

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Prototipo de sistema modular de piso, aplicando principios de la Arquitectura Cinética para espacios públicos de Cuenca, Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención de título de Arquitecto

Autores:

Karen Andrea Delgado Andrade

Danny Gerardo Escandón Patiño

Director:

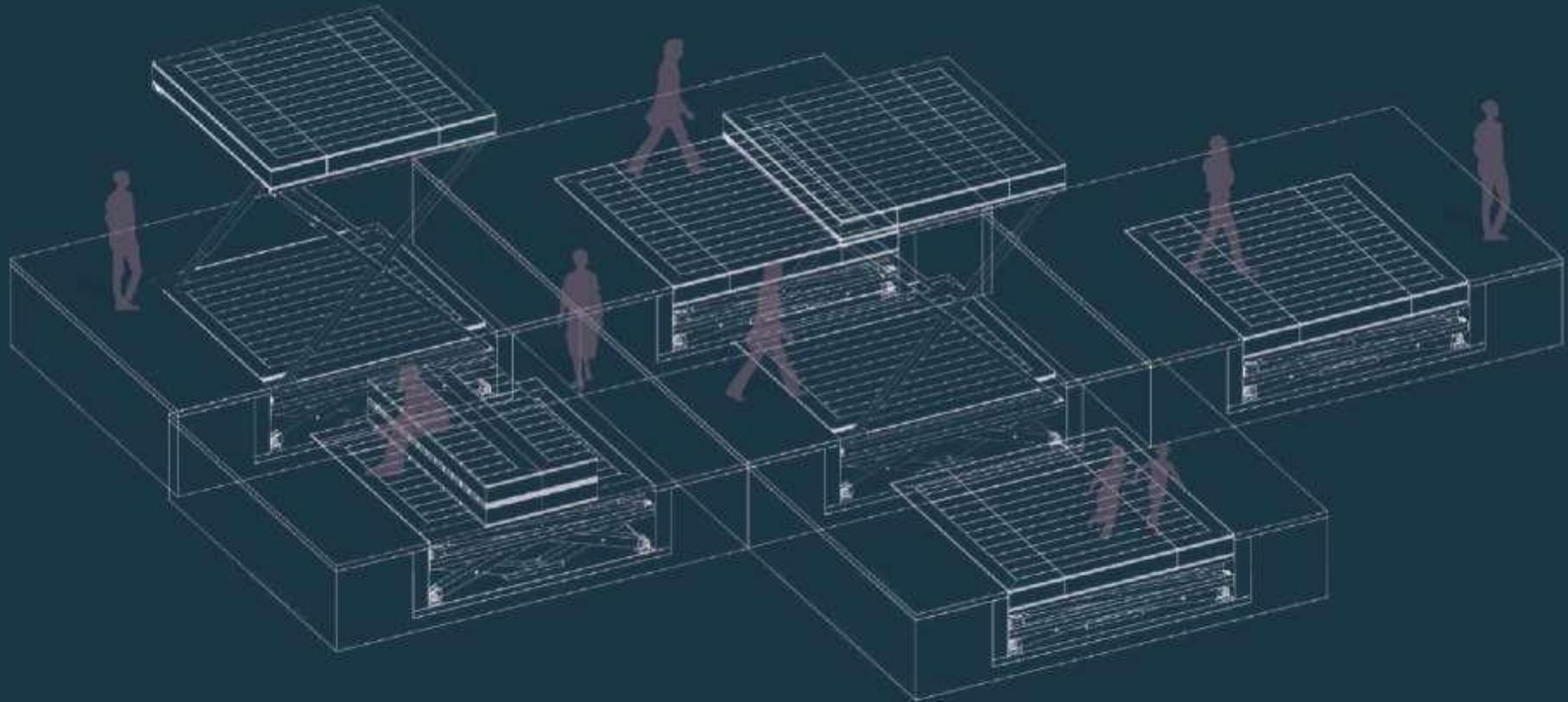
Juan Medardo Sola Quintuna

ORCID:  0000-0003-1841-4124

Cuenca, Ecuador

2023-09-20

Prototipo de sistema modular de piso, aplicando principios de la Arquitectura Cinética para espacios públicos de Cuenca, Ecuador



Trabajo de titulación previo a la obtención de título de Arquitecto

Director: Juan Medardo Sola Quintuna. **Autores:** Karen Andrea Delgado Andrade, Danny Gerardo Escandón Patiño.

Cuenca, Ecuador. 2023-09-20

UCUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Arquitectura

Resumen

El presente trabajo de tesis se centra en el espacio público como un elemento clave en la sociedad, que desempeña un papel fundamental como punto de encuentro e interacción. Se destaca su importancia para fomentar la cohesión social, la participación ciudadana y el sentido de pertenencia, subrayando la necesidad de que sea accesible para todos los usuarios.

La investigación revela que dentro del contexto urbano de la ciudad de Cuenca, se puede identificar la existencia de varias plazas que, en aras de promover la “libertad de expresión” y el uso abierto del espacio público, permanecen mayormente desocupadas y subutilizadas. Estos espacios, concebidos originalmente como lugares de encuentro y celebración, se enfrentan a la realidad de estar abandonados durante gran parte del año, lo cual suscita una percepción de inseguridad en el espacio

Para abordar esta problemática, se propone un prototipo basado en la Arquitectura cinética que ofrece adaptabilidad y transformación. Este prototipo puede ser utilizado como cubierta, asiento y circulación peatonal, ajustándose a las necesidades y condiciones específicas del lugar. La solución constructiva se diseñó considerando su viabilidad

en el contexto local, utilizando materiales como el acero y el sistema Steel Frame, que ofrecen resistencia, ligereza y facilidad de manipulación.

La validación del diseño se realizó a través de pre-visualizaciones y maquetas a escala, que permitieron visualizar la integración estética del prototipo en las plazas existentes. Este enfoque innovador inspira futuras ideas y soluciones para mejorar la calidad del espacio público, promoviendo la cohesión social, la participación ciudadana y el sentido de pertenencia.

Palabras clave: arquitectura cinética, espacio público, plaza, prototipo

Abstract

This thesis focuses on the pivotal role of public spaces within society as vital hubs for interaction and community engagement. Emphasizing their significance in promoting social cohesion, citizen participation, and a sense of belonging, it highlights the imperative need for these spaces to be accessible and equitable for all individuals.

The research reveals a concerning reality within the urban context of Cuenca, where numerous plazas, intended to be meeting places and open spaces for expression, are unfortunately abandoned and underutilized. This situation not only fosters a sense of insecurity but also hampers the social and communal dynamism these spaces were originally designed to foster.

To address this issue, a prototype based on Kinetic Architecture has been proposed, offering adaptability and transformation. This versatile prototype can serve as a roof, seating, and pedestrian pathway, easily adjusted to each location's needs and conditions.

The proposed construction solution was meticulously designed considering local feasibility, ensuring its practicality for future implementation. The choice of materials, such as steel for the folding

and unfolding mechanism, along with the implementation of the Steel Frame system for the roof and floor, was made based on the necessary strength, rigidity, lightweight properties, and ease of manipulation required to enable the desired movements.

Previsualization and scale models have proven to be essential in validating the design and visualizing its seamless integration within existing plazas. Furthermore, this innovative approach inspires future ideas and solutions to enhance the quality and comfort of public spaces, ultimately benefiting the community at large.

Keywords: Kinetic architecture, public space, open square, prototype

Índice de contenido

1. Generalidades	14				
1.1. Introducción	14				
1.2. Hipótesis	16				
1.3. Objetivos	17				
1.3.1. Objetivo General	17				
1.3.2. Objetivos Específicos	17				
2. Marco Teórico	20				
2.1. Espacio Público	20				
2.1.1. Importancia del espacio público	21				
2.1.2. La evolución del espacio público	22				
2.1.3. La plaza	23				
2.1.4. Situación actual de las plazas del centro histórico de Cuenca	24				
2.2 Arquitectura Cinética	26				
2.2.1 Antecedentes	27				
2.2.2 Aplicaciones históricas	28				
		2.2.2.1. Velarium del coliseo romano	28		
		2.2.2.2. Puentes levadizos 1000-1200 DC	28		
		2.2.2.3. Engranajes de Leonardo Da Vinci 1500 DC.	29		
		2.2.2.4. La Casa Dymaxion 1940	29		
		2.2.3 Ventajas de la aplicación de arquitectura cinética	29		
		2.2.4 Mecanismos empleados en la arquitectura cinética	30		
		2.2.4.1 Mecánicos	30		
		2.2.4.2 Neumáticos	30		
		2.2.4.3 Fuerzas naturales	31		
		2.2.4.4 Electrónica	31		
		2.3 Sistema de movimiento mecánico	32		
		2.3.1 Mecanismos de transmisión lineal	32		
		2.3.1.1 Palancas	32		
		2.3.1.2 Poleas	32		
		2.3.2 Sistema de transmisión circular	33		
		2.3.2.1 Poleas de transmisión	33		
		2.3.2.2 Ruedas de fricción	33		
		2.3.2.3 Engranajes	33		
		2.3.3 Transformación del movimiento circular en alternativo	34		
		2.3.3.1 Biela - manivela	34		
		2.3.3.2 Leva - seguidor	34		
		2.3.4 Transformación del movimiento circular en lineal	34		
		2.3.4.1 Tornillo - tuerca	34		
		2.3.4.2 Piñón - cremallera	35		
		2.4. Sistema de despliegue tipo tijera	36		
		2.4.1. Ejemplos arquitectónicos con la aplicación del sistema tipo tijera	38		
		2.4.1.1. Centro Pompidou	38		
		2.4.1.2. Estadio Olímpico de Montreal	39		
		2.4.1.3. Pabellón Xuê	40		

