (escultor cinètic), qui l'implementa en les seves escultures cinètiques (per dotar-les de moviment) anomenades Strandbeesten [10]. Aquestes escultures han sigut creades amb la finalitat de simular l'estructura d'un animal, que tingui la capacitat de llançar a l'aire grans



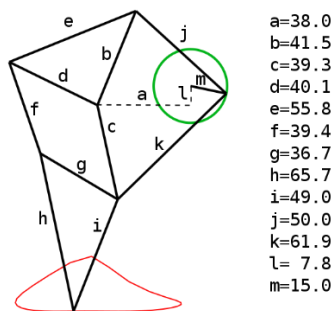
## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

quantitats de sorra, per crear dunes al costat del mar i evitar el creixement del nivell d'aquest.



**Figura 7.** Escultura cinètica Strandbeesten. Font: Strandbeest

De les dues figures següents, la primera mostra l'enllaç Theo Jansen en una posició concreta. En aquesta es poden observar les mesures de les barres i en vermell el recorregut que fa. La segona fotografia, a banda de tornar a mostrar el recorregut del punt que uneix la barra "h" i "i", també mostra el recorregut de la barra "m" i tres posicions diferents del mecanisme.



**Figura 8.** Mecanisme Theo Jansen  
1. Font: Wikipedia



**Figura 9.** Mecanisme Theo Jansen  
2. Font: GeometriaDinamica

El mecanisme simula el moviment d'una pota (com es pot apreciar a la figura 9), la qual es mou mitjançant l'accionament de la barra "m". Aquesta barra actua com a manovella i es mou en cercles gràcies a un actuator giratori. Tant la manovella (per l'extrem que no té contacte amb les altres barres), com el punt que connecta la barra "b", "c" i "d" estan fixes i la finalitat d'aquest mecanisme és desplaçar-se, tal com estan les fotografies, cap a l'esquerra.

Per últim, aclarir que les mesures de les barres mostrades en la primera fotografia han sigut determinades per l'autor, mitjançant un algoritme per tal de trobar la solució més òptima per a l'estabilitat del mecanisme.

### 1.3.2 ENLLAÇ DE KLANN [11]

L'enllaç de Klann va ser desenvolupat per Joe Klann a partir de la Teoria de Burmester (permet saber les limitacions geomètriques del moviment d'un mecanisme de quatre barres) amb la finalitat de desenvolupar un mecanisme de quatre barres amb doble balanç característic de les grues portuàries [12].

La següent figura mostra diferents posicions del mecanisme:

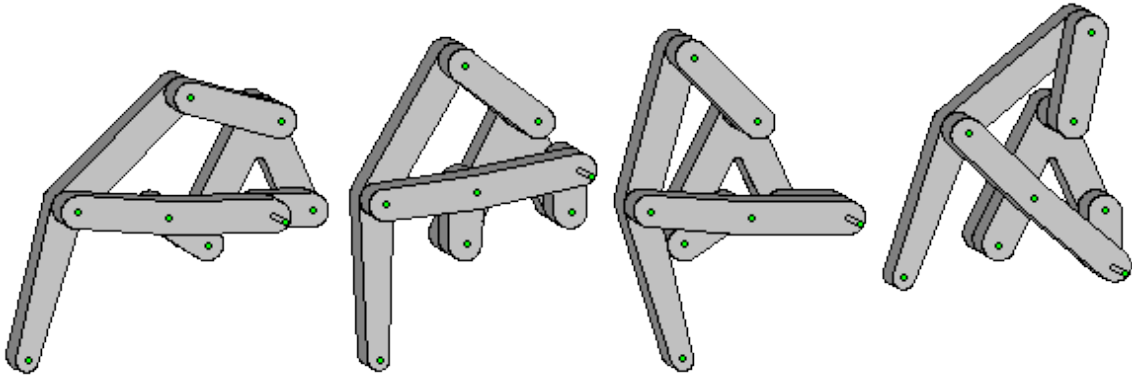


Figura 10. Mecanisme de Klann. Font: Wikipedia

El funcionament d'aquest mecanisme és similar a l'anterior. La barra que té forma de cilindre és la manovella i s'encarrega de moure la resta de barres. També hi ha dos enllaços fixos, que serien els vèrtexs inferiors de la barra en forma de triangle. I segons aquesta fotografia, el mecanisme també es desplaçaria cap a l'esquerra.

Aquest tipus de mecanisme ja s'ha implementat prèviament, com és en el cas d'un robot submarí (figura 11) el qual té l'objectiu d'explorar el llit marí per determinar les propietats dels objectes submergits en llocs obscurs i inaccessibles.

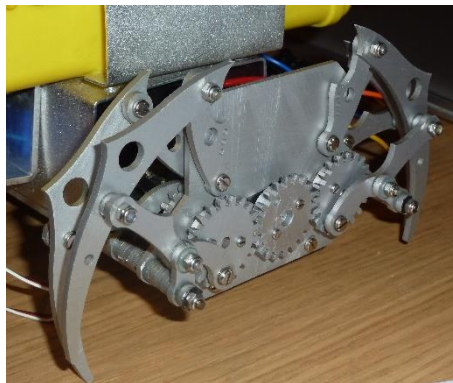


Figura 11. Robot Submarí. Font: UWE BRISTOL

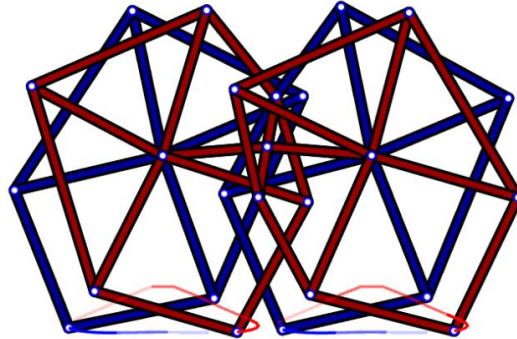
### 1.3.3 MÀQUINA DE CAMINAR MECÀNICA GHASSEI [13]

Aquest mecanisme és un projecte de tesis d'Amanda Ghasei inspirat en el de Theo Jansen, en el qual ha modelat i optimitzat la geometria del mecanisme en Mathematica per aconseguir una eficiència, estabilitat i altura de pas determinada.

A causa d'això, el seu funcionament és similar que els anteriors. Funciona mitjançant

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

una manovella i té tres punts fixos els quals es poden observar en la següent figura (on es mostra com és el mecanisme utilitzat) donat que aquests són els punts que comparteixen l'estructura blava i vermella. En aquesta figura el mecanisme està mostrat de tal manera que avançaria cap a l'esquerra.



**Figura 12.** Mecanisme Ghassaei. Font: Amanda Ghassaei

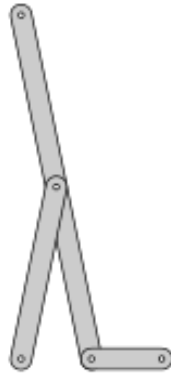
Encara que en la figura anterior és mostra el mecanisme utilitzat, la màquina de caminar elaborada per l'Amanda Ghassaei està composta per tres mecanismes units un rere l'altre, tal com es pot observar en la següent figura:



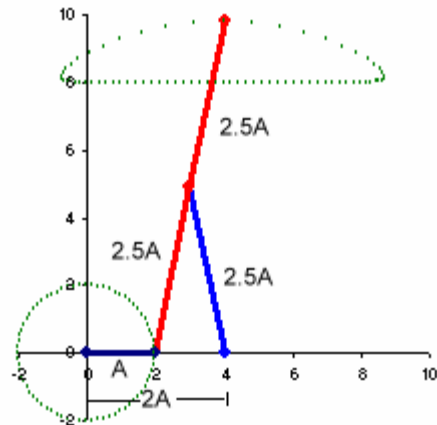
**Figura 13.** Màquina de caminar mecànica Ghassaei. Font: Amanda Ghassaei

### 1.3.4 MECANISME LAMBDA [14]

Pafnuti Lvóvich Chebyshev va inventar un mecanisme basat en l'enllaç Chebyshev, que consisteix a crear un moviment aproximat en línia recta mitjançant la rotació de quatre barres enllaçades [15]. Aquest mecanisme rep aquest nom degut a que la seva forma és semblant a la lletra grega lambda, tal com es pot veure en la següent figura:



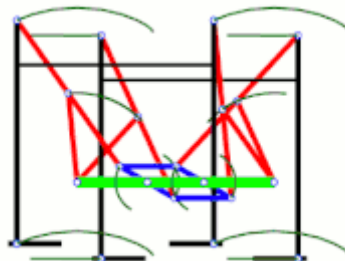
**Figura 14.** Mecanisme Lambda 1. Font: Wiki



**Figura 15.** Mecanisme Lambda 2. Font: Wiki

Tal com es pot veure a la figura superior de la dreta, la manovella, que seria la barra blava que es troba en posició horitzontal, faria un moviment giratori que provocaria el moviment de la barra vermella de tal forma que recorregués una línia recta i després tornés a la seva posició inicial recorrent mitja el·lipse.

En acoblar el mecanisme a una barra fixa i en acoblar-li dues barres (perpendicular entre elles) en l'extrem lliure de la barra vermella (de la figura 15), l'autor va crear una màquina caminadora anomenada Plantígrada. Avui dia aquest mecanisme s'utilitza en mecanismes de suspensió de vehicles, robots caminadors i mecanismes de rodes mòbils.



**Figura 16.** Conjunt de quatre mecanismes Lambda. Font: Wiki

### 1.3.5 MECANISME DE POTES DE SIS I VUIT BARRES [16]

Aquests mecanismes formen part d'una investigació del Departament de teoria del mecanisme i dels robots de la Universitat Politècnica de Bucarest.

En el primer cas, s'estudia el mecanisme de sis barres, el qual és capaç de generar una corba en forma de "D" asimètrica. Com es pot veure a la figura mostrada a continuació la secció rectilínia de la petjada és equivalent a un terç de la rotació de la manovella, el que adequa aquest mecanisme a caminar com un cranc de sis potes i esquivar obstacles "escalant-los".

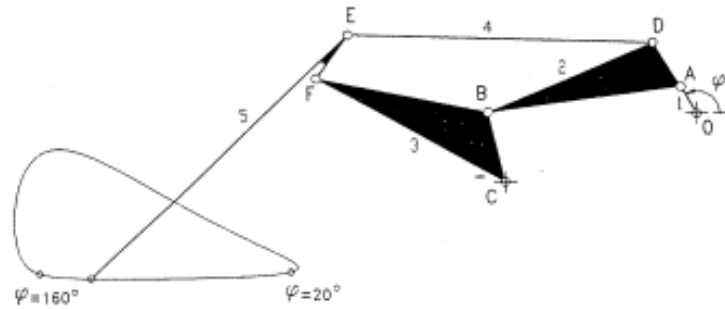


Figura 17. Mecanisme de sis barres. Font: University of Oulu, Finland

Pel que fa al mecanisme de vuit barres, és molt semblant i té la mateixa funció, però es diferencia en el fet que la secció rectilínia de la petjada és equivalent a la meitat de la rotació de la manovella, i que en aquest cas el mecanisme és adequat per aplicacions caminadores bípedes o quadrúpedes.

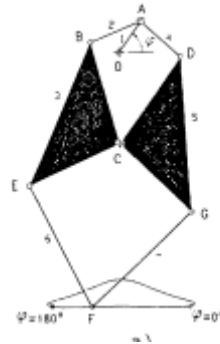
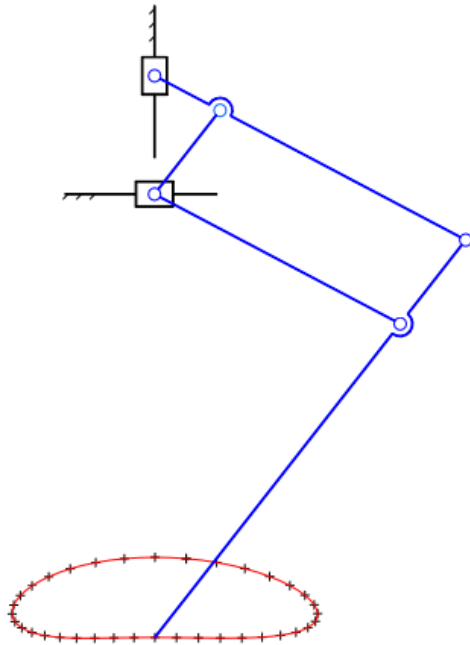


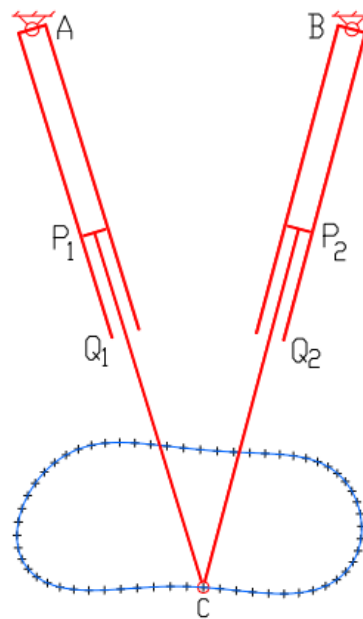
Figura 18. Mecanisme de vuit barres. Font: University of Oulu, Finland

### 1.3.6 MECANISME DE POTA DE PANTÒGRAF 2 GRAUS DE LLIBERTAT I MECANISME DE 2 POTES 1 GRAU DE LLIBERTAT DEL TIPUS RPRPR [17]

Ambdós mecanismes han estat creats i simulats en una investigació de la universitat texana University Corpus Christi. Les següents figures mostren el mecanisme de pota de pantògraf 2 graus de llibertat i del mecanisme de 2 potes 1 grau de llibertat del tipus RPRPR, respectivament:



**Figura 20.** Mecanisme de pota de pantògraf.  
Font: Texas A&M University Corpus Christi



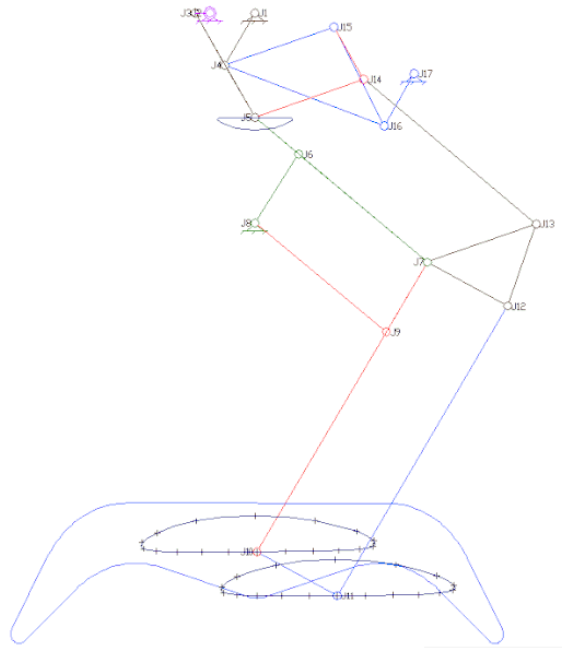
**Figura 19.** Mecanisme de 2 potes.  
Font: Texas A&M University Corpus Christi

Aquests són accionats per motors lineals programats per generar moviments periòdics, establerts de forma interactiva per tal que simulin el funcionament d'una pota. La diferència entre aquests dos, és que el primer consta de cinc barres i dos graus de llibertat, s'inicia el moviment gràcies a dos parells prismàtics i es transmet gràcies als parells de revolució i el segon consta de quatre barres i un grau de llibertat, el moviment s'inicia gràcies a dos parells revolució i es transmet gràcies a dos parells prismàtics i un parell de revolució (Revolució-Prismàtic-Revolució-Prismàtic-Revolució).

### 1.3.7 CADIRA PER CAMINAR DE L'INSTITUT DE TECNOLOGIA DE TÒQUIO

Aquest és un projecte de la universitat de Tòquio per dissenyar un vehicle alternatiu a la cadira de rodes, amb un sistema de control i assistència elèctrica que permeti caminar a l'usuari. La finalitat d'aquest projecte era no causar fatiga i donar una sensació de confort a l'usuari, pel qual una vegada dissenyada la part mecànica, l'objectiu era adaptar-la a les característiques cinoestàtiques del braç humà.

Com podem veure a la següent figura, el mecanisme està compost per diferents barres i parells de revolució i s'acciona mitjançant una manovella representada per la barra que es troba entre els parells de revolució J2 i J3.

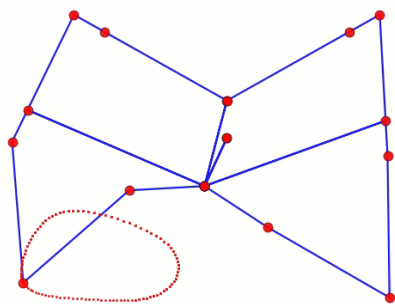


**Figura 21.** Mecanisme d'una cadira per caminar. Font: Wikipedia

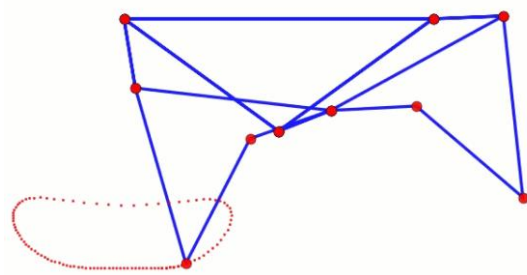
### 1.3.8 TROTBOT / STRIDER [18]

El Team Trotbot, compost per quatre joves i un adult, és qui ha inventat aquest mecanisme, inspirats en una xerrada de l'escultor Theo Jansen. La finalitat d'aquest mecanisme creat per enllaços mecànics amb un sol grau de llibertat, és poder caminar per la natura i per jardins amb roques. Aquest mecanisme caminador està inspirat en el trot d'un cavall i té dues versions.

Inicialment van fer la versió 0 (TROTBOT), que consistia a optimitzar el pas perquè aquest fos més alt a costa d'un menor contacte del peu amb el sòl. Com el resultat va ser una marxa irregular a gran escala, van fer la versió 1 (STRIDER), optimitzant l'enllaç per a un major contacte dels peus amb el sòl. Ambdós mecanismes estan dissenyats per funcionar mitjançant el moviment rotatori d'una manovella. A continuació es mostren les figures: versió 0/TROTBOT i 1/STRIDER de manera esquemàtica i la versió 0/TROTBOT i 1/STRIDER elaborades, respectivament:



**Figura 22.** Mecanisme TROTBOT. Font: Team TrotBot



**Figura 23.** Mecanisme STRIDER. Font: DIY Walkers



DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



Figura 24. TROTBOT elaborat. Font: Team TrotBot



Figura 25. STRIDER elaborat. Font: DIY Walkers



## 2. SIMULACIONS, MITJANÇANT COORDENADES, DE MECANISMES CAMINADORS EN L'OCTAVE

Primerament s'ha d'escollir un mecanisme caminador amb el qual treballar. Per fer això es farà una simulació de totes les posicions diferents que pot adoptar el mecanisme, mitjançant les seves coordenades, per tal d'observar quin té un recorregut més estable i uniforme. Com existeixen molts mecanismes per tal de no fer tantes simulacions només s'estudiaran dos d'aquests.

El primer que s'ha escollit ha sigut el mecanisme de Klann degut a que no és voluminós, la seva estructura és simple, només està format per un sol tipus de parell (de revolució) i ha estat aplicat en projectes reals.

El segon que s'ha escollit ha sigut el mecanisme de Theo Jansen, principalment perquè altres mecanismes han sigut elaborats a partir d'aquest disseny, hi ha molta informació sobre aquest i igual que l'anterior només està format per un sol tipus de parell (de revolució) i ha estat aplicat en projectes reals.

### 2.1 SIMULACIÓ DE POSICIONS

Els mecanismes caminadors, al cap i a la fi, es poden simplificar com a mecanismes formats per diferents barres. Cada barra es pot definir com la distància que hi ha entre dos punts, en aquest cas entre dos parrells de revolució, és a dir, entre dues articulacions.

Inicialment cada articulació del mecanisme té una posició coneguda, i s'hauran de saber les seves futures posicions per saber com es mouran aquestes (i per tant el mecanisme) al llarg del temps.

Es determinaran les futures posicions de les articulacions mitjançant unes equacions que ens proporcionin aquesta informació. A partir de la primera posició (coneguda) de cada articulació es trobaran totes les fórmules requerides, i per determinar les futures posicions s'implementarà el mètode iteratiu en aquestes. En aquest cas, hi haurà una variable independent (que serà coneguda tota l'estona) la qual el seu valor variarà. Aquest fet farà variar les posicions de les articulacions, però gràcies al mètode iteratiu podrem calcular aquestes noves amb les equacions esmentades anteriorment.

Per realitzar les diferents iteracions i així saber les diferents posicions del mecanisme es crearan dos arxius en l'Octave, un amb les equacions i l'altre per fer les iteracions i mostrar la simulació en un gràfic.

#### 2.1.1 ARXIU EQUACIONS

En el primer arxiu constaran les diferents equacions per calcular les diferents posicions de les articulacions. S'ha de crear una funció i que contingui dins: variables de dades que coneixem i que formen part de les equacions (com poden ser la variable independent i la longitud de les barres) com a global i finalment les pròpies equacions.

```

1 % Funció de restricció
2 function [fi]=klann(q);
3     global p1          Variable independent
4     global X3 Y3 X5 Y5 L12 L24 L34 L65 L74 L76 L78  Longitud de barres i posicions fixes
5     fi(1)=q(1)-L12*cos(p1);
6     fi(2)=q(2)-L12*sin(p1);
7     fi(3)=((q(3)-q(1))^2)+((q(4)-q(2))^2)-L24^2;
8     fi(4)=((q(5)-q(3))^2)+((q(6)-q(4))^2)-L74^2;
9     fi(5)=(((q(5)-q(1))^2)+((q(6)-q(2))^2))-(((q(3)-q(1))^2)+((q(4)-q(2))^2))-...
10    fi(6)=((q(3)-X3)^2)+((q(4)-Y3)^2)-L34^2;
11    fi(7)=((q(7)-X5)^2)+((q(8)-Y5)^2)-L65^2;
12    fi(8)=((q(7)-q(5))^2)+((q(8)-q(6))^2)-L76^2;
13    fi(9)=((q(9)-q(5))^2)+((q(10)-q(6))^2)-L78^2;
14    fi(10)=(((q(9)-q(7))^2)+((q(10)-q(8))^2))-(((q(9)-q(5))^2)+((q(10)-q(6))^2))-...
15 endfunction

```

Figura 26. Arxiu equacions Octave. Font: Elaboració pròpia

Per determinar les diferents equacions haurem de fer un anàlisi cinemàtic.

### 2.1.1.1 ANÀLISI CINEMÀTIC

Per fer un anàlisi cinemàtic s'ha de:

1. Calcular els graus de llibertat del mecanisme mitjançant l'equació de grübler.

$$G = 3 \cdot (N - 1) - 2P_1 - P_2 \tag{1}$$

- $G \rightarrow$  Graus de llibertat
- $N \rightarrow$  Número de barres
- $P_1 \rightarrow$  Parells amb un grau de llibertat
- $P_2 \rightarrow$  Parells amb dos graus de llibertat

2. Determinar els paràmetres (valors que variaran al llarg de la simulació, és a dir posició X i Y de les articulacions i variable independent).
3. Determinar la variable independent (en el mecanisme caminador, la dada que coneixerem i que podrem controlar la seva variació serà la posició angular de la barra accionada pel motor, el qual seria l'angle entre la barra esmentada i un dels eixos del pla).
4. Determinar les variables dependents (tots els paràmetres a excepció de la variable independent).
5. Determinar el número d'equacions de restriccions mitjançant l'equació (2):

$$R = P - G \tag{2}$$

- $R \rightarrow$  Número d'equacions de restricció
- $P \rightarrow$  Número de paràmetres
- $G \rightarrow$  Número de graus de llibertat

6. Determinar les equacions mitjançant les coordenades naturals. [19]

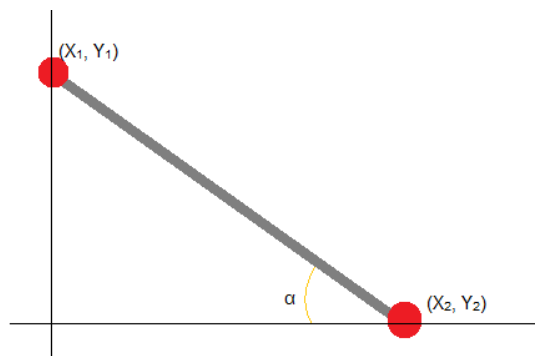
Les coordenades naturals són coordenades cartesianes d'alguns punts dels sòlids que conformen el mecanisme (anomenats també punts bàsics) i han de complir les següents normes:

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

- Cada sòlid rígid deu contenir, almenys, dos punts bàsics, necessaris per definir la posició de l'element.
- En cada parell es deu situar un punt bàsic. D'aquesta forma els dos sòlids que s'uneixen en el parell comparteixen un punt, condició de parell de revolució.
- En parells prismàtics deuen existir dos punts bàsics alineats amb l'eix del par (norma que no fa falta complir perquè els mecanismes a simular no tenen parells prismàtics, només de revolució).
- Poden utilitzar-se els punts bàsics que siguin necessaris.

Per poder definir la posició de cada element en el pla, s'escollirà un punt característic (en aquest cas el centre de masses) i se li assignarà uns paràmetres  $X_c$ ,  $Y_c$  i  $\alpha_c$ . Aquests definiran el sòlid, sent  $X_c$  i  $Y_c$  les coordenades que defineixen el centre de masses i  $\alpha_c$  l'angle d'inclinació del cos respecte de l'horitzontal.

Els mecanismes a simular, estan compostos únicament per barres. Les coordenades naturals d'aquests sòlids estan definides per quatre paràmetres  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $X_2$  i  $Y_2$  (coordenades horitzontals i verticals de cada extrem de la barra), o cinc si es coneix la inclinació de la barra  $\alpha$ .



**Figura 27.** Coordenades naturals d'una barra. Font: Elaboració pròpia

- Explicació per obtenir les equacions de restricció en el primer cas (quatre paràmetres).

Una barra qualsevol té tres graus de llibertat i en aquest cas quatre paràmetres. Aplicant l'equació (2), se sap que només es necessita una equació de restricció (per definir la posició d'aquesta).

Aquesta equació es trobarà de diferent manera si la barra és recta (i la dada que es té és la longitud d'aquesta) o pel contrari és una barra que té dues direccions diferents, és a dir, l'angle comprés entre els dos extrems d'aquesta no és  $180^\circ$  (i la dada que es té és l'angle comprés entre els seus extrems).

- En el primer cas, per trobar l'equació s'utilitzarà el teorema de Pitàgores.

$$h^2 = a^2 + b^2 \quad (3)$$

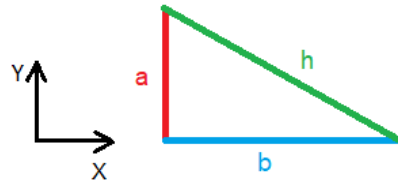


Figura 28. Triangle rectangle 1. Font: Elaboració pròpia

Segons la figura 28 la línia verda representaria la barra, i el valor  $h$  representa la longitud ( $L$ ) d'aquesta (dada coneguda). Falta trobar el valor de  $a$  i  $b$ .

Per calcular la longitud  $a$ , com aquesta (línia vermella) està orientada en l'eix Y, sabent la coordenada Y d'ambdós extrems de la barra (línia verda), es pot trobar fent la resta de les dues coordenades esmentades.

$$a = Y_1 - Y_2 \quad (4)$$

La longitud  $b$  es calcularà igual que la longitud  $a$ , amb la diferència de què la línia blava està en la coordenada X i s'haurà de fer la resta de les coordenades X de la barra (línia verda).

$$b = X_1 - X_2 \quad (5)$$

Finalment per trobar l'equació de restricció només cal passar totes les dades a un costat de l'igual, de tal manera que l'equació sigui igual a zero. Quedant de la següent manera:

$$L^2 - (Y_1 - Y_2)^2 - (X_1 - X_2)^2 = 0 \quad (6)$$

- En el segon cas on la barra té dues direccions, per trobar l'equació s'utilitzarà la llei del cosinus.

$$h^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

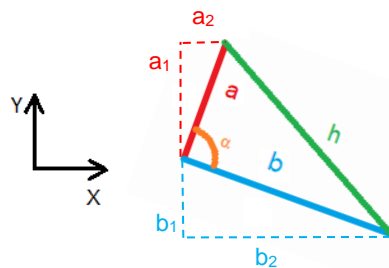


Figura 29. Triangle rectangle 2. Font: Elaboració pròpia

Segons la figura 29 la línia vermella i blava representaria la barra (ambdues línies amb direccions diferents). Mentre que l'angle  $\alpha$  és una dada coneguda, la distància  $a$ ,  $b$  i  $h$  s'han de calcular aïllant-les de l'equació (3). En aquest cas tant la  $a$  com la  $b$  de la figura anterior serien equivalents a la  $h$  de l'equació nomenada anteriorment, la  $a_1$  i la  $b_1$  equivalents a la  $a$  de l'equació (3) i la  $a_2$  i  $b_2$  equivalents a la  $b$  de l'equació (3). A més que hi haurien dos

noves coordenades, les del punt d'unió de la línia vermella i blava anomenades  $X_0$  i  $Y_0$ .

Finalment per trobar l'equació de restricció només cal passar totes les dades de l'equació (7) a un costat de l'igual (de tal manera que l'equació sigui igual a zero) i substituir-les pel seu valor. Quedant de la següent manera:

$$\begin{aligned} & [(Y_1 - Y_2)^2 + (X_1 - X_2)^2] - [(Y_1 - Y_0)^2 + (X_1 - X_0)^2] \\ & - [(Y_0 - Y_2)^2 + (X_0 - X_2)^2] \\ & + 2 \cdot \sqrt{[(Y_1 - Y_0)^2 + (X_1 - X_0)^2]} \cdot \sqrt{[(Y_0 - Y_2)^2 + (X_0 - X_2)^2]} \\ & \cdot \cos(\alpha) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

- Explicació per obtenir les equacions de restricció en el segon cas (cinc paràmetres).

En el cas de tenir tres graus de llibertat i cinc paràmetres, en aplicar l'equació (2) dóna un resultat de dos equacions de restricció. Per trobar-les s'aplicarà la llei del sinus i del cosinus.

$$\sin(\beta) = a/h \quad (9)$$

$$\cos(\beta) = b/h \quad (10)$$

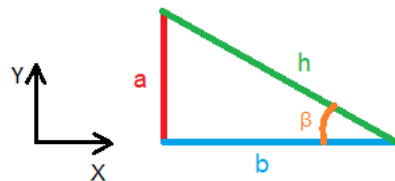


Figura 30. Triangle rectangle 3. Font: Elaboració pròpia

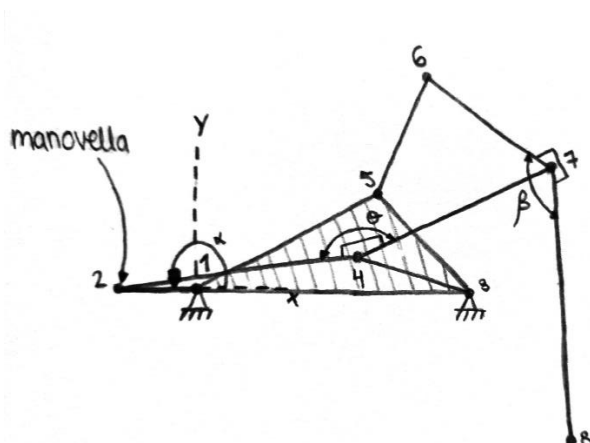
El valor de  $a$  i  $b$  es calcula de la mateixa forma que en el cas de la figura 28 (equacions (4) i (5) respectivament), mentre que  $h$  és la longitud ( $L$ ), és a dir, una dada coneguda.

Per trobar les equacions de restricció només cal passar totes les dades de l'equació (9) i (10) a un costat de l'igual (de tal manera que l'equació sigui igual a zero) i substituir-les pel seu valor. Quedant de la següent manera:

$$(Y_1 - Y_2) - L \cdot \sin(\beta) = 0 \quad (11)$$

$$(X_1 - X_2) - L \cdot \cos(\beta) = 0 \quad (12)$$

### 2.1.1.1.1 MECANISME DE KLANN



**Figura 31.** Esquema mecanisme de Klann. Font: Elaboració pròpia

1. Calcular els graus de llibertat del mecanisme.

En aplicar l'equació (1) en el mecanisme de Klann (figura 31) es dedueix que aquest té un grau de llibertat. Les dades utilitzades es mostren en la següent taula:

Dades	Valors
$N$	6
$P_1$	7
$P_2$	0

**Taula 1.** Dades per calcular els graus de llibertat del mecanisme de Klann. Font: Elaboració pròpia

2. Determinar els paràmetres.

$$P = \{X_2, Y_2, X_4, Y_4, X_6, Y_6, X_7, Y_7, X_8, Y_8, \alpha\}$$

3. Determinar la variable independent.

$$\text{VAR. IND.} = \{\alpha\}$$

4. Determinar les variables dependents.

$$\text{VAR. DEP.} = \{X_2, Y_2, X_4, Y_4, X_6, Y_6, X_7, Y_7, X_8, Y_8\}$$

5. Determinar el número d'equacions de restriccions.

En aplicar l'equació (2) es dedueix que es necessiten deu equacions de restricció. Les dades utilitzades es mostren en la següent taula:

Dades	Valors
$P$	11
$G$	1

**Taula 2.** Dades per calcular les equacions de restricció necessàries per al mecanisme de Klann. Font: Elaboració pròpia

6. Determinar les equacions.

Les equacions (13) i (14) s'han deduït mitjançant l'equació (9) i (10) respectivament; les equacions (15), (16), (18), (19), (20) i (21) s'han deduït mitjançant l'equació (6); i les equacions (17) i (22) s'han deduït mitjançant l'equació (8).

$$Y_2 - L_{12} \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (13)$$

$$X_2 - L_{12} \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (14)$$

$$(X_4 - X_2)^2 + (Y_4 - Y_2)^2 - L_{24}^2 = 0 \quad (15)$$

$$(X_7 - X_4)^2 + (Y_7 - Y_4)^2 - L_{74}^2 = 0 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & [(X_7 - X_2)^2 + (Y_7 - Y_2)^2] - [(X_4 - X_2)^2 + (Y_4 - Y_2)^2] - \\ & [(X_7 - X_4)^2 + (Y_7 - Y_4)^2] + 2 \cdot \text{sqrt}[(X_4 - X_2)^2 + (Y_4 - Y_2)^2] \cdot \\ & \text{sqrt}[(X_7 - X_4)^2 + (Y_7 - Y_4)^2] \cdot \cos(\Theta) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

$$(X_4 - X_3)^2 + (Y_4 - Y_3)^2 - L_{34}^2 = 0 \quad (18)$$

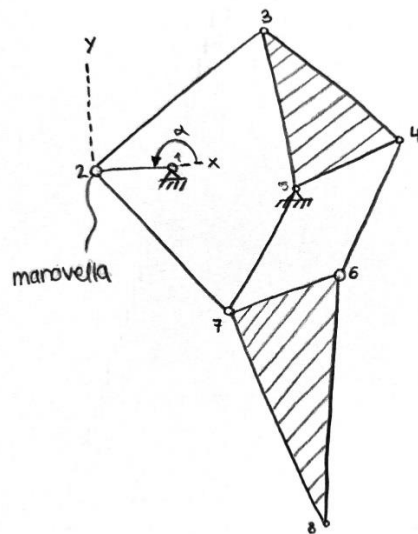
$$(X_6 - X_5)^2 + (Y_6 - Y_5)^2 - L_{65}^2 = 0 \quad (19)$$

$$(X_7 - X_6)^2 + (Y_7 - Y_6)^2 - L_{76}^2 = 0 \quad (20)$$

$$(X_8 - X_7)^2 + (Y_8 - Y_7)^2 - L_{78}^2 = 0 \quad (21)$$

$$\begin{aligned} & [(X_8 - X_6)^2 + (Y_8 - Y_6)^2] - [(X_8 - X_7)^2 + (Y_8 - Y_7)^2] - \\ & [(X_7 - X_6)^2 + (Y_7 - Y_6)^2] + 2 \cdot \text{sqrt}[(X_8 - X_7)^2 + (Y_8 - Y_7)^2] \cdot \\ & \text{sqrt}[(X_7 - X_6)^2 + (Y_7 - Y_6)^2] \cdot \cos(\beta) = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

### 2.1.1.1.2 MECANISME DE THEO JANSEN



**Figura 32.** Esquema mecanisme de Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia

1. Calcular els graus de llibertat del mecanisme.

En aplicar l'equació (1) en el mecanisme de Theo Jansen (figura 32) es dedueix que aquest té un grau de llibertat. Les dades utilitzades es mostren en la següent taula:

Dades	Valors
$N$	8
$P_1$	10
$P_2$	0

**Taula 3.** Dades per calcular els graus de llibertat del mecanisme de Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia

2. Determinar els paràmetres.

$$P = \{X_2, Y_2, X_3, Y_3, X_4, Y_4, X_6, Y_6, X_7, Y_7, X_8, Y_8, \alpha\}$$

3. Determinar la variable independent.

$$\text{VAR. IND.} = \{\alpha\}$$

4. Determinar les variables dependents.

$$\text{VAR. DEP.} = \{X_2, Y_2, X_3, Y_3, X_4, Y_4, X_6, Y_6, X_7, Y_7, X_8, Y_8\}$$

5. Determinar el número d'equacions de restriccions.

En aplicar l'equació (2) es dedueix que es necessiten dotze equacions de restricció. Les dades utilitzades es mostren en la següent taula:



Dades	Valors
$P$	13
$G$	1

**Taula 4.** Dades per calcular les equacions de restricció necessàries per al mecanisme de Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia

6. Determinar les equacions.

Les equacions (23) i (24) s'han deduït mitjançant l'equació (9) i (10) respectivament; i les equacions (25), (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33) i (34) s'han deduït mitjançant l'equació (6).

$$Y_2 - L_{12} \cdot \sin(\alpha) = 0 \quad (23)$$

$$X_2 - L_{12} \cdot \cos(\alpha) = 0 \quad (24)$$

$$(X_3 - X_2)^2 + (Y_3 - Y_2)^2 - L_{23}^2 = 0 \quad (25)$$

$$(X_5 - X_3)^2 + (Y_5 - Y_3)^2 - L_{35}^2 = 0 \quad (26)$$

$$(X_4 - X_3)^2 + (Y_4 - Y_3)^2 - L_{34}^2 = 0 \quad (27)$$

$$(X_4 - X_5)^2 + (Y_4 - Y_5)^2 - L_{45}^2 = 0 \quad (28)$$

$$(X_4 - X_6)^2 + (Y_4 - Y_6)^2 - L_{46}^2 = 0 \quad (29)$$

$$(X_5 - X_7)^2 + (Y_5 - Y_7)^2 - L_{57}^2 = 0 \quad (30)$$

$$(X_6 - X_7)^2 + (Y_6 - Y_7)^2 - L_{67}^2 = 0 \quad (31)$$

$$(X_6 - X_8)^2 + (Y_6 - Y_8)^2 - L_{68}^2 = 0 \quad (32)$$

$$(X_8 - X_7)^2 + (Y_8 - Y_7)^2 - L_{78}^2 = 0 \quad (33)$$

$$(X_7 - X_2)^2 + (Y_7 - Y_2)^2 - L_{72}^2 = 0 \quad (34)$$

## 2.1.2 ARXIU ITERACIONS

El segon arxiu serà l'encarregat de fer les iteracions de les equacions.