3. Proceso de diseño y materialización del prototipo	44	3.3.1. Cubierta	59	vialidad	104
3.1. Proceso de diseño	44	3.3.2. Mecanismo entrepiso - cubierta	61	5.1.3.1. Circulación peatonal	104
3.1.1 Contextualización y consideraciones iniciales para el diseño	44	3.3.3. Entrepiso	67	5.1.3.2. Sistemas de transporte	105
3.1.2 Aproximación a la forma	45	3.3.4. Mecanismo contrapiso - entrepiso	68	5.1.4. Paisaje	106
3.1.3 Posibilidades de movimiento	47	3.3.4.1. Mecanismo contrapiso - entrepiso:		5.1.4.1. Visuales	106
3.1.4. Método de diseño	47	Plegado	69	5.1.4.2. Vegetación	107
3.1.5. Análisis de cargas	48	3.3.4.2. Mecanismo contrapiso - entrepiso:		5.1.5. Preexistencias	108
3.1.5.1. Carga muerta	48	desplegado	71	5.1.5.1. Locales comerciales	108
3.1.5.2. Carga viva	49	3.3.5. Comprobación SAP 2000	75	5.1.5.2. Mobiliario urbano	109
3.1.5.3. Carga de sismo	49	4. Digitalización del prototipo final	79	5.2 Previsualización del prototipo en la Plaza del Otorongo	110
3.1.5.4. Carga de viento	52	4.1. Planos constructivos	84	6. Desarrollo del prototipo a escala	119
3.1.5.5. Carga de granizo	53	4.2. Detalles constructivos	86	7. Conclusiones y recomendaciones	131
3.2. Diseño y materialización del prototipo	53	5. Previsualización del prototipo en plazas de Cuenca, Ecuador	98	7.1. Conclusiones	132
3.2.1. El acero estructural	53	5.1. Plaza del Otorongo	98	7.2. Recomendaciones	134
3.2.2. El Steel Frame	54	5.1.1. Ubicación	100	7.3. Referencias	135
3.2.3. Materialización del Prototipo	56	5.1.2. Medio físico	102		
3.3. Predimensionamiento	58	5.1.2.1. Geometría	102		
		5.1.2.2. Topografía	103		
		5.1.3. Accesibilidad, movilidad y			

Índice de figuras

Figura 1. Distintos patrones, tamaños y formas de espacios públicos	20	Figura 24. Piñon - cremallera	35	ción para el diseño del prototipo	47
Figura 2. Feria artesanal de Chaguarchimbana	23	Figura 25. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.	36	Figura 44. Mapa para diseño sísmico	50
Figura 3. Representación en plano y perspectiva del ágora	24	Figura 26. Clasificación de tijeras de acuerdo a la posición de sus articulaciones. Agrupación de tijeras anguladas y rectas.	36	Figura 45. Cubierta seca con pendiente mínima	57
Figura 4. Centro histórico de Cuenca	25	Figura 27. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.	36	Figura 46. Cubierta plana húmeda	57
Figura 5. Plaza de las Monjas visto desde la Av. Presidente Borrero	25	Figura 28. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.	37	Figura 47. Esquemas de composición del prototipo	58
Figura 6. Plaza Santa Ana visto desde la Av. Mariscal Lamar	26	Figura 29. Estructuras desplegadas sistema tipo tijera	37	Figura 48. Composición de un metro cuadrado de entepiso	59
Figura 7. Beltins Arena cubierta retráctil	27	Figura 30. Centre Pompidou.	38	Figura 49. Posibilidades de composición mecanismo tijera	62
Figura 8. Museo de Arte de Milwaukee	27	Figura 31. Planta arquitectónica de Centre Pompidou	38	Figura 50. Geometría del mecanismo en posición desplegado	62
Figura 9. Velairum del Coliseo o anfiteatro Flavio	28	Figura 32. Vista interna de Centre Pompidou	38	Figura 51. Área de aporte y carga distribuida	63
Figura 10. Puente levadizo del castillo de Minden	28	Figura 33. Cubierta retráctil textil	39	Figura 52. Reacciones en nodos BEF	64
Figura 11. Inventos de Leonardo Da Vinci	29	Figura 34. Vista aérea del Estadio Olímpico de Montreal	39	Figura 53. Fuerzas axiales, cortante y momentos en nodos BEF	64
Figura 12. La Casa Dymaxion / Buckminster Fuller	29	Figura 35. Vista interna del Estadio Olímpico de Montreal	39	Figura 54. Tubo escogido y comprobado 50x50x3mm	66
Figura 13. Cabaña Chicken Point	30	Figura 36. Pabellón Xue	40	Figura 55. Diagrama de fuerza actuante sobre el perno	67
Figura 14. Edificio Media-TIC	30	Figura 37. Estructura del Pabellón Xue	40	Figura 56. Carga y área de aporte de un soporte	69
Figura 15. Shiver House	31	Figura 38. Pabellón Xue	40	Figura 57. Geometría del mecanismo plegado	69
Figura 16. Las Torres Al Bahr	31	Figura 39. Análisis de geometrías	44	Figura 58. Reacciones en los nodos BGI	70
Figura 17. Tipos de poleas	32	Figura 40. Agrupación de módulos cuadrados	45	Figura 59. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI	70
Figura 18. Poleas de transmisión	32	Figura 41. Módulo de diseño. Dimesión final.	45	Figura 60. Gráfico de altura requerida	71
Figura 19. Ruedas de fricción	32	Figura 42. Posibilidades de movimiento para el diseño del prototipo	46	Figura 61. Carga y área de aporte de un soporte	71
Figura 20. Engranaje de corona y piñon	33	Figura 43. Posibilidades de movimiento con fragmenta-		Figura 62. Geometría del mecanismo desplegado	72
Figura 21. Biela - manivela	33			Figura 63. Reacciones en los nodos BGI	72
Figura 22. Mecanismo de leva de disco con seguidor de rodillo	33			Figura 64. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI	72
Figura 23. Tornillo - tuerca	34			Figura 65. Modelado del prototipo en SAP2000	75
				Figura 66. Gráfico de punto P	77

Figura 67. Cargas aplicadas en el modelado	78	Figura 94. Axonometría D05 Detalle de entrepiso	91	Figura 116. Render primera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	114
Figura 68. Comportamiento de la estructura en Dx	78	Figura 95. Axonometría explotada de estructura	92	Figura 117. Render de segunda opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	115
Figura 69. Gráfico de cortante Dx	79	Figura 96. Detalle de contrapiso	93	Figura 118. Render de tercera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	116
Figura 70. Gráfico de momento Dx	79	Figura 97. Axonometría explotada de los componentes del prototipo	94	Figura 119. Escala de maqueta del prototipo en relación a la escala humana	120
Figura 71. Comportamiento de la estructura en Dy	79	Figura 98. Mapa de Cuenca	100	Figura 120. Material utilizado para mecanismo de tijeras	121
Figura 72. Gráfico de cortante Dy	80	Figura 99. Mapa del barrio El Vado	101	Figura 121. Solución de articulaciones	122
Figura 73. Gráfico de momentos Dy	80	Figura 100. Geometría de la Plaza del Otorongo	102	Figura 122. Colocación de pintura negra en elementos de acero	122
Figura 74. Comportamiento de la estructura en Dz	80	Figura 101. Curvas de nivel de la Plaza del Otorongo	103	Figura 123. Armado de cubierta y entrepiso	123
Figura 75. Gráfico de cortante Dz	81	Figura 102. Mapa de flujos peatonales	104	Figura 124. Ranurado para simulación de tablonos de PVC para cubierta	123
Figura 76. Gráfico de momentos Dz	81	Figura 103. Mapa de líneas de buses cercanos a la plaza	105	Figura 125. Unión entre piezas de acero	124
Figura 77. Planta Arquitectónica posición plegada	85	Figura 104. Mapa de ubicación de fotografías	106	Figura 126. Unión entre piezas de acero y cartón de cubierta	124
Figura 78. Axonometría posición plegada	85	Figura 105. Vista superior de la escalianata (F1)	106	Figura 127. Unión de tijeras a elementos fijos	125
Figura 79. Planta Arquitectónica posición banca	85	Figura 107. Vista inferior de la escalinat (F2)	106	Figura 128. Elaboración de base de madera	126
Figura 80. Axonometría posición banca	85	Figura 106. Vista hacia las zonas de comercio (F3)	106	Figura 129. Maqueta finalizada. Posición plegada	127
Figura 81. Planta Arquitectónica posición desplegada	85	Figura 108. Vista hacia el puente peatonal (F4)	106	Figura 130. Maqueta finalizada. Posición banca	128
Figura 82. Axonometría posición desplegada	85	Figura 109. Mapa de árboles en la zona	107	Figura 131. Maqueta finalizada. Posición desplegada	129
Figura 83. SC01 posición plegada	86	Figura 110. Mapa de ubicación de locales comerciales	108		
Figura 86. SC04 posición plegada	86	Figura 111. Mapa de ubicación de mobiliario urbano	109		
Figura 84. SC02 posición banca	86	Figura 112. Ejemplo de aplicación del prototipo en la Plaza del Otorongo	110		
Figura 87. SC05 posición banca	86	Figura 113. Primera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	111		
Figura 85. SC03 posición desplegada	86	Figura 114. Segunda opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	112		
Figura 88. SC06 posición desplegada	86	Figura 115. Tercera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo	113		
Figura 89. D01 Detalle de bisagra	87				
Figura 90. D02 Detalle sistema de trabado telescópico	88				
Figura 91. D03 Detalle mecanismo de tijera 2	88				
Figura 92. D04 Detalle de cubierta posición desplegada	89				
Figura 93. D05 Detalle de entrepiso	90				

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de cargas de la NEC	48	Tabla 24. Comparación perfil C	56
Tabla 2. Combinaciones de carga de la NEC	48	Tabla 25. Comparación perfil G	56
Tabla 3. Sobrecargas mínimas para los usos específicos	49	Tabla 26. Materiales disponibles en el mercado	57
Tabla 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada	50	Tabla 27. Requisitos mecánicos para materias primas con recubrimiento de Zn-Al-Mg	57
Tabla 5. Clasificación de los perfiles de suelo	50	Tabla 28. Requisitos mecánicos para perfiles livianos	57
Tabla 6. Ecuación del Espectro de diseño	50	Tabla 29. Datos generales cubierta	59
Tabla 7. Ecuación Periodo de vibración	50	Tabla 30. Cálculo de carga muerta de la cubierta	59
Tabla 8. Ct Coeficiente que depende del tipo de edificio	50	Tabla 31. Cálculo de carga sobre la viga	60
Tabla 9. Ecuación del Espectro de diseño	51	Tabla 32. Cálculo de momento nominal y resistente	60
Tabla 10. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto	51	Tabla 33. Perfiles disponibles en Tugalt	60
Tabla 11. Desplazamientos para diseño en roca	51	Tabla 34. Resumen predimensionamiento cubierta	61
Tabla 12. Coeficiente no lineal de los suelos Fs	51	Tabla 35. Geometría del mecanismo en posición desplegado	63
Tabla 13. Ecuación de cortante basal de diseño	51	Tabla 36. Carga ejercida sobre un soporte del mecanismo	63
Tabla 14. Coeficiente no lineal de los suelos Fs	51	Tabla 37. Reacciones en nodos BEF	64
Tabla 15. Configuración estructural recomendada Op52	52	Tabla 38. Fuerzas axiales, cortante y momentos en nodos BEF	65
Tabla 16. Configuración estructural recomendada Oe52	52	Tabla 39. Fuerzas máximas del mecanismo desplegado	65
Tabla 17. Ecuación velocidad de viento corregido	52	Tabla 40. Diseño del tubo	65
Tabla 18. Ecuación de la presión	52	Tabla 41. Catálogo de tubos cuadrados disponibles en DIPAC	65
Tabla 19. Coeficiente de corrección	52	Tabla 42. Comprobación de resistencia con el tubo escogido	66
Tabla 20. Determinación del factor de forma Cf	52	Tabla 43. Diseño de pernos	67
Tabla 21. Determinación simplificada del factor de forma Ce	53	Tabla 44. Cálculo de la carga muerta	68
Tabla 22. Ecuación velocidad de viento corregido	53	Tabla 45. Resumen cálculos entrepiso	68
Tabla 23. Comparación perfil omega	55		