Abans d'escriure les instruccions necessàries per a la iteració farà falta escriure algunes dades:

- Variables de dades que coneixem i que formen part de les equacions (com poden ser la variable independent, la longitud de les barres o angles fixes) com a global.
- Variable igual al número de variables dependents.
- Variable igual al número d'iteracions que volem fer.
- Variables (mencionades a global) igual al seu valor.
- Un vector format pels valors inicials de cada variable dependent.
- Una instrucció per generar X valors (X = número d'iteracions), de la variable independent, que estiguin entre la seva posició inicial i final.
- Una matriu de zeros de X files (X = número d'iteracions) i Y columnes (Y = número de variables dependents).

```
1 %Simulador Posició Mecanisme
2
3 global p1
4 global X3 Y3 X5 Y5 L12 L24 L34 L65 L74 L76 L78
5
6
7 nvd=10;
8 n=50;
9
10
11
12 X3=296.42;
13 Y3=0;
14 X5=212.4938
15 Y5=172.0741
16 L12=110;
17 L24=288;
18 L34=130;
19 L65=182;
20 L74=220;
21 L76=265;
22 L78=160;
23
24
25 q=[-110,0,174.4,45,384.4,117.3,225.6,348.9,398.8,-372.5];
26
27 Alfa=linspace(pi,3*pi,n);
28 Pos=zeros(n,nvd);
```

Figura 33. Arxiu iteracions 1. Font: Elaboració pròpia

Una vegada ja tenim totes les dades només fa falta fer un bucle perquè per cada iteració, on la variable independent adquireixi un nou valor (el següent a l'anterior), es resolguin les equacions segons el valor de la variable independent, i el resultat de cada una d'aquestes (les variables dependents) les afegeixi en la fila corresponent de la matriu plena de zeros.

```
30 for k=1:n
31     p1=Alfa(k);
32     [q , info ] = fsolve (@klann,q);
33     for j=1:nvd
34         Pos(k,j)=q(j);
35     endfor
36 endfor
```

Figura 35. Arxiu iteracions 2. Font: Elaboració pròpia

Finalment, per dibuixar cada posició del mecanisme en una gràfica, s'haurà de fer un bucle per mostrar el mecanisme en cada iteració/posició. Per fer això cada vegada que s'executi el bucle s'haurà de mostrar en una gràfica: un asterisc simulant l'articulació inferior de la barra1, una línia (simulant la barra 1) que vagui des de l'articulació inferior de la barra1 fins a l'articulació superior de la barra1, l'articulació superior de la barra1 (que com l'anterior articulació haurà de ser mostrada com un asterisc); i així contínuament amb totes les articulacions i barres. Per mostrar els components esmentats anteriorment s'haurà de plotejar cadascun, i per tal que es puguin veure en la mateixa gràfica totes les articulacions i barres (en comptes de veure cada component en una de diferent), seguit de la instrucció plot s'haurà d'escriure hold on (serveix per poder agregar components en la mateixa gràfica sense eliminar els existents).

```
37 L
38 %
39
40
41
42 For k=1:n
43 %
```

Figura 36. Arxiu iteracions 3. Font: Elaboració pròpia

```
49 %Barra 1-2
50 plot(0,0, 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
51 hold on;
52 plot([0,Pos(k,1)],[0,Pos(k,2)'],'linewidth', 3, "k"); %Tamaño línea gráfico
53 hold on;
54 plot(Pos(k,1),Pos(k,2), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
55 hold on;
56 %Barra 2-4
57 plot(Pos(k,1),Pos(k,2), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
58 hold on;
59 plot([Pos(k,1),Pos(k,3)],[Pos(k,2),Pos(k,4)'],'linewidth', 3, "k");
60 hold on;
61 plot(Pos(k,3),Pos(k,4), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
62 hold on;
63 %Barra 3-4
64 plot(X3,Y3, 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
65 hold on;
66 plot([X3,Pos(k,3)],[Y3,Pos(k,4)'],'linewidth', 3, "k");
67 hold on;
68 plot(Pos(k,3),Pos(k,4), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
69 hold on;
70 %Barra 6-5
71 plot(X5,Y5, 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
72 hold on;
73 plot([X5,Pos(k,7)],[Y5,Pos(k,8)'],'linewidth', 3, "k");
74 hold on;
75 plot(Pos(k,7),Pos(k,8), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
76 hold on;
77 %Barra 7-4
78 plot(Pos(k,3),Pos(k,4), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
79 hold on;
80 plot([Pos(k,3),Pos(k,5)],[Pos(k,4),Pos(k,6)'],'linewidth', 3, "k");
81 hold on;
82 plot(Pos(k,5),Pos(k,6), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
83 hold on;
84 %Barra 7-6
85 plot(Pos(k,7),Pos(k,8), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
86 hold on;
87 plot([Pos(k,7),Pos(k,5)],[Pos(k,8),Pos(k,6)'],'linewidth', 3, "k");
88 hold on;
89 plot(Pos(k,5),Pos(k,6), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
90 hold on;
91 %Barra 7-8
92 plot(Pos(k,5),Pos(k,6), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
93 hold on;
94 plot([Pos(k,5),Pos(k,9)],[Pos(k,6),Pos(k,10)'],'linewidth', 3, "k");
95 hold on;
96 plot(Pos(k,9),Pos(k,10), 'marker','o',"markersize", 5,'linewidth', 4,"markerEdgeColor", "b");
97 hold on;
98
```

Figura 37. Arxiu iteracions 4. Font: Elaboració pròpia

```
105
106
107
108 endfor;
```

Figura 38. Arxiu iteracions 5. Font: Elaboració pròpia

D'aquesta manera es mostraria en el gràfic totes les posicions del mecanisme amb l'inconvenient que estarien superposades. Per poder mostrar una iteració després de l'altre sense veure aquesta anterior, abans de plotejar el mecanisme sencer en una posició concreta, s'haurà de netejar el gràfic mitjançant la instrucció clf (amb el qual serà la primera instrucció del bucle). Però aquesta instrucció no està completa perquè si es posa clf(figure), figure és com s'anomena la gràfica (el que volem netejar), en comptes de netejar la gràfica amb el mecanisme que està en la posició anterior i mostrar-lo en la següent posició, aquesta nova es mostrarà en una nova gràfica. Per tal que això no passi, abans del bucle s'ha d'escriure una instrucció en la qual es posi nom a l'únic gràfic que volem utilitzar, és a dir, nom = figure. D'aquesta manera si es posa dins del bucle clf(nom) esborrarà de la gràfica el mecanisme en una posició determinada per mostrar

en aquesta mateixa el mecanisme amb la posició següent.

```
29 Fig1=figure;
```

Figura 39. Arxiu iteracions 6. Font: Elaboració pròpia

```
44 clf(Fig1);
```

Figura 40. Arxiu iteracions 7. Font: Elaboració pròpia

Actualment amb aquesta programació es podria observar el moviment del mecanisme i cadascuna de les seves posicions, però per acabar de complementar-lo s'ha volgut mostrar al llarg de la simulació el recorregut que ha anat fent la part inferior del mecanisme caminador, el que seria equivalent al peu. Per mostrar el recorregut, l'objectiu és mostrar en la gràfica dues vegades l'articulació inferior del mecanisme, la primera com a part del mecanisme caminador i la segona com a punt que forma part del recorregut. Per poder veure l'evolució del recorregut al llarg del temps, s'haurà de mostrar el primer punt del recorregut i els següents, en aquest cas sense esborrar els anteriors. En cada iteració la gràfica s'esborra i mostra la posició de la iteració corresponent, amb el qual en cada iteració s'ha de mostrar el punt del recorregut que li pertoca més els de les anteriors posicions. Les instruccions necessàries per fer això, hauran de ser escrites després de la instrucció `clf(nom)` per tal que no s'esborri fins que no comenci un altre cop el bucle amb la següent iteració. Les instruccions necessàries seran fer un bucle que mostri el punt del recorregut des de la iteració inicial fins a l'actual. Per mostrar el punt del recorregut, tal com s'ha explicat anteriorment, només caldrà plotejar l'articulació inferior del mecanisme caminador i seguir aquesta instrucció de `hold on` per tal de poder mostrar la resta de punts i components sobre la mateixa gràfica sense eliminar els anteriors.

```
45 for c=1:k
46     plot(Pos(c,9),Pos(c,10), 'marker','o',"markersize", 5,"linewidth", 4,"markerEdgeColor", "m");
47     hold on;
48 endfor
```

Figura 41. Arxiu iteracions 8. Font: Elaboració pròpia

Finalment fa falta esmentar un parell d'instruccions que s'han posat al final del bucle. La primera és per tal d'assegurar que en la gràfica es pot observar correctament el mecanisme caminador i s'han utilitzat dues instruccions: una per determinar les dimensions de la gràfica (fins a quin valor arriben els eixos) i altre perquè una unitat tant en l'eix X com en l'eix Y sigui representada amb la mateixa distància, de tal forma que si l'eix X val 40 unitats i l'eix Y val 20, en la gràfica l'eix Y serà la meitat de llarg que l'eix X. La segona és una pausa de 0.1 segons per tal que es pugui observar cada iteració del bucle (cada posició del mecanisme caminador i el respectiu recorregut) durant 0.1 segons.

```
99 axis([-300,1000,-600,600]);
100 axis equal;
101 pause (0.1);
```

Figura 42. Arxiu iteracions 9. Font: Elaboració pròpia

Finalment amb aquesta simulació de posicions, s'ha pogut gravar un vídeo (annex II i annex III) el qual mostra el moviment dels dos mecanismes caminadors i el recorregut que fa l'articulació inferior d'aquests (l'equivalent a un peu en una pota). A continuació es mostra una figura de cada mecanisme en la seva posició final (que coincideix amb la inicial) juntament amb el seu recorregut al llarg del temps (indicat pels asteriscs de color rosa).

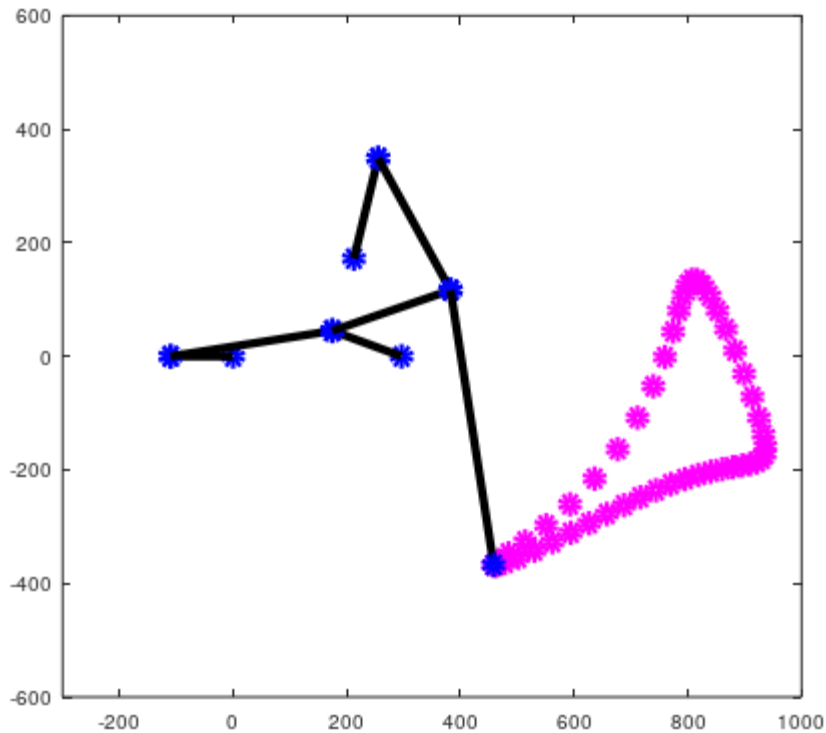


Figura 43. Recorregut mecanisme de Klann

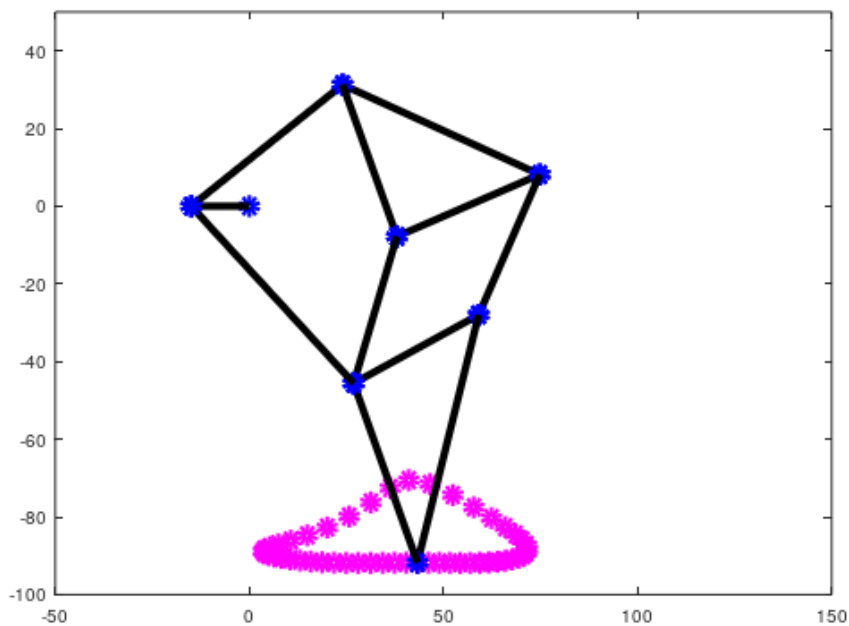


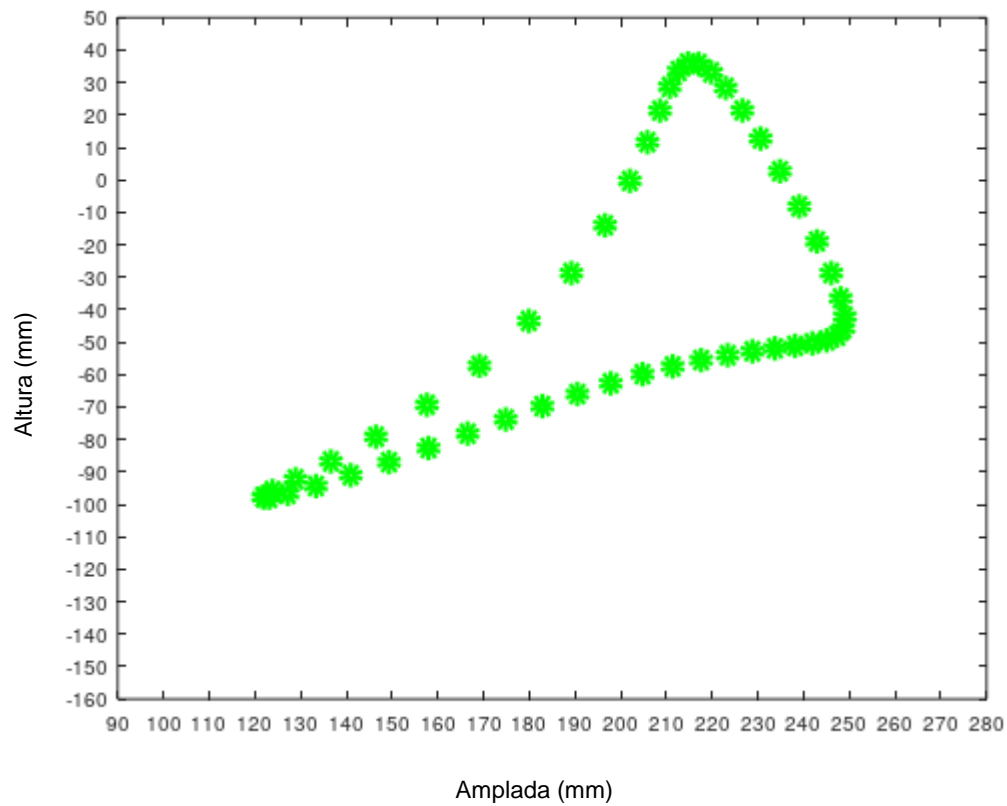
Figura 44. Recorregut mecanisme de Theo Jansen

## 2.2 MECANISME CAMINADOR ESCOLLIT

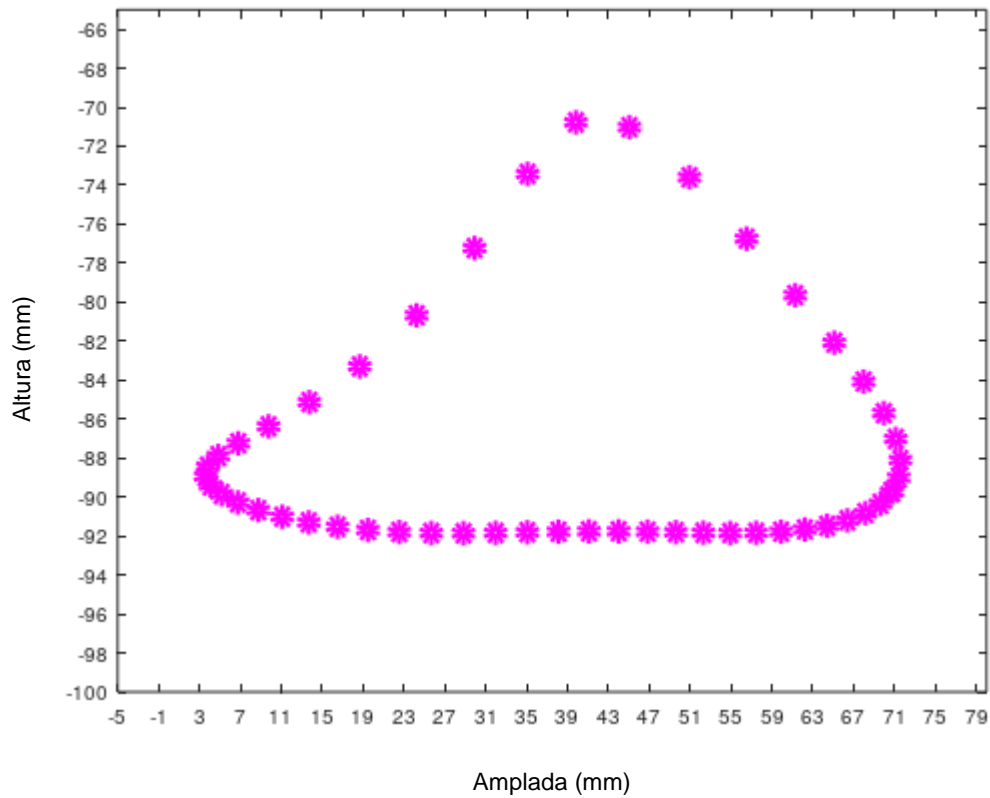
Com es pot observar en les dues últimes figures de l'apartat anterior 2.1.2, les dimensions dels dos mecanismes són molt diferents, per això s'ha calculat la distància entre el punt fix de la manovella i el punt inferior dels mecanismes, i s'ha buscat la proporció entre aquestes. Com que aquesta distància esmentada és 3.76 vegades més gran en el mecanisme de Klann (envers el de Theo Jansen) s'ha tornat a fer la simulació

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO

d'aquest dividint les distàncies de les barres i posicions inicials d'aquest entre 3.76. A continuació es pot observar el recorregut d'ambdós mecanismes sent aquests d'unes dimensions similars.



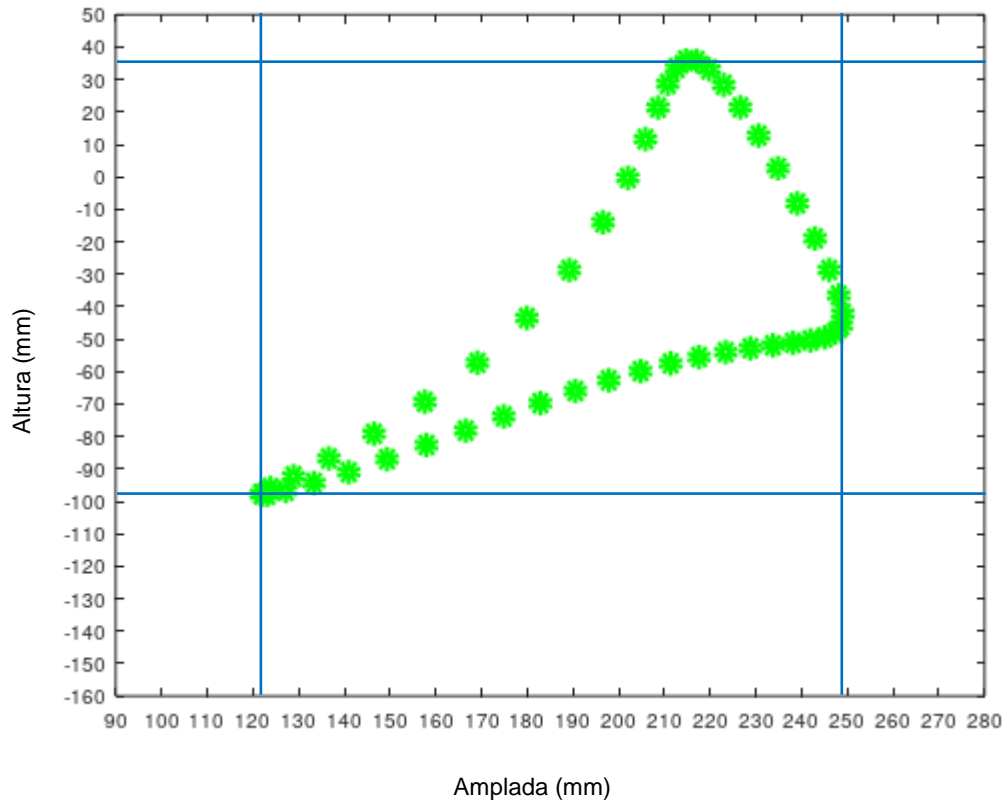
**Figura 45.** Recorregut del mecanisme de Klann amb una dimensió similar a l'altre mecanisme. Font: Elaboració pròpia



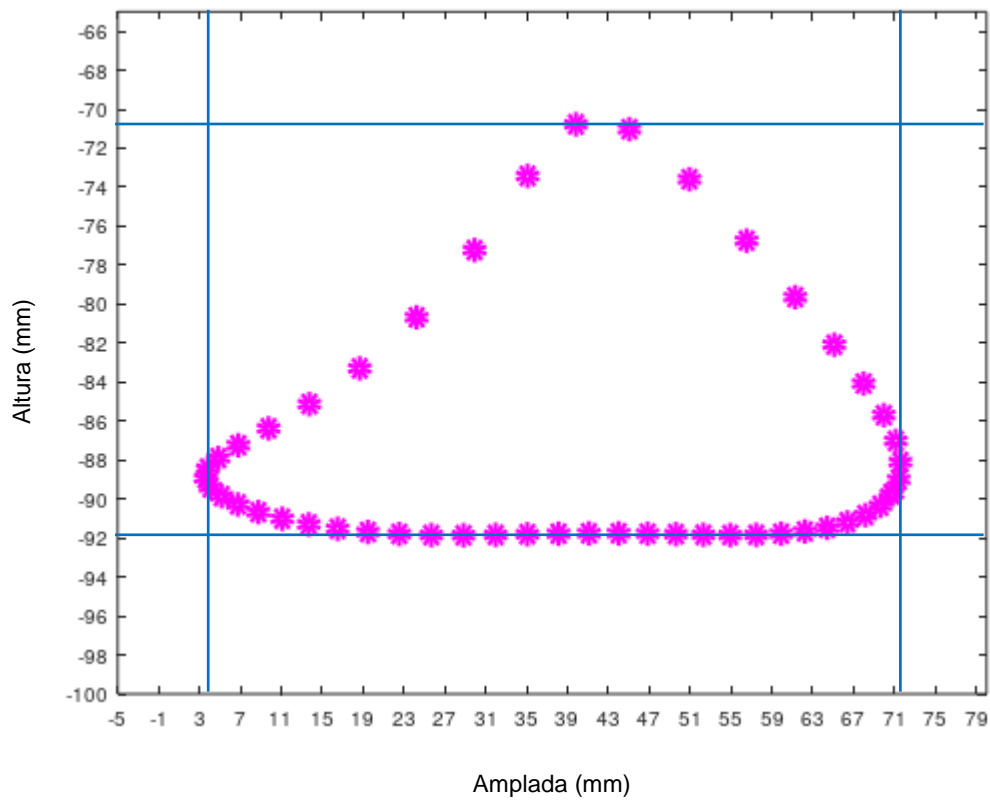
**Figura 46.** Recorregut del mecanisme de Theo Jansen amb una dimensió similar a l'altre mecanisme.  
**Font:** Elaboració pròpia

Com es pot observar en les dues figures següents, el recorregut del mecanisme de Klann té una altura de 130.5 mm i una amplada de 128 mm, i el recorregut del mecanisme de Theo Jansen té una altura de 21.5 mm i una amplada de 68 mm; amb el qual es pot afirmar que aquest últim mecanisme fa passos més curts i petits.

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



**Figura 47.** Recorregut del mecanisme de Klann on es pot observar amb exactitud les dimensions.  
Font: Elaboració pròpia



**Figura 48.** Recorregut del mecanisme de Theo Jansen on es pot observar amb exactitud les dimensions. Font: Elaboració pròpia



## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

Finalment, es compararà el temps que el mecanisme descansa sobre el sòl. Mentre que el primer només es recolza sobre el sòl el 8.16% del temps que dura un cicle, el segon es recolza el 59.18%; una diferència bastant notable.

Per últim esmentar que en un futur, per complementar aquest estudi, es podria fer un estudi de velocitat del punt que està en contacte amb el sòl per observar si aquesta és constant o no.

Després de fer les simulacions necessàries, s'ha conclòs que es treballarà amb el segon mecanisme caminador, el de Theo Jansen. Les dues raons principals d'aquesta elecció són:

- El recorregut fet per l'articulació inferior d'aquest és el més simple i senzill, i dóna major sensació d'estabilitat per treballar, ja que aproximadament la meitat del recorregut fa contacte amb el terra i l'altra meitat té un moviment simètric.
- Descansa més temps sobre el sòl que el mecanisme de Klann.

Una vegada ja se sap el mecanisme que s'utilitzarà, per últim s'estudiarà mitjançant les simulacions anteriors on es troba el punt de transició. Per caminar o transportar un objecte és necessari dues potes (dos mecanismes caminadors), ja que mentre una està en l'aire i s'encarrega de fer l'avanç, l'altre està recolzada al sòl i a la vegada també recolza l'objecte perquè no caigui. Hi ha un moment en el recorregut de les potes, mentre que una baixa i l'altra puja, que es troben a la mateixa distància del sòl, el valor d'aquesta distància és equivalent al punt de transició. Aquest s'estudiarà, perquè en estar les dues potes en l'aire, degut a l'efecte de la gravetat cauran al sòl una distància determinada, i es vol saber la magnitud d'aquesta. Per obtenir aquest valor el que s'ha fet ha sigut crear la següent figura, on se superposen les gràfiques del mecanisme caminador Theo Jansen quan descendeix des del punt més alt i quan ascendeix des del punt més baix, on es pot apreciar que el punt de transició es troba a una distància de 4.5 mm respecte al sòl. En el cas que a l'hora de dissenyar el prototip s'hagi de fer el mecanisme caminador amb altres mesures proporcionals a les originals, per calcular el punt de transició només farà falta multiplicar el que s'ha obtingut ara pel factor de proporcionalitat.

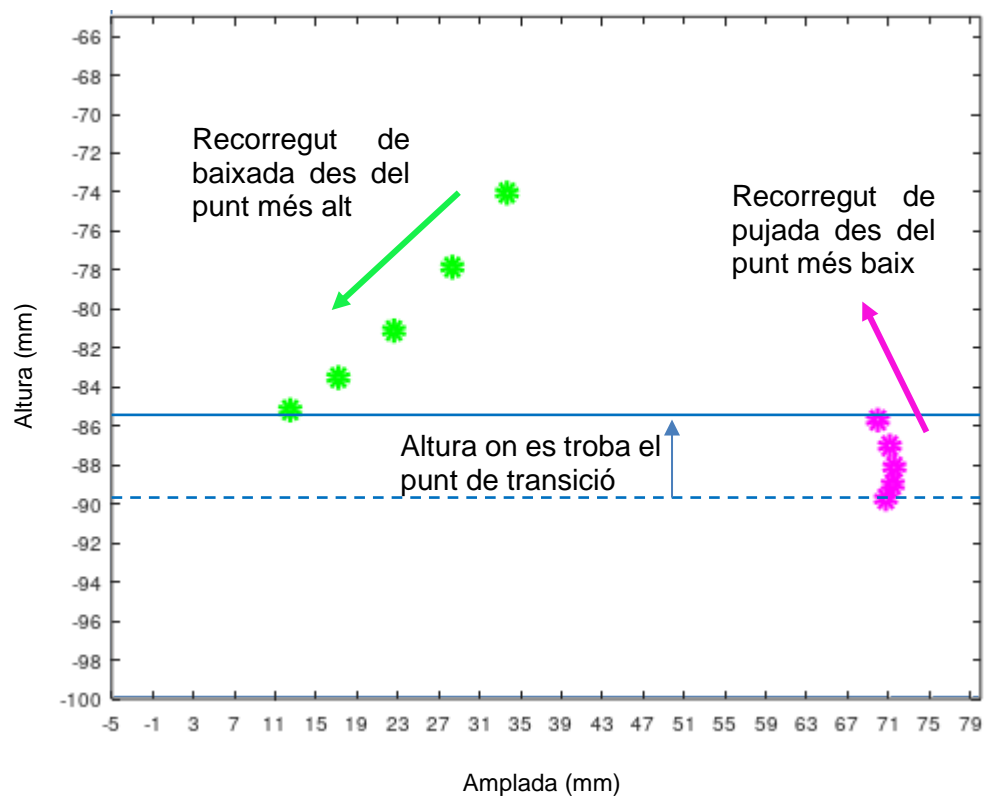


Figura 49. Superposició del recorregut de baixada i el recorregut de pujada per trobar el punt de transició. Font: Elaboració pròpia

### 3. DISSENY DEL PROTOTIP

En el següent apartat es comentarà com s'ha realitzat la construcció del mecanisme caminador. Concretament s'explicarà el disseny i construcció d'aquest i de l'acoblament d'aquest a la bicicleta, la integració del conjunt mecanisme caminador i acoblament al vehicle, el material amb el qual s'ha estat treballant i finalment els comentaris i observacions sobre el prototip final.

#### 3.1 MÒDUL DEL MECANISME CAMINADOR

El mecanisme caminador escollit és el de Theo Jansen. Cal recordar que l'autor d'aquest, va determinar unes mesures específiques [20] mitjançant un algoritme perquè fos el més estable possible [8]. Com les mesures han sigut estudiades perquè siguin les més òptimes, s'utilitzaran aquestes mateixes per fer el mecanisme. L'inconvenient és que la localització del suport de l'eix de la roda que ha de ser substituïda pel mecanisme, té una major altura que la pota original si prenem les mesures en mm i una menor altura si agafem les unitats en centímetres. Llavors s'haurà de trobar la proporció correcta perquè el mecanisme tingui una mida adequada i pugui ser acoblat a la bicicleta. Donat que hi ha menys diferència d'altura si prenem les mesures en mil·límetres que si es prenen les mesures en centímetres, s'utilitzaran els mil·límetres com a unitat. Sabent l'altura que ha de tenir la manovella (part del mecanisme que s'acobla a la bicicleta, en el suport de l'eix de la roda), la proporció de les mesures necessàries s'ha trobat realitzant iteracions. Finalment la proporció adequada ha de ser de 3.55 i les mesures finals es mostren a la taula següent:

Distàncies	Mesures Originals (mm)	Mesures proporcionals (mm)
A	38	134.9
B	41.5	147.325
C	39.3	139.515
D	40.1	142.355
E	55.8	198.09
F	39.4	139.87
G	36.7	130.285
H	65.7	233.235
I	49	173.95
J	50	177.5
K	61.9	219.745
L	7.8	27.69
M	15	53.25

Taula 5. Mesures mecanisme de Theo Jansen.  
Font: Elaboració pròpia

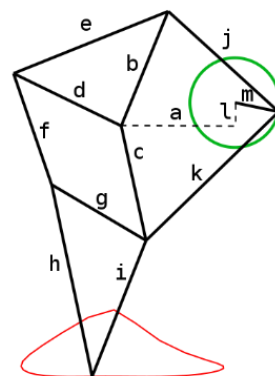


Figura 50. Mecanisme Theo Jansen 3. Font: Wikipedia

Perquè la part posterior de la bicicleta estigui recolzada en tot moment, serà necessari utilitzar dues potes (les quals es col·locaran una a cada banda de la bicicleta), de tal manera que quan una es trobi elevada a la major altura, l'altre estigui en la posició contrària, és a dir, tocant el sòl. A més per donar-li estabilitat a la bicicleta, donat que aquesta és molt gran, s'utilitzaran el doble de potes, és a dir, quatre (per tal que sempre hi hagi una pota a la dreta i esquerra tocant el sòl i una pota a la dreta i esquerra en l'aire).

Aquestes estaran compostes per les barres i les seves unions, que s'explicarà a

continuació.

### 3.1.1 BARRES

Donat que s'han de fabricar 4 mecanismes, s'hauran d'obtenir quatre barres de cada mesura. Com n'hi ha dues mesures que es diferencien per 0.3 mm (barra F i C), en ser menyspreable aquesta diferència, per tal de no haver de fabricar tretze tipus de barres quatre vegades, es fabricaran aquestes dues amb la mateixa mesura, la qual serà la més gran (barra F), 34.4 mm l'original i 139.87 mm la proporcional.

Pel que fa a les barres només hi haurà cinc (dos amb la mateixa mesura), ja que les altres sis en veritat són dues estructures (cadascuna de tres barres). La primera estructura és la que simula la cuixa d'una pota i està composta per la barra B, D i E; la segona és la que simula el peu i està composta per G, H, i I. A continuació es pot observar a la següent figura, la cuixa de lila i el peu de marró:

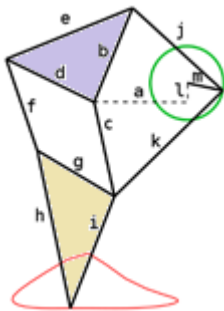


Figura 51. Mecanisme Theo Jansen 4. Font: Wikipedia

A continuació s'explicarà la construcció de les barres F, J i K; i les estructures BDE i GHI, encara que en l'annex VI està detallat aquest procediment. La barra M (manovella) s'explicarà més endavant perquè s'ha considerat com a part de l'acoblament i no de la pota.

#### 3.1.1.1 ELABORACIÓ BARRES

En la següent figura, es pot observar com haurien de quedar les barres una vegada elaborades.

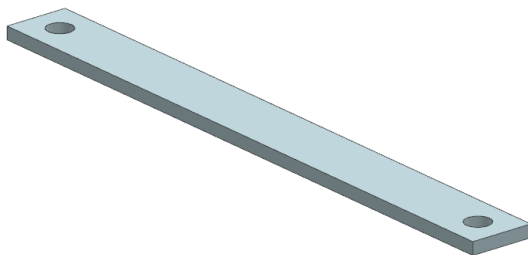


Figura 52. Exemple Barra J del mecanisme. Font: Elaboració pròpia

Per tal de poder obtenir les barres esmentades, s'ha procedit a tallar una barra d'un metre en barres més petites de longitud igual a la longitud de les barres F, J i K. Per poder fer això, primerament s'ha hagut de determinar l'espessor i amplada d'aquestes barres i així saber les mesures necessàries que ha de tenir la barra d'un metre que s'ha d'adquirir.

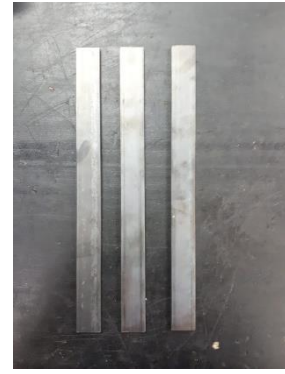
Un cop tallades (amb la serra automàtica), s'ha utilitzat la llima per llimar els extrems per tal que no siguin perillosos, ja que poden tallar o fer mal bé.



**Figura 54.** Barra F. Font elaboració pròpia



**Figura 53.** Barra J. Font: Elaboració pròpia



**Figura 55.** Barra K. Font elaboració pròpia

Per tal de fer els forats s'han puntejat les barres a la mesura indicada pels plànols (annex V), en aquesta localització s'ha col·locat un punxó que ha sigut colpejat per un martell i així s'ha creat una marca en la posició desitjada. Aquesta serveix per guiar la broca a l'hora de trepar les barres, el qual acte seguit s'ha dut a terme dues vegades mitjançant el trepant de pedestal. La primera vegada ha servit per fer un forat petit i la segona per fer un forat amb el diàmetre indicat als plànols, d'aquesta manera la segona vegada la broca no ha d'arrancar tant de material.



**Figura 56.** Exemple primer forat d'una barra. Font: Elaboració pròpia

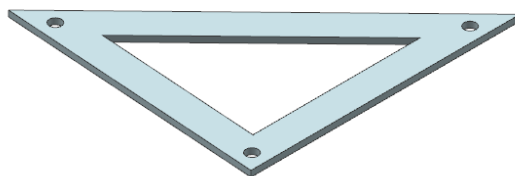


**Figura 57.** Exemple segon forat d'una barra. Font: Elaboració pròpia

Finalment, igual que en l'operació de tall, per tal que els perímetres dels forats no siguin cantons vius i no tallin s'han avellanat manualment amb un avellanador.

### 3.1.1.2 ELABORACIÓ ESTRUCTURES

En la següent figura, es pot observar com haurien de quedar les estructures una vegada elaborades.



**Figura 58.** Exemple Estructura Cuixa del mecanisme. Font: Elaboració pròpia

Per fabricar els dos tipus d'estructures, primer de tot, per tal que pesin menys es realitzaran buides, és a dir, sense material a l'interior d'aquestes. Per tal de fer-ho senzill i econòmic, no es donarà forma ni es buidarà una planxa, sinó que es construirà mitjançant tres barres (una per cada costat de l'estructura). L'estructura cuixa estarà

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

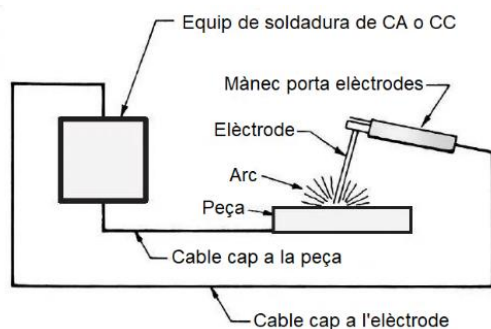
formada per les barres B, D i E; i l'estructura peu estarà formada per les barres G, H i I.

Les barres que componen les estructures s'obtidran de la mateixa manera esmentada en l'apartat anterior, es tallaran amb una serra automàtica d'una barra d'un metre. En aquest cas la diferència estarà en l'angle de tall, que no serà de 90° sinó que tindrà una inclinació (diferent en cada extrem de cada barra). Aquesta, serà equivalent a la meitat de l'angle del vèrtex del qual la barra formi part.



**Figura 59.** Barres que componen les estructures. Font: Elaboració pròpia

Un cop tallades, es llimaran (amb la lima) per tal de poder-les manipular sense perill i se soldaran els extrems inclinats de les barres per tal de formar les estructures. En aquest cas, la soldadura s'ha realitzat per arc elèctric, un procés de fusió en el qual la unificació dels metalls s'obté mitjançant la calor d'un arc elèctric entre un elèctrode i la peça a soldar. [21]



**Figura 60.** Esquema soldadura per arc elèctric. Font: De Maquinas y Herramientas

Per realitzar la soldadura s'ha xamfranat prèviament els cantons de les barres amb l'esmoladora (perquè es pugui introduir el cordó de soldadura en el desnivell creat) i només ha calgut posar en marxa l'equip i posar en contacte l'elèctrode amb la peça.

Degut a l'arc elèctric el material de l'elèctrode es consumeix i es fusiona amb la peça, per això s'ha de controlar que la distància entre l'elèctrode i la peça sigui tota l'estona constant. Seguint les indicacions d'un soldador professional, el primer que s'ha de fer és posar un punt de soldadura entre cada parell de barres i seguidament fer un cordó de soldadura en aquestes.



DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



**Figura 61.** Estructura Peu soldada. Font: Elaboració pròpia



**Figura 62.** Taula utilitzada per a soldar. Font: Elaboració pròpia

Un cop realitzat aquests passos obtenim les estructures de les potes, amb una superfície no plana degut als cordons de les soldadures. Aquest imperfecte s'ha arreglat esmolant la superfície fins que el cordó de soldadura no ha sobresortit d'aquesta.



**Figura 63.** Estructura Peu esmolada. Font: Elaboració pròpia

Per acabar, només falta foradar les estructures. Els forats s'han realitzat igual que en l'apartat anterior, s'han puntejat les estructures en el centre del futur forat, s'han foradat les marques amb una broca de diàmetre inferior al del forat, s'han tornat a foradar amb una broca del diàmetre necessari per obtenir l'indicat als plànols i finalment s'han avellanat els forats per tal que no siguin perillosos.



**Figura 64.** Estructura Cuixa foradada per primera vegada. Font: Elaboració pròpia



**Figura 65.** Estructura Cuixa foradada per segona vegada. Font: Elaboració pròpia

### 3.1.2 UNIONS

La unió entre les barres es realitza a través dels forats i consta de cinc peces, dues de les quals són iguals.

Per tal que les barres estiguin unides, és a dir, que facin contacte les superfícies d'aquestes, es passarà un cargol per un dels forats de cada barra que es vulgui unir i en l'extrem d'aquest es rosca (el màxim possible) una rosca.

Només amb aquestes dues peces d'unió, les barres estarien fixes i no podrien rotar. Per això falta incorporar les altres tres peces esmentades anteriorment, les quals seran un casquet i dues volanderes. En posar un casquet un mil·límetre més llarg que l'espessor de les barres a unir dins del forat d'unió d'aquestes, una volandera a cada extrem del casquet i en passar un cargol per dins del casquet i rosca-li la rosca en l'extrem; s'obtidran els dos objectius. Per una banda la rosca i el cargol fixaran el casquet i les volanderes, de tal manera que aquestes no deixaran de fer contacte amb el casquet i limitaran el desplaçament de les barres al llarg d'aquest. Per l'altre, en ser el casquet un mil·límetre més llarg que l'espessor de les barres, podem afirmar que aquestes es mantindran unides, però amb un espai entre elles de màxim d'un mil·límetre perquè no facin contacte i així puguin rotar sense cap dificultat.