Tabla 46. Cálculo de carga sobre un soporte	69
Tabla 47. Geometría del mecanismo plegado	70
Tabla 48. Reacciones en los nodos BGI	70
Tabla 49. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI	70
Tabla 50. Fuerzas y momentos máximos	70
Tabla 51. Cálculo de altura requerida	71
Tabla 52. Carga y área de aporte de un soporte	72
Tabla 53. Geometría del mecanismo desplegado	72
Tabla 54. Reacciones en los nodos BGI	72
Tabla 55. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI	73
Tabla 56. Fuerzas y momentos máximos	73
Tabla 57. Diseño del tubo	73
Tabla 58. Catálogo de tubos cuadrados disponibles en DIPAC	73
Tabla 59. Comprobación tubos de acero de 100x100x3mm	74
Tabla 60. Diseño de pernos	75
Tabla 61. Cálculo de carga de sismo	76
Tabla 62. Cálculo de carga de viento	76
Tabla 63. Cálculo de carga de granizo	77
Tabla 64. Combinaciones de carga	78
Tabla 65. Desplazamientos en Dx	78
Tabla 66. Desplazamientos en Dy	79
Tabla 67. Desplazamientos en Dz	80
Tabla 68. Especificaciones del prototipo	94
Tabla 69. Componentes del prototipo y sus respectivos movimientos	95

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a todas las personas que participaron en la investigación y que generosamente compartieron su tiempo y conocimientos. Sin su colaboración, este trabajo no habría sido posible. Agradecemos a: Ing. Juan Solá, Arq. Carlos Contreras, Sr. Vicente Barros y Sr Carlos Velez.

Finalmente, a nuestras familias y amigos. Sus palabras de aliento, comprensión y paciencia fueron un respaldo invaluable en los momentos de desafío y dudas.

Con un profundo sentido de agradecimiento,

Karen y Danny.

Dedicatoria

A mi mamá, Mary, por ser mi ejemplo de vida y por su inquebrantable apoyo a lo largo de este camino. Su presencia en mi vida ha sido invaluable y me ha dado fuerzas para superar cualquier obstáculo.

A mi papá, Milton, a pesar de la distancia, siempre he sentido su apoyo constante en cada paso que he dado. Sus sacrificios y amor incondicional han sido mi mayor motivación.

A mis hermanos, Cristian y Paola, quienes han estado a mi lado en todo momento. Su apoyo y aliento ha sido fundamental en mi crecimiento académico y personal.

A mi querida Paula, cuyo amor incondicional y paciencia ha sido un faro de luz en los momentos de estrés y desafío. Tu presencia en mi vida ha hecho que cada desafío sea más fácil de enfrentar.

A todos ustedes, mi familia, les dedico este logro. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable y mi mayor motivación para continuar aprendiendo y creciendo. Sin su amor y apoyo, este logro no sería posible.

Danny G. Escandón**Dedicatoria**

El amor, esa fuerza inmensa que impulsa y transforma, ha sido el motor detrás de mis logros. Dedico este trabajo a todas las personas que me han brindado su amor en diversas formas y presentaciones.

A mis amados padres, quienes confiaron en mí y me alentaron a dar siempre lo mejor en todas las áreas de mi vida. Son mi eterna inspiración. A mis hermanos, Paola y Diego, quienes estuvieron a mi lado en momentos difíciles, siempre dispuestos a apoyarme y hacerme creer en mi propio potencial.

A mi compañero de vida, Paul, quien ha recorrido junto a mí este largo camino, brindándome su apoyo incondicional y demostrando una entrega absoluta. Muchos de los logros que hoy celebro son gracias a su apoyo constante.

Finalmente, a mi fiel compañero canino, mi amado Lucas, quien me ha acompañado en noches de estudio y en momentos de desánimo. Aunque no esté presente en este momento, su amor sigue vibrando en mi corazón.

Con estas palabras, expreso mi profundo amor y gratitud, sintiéndome verdaderamente afortunada.

Karen Delgado A.

1

Generalidades

1. Generalidades

1.1. Introducción

La vivienda es tan antigua como el hombre. Las primeras tenían como fin apartar a los usuarios del mundo exterior y otorgar un ambiente controlado por el ser humano, con el progreso del núcleo urbano surgió la idea de desplegar ese control a través de la instauración y expansión de un microclima (Rossi, 2015). En los poblados neolíticos, ya se podía evidenciar la primera transformación del mundo a la necesidad del ser humano (Rossi).

En respuesta a esas transformaciones, se constituyeron las primeras formas y tipos de vivienda, así como los templos y los edificios más complejos (Rossi, 2015). En donde, la necesidad y aspiración de belleza de cada sociedad construyen el tipo, que por cierto es original y diverso, al igual que las distintas sociedades, las cuales se adaptan a una forma y modo de vida determinados (Rossi).

En América Latina, también se ha evidenciado un proceso de transformación, concretamente en el patrón de urbanización. Desde la década del cuarenta, tenía un enfoque dirigido hacia la expansión periférica de la ciudad, mientras que en la actualidad lo hace hacia la ciudad existente, provocando un cambio radical en la tradicional tendencia del

desarrollo urbano, la cual era exógena y centrífuga, hacia una endógena y centrípeta (Carrión, 2007). Carrión (2007), acerca de lo expuesto, menciona lo siguiente:

Ésta introspección o regreso a la ciudad construida, tiene como contraparte una cosmopolitización e internacionalización de la ciudad. Esto es, una fase de introspección cosmopolita -de la que no está ausente el espacio público- que tiende a superar el tradicional concepto de ciudad como frontera a uno de ciudad abierta vinculada en red, y también permite pasar de la urbanización de la cantidad hacia una ciudad de la calidad. (p.10)

Entonces, al adoptar una nueva perspectiva respecto a la ciudad edificada, el espacio público adquiere un significado distinto, afrontando nuevos desafíos en términos de accesibilidad, centralidad, simbologías preexistentes y dinámicas sociales que lo sustentan. Asimismo, busca redefinir su capacidad de ser inclusivo e integrador en el ámbito social (Carrión, 2007).

En consecuencia, es imperativo que el espacio público recupere su posición adecuada dentro de la estructura urbana, más aún si consideramos que la ciudad es sinónimo de civismo, un entorno de

dominio público, de uso social y colectivo, multifuncional y estructurador de la inclusión; es precisamente este aspecto el que otorga calidad y define la naturaleza de una ciudad, lo que la convierte en un componente estratégico del nuevo urbanismo (Carrión, 2007). Por lo tanto, es necesario salvaguardar y revitalizar el espacio público existente, así como desarrollar nuevas propuestas que cumplan múltiples funciones y posean una alta calidad estética (Carrión).

En este contexto, la arquitectura desempeña un papel fundamental en la continua transformación de una ciudad, siendo capaz de anticipar y responder a posibles cambios, es decir, se requiere de una arquitectura flexible y adaptable que se integre armónicamente con la ciudad y sobre lo existente. Se debe tener en cuenta que el área urbana puede sucumbir también ante la incapacidad que tienen las viviendas de adaptarse con facilidad a las exigencias de la actualidad, considerando que tampoco pueden ser renovadas por completo (Habracken, 1974).

En este sentido, se plantea que la Arquitectura Cinética, implementada en el espacio público, puede ofrecer respuestas efectivas ante la continua transformación de las ciudades. Este enfoque constructivo tiene la capacidad de adaptarse a diversos entornos de manera versátil, tal como sugiere su

nombre, al estar fundamentado en el movimiento. Por lo tanto, los edificios construidos mediante la Arquitectura Cinética son tan diversos como los individuos que los ocupan.

La Arquitectura cinética posee la habilidad de transformar su forma a lo largo del tiempo, ajustándose a las necesidades, expectativas y circunstancias cambiantes de sus residentes. Mediante reglas establecidas, se asegura que, a pesar de la diversidad y el movimiento, todas las partes se integren y operen de manera adecuada, tanto durante la construcción del edificio como en las posteriores modificaciones realizadas por los usuarios (Martínez, 2020). De esta manera, es un sistema industrializable y replicable que ofrece infinitas posibilidades y variaciones, planteando una nueva forma de hacer vivienda, es decir, se convierte en la arquitectura que interpreta la realidad del tiempo actual y puede adaptarse a las necesidades y formas de vida de las sociedades cambiantes (Martínez).

1.2. Hipótesis

- ¿Es posible aplicar la arquitectura cinética en nuestro medio para diversificar el uso de espacios públicos?
- ¿Cuáles son los beneficios de utilizar un sistema modular de piso cinético en espacio público?
- ¿Por qué resulta importante construir sobre lo ya construido y mejorar en calidad antes que en cantidad?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de un sistema modular de piso, utilizando técnicas de construcción del medio y aplicando principios de la arquitectura cinética en espacios públicos, de manera que ésta pueda transformarse con el tiempo, adaptándose a las necesidades y expectativas de la población.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar la problemática en relación al uso y ocupación del espacio público en las plazas del centro histórico de la ciudad de Cuenca.
- Determinar las ventajas del uso de la arquitectura cinética aplicada en espacios públicos.
- Determinar los componentes constructivos que se van a aplicar en el prototipo.
- Generar la propuesta constructiva que explique de manera clara el funcionamiento del sistema.
- Previsualizar la aplicación del prototipo en una plaza de la ciudad de Cuenca.
- Realizar una maqueta a escala del prototipo.

2

Marco teórico

2. Marco Teórico
2.1. Espacio Público

La palabra “ciudad” corresponde a un conjunto de edificios y calles, regidos por un ayuntamiento, cuya población densa y numerosa se dedica por lo común a actividades no agrícolas (Real Academia Española, 2021). Sin embargo, resulta indiscutible pensar que el espacio público, en sus distintas formas espaciales, tiene un papel fundamental dentro de una ciudad.