En el cas d'aquest mecanisme, hi haurà unions que relacionaran dues barres i unions que relacionaran tres barres, pel qual hi haurà diferents casquets (amb diferents longituds).

Dit això, mentre que els cargols, volanderes i rosques seran elements normalitzats, els casquets seran de fabricació pròpia.

#### 3.1.2.1 ELABORACIÓ DELS CASQUETS

Aquests es fabricaran en el torn a partir d'un tub el qual tingui un diàmetre exterior igual al diàmetre dels forats de les barres. El tub es trossejarà a una longitud determinada (un mil·límetre més l'espessor de les barres que es vaguin a unir), es treparà per aconseguir un diàmetre interior determinat per a passar el cargol per dins i s'avellanarà els forats.

A continuació es mostrarà primer una figura de com haurien de quedar els casquets (i després una altra de com han quedat:



**Figura 67. Model 3D del Casquet 3. Font: Elaboració pròpia**



**Figura 66. Casquet 3. Font: Elaboració pròpia**

Finalment s'especificarà com s'ha de posar el casquet. Aquest s'introduirà en el forat de la primera barra sense joc i en el forat de la resta de barres a unir s'introduirà amb joc (per tal que aquestes puguin rotar). En el cas de la primera barra, es col·locarà el casquet a sobre del forat, s'introduirà la barra dins la mordassa de banc i aquesta s'anirà tancant a poc a poc fins que el casquet s'hagi introduït fins al final del forat. En el cas de la resta de barres, com aniran amb joc, el casquet podrà entrar sense problemes dins



## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

del forat; l'únic que el diàmetre del forat de la barra haurà de ser un mil·límetre més gran que el diàmetre del casquet, pel qual es tornarà a trepar el forat.

### 3.1.3 CONJUNT DELS ELEMENTS DEL MECANISME CAMINADOR

Una vegada s'han elaborat les barres, les estructures i els casquets, s'han posat aquests últims i la resta d'elements d'unió; finalment s'obté la construcció del mòdul del mecanisme caminador, el qual es pot observar en la següent figura.



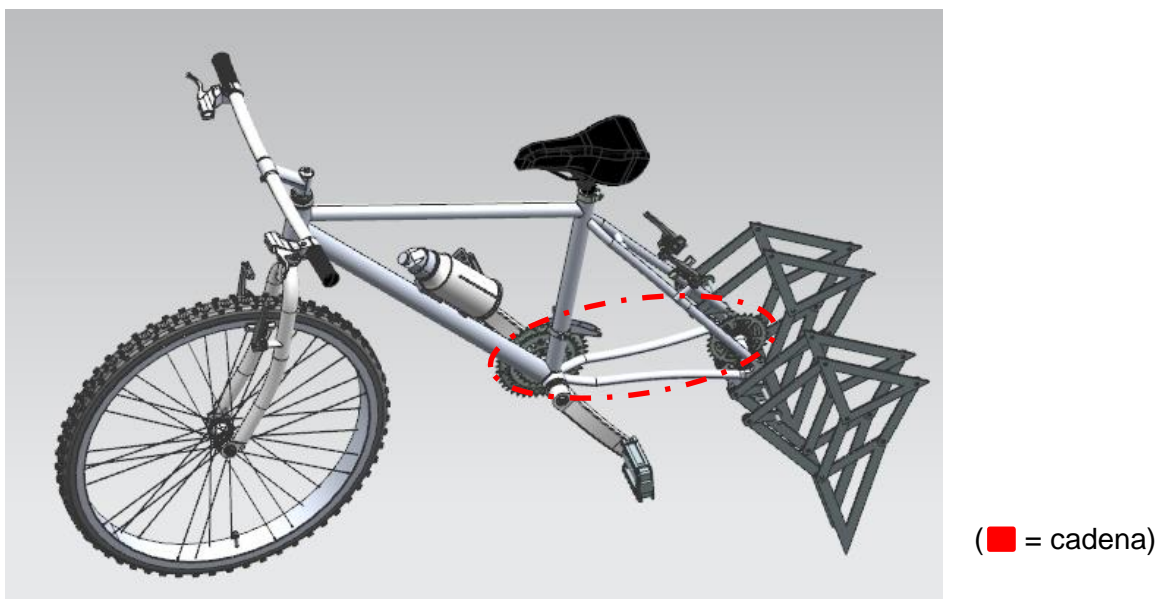
Figura 68. Mecanisme Theo Jansen d'elaboració pròpia. Font: Elaboració pròpia

### 3.2 MÒDUL D'ACOBLEMENT (DEL MECANISME CAMINADOR A LA BICICLETA)

En aquest apartat s'explica com és i com es fabricarà el mecanisme que s'utilitzarà per acoblar les potes (mecanismes caminadors de Theo Jansen) a la bicicleta. Com aclariment esmentar que en l'apartat anterior s'ha fabricat la pota sense la manovella perquè aquesta es considera part de l'acoblament, ja que com s'explicarà més endavant és una peça clau de la qual pot dependre fer un tipus d'acoblament o un altre.

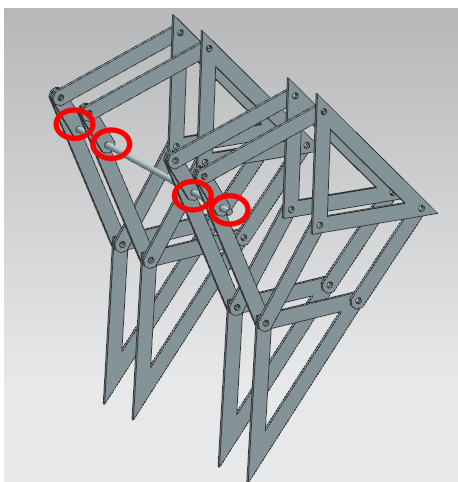
El primer plantejament que s'ha fet és com transmetre el moviment de rotació a la manovella de la pota des dels pedals. La conclusió a la qual s'ha arribat, és que donat que en una bicicleta quotidiana els pedals fan girar el plat d'aquesta, es podria connectar aquest mitjançant una cadena amb un altre plat, el qual es podria travessar amb una barra, fixar-lo a aquesta per poder fer-la girar a la vegada que el plat i connectar-la perpendicularment a la manovella per fer girar a la vegada aquesta última, la barra i el plat.

El segon plantejament és com posicionar les potes. Inicialment es va pensar a posar les quatre potes paral·leles separades a una certa distància, ja que només faria falta que la barra accionadora (barra esmentada anteriorment) fos suficientment llarga.

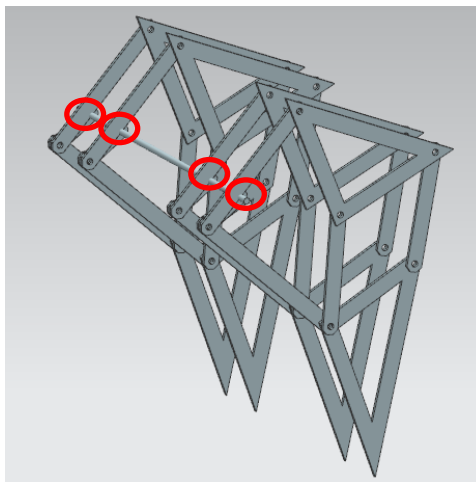


**Figura 69.** Model 3D de les quatre potes posicionades en paral·lel. Font: Elaboració pròpia

Aquesta idea es va tirar enrere pel fet que la barra accionadora (perpendicular a la manovella) se superposa amb altres dues barres de les potes (les dos amb les quals està unida la manovella). En el cas de les potes interiors, la barra accionadora seria passant pels dos costats de la manovella (en sentit cap al plat i en sentit cap a la pota exterior), en donar aquesta última una volta completa, com la barra sobresurt en els dos sentits hauria de travessar dues barres de les potes, cosa impossible. Com es pot observar a les següents figures, aquest mateix problema existeix a les potes exteriors: perquè la barra accionadora és massa llarga i hauria d'arribar fins a la manovella, i perquè la manovella es troba posicionada entre les dues barres del mecanisme i no en un dels extrems (en l'intern).



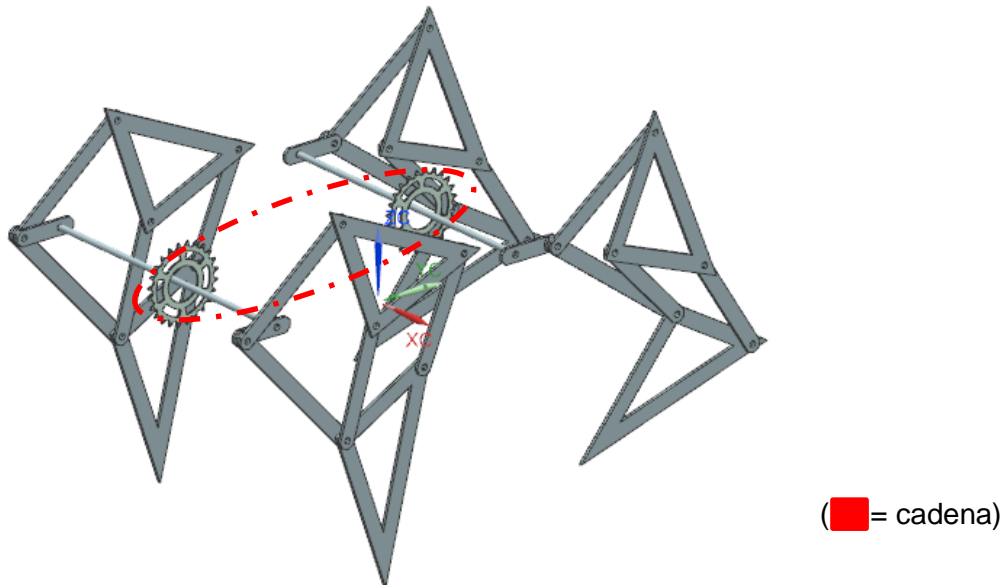
**Figura 70.** Primer punt on la barra accionadora se superposa amb una de les dues barres de les potes esmentades. Font: Elaboració pròpia



**Figura 71.** Segon punt on la barra accionadora se superposa amb una de les barres de les potes esmentades. Font: Elaboració pròpia

En el cas que la barra accionadora només estigués unida a dues potes (una a cada costat de la bicicleta) aquesta no sobresortiria cap a la pota exterior (ja que no existiria) i no travessaria dues barres del mecanisme si a l'hora d'unir aquestes amb la manovella,

aquesta última estigués ubicada en el costat interior (el més a prop del plat), tal com s'ha esmentat abans. Dit això, donat que només es poden posar dues potes en la barra accionadora (i amb la condició que la manovella estigui en el costat interior), el que s'ha proposat ha sigut transmetre el moviment de rotació de la barra accionadora a una segona barra accionadora igual que aquesta primera, és a dir, amb dues potes. El mecanisme de transmissió seria semblant al de la primera barra accionadora, mitjançant una cadena i dos plats. Un d'aquests estaria travessat per la primera barra accionadora i fix a aquesta, pel qual tant el plat com la primera barra accionadora girarien a la vegada. El plat transmetria el moviment mitjançant una cadena que estaria unida al segon plat, el qual estaria travessat i fixat a la segona barra accionadora, així tant el segon plat com la segona barra accionadora girarien simultàniament.



**Figura 72.** Model 3D de la posició de les potes i la transmissió de rotació del segon parell.  
Font: Elaboració pròpia

### 3.2.1 ELABORACIÓ DE L'ACOBLEMENT

Una vegada s'ha aclarit com funcionarà l'acoblament, només cal explicar tres coses necessàries per elaborar-lo: com es fixaran les barres a les manovelles, les barres a un suport per tal d'estar a una distància determinada entre elles i a més paral·leles al sòl i els plats a les barres.

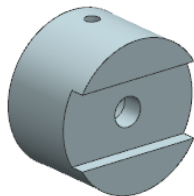
#### 3.2.1.1 FIXACIÓ DE LES BARRES A LES MANOVELLES

En aquest cas s'ha de fixar una barra cilíndrica a una rectangular, ja que a priori la manovella es fabricarà igual que les barres del mecanisme caminador. Dit això el mecanisme fixador serà un cilindre amb un diàmetre interior equivalent al diàmetre de la barra accionadora, per tal de poder passar aquesta pel seu interior, encara que no serà passant sinó fins a una certa distància. Per tal de fixar-lo a la manovella en la cara contrària en la qual s'hagi fet el forat esmentat anteriorment es farà un buidatge de forma rectangular, per tal de poder dipositar la barra en aquest. En aquesta mateixa cara (però dins del buidatge) i en les cares de les barres accionadores, es farà un forat (en el cas de la peça cilíndrica passant i en el de les barres accionadores fins a una certa distància) amb un diàmetre equivalent als forats de la barra que farà de manovella (tindrà dos forats per unir-la, com la resta de barres). D'aquesta manera, sent els forats de les barres accionadores roscats, es podrà passar un cargol pel forat de la manovella, pel forat de

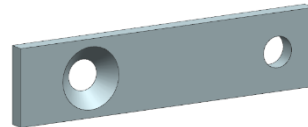
## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

la peça cilíndrica i cargolar-lo en la barra accionadora i aconseguir un gir simultani. Finalment, per si un cas, per tal que la barra accionadora i la peça de fixació girin com si fossin un sol element, quan estiguin muntades es farà un forat passant per aquestes i es posarà una vareta (sense joc) perquè així no girin per separat (la fabricació d'aquesta s'explicarà en el següent apartat).

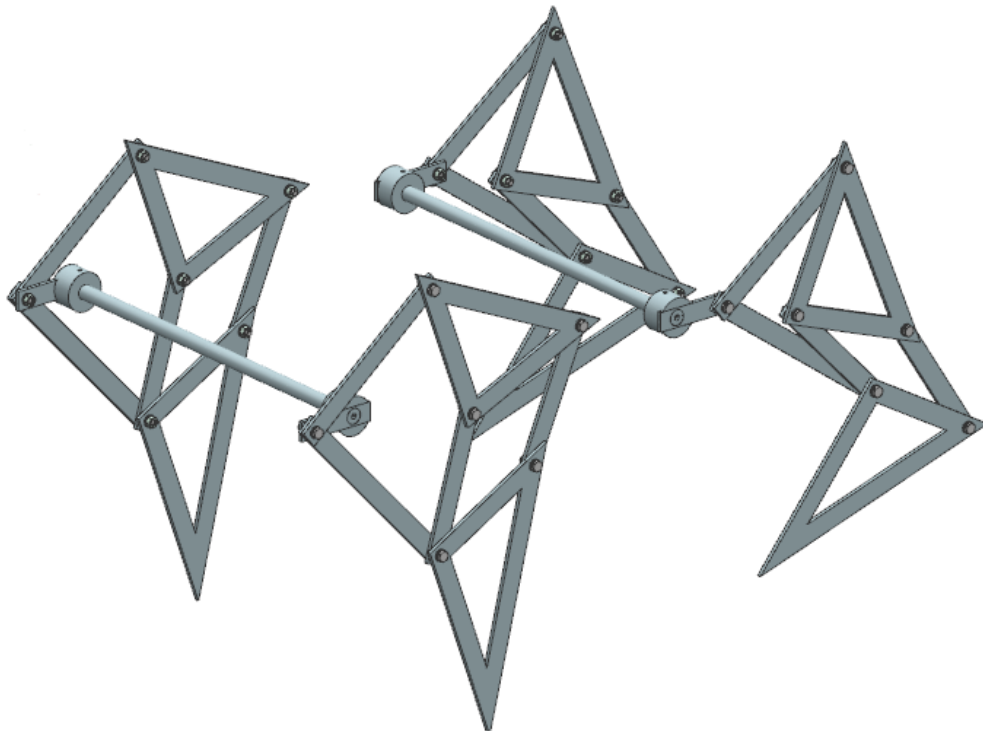
Pel que fa a la manovella, aquesta serà igual que les altres barres excepte pel fet que en un extrem, la distància entre el cantó i el forat de la manovella serà més gran per tal que es pugui recolzar tota la barra sobre la peça de fixació.



**Figura 73.** Model 3D de l'acoblament de les potes. Font: Elaboració pròpia



**Figura 74.** Model 3D de la manovella del mecanisme Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia



**Figura 75.** Model 3D de les potes i el seu acoblament a les barres accionadores. Font: Elaboració pròpia

Pel que fa a la peça cilíndrica, primer de tot s'haurà de tallar un tros d'un tub massís (en aquest cas s'ha fet amb una serra automàtica). En el cas que al fer el tall, les cares de la peça no quedin llises o suficientment perpendiculars es recomana refrentar-les amb el torn.

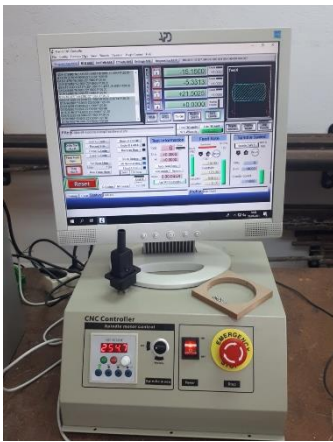
## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

A continuació, en aquest treball s'ha optat per seguir amb el buidatge. Aquest s'ha fet amb la fresadora, però abans d'això s'ha hagut de fer unes modificacions en la peça per tal de poder subjectar-la en la fresadora. Per tal de subjectar-la s'haurà de cargolar la peça a un tros de fusta la qual estarà subjecta per mordasses. Per poder cargolar la peça, s'ha fet un forat passant a aquesta mitjançant el torn i s'ha roscat manualment, així es podrà passar un cargol pel forat de la fusta i cargolar-lo a la peça amb la qual estem treballant (cal dir que el diàmetre d'aquest forat efectuat ha de ser menor que els dels forats que ha de tenir la peça).

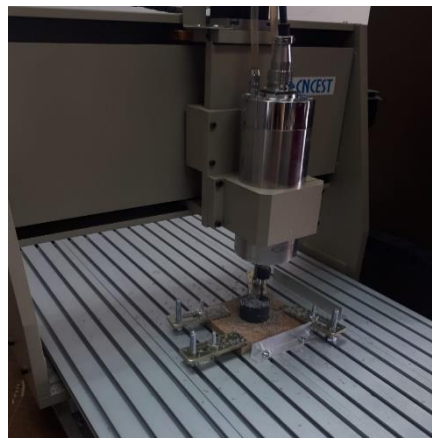


**Figura 76.** Forat roscat per poder fixar la peça a un tros de fusta.  
Font: Elaboració pròpia

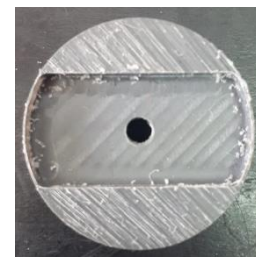
Un cop subjectada la peça, se n'ha pujat al programa de la fresadora un codi elaborat prèviament (amb el Freecad) i s'ha procedit a fer el buidatge. En aquest cas, com la peça no té una tolerància 0 era una mica més gran del suposat, i per això s'ha hagut d'executar un segon programa i fer el buidatge una mica més gran. En les següents figures es pot observar el programa de la fresadora activat, la fresadora treballant i el resultat de la peça:



**Figura 77.** Programa de la fresadora activat. Font: Elaboració pròpia



**Figura 79.** Fresadora treballant. Font: Elaboració pròpia

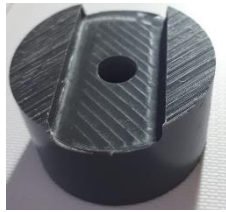


**Figura 78.** Buidatge realitzat amb la fresadora. Font: Elaboració pròpia

Encara així com es pot observar en l'última figura, la fresadora no ha arrancat el material d'un tros del perímetre. En aquest cas s'ha procedit a treure-ho manualment amb un cúter. A continuació amb el torn s'ha fet un forat passant amb diàmetre igual al del forat de la manovella i un forat fins a una distància determinada de diàmetre equivalent al de la barra accionadora en la cara on no està el buidatge. A continuació es poden veure les dues cares de la peça:



DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO

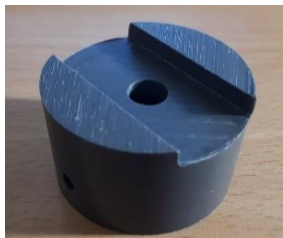


**Figura 81.** Buidatge completat (amb el cúter) i forat de diàmetre equivalent al forat de la manovella. Font: Elaboració pròpia



**Figura 80.** Forat de diàmetre equivalent al de la barra accionadora. Font: Elaboració pròpia

Finalment per tal d'acabar-la, amb el trepant de pedestal s'ha fet el forat passant perpendicular a les cares (per tal de fer-lo en la localització indicada prèviament s'ha puntejat la peça).



**Figura 83.** Forat passant perpendicular a les cares 1. Font: Elaboració pròpia

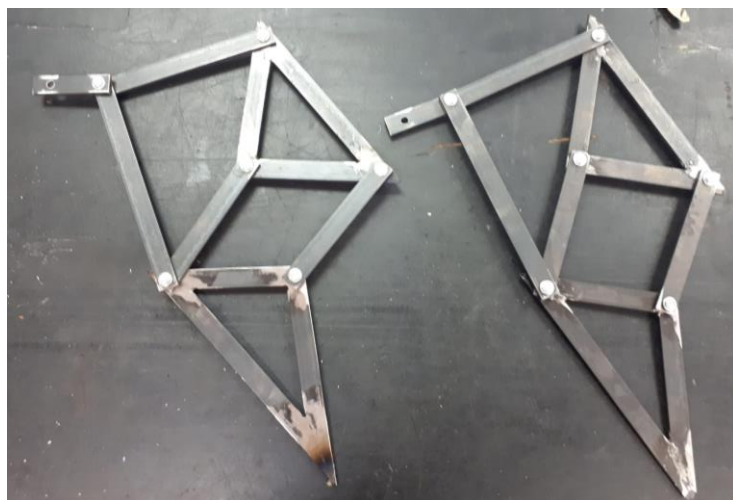


**Figura 82.** Forat passant perpendicular a les cares 2. Font: Elaboració pròpia

Pel que fa a la manovella aquesta s'ha elaborat com la resta de barres. A partir d'una barra d'un metre, s'han tallat les manovelles amb la serra automàtica i s'ha utilitzat la llima per llimar els extrems per tal que no siguin perillosos, ja que poden tallar o fer mal bé. Per tal de fer els forats s'han puntejat les barres amb un punxó i un martell a la mesura indicada pels plànols (annex V) i mitjançant el trepant de pedestal s'ha fet els forats. A l'hora de trepar la barra s'ha fet un primer forat per treure material i després un segon amb la mida corresponent. Finalment, igual que en l'operació de tall, per tal que els perímetres dels forats no siguin cantons vius i no tallin s'han avellanat manualment amb un avellanador.



**Figura 84.** Manovella del mecanisme Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia



**Figura 85.** Mecanisme complet Theo Jansen. Font: Elaboració pròpia

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

Una vegada s'han elaborat les peces esmentades anteriorment, s'ha acoblat per comprovar el funcionament del conjunt i s'ha detectat un problema. En posar el cargol que uneix la peça acobladora i la manovella, aquesta no pot fer una volta completa en girar. S'han utilitzat cargols de cap hexagonal, i tal com s'ha conclòs anteriorment només pot sobresortir material per la cara interior de la manovella i no per l'exterior, els caps xoquen amb les dues barres amb les quals està unida aquesta i impedeix el moviment. Per arreglar aquest imprevist la solució ha estat senzilla, com la cara interior està recolzada en la peça acobladora, s'ha decidit canviar el cargol de cap hexagonal de la manovella per cargols cònics. Aquest forat de la manovella es pot alterar per tal que el cargol, el qual té el cap pla, quedi al mateix nivell que la cara de la barra i només sigui una prolongació de la seva superfície. L'única operació que s'ha hagut de fer ha sigut avellanar el forat amb el trepant de pedestal per tal de fer el forat cònic i poder introduir tot el cap del cargol cònic.



**Figura 86.** Avellanat d'un dels forats de la manovella. Font: Elaboració pròpia

### 3.2.1.2 FIXACIÓ DE LES BARRES A UN SUPORT

Per tal de fixar les barres d'accionament es necessitarà una superfície en la bicicleta on fer-ho. Com no existeix cap adequada, es fixaran dos perfils de 90° un a cada banda interna de la part inferior del quadre de la bicicleta per tal de tenir una superfície paral·lela i perpendicular al sòl on poder treballar.



**Figura 87.** Bicicleta a utilitzar en el projecte. Font: Elaboració pròpia



**Figura 88.** Banda interna de la part inferior del quadre de la bicicleta. Font: Elaboració pròpia

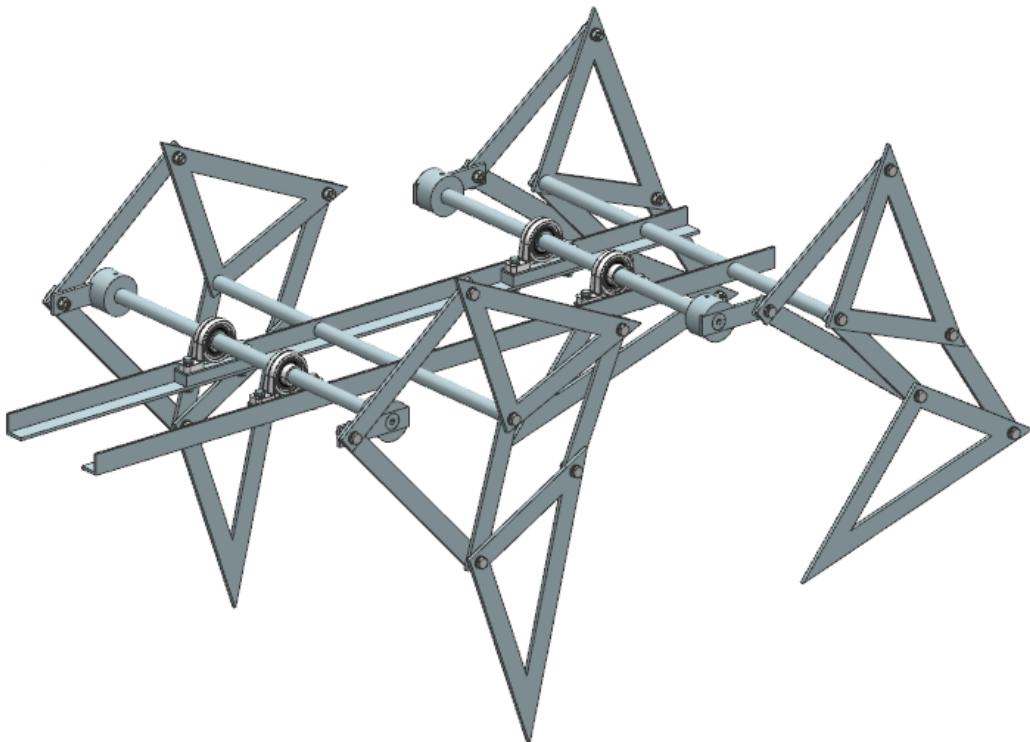
Les barres accionadores aniran unides a les manovelles i per aconseguir això, es farà un forat cargolat en les dues cares de la barra. Com s'ha explicat en l'apartat anterior, en introduir aquestes en les peces acobladores de les manovelles, es passarà el cargol per la manovella, per la peça fixadora i es cargolarà en la barra de tal manera que es fixaran els tres elements a l'hora.

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

Per altra banda aquestes són les barres encarregades de fer girar les manovelles i perquè estiguin subjectes i transmetin la rotació, passaran per dins d'uns coixinets els quals aniran cargolats a aquests perfils. Per últim, recordar que perquè giri la peça acobladora de les potes a la vegada que la barra accionadora, en la primera peça s'ha fet un forat perpendicular a la cara i en la segona s'ha de fer un altre, perquè així pugui ser travessat per una vareta per tal que no hi hagi possibilitat que girin les dues peces desfasades.

Però per tal d'acabar l'acoblament, caldrà fixar el segon punt fix de les potes (el primer és un extrem de la manovella). Cal recordar que aquest segon punt només ha de poder rotar/girar lliurement. Per tal de fer això s'utilitzarà la mateixa idea per fixar l'extrem de la manovella amb una diferència, com la barra no ha de transmetre rotació aquesta no estarà subjecta per coixinets sinó que anirà soldada als perfils. Com cada extrem d'aquesta barra ha d'anar fixat a un punt de les potes, s'haurà de foradar ambdós perfils perquè aquesta pugui passar per aquests. A més, per permetre la rotació d'aquest segon punt fix (que és una de les unions del mecanisme) es farà un forat roscat no passant a ambdues cares de la barra i el cargol que vagui en la unió del punt fix es cargolarà a aquestes (igual que en la barra accionadora), fent la mateixa funció que la rosca que porten al darrere la resta d'unions.

Mencionar que al passar i recolzar la barra del segon punt fix en els perfils, com aquest està a menor altura que el primer punt fix, aquest últim caldrà posar-lo més elevat. Degut això els coixinets no es podran recolzar i cargolar directament als perfils, en aquest cas farà falta posar unes platines entre els coixinets i perfils per tal de poder fixar-los.



**Figura 89.** Model 3D de les barres, els perfils i les potes. Font: Elaboració pròpia

Donat que la barra del segon punt fix és la més llarga, s'ha optat per començar a construir aquesta, així en el cas d'una equivocació o un imprevist sempre es pot ajustar la llargada de la barra del primer punt fix (manovella). Per elaborar-la primerament s'ha tallat a una longitud determinada amb la serra automàtica i s'ha refrentat ambdues cares amb el torn perquè quedin paral·leles i es puguin acoblar bé a la pota. Després s'ha hagut d'elaborar el forat roscat en cada cara, per fer això últim s'ha hagut de fer dues coses. La primera trepar dues vegades cada cara de la barra amb el torn, el segon forat



## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR

PAULA RAMOS HERRERO

era el definitiu, però abans s'ha fet un altre més petit per tal d'extreure material i fos més fàcil fer el següent forat. La segona, fer la rosca als forats mitjançant tres mascles, el primer serveix per marcar una mica la rosca, el segon per fer-la una mica més profunda i el tercer per fer-la encara més profunda (es pot fer només amb un mascle que fa la rosca definitiva, però encara que es triga menys costa més esforç).



**Figura 90.** Forat roscat de la barra del segon punt fix. Font: Elaboració pròpia

S'ha de tenir cura en fer el roscat, ja que el mascle es pot trencar i quedar dins del forat sense poder extreure-ho segons com s'hagi trencat. Aquest va ser el cas quan s'estava roscant l'últim mascle del quart forat (és una barra per cada parell de potes, és a dir dues, i dos forats en cadascuna). La solució a la qual es va arribar va ser refrentar la barra fins que es va poder extreure el mascle, ja que s'havia trencat arres de la cara de la barra. Com que s'hi va haver de refrentar poca distància, amb un nou mascle es va acabar la rosca i a més, es va decidir refrentar (la meitat de la distància refrentada) cada costat de la primera barra elaborada, ja que seguia havent-hi suficient forat roscat per posar el cargol.

En aquest cas a continuació, s'han tallat els perfils amb la serra automàtica a una longitud determinada i per tal de poder passar per aquests les barres del segon punt fix, s'han puntejat amb un punxó i un martell per tal de poder foradar-los en les marques creades. Per fer aquests forats s'ha utilitzat un trepant de pedestal. Com el forat era molt gran s'han hagut de fer quatre forats (cadascun més gran que l'anterior per tal de no treure tant material de cop) i a més, com no s'ha tingut a l'abast una broca del diàmetre corresponent, s'ha hagut de llimar els forats fins que han pogut entrar les barres.



**Figura 91.** Conjunt dels perfils i les barres del segon punt fix. Font: Elaboració pròpia

Finalment per tal de fixar-les s'han soldat les barres als perfils, tenint en compte la distància que ha d'haver-hi entre els perfils, i entre aquests i les cares de les barres. La soldadura que s'ha realitzat ha sigut la mateixa utilitzada per soldar les estructures de

## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

les potes i ha consistit a posar punts de soldadura i soldar el perímetre superior de les barres amb el perfil (en la part inferior no s'ha fet per tal de no deformar amb la calor la superfície on està recolzada la barra). Finalment per tal de deixar-lo bonic, s'ha esmolat l'excedent de soldadura.



**Figura 93.** Soldadura de les barres i els perfils un cop esmolada 1. Font: Elaboració pròpia



**Figura 92.** Soldadura de les barres i els perfils un cop esmolada 2. Font: elaboració pròpia

A continuació s'ha procedit a elaborar la barra accionadora. Com s'ha modificat la llargada de les barres ja elaborades i fixades (degut a que s'han refrentat per treure el mascle trencat), en aquest cas s'ha tornat a calcular la longitud d'aquestes barres accionadores. Una vegada clara aquesta dada, s'ha procedit a tallar-la amb la serra automàtica i a refrentar les cares amb el torn (perquè quedin paral·leles a la cara interior de la peça acobladora de la manovella, i no hi hagi problemes en acoblar-la). Igual que la barra del segon punt fix, s'ha trepat aquesta amb el torn, en aquest cas tres vegades donat que el forat és més gran i cal anar eliminant material a poc a poc. Una vegada fet el forat s'ha procedit a fer-li la rosca. Finalment s'ha fet el forat restant perpendicular a la cara de la barra (per tal de passar una vareta entre la peça d'acoblament de la manovella i aquesta barra). Aquest s'ha fet amb el trepant de pedestal i per tal de fer-lo en la posició exacta, abans de foradar-la s'ha introduït dins de les peces acobladores perquè el forat d'aquestes guïï la broca i quedi el forat on toca. Recordar que les potes d'una mateixa barra han de tenir la mateixa posició al llarg del recorregut, per això que en posar la barra dins les peces fixadores, els forats d'aquestes dues han d'estar orientats en la mateixa posició.



**Figura 94.** Barra accionadora amb l'acoblament de les potes i la manovella. Font: Elaboració pròpia

Finalment s'ha procedit a elaborar una vareta per fer-la passar pels últims forats elaborats i així fer girar simultàniament la barra accionadora i la peça fixadora. Amb la serra automàtica s'ha tallat una barra (de diàmetre equivalent al del forat) amb una longitud equivalent al diàmetre de la peça acobladora. Seguidament s'han llimat els extrems per tal de poder manipular-la sense risc.



**Figura 95.** Vareta de l'acoblament de les potes i la barra accionadora. Font: Elaboració pròpia

Ara una vegada fabricada la barra s'ha hagut de cargolar els coixinets, però aquests tal com s'ha explicat anteriorment han de recolzar-se per sobre del perfil. En aquest cas s'ha utilitzat material que hi havia a l'abast i com no hi havia cap peça amb l'altura desitjada s'han hagut d'utilitzar dues peces, que en estar una a sobre de l'altre si donaven l'altura desitjada.

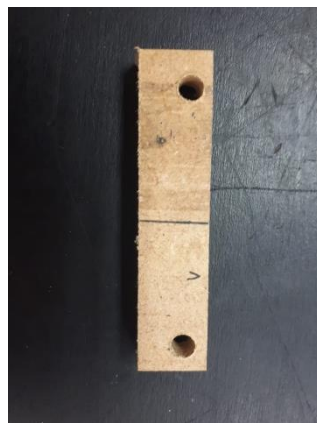
S'ha començat a treballar amb la peça que té més altura. Donat que ni l'amplitud ni la llargada eren les requerides, s'ha tallat la peça amb la serra automàtica per aconseguir que les mesures fossin iguals que les de la base del rodament. Després l'objectiu ha sigut fer dos forats en la peça concèntrics als forats de la subjecció del coixinet. Per major exactitud, s'ha posat el rodament sobre la peça i s'ha aprofitat els forats d'aquest com a guia per dibuixar-los en la peça de sota i poder puntejar-la. Seguidament s'han fet dos forats en cada marca amb el trepant de pedestal (el primer per treure material i el segon per fer el forat amb el diàmetre necessari).

Amb referència a la peça amb menys altura, com aquesta tenia l'amplada necessària només s'ha tallat un cop (amb la serra automàtica) per aconseguir la llargada requerida. Seguidament també s'ha puntejat i foradat dos cops, en aquest cas en comptes de posar a sobre el coixinet per dibuixar el forat, s'ha posat el coixinet i la peça elaborada.

Seguidament s'ha procedit a foradar també el perfil. En aquest cas per dibuixar els forats s'ha posat a sobre les dues peces anteriors i el coixinet, i a continuació s'ha puntejat i s'ha foradat dues vegades amb el trepant de pedestal.



**Figura 97.** Platina suport coixinet foradada. Font: Elaboració pròpia



**Figura 98.** Peça suport coixinet foradada. Font: Elaboració pròpia



**Figura 96.** Perfil foradat. Font: Elaboració pròpia

Una vegada ja es té tot el material, s'ha posat la peça de la figura 97 a sobre del perfil, a sobre d'aquesta la peça de la figura 96 i a sobre el coixinet, i finalment s'ha passat un cargol amb volandera pel forat del coixinet, les peces i el perfil i s'ha roscat (amb una volandera prèvia a la rosca) per fixar-lo.



**Figura 99.** Muntatge de la peça suport coixinet, platina suport coixinet i coixinet sobre el perfil. Font: Elaboració pròpia

A continuació s'ha provat de posar les potes per veure l'estructura en conjunt, i s'ha detectat un problema. En fer girar la manovella hi ha un punt on les potes davanteres xoquen amb les potes posteriors, degut a que la distància que hi ha entre aquestes no és suficient.



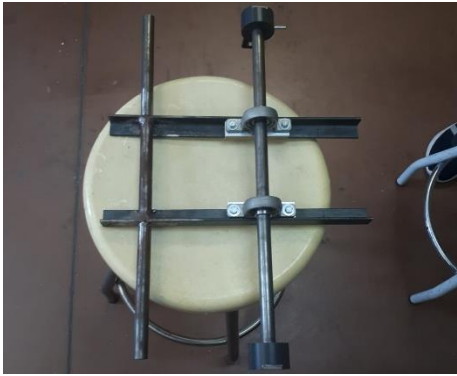
**Figura 100.** Punt on xoquen les potes. Font: Elaboració pròpia

Les opcions que s'han plantejat per arreglar aquest imprevist han sigut: fer el perfil de nou (opció descartada per la falta de temps), desplaçar el primer parell de potes (amb el qual s'hauria de desfer part del treball fet, tornar-lo a fer i a més quedaria el perfil foradat) i per últim tallar el perfil entre la barra del segon punt fix de les potes davanteres i la barra accionadora de les potes posteriors i unir aquests dos nous extrems del perfil amb material perquè la distància entre les dues barres sigui major que l'anterior. Degut a que l'última opció ha sigut la que tenia menys inconvenients, en aquest cas s'ha optat per solucionar el problema d'aquesta manera.

Primerament s'ha procedit a tallar el perfil entre la barra del segon punt fix de les potes davanteres i la barra accionadora de les potes posteriors. En particular s'ha decidit tallar a la meitat de la distància entre aquestes dues barres perquè el tall afecti de la mateixa manera als dos parells de potes. Encara que inicialment es pretenia tallar els perfils amb la serra automàtica, degut a l'estructura formada per les barres i els perfils i la forma de la màquina, només s'ha pogut tallar un perfil amb aquesta i l'altre s'ha hagut de tallar amb la serra manual.



## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO



**Figura 102.** Part posterior dels perfils un cop tallats. Font: Elaboració pròpia



**Figura 101.** Part davantera dels perfils un cop tallats. Font: Elaboració pròpia

Per poder allarga-les, s'intentarà que el material intermedi simuli el perfil de 90°. Encara que es podria haver utilitzat un tros sobrant d'aquest mateix perfil, només es podria unir fer coincidint i ajuntant les cares d'aquests trossos amb les dels perfils i després soldar-les, no podria recobrir el perfil actual ni per dins ni per fora donant més resistència i per això s'ha descartat. L'opció que s'ha escollit ha sigut fixar una barra del mateix espessor i amplitud que el perfil a cada costat exterior d'aquest mitjançant cargols i soldadura.

Per un costat, en l'extrem a unir de cada perfil s'han fet dos forats amb el trepant de pedestal. El primer (començant per l'extrem del perfil) s'ha fet en el pla perpendicular al sòl i el segon en el pla paral·lel al sòl, ambdós a una distància equidistant. Com s'ha explicat anteriorment, abans de fer el forat s'ha puntejat el perfil i a l'hora de fer-lo, abans de fer el definitiu s'ha fet un altre amb un diàmetre menor per tal de treure material.

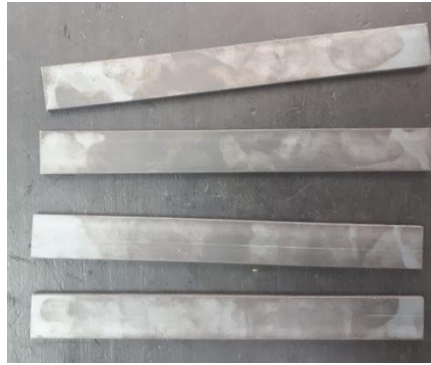


**Figura 103.** Perfils foradats. Font: Elaboració pròpia

Per altre costat, per tal de comprovar que la nova distància entre les barres és correcta, s'han posat les potes i s'han girat per observar que no xoquen.