A continuación, se presentan algunos párrafos que tratan de explicar de manera clara lo que significa el espacio público para la sociedad, además de algunos argumentos que apoyan la idea de que el espacio público es importante para el desarrollo de una sociedad activa, que se relaciona entre sí y forma identidad a través de distintos eventos culturales y festividades.

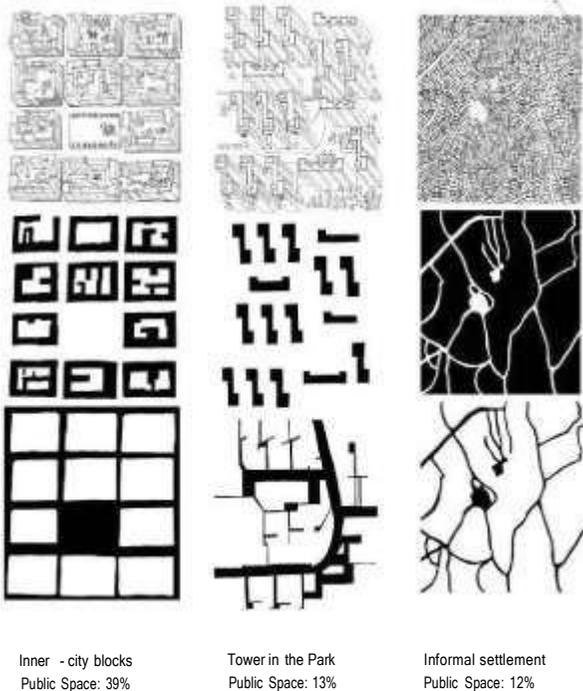
Así pues, se pueden encontrar conceptos que tratan de explicar su significado y sus distintas manifestaciones, tal es el caso del concepto presentado durante la tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible (Hábitat III), acerca del tema 11 de espacio público, en el cual se menciona que “los espacios públicos son lugares de propiedad pública o de uso público, accesibles y agradables por todos

de forma gratuita y sin afán de lucro. Esto incluye calles, espacios abiertos e instalaciones públicas” (Hábitat III, 2015, p.1).

Así mismo, menciona que el espacio público se puede presentar de distintas formas, entre ellas parques, calles, aceras y senderos, mercados, bordes y playas; sin embargo, no todos los espacios públicos son abiertos, por ejemplo, una escuela, biblioteca o cualquier otra institución pública es considerada también espacio público; además, resulta importante mencionar que cada espacio público construye en sí mismo una gama de actividades, entre ellas festividades ceremoniales, actividades multiculturales, comerciales, movimiento de bienes y ciudadanos, dotación de infraestructura, incluso de vendedores ambulantes o recicladores, es decir, el espacio público se crea en base a su contexto inmediato y se presenta a través de patrones, formas y tamaños distintos tal como se puede apreciar en la Figura 1 (Hábitat III, 2015).

Cabe destacar que los espacios públicos pueden ser clasificados, no obstante, las tipologías deben sujetarse al contexto en el que se encuentran, pudiendo mencionar factores como la economía, el uso de los espacios y, especialmente, de la cultura; adicionalmente, resulta importante prestar cuidado a las realidades locales, debido a que las extensiones, radios de influencia y densidad poblacional

Figura 1. Distintos patrones, tamaños y formas de espacios públicos



Fuente: Hábitat III, 2016.

dependen imperiosamente del sitio en el que se encuentran (Andrade et al., 2019).

A manera de conclusión, según Andrade et al. (2019), se puede decir que existen ciertos fundamentos que describen de mejor manera un espacio público abierto y que son usados para conceptualizar y clasificar el mismo, estos son:

- Que sea accesible al público general de manera gratuita;
- Que proporcione usos diversos, en especial aquellos que permitan sociabilizar;
- Que sea de propiedad pública o privada, pero de libre acceso a toda la comunidad;
- Reservado para la provisión de áreas verdes y ambientes naturales y para el desplazamiento y reunión de la comunidad. (p.22)

2.1.1. Importancia del espacio público

Resulta lógico pensar que el espacio público bien concebido y conservado posibilita gozar de considerables ventajas para una sociedad y, por otra parte, un espacio olvidado y poco planificado podría desencadenar en problemas sociales que dificulten la convivencia.

Según la conferencia de la ONU Hábitat III (2015), el espacio público motiva a la producción de igualdad y, cuando mencionado espacio es deficiente,

errado en su diseño o privatizado, la ciudad se segrega paulatinamente, de este modo, se crean límites basados en creencias religiosas, raza, género o situación económica debido a la poca o nula relación que experimentan unas personas con otras. En este sentido, la ciudad en general también se ve afectada ya que se vuelve una ciudad divergente, identificada por la incertidumbre social, limitante en cuanto a movilidad y condicionante ante las posibilidades económicas.

Por otra parte, en un sentido más positivo, la correcta planificación y diseño de los espacios públicos, fomentan en las personas el derecho que poseen en cuanto a la libertad, ya sea relacionado a las expresiones artísticas, políticas o de fortalecimiento del sentido de pertenencia, con el fin de gozar, compartir e intercambiar unos con otros. (Hábitat III, 2015). Además, contribuyen con la disminución de la delincuencia y violencia, esto debido a que los espacios públicos que tienen apertura hacia las actividades tanto formales como informales, sociales, culturales y económicas, permite dar un paso adelante hacia una convivencia más armónica (Hábitat III).

También es importante mencionar que el espacio público cumple un papel fundamental al momento de hacer ciudad. Según Danies (2013), el espacio público aporta, como intercambiador de informa-

ción, al desarrollo del sentido de la confianza entre las personas y el entorno que les rodea, como consecuencia, se pueden formar edificaciones y barrios interesantes sin necesidad de contar con elementos arquitectónicos de gran belleza o monumentalidad.

En el Ecuador, también se reconoce la importancia del espacio público y las ventajas que conlleva el uso y disfrute del mismo, a través del artículo 23 de la constitución, en el cual se menciona que “las personas tienen derecho a acceder y participar del espacio público como ámbito de deliberación, intercambio cultural, cohesión social y promoción de la igualdad en la diversidad” (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p.15).

De acuerdo a lo mencionado, la conferencia de la ONU Hábitat III (2015), también menciona la importancia del espacio público dentro del ámbito de los derechos humanos, expresando que, es un bien común que permite el ejercicio de los derechos humanos, fortalece a las mujeres y posibilita mayores oportunidades para los jóvenes. Todo esto como una importante herramienta que ayuda a optimizar la equidad y la inclusión y, sobre todo resulta una ficha clave para contrarrestar la discriminación dentro de los espacios públicos.

La importancia del espacio público mencionada

anteriormente, guarda mayor conexión con el ser humano y las relaciones sociales, no obstante, no se debe olvidar la vinculación que guarda el espacio público con el ámbito de la salud tanto humana como ambiental, en referencia a lo mencionado (Sherer, 2003), se refiere al espacio público como un método capaz de cooperar con la salud mental y física de las personas, además de su capacidad de brindar servicios ambientales.

En definitiva, el espacio público es una pieza clave para las personas y los asentamientos humanos, sin lugar a duda, ha sido, es y será fundamental para la organización, disposición y forma de las distintas ciudades. El espacio público forma parte de la expresión de un pueblo y la variedad social y cultural existente; además, sirve de escenario de la urbe en el cual la sociedad se hace presente (Bladimir, 2005). El espacio público es un medio físico, simbólico y político de indiscutible valor (Bladimir).

2.1.2. La evolución del espacio público

Con el fin de comprender de mejor manera el espacio público, resulta necesario conocer acerca de su pasado, reconocer su origen y estudiar la evolución que experimentó a lo largo de los años. Como complemento del tema anterior, los siguientes párrafos pretenden reforzar la importancia del espacio público dentro de los asentamientos humanos y

el papel fundamental de las personas ante el constante cambio del mismo.

La aparición de espacios públicos se remonta al surgimiento de comunidades sedentarias durante la Revolución Neolítica (Amado, 2012). Desde aquel periodo, se sentaron las bases de lo que hoy conocemos como espacio público, y su desarrollo como tal se fue manifestando a medida que las interacciones sociales y la especialización laboral se volvieron más complejas (Amado).

Los caminos y posteriormente las calles, inicialmente destinados a delimitar y organizar la propiedad privada, así como a establecer una separación con lo público, adquirieron connotaciones que respondían a las necesidades naturales, sociales y culturales de las personas para interactuar, circular y acceder a otras construcciones y estructuras urbanas (Amado, 2012).

Un hecho fundamental en el origen y desarrollo de los espacios públicos sería la aparición del comercio, en el momento en que las ciudades comienzan a producir excedentes en la producción; de esta manera, con la creciente necesidad de lugares comunes y generando tanto espacios de circulación como de comercio, de ocio, de relaciones varias y de socialización (Amado, 2012). Así es que también surge el rol del Estado debido a la necesidad y el deber de velar por la protección de esos es-

pacios públicos, para garantizar su destino al uso común y satisfacer las necesidades de la ciudad (Amado).

2.1.3. La plaza

Para este trabajo, se toman las plazas como espacios públicos de principal atención, en los cuales se pretende aplicar de manera digital el prototipo de piso; esto debido a que en la ciudad de Cuenca las plazas generalmente tienen usos culturales y festivos en los cuales se utilizan carpas o tiendas de campaña para exhibir productos a nacionales y extranjeros tal como se puede observar en la Figura 2, en este sentido, el prototipo podría satisfacer los distintos usos que tiene la plaza para lograr que ésta se mantenga activa a través de los años.

En Grecia, la urbanización de auténticas plazas no tuvo lugar sino a partir de 500 a.C. El concepto de planificación urbana, entendido como una acción colectiva consciente e integrada que trasciende la simple construcción de viviendas individuales, ya era familiar en la India y Egipto en el tercer milenio a.C., sin embargo, el motivo que impulsó la creación de un vacío en medio de la ciudad para transformarlo en un espacio tridimensional conocido como “plaza” era conocido (Morris, 2018).

Lo mencionado anteriormente puede tener una

Figura 2. Feria artesanal de Chaguarchimbanda



Fuente: Sandoval, 2016.

explicación sociológica, sólo en el seno de una civilización en la que el ser humano se hubiese convertido en “ciudadano”, donde la democracia estuviera arraigada en cierto grado, podía adquirir el lugar de reunión la importancia suficiente como para adoptar una configuración específica, el Ágora (Figura 3) en el caso de Grecia (Morris, 2018).