Determinada la distància a la qual han d'estar els perfils, s'ha determinat la distància que han de tenir les barres que es cargolaran i s'han tallat amb la serra automàtica.

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



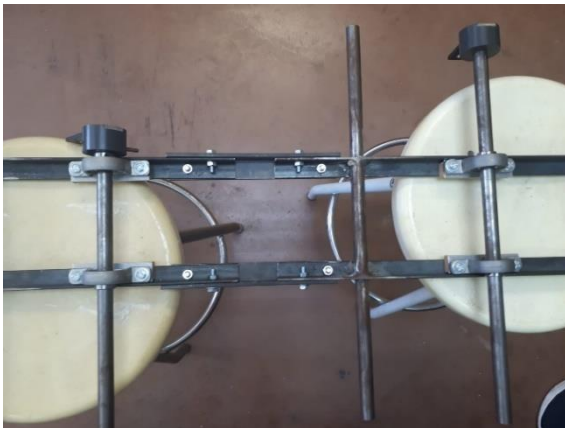
**Figura 104.** Barres agregades als perfils. Font: Elaboració pròpia

Seguidament s'han puntejat i foradat (en aquest cas també dos cops) amb el trepant de pedestal. Per tal de fer coincidir els forats dels perfils amb els d'aquestes barres, prèviament aquestes s'han fixat darrere del perfil amb un sergent (donat que no tenen forats no es poden cargolar) i s'ha repassat el perímetre del forat del perfil en la barra, d'aquesta manera es pot determinar i puntejar el centre perquè ambdós coincideixin.



**Figura 105.** Barra foradada. Font: Elaboració pròpia

Una vegada llest el material, s'ha cargolat.



**Figura 107.** Barres cargolades als perfils 1. Font: Elaboració pròpia



**Figura 106.** Barres cargolades als perfils 2. Font: Elaboració pròpia

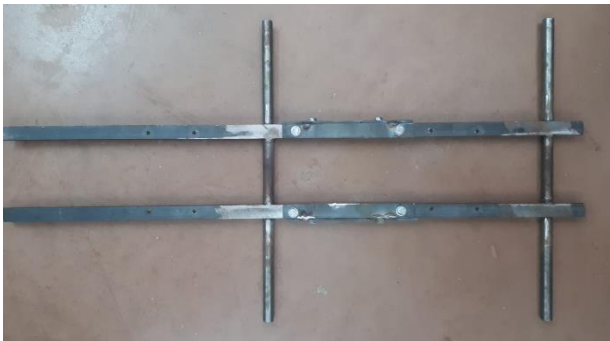
Per acabar de reforçar aquesta unió s'han realitzat punts de soldadura (igual que en els casos anteriors per arc elèctric) en diferents localitzacions: en els extrems dels perfils tallats, en la part superior dels perfils i les barres, i on fan contacte la barra vertical i horitzontal. Finalment la soldadura de la part superior s'ha esmolat per tal que la superfície del "nou perfil" sigui uniforme.



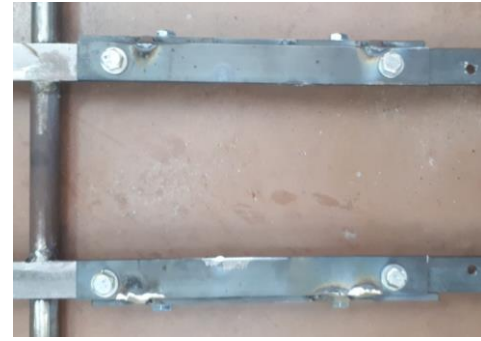
**Figura 109.** Barres i perfils soldats 1. Font: Elaboració pròpia



**Figura 108.** Barres i perfils soldats 2. Font: Elaboració pròpia



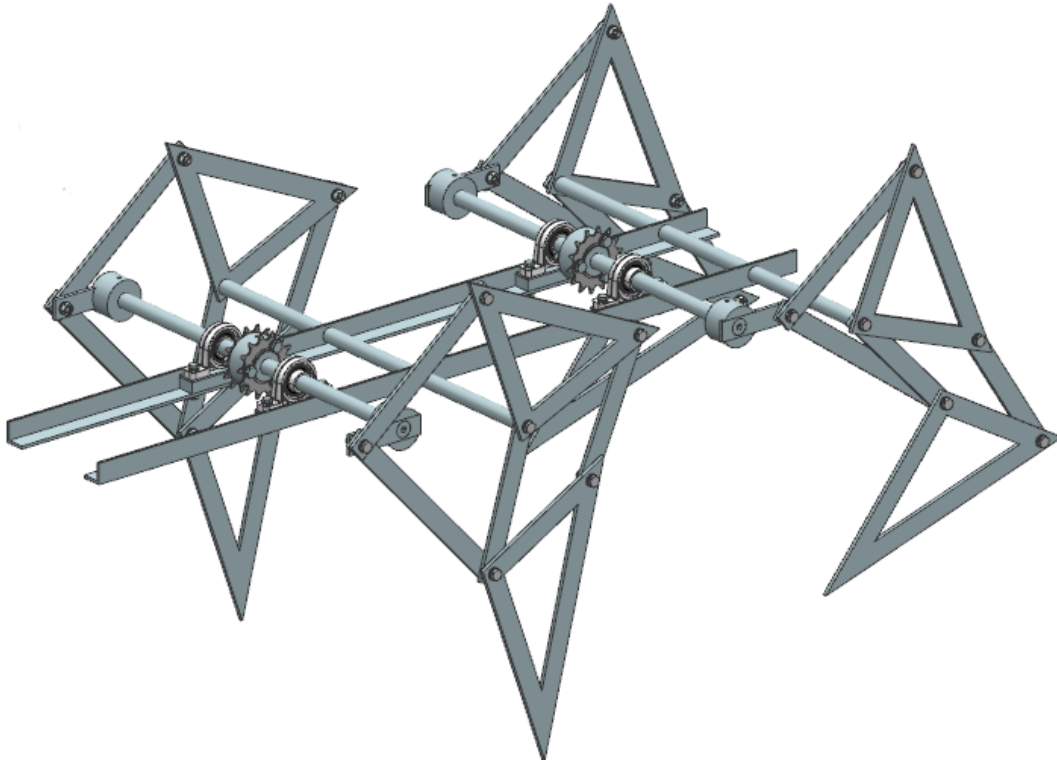
**Figura 110.** Barres i perfils soldats 3. Font: Elaboració pròpia



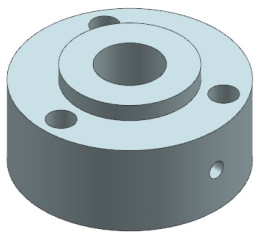
**Figura 111.** Barres i perfils soldats 4. Font: Elaboració pròpia

### 3.2.1.3 FIXACIÓ DELS PLATS A LES BARRES

Pel que fa a la fixació dels plats a les barres, es farà mitjançant una peça cilíndrica d'elaboració pròpia. Aquesta haurà de ser tubular amb un diàmetre interior equivalent al diàmetre de la barra accionadora, per tal de poder passar aquesta pel seu interior. Després tant en el plat com en una cara de la peça cilíndrica es farà uns forats per tal de poder cargolar el plat a la peça i així fixar-los. Ara mateix això és un conjunt que es pot moure al llarg de la barra accionadora, per tal que aquest quedi acoblat a la barra i girin simultàniament, es farà un forat passant a la peça (perpendicular a les cares d'aquesta) i un altre a la barra accionadora (perpendicular a les cares d'aquesta) per tal de poder passar una vareta sense joc. D'aquesta manera tant el conjunt com la barra accionadora giraran simultàniament com un sol cos.



**Figura 112.** Model 3D del conjunt de potes, acoblament d'aquest conjunt, plats i els seus acoblaments a les barres accionadores. Font: Elaboració pròpia

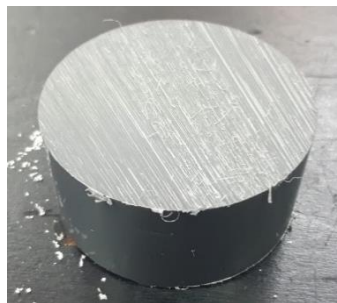


**Figura 114.** Model 3D de l'acoblament dels plats. Font: Elaboració pròpia



**Figura 113.** Model 3D de la vareta d'acoblament dels plats. Font: Elaboració pròpia

Primer de tot s'haurà de tallar amb la serra automàtica una barra massissa a la distància requerida per tenir una peça amb la qual treballar.



**Figura 115.** Peça a partir de la qual es farà l'acoblament dels plats. Font: Elaboració pròpia

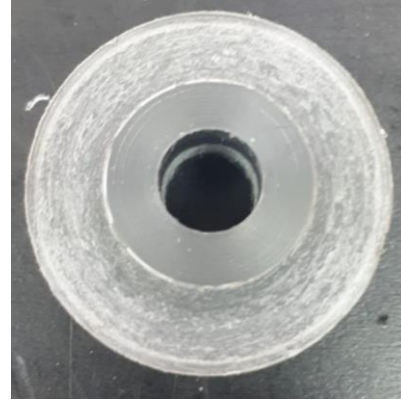


## DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR PAULA RAMOS HERRERO

Si en tallar la peça les cares han quedat molt rugoses, s'aconsella refrentar-les amb el torn. També amb aquesta màquina, es farà un cilindrat amb un diàmetre equivalent al diàmetre interior del plat i una distància equivalent a l'espessor del plat (d'aquesta manera aquest no estarà sobre la peça sinó al mateix nivell que aquesta), a més després de puntejar el centre de la peça s'haurà de foradar també amb el torn (en aquest cas, donat el material escollit és tou, es pot fer directament el forat definitiu sense fer anteriorment forats de diàmetre més petits). Esmentar que l'ordre de les dues últimes operacions amb el torn no altera el resultat i que en el cas que en aquesta peça s'hagin de fixar dos plats, s'haurà de fer un cilindrat a cada cara per subjectar cada plat.



**Figura 117.** Peça cilindrada i foradada 1.  
Font: Elaboració pròpia

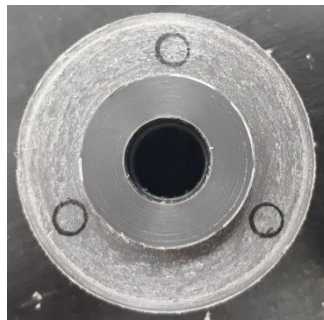


**Figura 116.** Peça cilindrada i foradada 2. Font elaboració pròpia

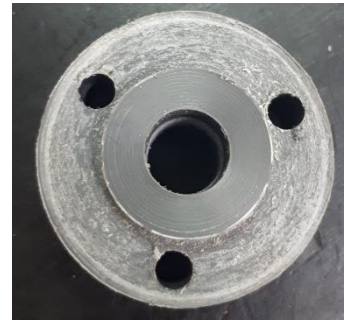
Els plats utilitzats en aquest projecte ja venien foradats, amb el qual el següent pas és foradar la peça. Per puntejar-la el que s'ha fet ha sigut posar el plat a sobre, marcar el perímetre del forat i buscar el centre d'aquest. A continuació amb el trepant de pedestal s'han fet els forats (dos cops cada un, el primer amb un diàmetre menor per treure material i el segon amb el diàmetre definitiu).



**Figura 118.** Plat a sobre de la peça per marcar el perímetre dels forats. Font: Elaboració pròpia



**Figura 120.** Marca del perímetre dels forats en la peça. Font: Elaboració pròpia



**Figura 119.** Peça foradada. Font: Elaboració pròpia

Per acabar aquesta peça, només cal puntejar-la a la meitat de l'amplada del tros de peça que segueix tenint el diàmetre inicial i fer un forat amb el trepant pedestal amb un diàmetre equivalent al de la vareta.



**Figura 122.** Forat per passar la vareta 1. Font: Elaboració pròpia



**Figura 121.** Forat per passar la vareta 2. Font: Elaboració pròpia

Finalitzada la peça cal fer un forat passant en la barra accionadora concèntric al de la peça anterior i una vareta per tal de passar-la pels dos forats esmentats.

El forat de la primera barra accionadora no es pot fer fins que no s'hagi acoblat el mecanisme a la bicicleta, ja que el plat de la bicicleta i un dels de la barra (els quals han d'estar units amb la cadena) han d'estar alineats i no es pot fer el forat sense saber la posició del plat. En referència al forat de la segona barra accionadora tampoc es pot fer perquè no se sap la seva posició. Aquesta depèn de la posició del plat, que ha d'anar unit amb la cadena (i alineat) amb un dels plats de la primera barra accionadora. Fins que no s'acobli el mecanisme a la bicicleta i es posi el plat de la bicicleta amb la seva respectiva cadena, no es podrà saber la posició de la peça acobladora dels dos plats de la primera barra accionadora, i fins que no se sàpiga aquesta posició no es podrà saber la posició de la peça acobladora del plat de la segona barra accionadora.

En tot cas una vegada coneguda la posició es pot fer el forat (perpendicular a la cara de la barra) amb el trepant pedestal. Igual que en l'acoblament de les potes, la barra s'ha de foradar estant dins de l'acoblament dels plats. En aquest cas s'ha de marcar en la barra la posició de les cares de l'acoblament dels plats per agafar aquesta peça amb la mordassa i vigilar que aquestes marques no es desplacin durant l'operació on s'ha de subjectar manualment la barra.

Per últim la vareta es farà igual que la vareta de la peça acobladora de la manovella. Amb la serra automàtica s'ha de tallar la barra (de diàmetre equivalent al del forat) amb una longitud equivalent al diàmetre inicial de la peça acobladora dels plats i per seguretat s'ha de llisar els extrems.



**Figura 123.** Vareta per l'acoblament dels plats. Font: Elaboració pròpia

### 3.3 INTEGRACIÓ DE L'ACOBLAMENT A LA BICICLETA

Per tal d'integrar l'acoblament a la bicicleta, primer s'haurà d'unir aquests dos objectes, un cop que només tinguem una sola estructura, s'haurà de canviar el plat de la bicicleta (ja que els de la bicicleta no tenen el mateix pas que els utilitzats anteriorment en l'acoblament) i s'hauran de posar les cadenes necessàries entre els plats d'aquest vehicle.

#### 3.3.1 UNIÓ DE L'ACOBLAMENT I LA BICICLETA

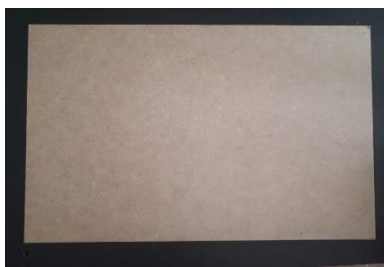
Primerament s'ha extret la roda posterior de la bicicleta donat que el mecanisme caminador substituirà aquesta.



**Figura 124.** Bicicleta sense la roda posterior. Font: Elaboració pròpia

A continuació s'ha fabricat un suport de fusta, per tal de poder reposar en aquest el mecanisme caminador. Aquest consisteix en dos taulons de fusta units per tres nervis (també de fusta).

S'han comprat dos taulons principals que s'han tallat amb la serra de cinta vertical perquè tinguin les dimensions adequades i un altre tauló que s'ha tallat en tres trossos també amb la serra de cinta vertical per fer els nervis.



**Figura 125.** Tauló principal tallat. Font: Elaboració pròpia



**Figura 126.** Un dels tres nervis tallats. Font: Elaboració pròpia

Posteriorment s'han foradat amb el trepant de pedestal per poder introduir els cargols de fusta. En els taulons on ha de recolzar-se el cap del cargol, el forat ha de ser de major diàmetre que el del cap per tal que quedi al mateix nivell que la fusta; i en els taulons on es rosquen, el diàmetre dels forats ha de ser menor que el del cap del cargol però major que el diàmetre del fil d'aquest.

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



**Figura 127.** Tauló principal foradat. Elaboració pròpia

Finalment s'han posat els cargols i ha quedat el següent suport:



**Figura 128.** Suport per al conjunt acoblament i mecanisme caminador. Font: Elaboració pròpia

Un cop s'ha posat el conjunt acoblament i mecanisme caminador sobre el suport de fusta i s'ha aprofitat a la bicicleta s'ha observat que aquests es poden unir mitjançant el mateix mecanisme que tenia la roda posterior. L'eix d'aquesta anava recolzat al final del quadre de la bicicleta i si al suport del mecanisme se li afegeix una barra, aquesta també es pot recolzar al mateix lloc com si fos l'eix. Per afegir-li la barra esmentada se soldarà (mitjançant arc elèctric) sota el suport del mecanisme amb un parell de cordons de soldadura.



**Figura 129.** Barra d'enganxament a la bicicleta preparada per a soldar. Font: Elaboració pròpia

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO



**Figura 130.** Barra d'enganxament a la bicicleta soldada 1. Font: Elaboració pròpia



**Figura 131.** Barra d'enganxament a la bicicleta soldada 2. Font: Elaboració pròpia

Abans de continuar, esmentar que en aquest cas s'ha utilitzat material que es tenia a l'abast i com el diàmetre de la barra era una mica més gran que el dels dos forats per posar l'eix en la part posterior del quadre, abans d'efectuar la soldadura s'han cilindrada amb el torn.



**Figura 132.** Barra d'enganxament a la bicicleta cilindrada. Font: Elaboració pròpia

Un cop s'ha provat d'introduir la barra d'enganxament a la bicicleta al final del quadre d'aquesta, no ha entrat degut a un tros de material que ho impedeix. Per solucionar-ho s'ha marcat el material que sobra i s'ha tallat amb una serra manual en ambdós extrems on s'ha de recolzar la barra. En la següent figura es pot observar un dels extrems original i l'altre ja tallat:



**Figura 133.** Part posterior del quadre de la bicicleta on s'uneix el conjunt de l'acoblament i el mecanisme caminador. Font: Elaboració pròpia

En provar d'introduir ara sí que entra obtenint el següent resultat:





**Figura 134.** Acoblament del mecanisme unit a la bicicleta.  
Font: Elaboració pròpia

### 3.3.2 CANVI DEL PLAT DE LA BICICLETA

Primerament s'ha d'extreure un pedal per després poder extreure els plats. Aquest pas ja es pot apreciar en l'última figura de l'apartat anterior 3.3.1.



**Figura 135.** Bicicleta sense els plats i el pedal.  
Font: Elaboració pròpia



**Figura 136.** Plats i pedal extrets de la bicicleta. Font elaboració pròpia

Per fer aquest, només cal treure la tapa de plàstic del pedal (el que està en contacte amb els plats). Aquesta està situada en la carcassa del pedal a l'altura de l'eix que uneix els dos pedals. A continuació s'ha d'extreure l'únic cargol que es troba sota aquesta tapa retirada i finalment s'ha d'extreure el plat amb un extractor de plats.



**Figura 137.** Extractor de plats. Font: Amazon

Per fer l'últim pas cal rosca la peça negra de l'anterior figura dins del forat d'on s'ha extret el cargol anterior. Després en la cara contrària de la peça (on no està la rosca) s'ha de rosca la peça fina i allargada de color platejat (de l'anterior figura) i finalment amb la peça roja (de l'anterior figura) s'ha de girar el cap hexagonal de la peça platejada de tal manera que pressionarà el conjunt de plats cap a fora de la bicicleta fins que aquest ja s'hagin soltat.

Una vegada extrets els plats i el pedal, s'haurà de posar un nou plat i tornar a unir aquest conjunt amb la bicicleta.

### **3.3.3 PROCEDIMENT PER POSAR LES CADENES**

En aquest cas s'han de posar dues cadenes, la que uneix el plat de la bicicleta amb un plat de la primera barra accionadora (per fer-la rotar) i la que uneix l'altre plat de la primera barra accionadora amb el plat de la segona barra accionadora (també per fer-la rotar).

Per començar s'ha decidit posar la segona cadena, ja que la distància entre plats és menor i és més fàcil posar-la (ja que hi ha més espai per maniobrar); i després la primera cadena esmentada anteriorment.

Referent al procediment per posar la cadena, en aquest cas, les cadenes comprades eren tancades i no es podien utilitzar ni per al primer cas ni per al segon perquè eren massa curtes. La solució ha sigut obrir-les, afegir-les el tros de cadena necessari per allargar-les i tancar-les.

Per tal d'obrir-les s'ha hagut de treure ambdós pernys d'un esclavó mitjançant el desmunta cadenes.

Una vegada obertes dues cadenes, s'ha d'ajuntar la placa de l'eslavó d'un extrem de la primera cadena amb la placa de l'eslavó d'un extrem de la segona cadena mitjançant un esclavó d'enganxament. L'eslavó d'enganxament consisteix en una placa d'eslavó amb dos pernys els quals un ha d'entrar en el rodet d'un extrem de la primera cadena i l'altre en el rodet d'un extrem de la segona cadena. Un cop posat només fa falta posar sobre els pernys la placa superior de l'eslavó i a sobre d'aquesta per tal de fixar-la un clip. Si la cadena encara és massa curta, s'ha d'enganxar una altra cadena fins que la llargada d'aquesta sigui igual o superior a la que es necessita.

Donat que la cadena ja serà suficientment llarga, només cal extreure l'excés d'eslavons. Per fer això es trauran ambdós pernys d'un esclavó, i quedarà la cadena de la longitud desitjada i una altra cadena composta pels esclavons sobrants.

Donat que la cadena ja tindrà la llargada desitjada, només fa falta tancar-la amb un esclavó d'enganxament tal com s'ha explicat anteriorment. En aquest cas, aquest últim pas s'ha realitzat amb la cadena posada en el seu lloc corresponent, ja que un cop tancada, l'única manera de posar-la és tenint els plats fora de les barres (havent de posar-los després un altre cop en les barres i després haver de posar les potes que s'haurien d'extreure per poder haver posat els plats).

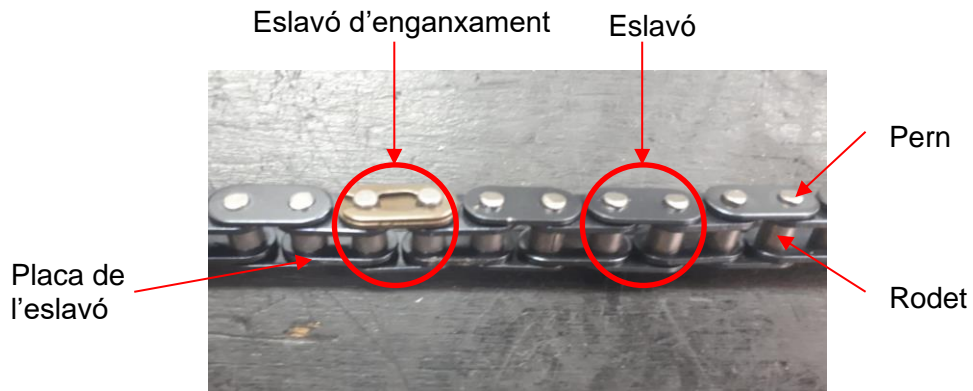


Figura 138. Parts d'una cadena tancada manualment. Font: Elaboració pròpia

Placa superior de l'eslavó

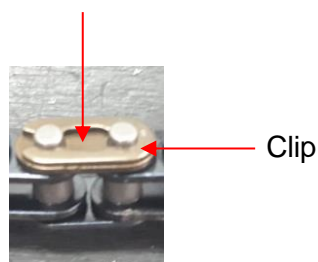


Figura 139. Parts específiques d'un eslavó d'enganchament. Font: Elaboració pròpia

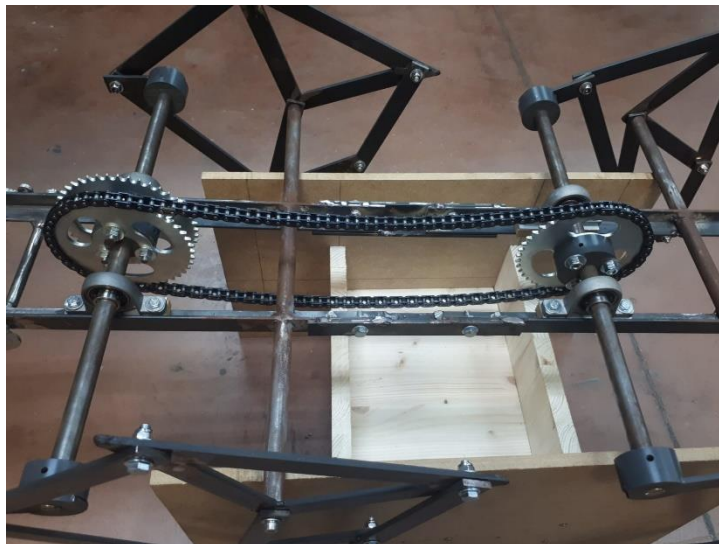


Figura 140. Primera cadena posada (unió dels plats de les barres accionadores). Font: Elaboració pròpia

### 3.4 MATERIALS

Per realitzar el mecanisme caminador, s'han utilitzat els diferents materials:

- Ferro laminat en calent en brut:  
Aquest material s'ha utilitzat per fabricar les barres.



- Alumini:  
Aquest material s'ha utilitzat per fabricar els casquets. S'ha decidit que aquest fos diferent del de les barres per tal que no fos tan dur i la unió no es fes mal bé, obtenint una vida útil més llarga.

Per realitzar l'acoblament del mecanisme caminador a un suport:

- Ferro laminat en calent en brut:  
Tant els dos perfils que fixen les barres accionadores com les barres utilitzades per allargar la distància entre els parells de potes, estan fets d'aquest material. També la manovella igual que les barres del mecanisme, és d'aquest material.
- Acer:  
Les barres accionadores i les barres del segon punt fix són d'aquest material.
- PVC:  
Tant les dues peces que serveixen per fixar els plats, com les quatre peces que serveixen per fixar les manovelles a les barres accionadores, estan fets d'aquest material.
- Fusta:  
Aquest ha sigut un dels materials que es tenia a l'abast per fer un dels suports del coixinet.
- Alumini:  
Aquest ha sigut l'altre material que es tenia a l'abast per fer un dels suports del coixinet (la platina).

Per realitzar la fixació de l'acoblament a la bicicleta:

- Acer estructural:  
La barra d'enganxament a la bicicleta és d'aquest material.

### **3.5 PROTOTIP**

Finalment en la següent figura es pot contemplar el prototip final:



**Figura 141.** Prototip final del projecte. Font: Elaboració pròpia

Com es pot observar, falta posar el plat de la bicicleta i una de les cadenes que va a sobre d'aquest. Això ha sigut degut a un problema logístic, ja que es va comprar el plat amb temps per internet i pocs dies abans d'arribar es va comunicar en un missatge que s'havia perdut la comanda. Es va demanar un altre plat, però degut als terminis d'entrega com només et comuniquen una aproximació de la data no va arribar a temps per muntar-lo.

## 4. PRESSUPOST

A continuació, es farà el pressupost final del prototip. Es tindrà en compte tres conceptes diferents: el temps invertit en el disseny, en el modelatge 3D de les peces i en l'acoblament dels conjunts; el preu del material utilitzat i finalment el temps invertit en la fabricació de les peces i en el muntatge d'aquestes. El desglossament del cost de cada concepte es pot consultar en l'annex IX.

Pel que fa al primer concepte, el disseny del mecanisme ha costat 360 €, el modelatge 3D 2100 € i l'acoblament dels conjunts 490 €.

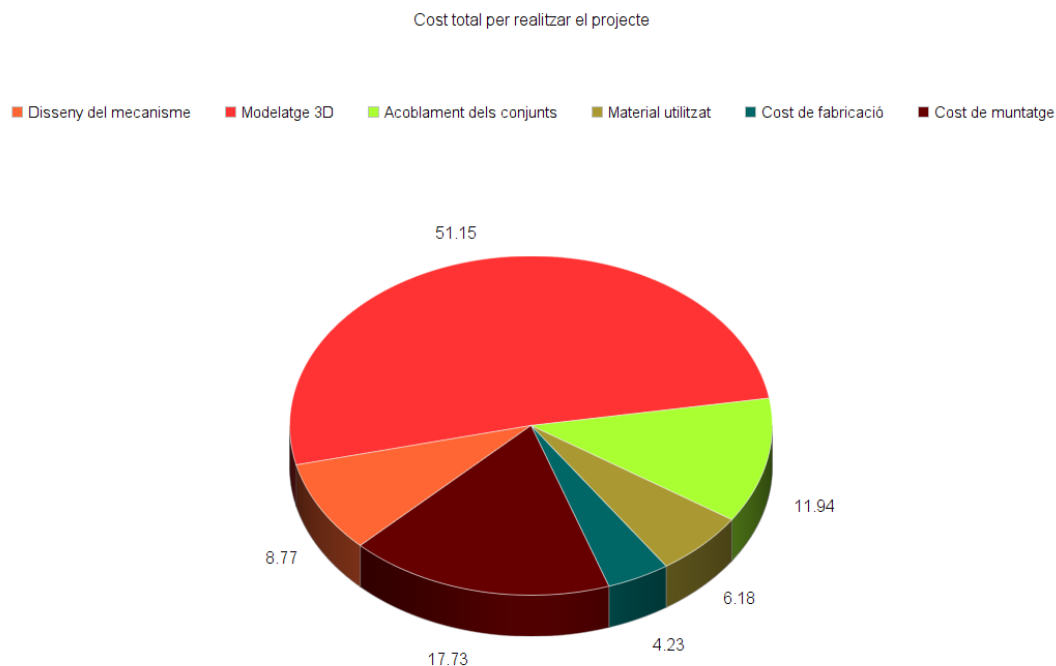
Esmentar que les dues primeres activitats són més cares perquè són realitzades per un enginyer mentre que la tercera és realitzada per un tècnic.

En referència al segon concepte, el material utilitzat ha costat 253.82 €.

I en el tercer concepte, hi ha hagut una despesa de 173.74 € en la fabricació i de 728 € en el muntatge.

Finalment tenint en compte tots els conceptes necessaris per dur a terme aquest projecte s'obté un pressupost final de 4105.56 €.

Per poder visualitzar el desglossament dels costos esmentats, s'ha realitzat la següent gràfica:



Gràfica 1. Desglossament dels costos. Font: Elaboració pròpia

## **5. ASPECTES MEDIAMBIENTALS**

En relació amb els aspectes mediambientals aquest projecte no lluita contra les amenaces al medi ambient, però a banda que el producte construït no afecta negativament a aquest, cal esmentar que els residus de fabricació produïts (encenalls metàl·lics) es poden reciclar fent-los i creant nou material, i que a més, en utilitzar materials relativament tous a l'hora d'utilitzar les diferents màquines no s'ha hagut de recórrer a la taladrina (oli derivat del petroli molt contaminant utilitzat per refredar o lubricar les eines de tall).

## RESULTATS

Un cop finalitzat el projecte es pot afirmar que s'han assolit tots els objectius fixats a l'inici.

Gràcies a la teoria explicada en Disseny i Simulació Assistits per Ordinador, s'han pogut obtenir les equacions de restriccions necessàries per fer la simulació del recorregut dels mecanismes escollits. A més, degut a la programació en Octave apresada en Fonaments Matemàtics, s'han pogut automatitzar les iteracions de les posicions d'aquests i s'ha pogut mostrar aquesta informació en una gràfica.

En referència amb la fabricació del prototip, he pogut aplicar els meus coneixements d'Expressió Gràfica II a l'hora de realitzar els plànols i he pogut ampliar els meus coneixements de Processos de Fabricació. En aquest projecte he après el que és un full de ruta, com calcular totes les condicions de les diferents operacions a realitzar, com utilitzar el programa FreeCad i finalment he après a utilitzar totes les màquines i eines del taller de mecànica, el qual per a mi és el més important, ja que això no s'ensenya a cap assignatura, no com les coses esmentades anteriorment que si es poden aprendre en Operació i Programació de centres de mecanitzat.

Per acabar, pel que fa als objectius del projecte només esmentar que la integració de l'acoblament a la bicicleta encara que tècnicament està realitzada perquè l'acoblament del mecanisme es pot unir amb la bicicleta, per ser més efectiu s'hauria d'haver millorat per tal que no hi hagués lloc entre aquests dos i es comportessin com un sol cos, a banda que ha faltat posar el plat i una de les cadenes per tal que el vehicle híbrid fos funcional. Encara que hi havia temps per fer-ho i la idea era acabar-lo no es va poder degut a la falta de material que no va arribar a temps.

En tot cas degut als pocs passos que calen per deixar la bicicleta enllestida, un cop rebut el material necessari es pot acabar i comprovar la seva efectivitat per tal de poder mostrar en futures portes obertes de la universitat.

## CONCLUSIONS

- S'ha simulat amb èxit dos mecanismes caminadors diferents i s'ha comprovat que el mecanisme Theo Jansen té un recorregut molt favorable, simètric i estable.
- S'ha simulat el punt de transició, contacte amb el sòl del moviment successiu definit per dues potes. I s'ha pogut estimar, quant baixa la bicicleta durant una gambada.
- S'ha dissenyat el mecanisme caminador de Theo Jansen adaptat a les dimensions necessàries per ser acoblat a una bicicleta en substitució de la roda posterior.
- S'han fabricat quatre potes articulades basades en el mecanisme mencionat anteriorment.
- S'ha dissenyat i fabricat un acoblament per unir les potes i fixar-lo a l'estructura posterior d'una bicicleta.
- S'han arreglat els errors de fabricació que han anat sorgint en el projecte.
- S'han muntat les diferents peces i conjunts correctament.

## **AGRAÏMENTS**

Primerament agrair al meu tutor Hernán A. González Rojas per oferir-me aquest projecte, he gaudit molt en fer un treball pràctic (contrari al treball realitzat al llarg del grau que ha sigut majoritàriament teòric); per explicar-me i ensenyar-me com realitzar el projecte, he après molt sobre com programar i utilitzar les diferents màquines d'un taller mecànic, factor que suma molt en el meu aprenentatge, ja que seré una de les poques persones que surti de la universitat amb aquesta experiència; i finalment agrair el fet d'ensenyar-me a com pensar a l'hora de fabricar, com organitzar-me, prevenir els inconvenients i ser creativa amb les solucions que es poden aplicar.

A continuació agrair a tota la meva família per donar-me suport en els meus estudis, per comprendre'm en els moments més intensos de la carrera i sobretot per animar-me i treure'm un somriure quan pensava que no podia.

Finalment encara que no menys important agrair al servei tècnic de laboratori pel seu interès en el meu projecte, especialment a Óscar De Sousa Pérez amb qui he compartit bastants hores al taller, a Herminio Santiago López de servei de manteniment per ensenyar-me i ajudar-me a realitzar la soldadura i a Maria Hortènsia Álvarez Suau cap de biblioteca per ajudar-me en l'estructura del treball i resoldre'm els dubtes referents a aquest tema.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Wikipedia. Anexo: Cronología de las tecnologías del transporte [en línea]. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Cronolog%C3%ADa\\_de\\_las\\_tecnolog%C3%ADas\\_del\\_transporte](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Cronolog%C3%ADa_de_las_tecnolog%C3%ADas_del_transporte)>.
- [2] Wikipedia. Transporte en el Antiguo Egipto [en línea]. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte\\_en\\_el\\_Antiguo\\_Egipto#Navegaci%C3%B3n\\_fluvial](https://es.wikipedia.org/wiki/Transporte_en_el_Antiguo_Egipto#Navegaci%C3%B3n_fluvial)>.
- [3] Héctor Ares. Coches de gas frente a coches eléctricos: estas son las armas que tiene cada tecnología para hacerse con el futuro de la automoción [en línea]. Xataka, 2 febrer 2020. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <<https://www.xataka.com/automovil/coches-gas-frente-a-coches-electricos-estas-armas-que-tiene-cada-tecnologia-para-hacerse-futuro-automocion>>.
- [4] Wikipedia. Locomotora dièsel-hidráulica [en línea]. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora\\_di%C3%A9sel-hidr%C3%A1ulica](https://es.wikipedia.org/wiki/Locomotora_di%C3%A9sel-hidr%C3%A1ulica)>.
- [5] Wikipedia. Trolebús [en línea]. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Troleb%C3%BAs>>.
- [6] Wikipedia. Alimentación por el suelo [en línea]. [Consulta: 24 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Alimentaci%C3%B3n\\_por\\_el\\_suelo](https://es.wikipedia.org/wiki/Alimentaci%C3%B3n_por_el_suelo)>.
- [7] Es hora de cambiar la historia. Historia de la bicicleta y su evolución [en línea]. [Consulta: 22 febrer 2021]. Disponible a: <<https://eshoradecambiarlahistoria.es/historia-de-la-bicicleta-y-su-evolucion/>>.
- [8] Wikipedia. Leg mechanism [en línea]. [Consulta: 27 febrer 2021]. Disponible a: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Leg\\_mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Leg_mechanism)>.
- [9] Marcella Llabaca Zamorano. Algoritmos del viento. Theo Jansen y la necesidad de imaginar [en línea]. Artishock, 14 maig 2018. [Consulta: 27 febrer 2021]. Disponible a: <<https://artishockrevista.com/2018/05/14/algoritmos-del-viento-theo-jansen-y-la-necesidad-de-imaginar/>>.
- [10] Wikipedia. Jansen's linkage [en línea]. [Consulta: 27 febrer 2021]. Disponible a: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Jansen%27s\\_linkage](https://en.wikipedia.org/wiki/Jansen%27s_linkage)>.
- [11] Wikipedia. Mecanismo de Klann [en línea]. [Consulta: 27 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo\\_de\\_Klann](https://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_Klann)>.
- [12] Wikipedia. Teoría de Burmester [en línea]. [Consulta: 27 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_de\\_Burmester](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_Burmester)>.
- [13] Amandaghassaei. Mechanical Walking Machine (2011) [en línea]. [Consulta: 3 març 2021]. Disponible a: <[https://amandaghassaei.com/projects/mechanical\\_walking\\_machine/](https://amandaghassaei.com/projects/mechanical_walking_machine/)>.

DISSENY D'UN MECANISME CAMINADOR  
PAULA RAMOS HERRERO

[14] Wiki. Mecanismo Lambda de Chebyshev [en línia]. [Consulta: 28 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.qaz.wiki/wiki/Chebyshev%27s\\_Lambda\\_Mechanism](https://es.qaz.wiki/wiki/Chebyshev%27s_Lambda_Mechanism)>.

[15] Wiki. Enlace de Chebyshev [en línia]. [Consulta: 28 febrer 2021]. Disponible a: <[https://es.qaz.wiki/wiki/Chebyshev\\_linkage](https://es.qaz.wiki/wiki/Chebyshev_linkage)>.

[16] Departament of mechanism and robot theory, "Politehnica" University of Bucharest. Kinematic and kinetostatic simulation of a leg mechanism. A: Tenth world congress on the theory of Machines and mechanis. IFToMM 1999, Oulu, June 20-24, 1999. "Proceedings" [en línia]. Oulu: University of Oulu, 1999, Vol.2. [Consulta: 28 febrer 2021] Disponible a: <<http://faculty.tamucc.edu/psimionescu/PDFs/Simionescu-IFToMM-1999.pdf>>.

[17] Texas A&M University Corpus Christi. Mekin2D: suite for planar mechanism kinematics. A: International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. IDETC 2016, North Carolina, August 21-24, 2016. "Proceedings" [en línia]. [Consulta: 28 febrer 2021] Disponible a: <<http://faculty.tamucc.edu/psimionescu/PDFs/ASME%20IDETC%202016%20-%2059086.pdf>>.

[18] Alby Musaelian. Team TrotBot [en línia]. [Consulta: 3 març 2021]. Disponible a: <<https://www.teamtrotbot.com/>>.

[19] González, H. Modelización de sistemas mecánicos. Vilanova i la Geltrú: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'enginyeria mecànica, 2020.

[20] Wikipedia. File: Strandbeest Leg Proportions [en línia]. [Consulta: 11 març 2021]. Disponible a: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strandbeest\\_Leg\\_Proportions.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Strandbeest_Leg_Proportions.svg)>.

[21] ECURED. Soldadura por arco eléctrico [en línia]. [Consulta: 30 abril 2021]. Disponible a: <[https://www.ecured.cu/Soldadura\\_por\\_arco\\_el%C3%A9ctrico](https://www.ecured.cu/Soldadura_por_arco_el%C3%A9ctrico)>.

## **ANNEX**

ANNEX I: PROGRAMACIÓ DE LES SIMULACIONS EN OCTAVE

ANNEX II: VÍDEO DE LA SIMULACIÓ EN OCTAVE DEL MECANISME DE KLANN

ANNEX III: VÍDEO DE LA SIMULACIÓ EN OCTAVE DEL MECANISME DE THEO  
JANSEN

ANNEX IV: MODEL 3D EN NX DEL MÒDUL ACOBLAMENT

ANNEX V: PLÀNOLS DEL CONJUNT ACOBLAMENT I MECANISME CAMINADOR

ANNEX VI: FULL DE RUTA DEL MÒDUL MECANISME CAMINADOR I ACOBLAMENT

ANNEX VII: CÀLCUL DE CONDICIONS

ANNEX VIII: CODI UTILITZAT EN LA FRESADORA

ANNEX IX: INFORMACIÓ COMPLEMENTARIA AL PRESSUPOST