Este desarrollo sociológico fue a la par con un fenómeno estético, solo cuando evolucionó la plena conciencia del espacio y empezó a difundirse una cierta percepción sensible del desarrollo espacial, fue únicamente en ese momento cuando el espacio vacío situado en frente, alrededor o dentro de un edificio pudo adquirir un significado más allá de ser simplemente la contraparte de un volumen arquitectónico (Morris, 2018).

Así pues, surge la plaza y las distintas actividades que se desarrollan en la misma, mencionando por supuesto que sus usos han ido variando y que hoy en día corresponde a un espacio libre, carente de muros y cubierta, que permite congregarse un fuerte número de personas y que a la vez sirve como escenario para actividades de comercio, cultura, recreación, ocio y muchas otras que guardan relación con la sociedad y su necesidad de congregación.

2.1.4. Situación actual de las plazas del centro histórico de Cuenca

El general español Gil Ramírez Dávalos estableció la fundación de Santa Ana de los Ríos de Cuenca el 12 de abril de 1557. La Ciudad de Cuenca guarda cientos de paisajes que a través de los años han formado parte de la identidad de sus habitantes y por supuesto de la memoria de la ciudad; sin lugar a duda, el Centro Histórico de Cuenca (Figura 4) también construye esa memoria gracias a las centenas de edificaciones patrimoniales, obras de arte, vestigios arqueológicos y manifestaciones culturales. Dichos elementos del Centro Histórico han dado lugar a una declaratoria de Patrimonio Nacional el 29 de marzo de 1982, como Patrimonio Cultural del Ecuador y una declaratoria de Patrimonio Mundial el 01 de diciembre de 1999, como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO (Ministerio de cultura y patrimonio, 2010).

En general, el centro histórico de Cuenca, incluyendo sus espacios públicos, se encuentran activos gracias al comercio y a los múltiples eventos culturales realizados en plazas y parques. Albornoz (2014), menciona acerca de la revitalización del centro histórico de Cuenca, que contrario a lo que sucedía en otros centros históricos de Latinoamérica, el caso de Cuenca de manera general, gozaba de eficacia en sus espacios públicos y que

Figura 3. Representación en plano y perspectiva del ágora



Fuente: Morris, 2018.

si bien se ha podido evidenciar zonas o espacios con poco uso y movimiento, éstos han podido ser controlados.

Para este escrito, se recopila información acerca de dos plazas ubicadas en el centro histórico, las cuales han sido analizadas en el trabajo de titulación denominado “Análisis del confort en plazas del Centro histórico de Cuenca” desarrollado por Damariz Cabrera y Mariuxi Espinoza. A continuación, se muestra un resumen de la metodología utilizada y las conclusiones que obtuvieron las autoras.

La metodología que se usó parte de una evaluación del confort del espacio urbano a partir de ciertos componentes, los cuales fueron tomados del artículo denominado “Claves para proyectar espacios públicos confortables”, en donde, según Mínguez et al. (2013), los factores clave son: escala urbana, ocupación del espacio público, paisaje urbano, percepción de seguridad y condiciones acústicas; como complemento, las autoras decidieron añadir el elemento de mobiliario urbano.

En segundo lugar, se realizó la selección de los casos de estudio, dicha selección surgió de distintos análisis que contemplaron la identificación de las plazas existentes en el Centro Histórico de Cuenca, su radio de influencia desde el centro de la zona de estudio y la determinación de plazas

intervenidas; obteniendo como resultado la Plaza de las Monjas (Figura 5) y la Plaza Santa Ana (Figura 6).

Después, el estudio se apoya de una metodología mixta en la cual se realiza la recolección de información mediante el uso de encuestas, para después aplicar un método observacional, el cual servirá como evaluador de los componentes de confort urbano mencionados anteriormente.

Finalmente, con la ayuda de una matriz, se exponen los resultados obtenidos del estudio de las plazas, en donde se desarrolla un cruce de información entre encuestas y fichas de observación y, posteriormente, entre los componentes del confort urbano. El análisis propuesto, posibilitará validar los resultados obtenidos y generar interrelaciones.

En ese contexto, el trabajo de titulación concluye que, el mobiliario y la seguridad fueron los principales componentes a considerar; por un lado, la ubicación de bancas, en ambos casos, no es pertinente ni recibe un correcto mantenimiento, por lo que los usuarios no muestran ningún interés por apropiarse del espacio que los rodea; por otro lado, elementos como la iluminación nocturna, espacios de protección contra el frío o calor, guardianía y cámaras de vigilancia son escasos, lo cual provoca inseguridad en los usuarios, y a su vez resulta en

Figura 4. Centro histórico de Cuenca



Fuente: Ministerio de cultura y patrimonio, 2010.

Figura 5. Plaza de las Monjas visto desde la Av. Presidente Borrero



Fuente: Cabrera & Espinoza, 2016.

un abandono del espacio, reduciendo su uso a un lugar solo de paso.

Otro factor considerado fué el de la escala urbana, en donde las características y funciones de las fachadas se llevan su protagonismo; los comercios que se desarrollan alrededor de las plazas promueven el uso de los espacios y mejoran la sensación de seguridad, lo cual termina con los espacios desolados y sin movimiento.

Por su parte, la vegetación es un factor importante que ayuda a mejorar el impacto visual de un paisaje urbano, creando un ambiente confortable para los usuarios, y a su vez, un correcto uso de especies de arbolado ayuda también en las condiciones acústicas de las plazas, mitigando el ruido, por lo que se vuelve imperante mantener la vegetación, y de ser posible aumentarla con base en parámetros técnicos.

Adicionalmente, el confort urbano depende principalmente del equilibrio entre los factores antes mencionados, en donde uno de los condicionantes más relevantes, es quizás la ocupación del espacio público, por lo que un correcto mantenimiento de estas variables permitirá un óptimo aprovechamiento de los espacios, situación que en mencionado estudio, se ha podido evidenciar que hace falta.

Con base en la información obtenida se corrobora la hipótesis planteada inicialmente, donde se señala que el nivel del confort urbano en las plazas de las Monjas y Santa Ana no cuenta con los parámetros necesarios para un óptimo funcionamiento, convirtiendo a esos espacios en lugares de paso y carentes de dinamismo.

2.2 Arquitectura Cinética

La arquitectura evolucionó con la creencia de que las formas estáticas y permanentes de la arquitectura tradicional ya no eran adecuadas para los tiempos de grandes cambios (Razaz, 2010). Se considera que la arquitectura cinética es dinámica, adaptable y capaz de ajustarse, reducirse o incluso desecharse según sea necesario (Razaz).

La Arquitectura Cinética se basa en la creación de espacios y objetos que pueden reconfigurarse físicamente para adaptarse a necesidades cambiantes. En esta intersección, encontramos una arquitectura física inexplorada que se adapta para abordar las necesidades dinámicas, flexibles y en constante cambio de la actualidad. El diseño cinético depende del movimiento para lograr sus efectos (Razaz, 2010).

El mejor ejemplo de arquitectura cinética es aquel que presenta nuevos alineamientos y contrastes

Figura 6. Plaza Santa Ana visto desde la Av. Mariscal Lamar



Fuente: Cabrera & Espinoza, 2016.

arquitectónicos que permiten a los ocupantes experimentar entornos novedosos (Razaz, 2010). Cuando la arquitectura puede transformarse en tiempo real para renovar las experiencias, entonces la arquitectura cinética tiene más posibilidades de cumplir su propósito (Razaz).

2.2.1 Antecedentes

Las formas primitivas de arquitectura cinética, como los puentes levadizos, se remontan a la Edad Media o antes. Sin embargo, no fue hasta principios del siglo XX cuando los arquitectos comenzaron a discutir exhaustivamente la posible libertad de movimiento de la mayor parte de la envolvente del edificio. En el primer tercio del siglo XX, el interés por los arquitectos cinéticos fue uno de los pilares del pensamiento surgido del movimiento futurista. Varios documentos y libros contienen planos y dibujos para mover edificios, un ejemplo notable son las 101 fantasías arquitectónicas de Chernikov (1933) (Hisour, 2018).

La arquitectura cinética en su mayoría fue teórica en las primeras décadas del siglo XX, pero en la década de 1940 innovadores como Buckminster Fuller empezaron a experimentar con implementaciones concretas, aunque al principio en esta dirección el esfuerzo no se consideró del todo exitoso (Hisour, 2018).

En 1970, el ingeniero y arquitecto William Zuk introdujo la Arquitectura Cinética. Ha inspirado a una nueva generación de arquitectos y demuestra la gama cada vez mayor de edificios cinéticos del mundo real. Los edificios dinámicos se han vuelto cada vez más comunes en todo el mundo desde la década de 1980, gracias a nuevos conceptos como Fuller's Tensegrity y los avances en robótica. El arquitecto Jose Leonidas Mejia creó un concepto con una aplicación más profunda a las estructuras transformadoras. Por esta razón, el arquitecto Mejía lanzó un proyecto experimental llamado "La Casa Arkinetica". Se trata de una estructura que transforma elementos utilizando diferentes ciclo-vías (Hisour, 2018).

A principios del siglo XXI han surgido tres temas interrelacionados. Por un lado, estructuras funcionales como puentes cuyas secciones medias se pueden levantar para permitir el paso de barcos más altos y estadios con techos retráctiles, como Beltins Arena (Figura 7), Millennium Stadium en Cardiff y Wembley Stadium (Hisour, 2018).

El segundo tema son construcciones fantásticas que pueden hacer cambios al estilo de los Transformers o tener un aspecto visualmente impresionante. El pájaro Burke Brise Soleil del Museo de Arte de Milwaukee (Figura 8) es un ejemplo venerado de esto, pero también tiene un lado funcional,

Figura 7. Beltins Arena cubierta retráctil



Fuente: García, 2016.

Figura 8. Museo de Arte de Milwaukee



Fuente: Rick, 2017.

Figura 9. Velarium del Coliseo o anfiteatro Flavio



Fuente: d'Anna, 2020.

Figura 10. Puente levadizo del castillo de Minden



Fuente: Von mir selbst, 2004.

ya que sus movimientos le permiten proteger a las multitudes del sol y las tormentas (Hisour, 2018).

Un tercer tema es que el movimiento ocurre en la superficie de un edificio, creando un efecto que Buckminster Fuller denominó “articulación similar a la piel”. Un buen ejemplo de esto es el Instituto del Mundo Árabe (Hisour, 2018).

Los nuevos cambios tecnológicos son una realidad que se han mostrado en la sociedad en los últimos diez años y los arquitectos deben incluirlos para solucionar los nuevos problemas que se presentan en la construcción, como mejorar la relación entre el hombre y el espacio público, pensando en espacios que puedan responder activamente al cambio. (Paccha & Poma, 2016)

2.2.2 Aplicaciones históricas

Durante el desarrollo de la arquitectura se ven cosas que por su funcionalidad se relacionan con la arquitectura cinética, y sirven como guía para entender y transmitir el concepto de arquitectura cinética. En nuestro estudio, nos basaremos en las siguientes obras, ejemplos de arquitectura cinética relevante para el desarrollo de la evolución humana.

2.2.2.1. Velarium del coliseo romano

El monumento más concurrido de Roma es el coliseo, anfiteatro imperial del siglo I (iniciado en 70, terminado en menos de 10 años) (Figura 9). Sabemos que este monumento tenía un enorme toldo móvil que podía abrirse y cerrarse a medida que avanzaba el sol. Según documentos antiguos, lo usaban los antiguos marineros y se conocía como velarium. Tal obra de ingeniería provoca asombro tanto en su tiempo como en la actualidad por su capacidad de cubrir un espacio que alcanzaba los 200m (D'ANNA, Eugenio & MOLARI, 2020).

2.2.2.2. Puentes levadizos 1000-1200 DC

Estos son los primeros tipos de puentes móviles utilizados en la historia. Tienen su origen en la Edad Media y se colocaban para asegurar las entradas a las ciudades y fortalezas y para permitir el acceso selectivo. Un puente levadizo consiste en una estructura sólida (generalmente de madera) con un sistema de poleas giratorias (Figura 10). Se subía y bajaba mediante cadenas o cuerdas y tenía la ventaja de poder desplegar rápidamente la estructura para la entrada y salida según fuera necesario (Structuralia, 2018).

El uso de este tipo de puente estableció la idea básica general de estructuras móviles posteriores,

muy similares a los puentes levadizos y pasarelas que se utilizan en la actualidad.

2.2.2.3. Engranajes de Leonardo Da Vinci 1500 DC.

El inventor de los engranajes en todas las formas fue Leonardo da Vinci. Después de que Leonardo da Vinci muriera en Francia en 1519, dejó valiosos dibujos y diagramas de muchos de los mecanismos que usamos todos los días en la actualidad (Correa, 2014) (Figura 11).

La forma más básica de engranaje es un par de ruedas, una con una varilla cilíndrica unida a ella y la otra con dos engranajes conectados por una varilla cilíndrica. Los engranajes se utilizan principalmente para transmitir movimiento giratorio, pero con los engranajes y los engranajes rectos adecuados, el movimiento alternativo se puede convertir en movimiento giratorio y viceversa (Correa, 2014).

2.2.2.4. La Casa Dymaxion 1940

Richard Buckminster Fuller diseñó la Casa Wichita en Rosehill, Kansas en 1944, construida después de la Casa Dymaxion en 1947, como una casa rural diseñada para resolver el problema de vivienda de las personas de bajos ingresos (Figura 12).

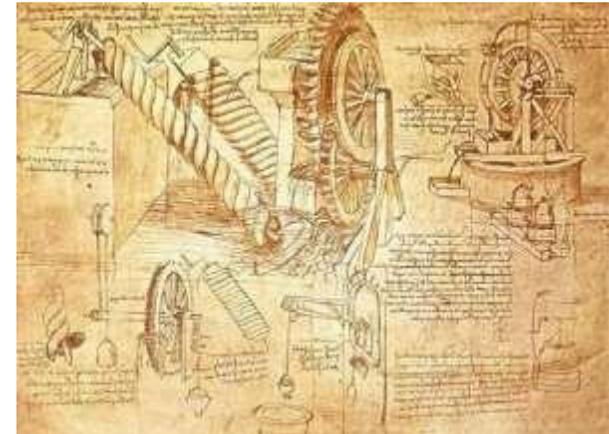
Esta máquina viva es considerada el primer hogar sostenible. Era una casa prefabricada que podía alojarse en un tubo cilíndrico para su transporte. Fuller dijo que fue diseñado para soportar huracanes gracias a su diseño aerodinámico. Gracias a su diseño, Fuller dijo que el interior era fresco sin necesidad de aire acondicionado. Su peso era más ligero que una de las obsesiones del arquitecto: dos Volvos, lo que facilitaba su transporte. La casa fue promovida por Beech Aircraft y hecha con piezas de aluminio recicladas de su propio avión. La única casa que se construyó se puede ver ahora en el Museo Henry Ford (Monfort, 2015).

2.2.3 Ventajas de la aplicación de arquitectura cinética

Los proyectos que incluyen la arquitectura cinética suelen ser únicos y costosos. Sin embargo, se están volviendo cada vez más prácticos. Los componentes cinéticos se han convertido en una alternativa viable al diseño arquitectónico tradicional por su funcionalidad y estética y se utilizan para diferentes propósitos (Torres, 2017).

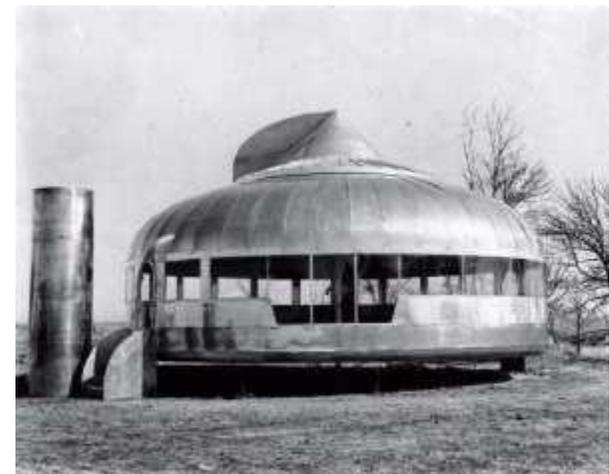
Los nuevos materiales constructivos son más ligeros, maleables y duraderos, permitiendo la creación de espacios reconfigurables que pueden aumentar la eficiencia de los espacios. Así, tenemos estructuras que pueden mover partes para cumplir

Figura 11. Inventos de Leonardo Da Vinci



Fuente: Abel G.M., 2023.

Figura 12. La Casa Dymaxion / Buckminster Fuller



Fuente: Fuller, 1948.

Figura 13. Cabaña Chicken Point



Fuente: Benschneider, 2016.

Figura 14. Edificio Media-TIC



Fuente: Navarro, 2011.

con una segunda función. Por ejemplo, puentes levadizos, que pueden elevar sus secciones centrales para permitir el paso de barcos o vehículos. También ocurre con los estadios que tienen un techo retráctil para ser cerrado cuando llueve, o estar abierto cuando el clima está caluroso (Torres, 2017).

Desde una perspectiva de sustentabilidad, las posibilidades y beneficios de la arquitectura cinética se enmarcan a favor del entorno natural generado en casos de uso que pueden mitigar las condiciones ambientales en diversos aspectos como luz, calor, etc. produciendo estos cambios de forma manual, mecánica o automática (Torres, 2017).

2.2.4 Mecanismos empleados en la arquitectura cinética

2.2.4.1 Mecánicos

Un sistema mecánico es un sistema que puede cambiar la configuración de una obra de construcción. Utilizan algunos de los principios básicos de la ingeniería mecánica que se han practicado desde la antigüedad. Los más importantes incluyen poleas, engranajes y manivelas (Torres, 2017).

Este mecanismo está aplicado en el proyecto “Chicken Point Cabin” en Washington, Idaho, Estados Unidos. Se trata de una caja que se abre hacia

el paisaje por una de sus fachadas, mediante un mecanismo de poleas que se gira para levantar un ventanal a una altura de 5,8m (Figura 13) (Kundig, 2002).

2.2.4.2 Neumáticos

Es importante saber primero que la neumática es una solución tecnológica que utiliza el aire comprimido como la fuerza necesaria para hacer funcionar determinados elementos. Los sistemas neumáticos utilizados en arquitectura ofrecen soluciones para grandes superficies sin necesidad de soportes intermedios, facilitando el montaje, desmontaje y transportabilidad. Generalmente se dividen en dos tipos: estructuras con aire de soporte y estructuras con aire a presión (Torres, 2017).

Un ejemplo de este mecanismo empleado en la arquitectura es el edificio MediaTIC en Barcelona, España (Figura 14). El edificio cuenta con un sistema automático que se activa con una red de sensores de temperatura. El punto central del diseño del edificio fue la protección solar requerida para un edificio ecológicamente eficiente. Usando la cubierta de ETFE de 2500m², MediaTIC logró un ahorro de energía del 20%. La idea es dotar al edificio de un traje de nitrógeno en forma de nube vertical que filtre la radiación solar y permite la creación de sombra a través de un sistema neumático (Colturi

2.2.4.3 Fuerzas naturales

Existen también fuerzas naturales que producen cambios arquitectónicos específicos, como el viento, el sol y el agua, entre otros. Comúnmente utilizado en fachadas arquitectónicas, este tipo de arquitectura hace una contribución sostenible aprovechando la naturaleza para satisfacer las necesidades de los usuarios y proporcionar comodidad en cualquier espacio arquitectónico (Torres, 2017).

Un ejemplo de estas fuerzas aplicado en la arquitectura es la obra Shiver House, diseñada por Neon Studio (Figura 15), es una reinención completa de un refugio comunitario finlandés. El proyecto es una estructura “animal” dinámica que se mueve y se adapta en respuesta a las fuerzas naturales que lo rodean, creando una conexión entre sus ocupantes y el mundo natural (Pasquini, 2020).

La casa cuenta con 600 tejas de equilibrio dinámico que responden a las condiciones climáticas cambiantes en el sitio. La lluvia, el viento y la nieve hacen que las tejas roten en una posición cerrada, generando a la estructura la apariencia y función de un refugio. Shiver House cambia constantemente entre un refugio funcional y una instalación experiencial poética (Pasquini, 2020).

2.2.4.4 Electrónica

Los avances tecnológicos han convertido a la electrónica en una herramienta importante en el diseño de envolventes arquitectónicas, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones para crear algún tipo de movimiento. Un ejemplo de este mecanismo es el movimiento de la fachada de un edificio, la mayoría de las veces apoyado por una computadora (Torres, 2017).

Un ejemplo de esta tecnología es el empleado en el proyecto de las torres Al Bahar en Abu Dhabi que es el mayor representante de arquitectura cinética en el área de construcción. Se trata de dos rascacielos, cada uno con un programa de oficinas de 25 pisos. Estas torres ilustran perfectamente la conexión entre los tres elementos claves de la arquitectura cinética: innovación estructural y desarrollo de materiales, mecanismos de control (tecnología de sensores) y arquitectura adaptativa (Figura 16) (Coellar, 2018).

Figura 15. Shiver House



Fuente: Pasquini, 2020.

Figura 16. Las Torres Al Bahr



Fuente: Richters, 2019.

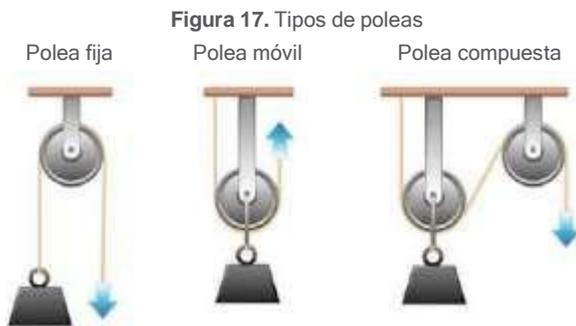
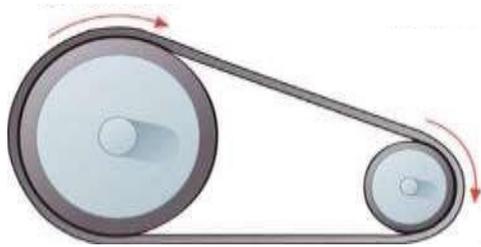


Figura 17. Tipos de poleas

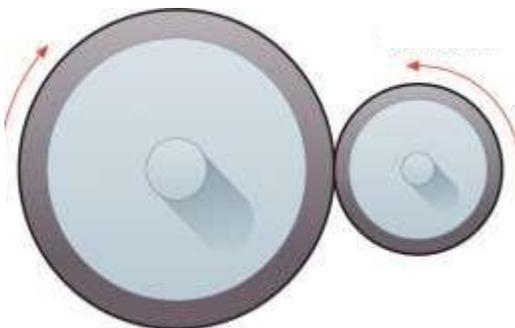
Fuente: Shutterstock. BlueRingMedia

Figura 18. Poleas de transmisión



Fuente: Ruiz, 2023.

Figura 19. Ruedas de fricción



Fuente: Ruiz, 2023.

2.3 Sistema de movimiento mecánico

Antes de iniciar el estudio de los sistemas mecánicos, es necesario definir y comprender qué es un mecanismo, debido a que un sistema consta de varios elementos, definimos un mecanismo como un conjunto de elementos entrelazados a través de conexiones móviles que permiten la transformación de fuerzas, velocidades, trayectorias y energías de diferentes formas.

Un sistema mecánico es una combinación de varios elementos que transforman fuerza, velocidad, trayectoria o energía a través de una serie de transformaciones intermedias, de modo que un sistema mecánico consta de varios elementos: un sistema de entrada, un sistema de transmisión y un sistema de salida. Los mecanismos pueden realizar cuatro tipos de movimientos: lineal, alternativo, rotatorio y oscilante (Cedenilla et al, 2019).

2.3.1 Mecanismos de transmisión lineal

2.3.1.1 Palancas

Una palanca es una barra rígida que gira alrededor de un punto de apoyo que aplica un esfuerzo reduciendo el trabajo. Se divide en cinco partes:

Potencia: fuerza aplicada.

Resistencia: la fuerza que queremos vencer.

Punto de apoyo o punto de inflexión.

Brazo de potencia: la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de apoyo.

Brazo de Resistencia: La distancia entre el punto de resistencia y el punto de apoyo.

2.3.1.2 Poleas

Una polea es un mecanismo formado por ruedas que giran alrededor de un eje. Tiene un canal o carril por donde se tiran cuerdas o correas. El propósito principal de usar poleas es reducir la fuerza para obtener una ventaja mecánica, aunque también se pueden usar para desviar la fuerza. Las poleas pueden ser fijas, móviles y compuestas (Figura 17).

Polea fija: Se utiliza para cambiar la dirección de la fuerza, pero no proporciona ninguna ventaja mecánica porque la fuerza y la carga tienen el mismo valor.

Polea móvil: Un extremo de la cuerda es fijo. Se utiliza para reducir la fuerza. Tiene una ventaja mecánica de 2, que es la mitad de su fuerza.

Polea compuesta: Es una combinación de una polea fija y una polea móvil. Conocido como polipasto, su ventaja mecánica es igual al número total de poleas.

2.3.2 Sistema de transmisión circular

Este tipo de mecanismo se utiliza para transmitir movimiento giratorio entre dos ejes. El elemento que proporciona el movimiento se denomina conductor y el elemento que recibe el movimiento se denomina elemento conducido. Estos mecanismos también pueden cambiar la intensidad y la velocidad del movimiento. Los mecanismos más comúnmente empleados son poleas motrices, ruedas de fricción, engranajes y cadenas, así como engranajes y tornillos sinfín - soporte (Cedenilla et al, 2019).

2.3.2.1 Poleas de transmisión

La transmisión se produce entre dos o más poleas conectadas por una correa flexible. Las poleas permiten la transferencia de movimiento circular entre distintos ejes, lo que posibilita modificar la dirección de rotación, la fuerza transmitida y la velocidad. Los ejes pueden ser paralelos o cruzados (Figura 18).

Una transmisión por correa es simple y económica, pero puede causar problemas ya que la correa se deforma durante el uso. Este mecanismo se utiliza en electrodomésticos como lavadoras o lavavajillas, en electrónica de vídeo y audio y en muchas piezas de motores térmicos como ventiladores, transmisión o distribución. La ventaja mecánica se

obtiene cuando las poleas tienen diferentes diámetros.

2.3.2.2 Ruedas de fricción

Las ruedas de fricción transmiten movimiento circular entre ejes muy próximos. La transmisión se realiza mediante fricción, lo que implica que las ruedas suelen estar fabricadas con un material antideslizante, como la goma, y el sentido de giro está en constante cambio. Se utilizan en impresoras para tirar de papel o en una dinamo de bicicleta (Figura 19).

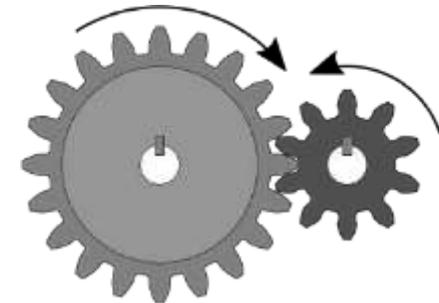
2.3.2.3 Engranajes

Los engranajes (Figura 20) son ruedas cuyos dientes encajan y transmiten potencia y movimiento circular. Dependiendo de la posición del eje, los dientes pueden tener diferentes formas:

Los engranajes rectos transfieren movimiento entre ejes paralelos. Los engranajes cónicos transmiten movimiento entre ejes verticales y los engranajes helicoidales transmiten movimiento entre ejes que se cruzan.

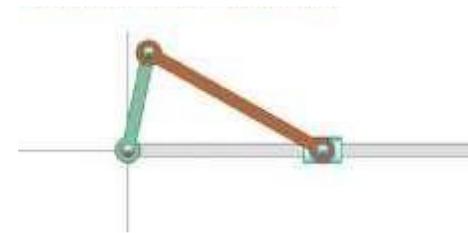
Una transmisión simple de dos engranajes siempre invierte la dirección de rotación. Con el propósito de mantener la misma dirección, se emplea un engranaje intermedio denominado “engranaje loco”,

Figura 20. Engranaje de corona y piñon



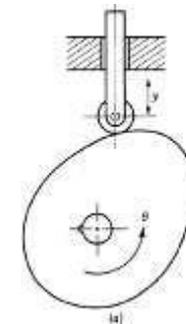
Fuente: Martín, 2023.

Figura 21. Biela - manivela



Fuente: Estructuras y mecanismos. Wordpress.

Figura 22. Mecanismo de leva de disco con seguidor de rodillo



Fuente: Chinchay, 2009.

el cual no afecta la velocidad de salida. Los engrajes son empleados en una variedad de dispositivos y sistemas, tales como las transmisiones de automóviles, electrodomésticos y juguetes, entre otros ejemplos.

2.3.3 Transformación del movimiento circular en alternativo

Los mecanismos encargados de la transformación de movimiento permiten cambiar el movimiento de circular a alternativo (y viceversa) o de circular a lineal (y viceversa). La transferencia de movimiento puede ocurrir en dos direcciones, de circular a alternativa o de alternativa a circular.

2.3.3.1 Biela - manivela

El mecanismo consta de una biela o varilla rígida que realiza un movimiento lineal alterno y una manivela que realiza un movimiento circular. La biela está unida a la manivela con juntas y su movimiento generalmente está guiado. La transformación de movimiento se puede realizar en dos direcciones: movimiento circular cuando se gira la transmisión y movimiento alternativo cuando se gira la transmisión. Este tipo de mecanismo se emplea en máquinas como los motores de vapor, los motores de combustión interna, las máquinas de coser, entre otras (Figura 21)



Figura 23. Tornillo - tuerca

Fuente: Alamy vector. 2012

2.3.3.2 Leva - seguidor

Las levas consisten en ruedas acopladas a ejes que presentan salientes o entrantes (deformaciones). Al girar, transmiten movimiento al seguidor o empujador, generando así un movimiento alternativo. La forma de la leva determina el movimiento del seguidor. Este mecanismo se emplea en diversas aplicaciones, como las válvulas de control de motores de combustión interna, los programadores de lavadoras y las cajas de música, entre otros ejemplos (Figura 22).

2.3.4 Transformación del movimiento circular en lineal

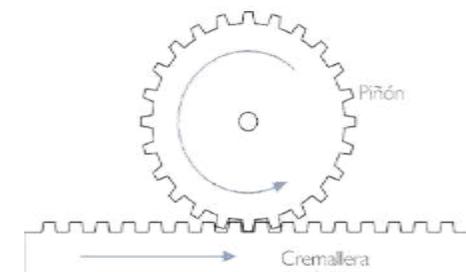
2.3.4.1 Tornillo - tuerca

Los tornillos son cilindros en espiral con roscas en el exterior, mientras que las tuercas están rosca-das en el interior (Figura 23). La distancia entre dos hélices consecutivas se llama paso. Para transmitir movimiento, el tornillo y la tuerca deben tener el mismo paso. Si el tornillo guía gira, la tuerca se mueve en línea recta; de lo contrario, si la tuerca gira, el tornillo guía se mueve en línea recta. Se utiliza para un esfuerzo extra; tales como levantar (gatos de máquinas), sujetar (garras y mordazas) y presionar (mangos). (Cedenilla et al, 2019)

2.3.4.2 Piñon - cremallera

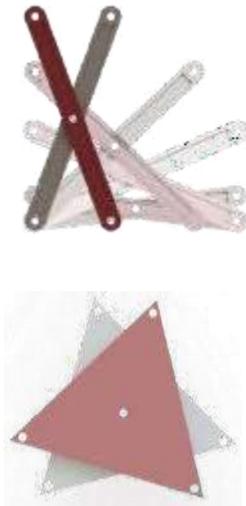
El mecanismo consta de un engranaje llamado piñón que se conecta a una barra llamada cremallera. El piñón y la cremallera deben ser iguales para transmitir movimiento. A medida que gira el engranaje, la cremallera realiza un movimiento lineal, que convierte el movimiento circular en movimiento lineal (Figura 24). Por el contrario, cuando el trípode se mueve, el engranaje gira, convirtiendo el movimiento lineal en movimiento circular. Se utiliza en sacacorchos, taladros, sistemas de dirección automotriz y más. (Cedenilla et al, 2019).

Figura 24. Piñon - cremallera



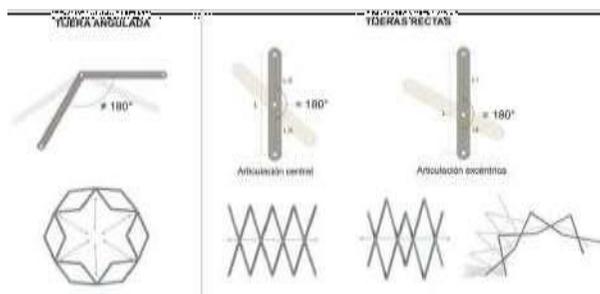
Fuente: Intermeganet. Wordpress. 2014

Figura 25. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.



Fuente: Torres, 2021.

Figura 26. Clasificación de tijeras de acuerdo a la posición de sus articulaciones. Agrupación de tijeras anguladas y rectas.



Fuente: Torres, 2021.

2.4. Sistema de despliegue tipo tijera

Existen múltiples opciones para generar movimiento en una estructura específica; sin embargo, se opta por estudiar una de las más utilizadas en el mundo de la arquitectura cinética, este es el sistema de tijera.

Una tijera se describe como la unión de dos barras o planos en un punto central o descentrado situado a lo largo del eje longitudinal de los elementos que se van a unir (Figura 25). Este sistema posibilita el movimiento de un elemento con respecto a otro sin que puedan separarse; mediante la conexión en cadena de estos módulos, se crea un conjunto de tijeras que generan diversas configuraciones geométricas de redes desplegables, ya sean planas o tridimensionales (Torres, 2021).

El sistema de tijera funciona a través de puntos de articulación ubicados en los extremos de cada elemento. Si los puntos de articulación colocados en los extremos presentan un ángulo distinto a 180° , se les asigna la denominación de tijeras anguladas. En cambio, si las articulaciones forman un ángulo de 180° , se consideran tijeras rectas (Torres, 2021). Cada una de ellas puede desarrollar distintas composiciones (Figura 26).

Las barras angulares al momento de agruparse forman geometrías en base a polígonos regulares los cuales se mueven a través de un eje concéntrico (Figura 27), por otra parte, la tijera recta se define a partir de tres articulaciones ubicadas en los extremos de la barra y una en el medio de éstas; la posición de la articulación central define la forma que tendrá después.

Si las tijeras tienen una articulación central, la agrupación de estas formará un despliegue de tipo lineal sin poder sujetarse a una curvatura (Figura 26).

Figura 27. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.



Fuente: Torres, 2021.

En cambio, si las tijeras tienen un punto de articulación excéntrico al punto medio de las barras, el resultado será un despliegue de forma lineal con posibilidad de generar curvatura (Figura 26).

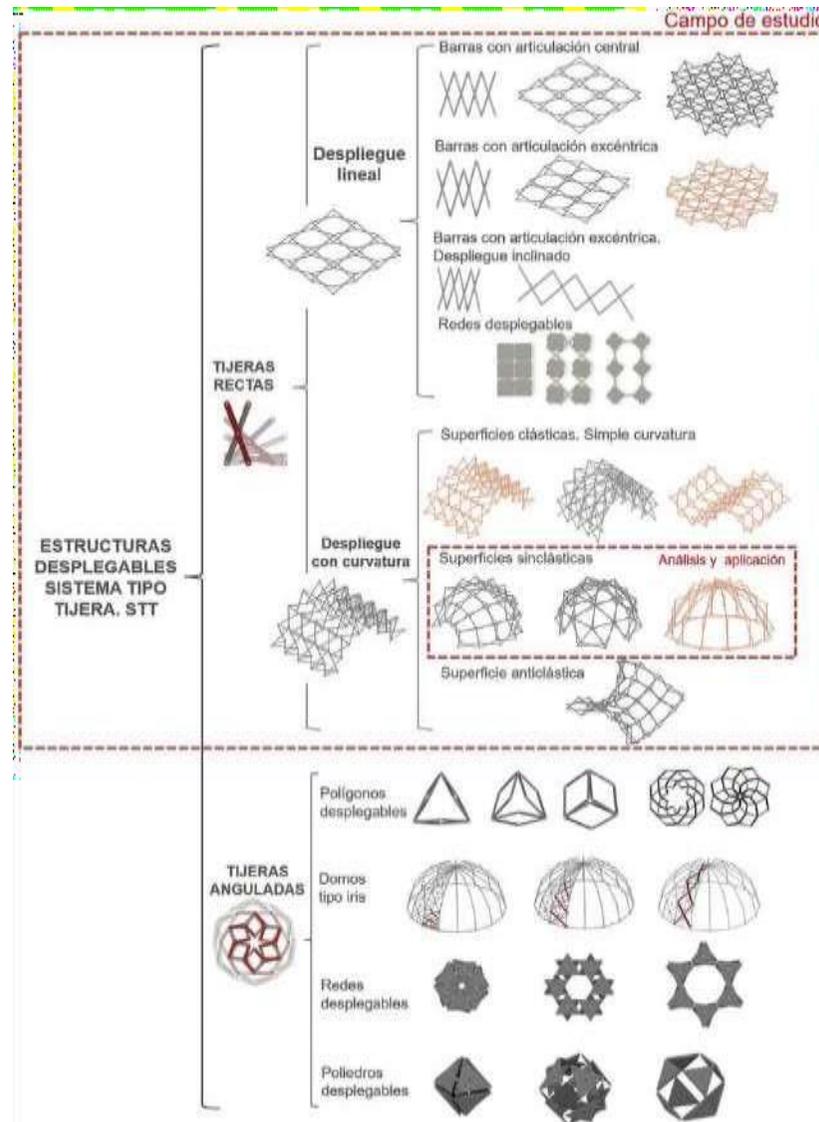
Existe una agrupación básica, bastante conocida en el medio de la arquitectura cinética, se trata de la agrupación plana de tijeras con articulación central, considerando que todas las barras que componen el sistema tienen las mismas dimensiones. Los espacios que se forman entre las tijeras corresponden a cuadriláteros iguales en cada etapa del proceso de pliegue y despliegue (Figura 28). El sistema de tijeras forma una amplia gama de posibilidades al momento de agruparse permitiendo generar soluciones diversas (Figura 29).

Figura 28. Sistema tipo tijera representado por barras y planos articulados.



Fuente: Torres, 2021.

Figura 29. Estructuras desplegables sistema tipo tijera



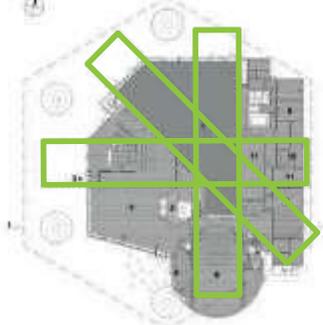
Fuente: Torres, 2021.

Figura 30. Centre Pompidou.



Fuente: De La Tour, 2010.

Figura 31. Planta arquitectónica de Centre Pompidou



Fuente: Ban Architects, 2010.

Figura 32. Vista interna de Centre Pompidou



Fuente: De La Tour, 2010.

2.4.1. Ejemplos arquitectónicos con la aplicación del sistema tipo tijera

2.4.1.1. Centro Pompidou

Ubicación: Metz, Francia

Año: 2010

Arquitectos: Shigeru Ban Architects

El autor de esta obra tenía como meta desarrollar un concepto de diseño que no solo facilitara la exhibición y visualización del arte, sino que también dejara una impresión arquitectónica profunda en los visitantes (Figura 30).

Para lograr esto, se idearon las galerías generales basándose en un módulo de 15 metros de ancho, dando lugar a tres tubos cuadrados simples con volúmenes rectangulares de 90 metros de profundidad en su interior. Estos tres tubos se dispusieron verticalmente alrededor de una torre de estructura de acero con forma hexagonal que albergaba las escaleras y ascensores. El espacio que se formó debajo de los tres techos escalonados se transformó de las Galerías-Tubo originales en la Gran Nef, una única y amplia galería (Figura 31).

Además de las tres Galerías-Tubo, se incorporaron un volumen redondo que contenía el estudio de creación con un restaurante en su parte superior, así como un volumen cuadrado que albergaba

un auditorio, oficinas y otras partes del programa. Para unificar estos elementos de forma cohesiva, se diseñó una estructura de techo de madera en forma de hexágono que se extendía sobre cada uno de los volúmenes individuales (Figura 32). El hexágono no solo cumplía una función estética, sino que también tenía un significado simbólico para los franceses, ya que se asemeja a la forma geográfica de Francia. Además, el diseño del hexágono se inspiró en patrones de hexágonos y triángulos equiláteros, evocando la artesanía tradicional de sombreros y cestas de bambú de Asia.

Como se observa en la Figura 32, la estructura de madera adopta un sistema de tijeras rectas. Esto se debe a que los elementos que componen la tijera están dispuestos en un ángulo de 180 grados entre sí. En este contexto, es notable la elección de esta estructura, principalmente debido a su capacidad para crear espacios amplios y transparentes. Esta característica permite la integración de múltiples áreas que se encuentran en su interior.

2.4.1.2. Estadio Olímpico de Montreal

Ubicación: Canadá

Año: 1976

Arquitecto: Roger Taillibert

El desafío en el diseño de este centro deportivo consistía en crear un espacio que pudiera cubrirse durante ciertos eventos deportivos y, al mismo tiempo, descubrirse para albergar partidos de béisbol y fútbol americano.

En 1972, se presentó el proyecto para un estadio de hormigón armado con una capacidad de 60,000 espectadores. En un lateral, de forma elíptica y con una apertura en el centro, se destacaba una torre inclinada de 165 metros de altura. En esta torre se encontraban anclados tensores que sostenían elementos textiles livianos y fácilmente desplegados destinados a cubrir la zona central del campo cuando fuera necesario. Esto permitiría la realización de actividades tanto al aire libre como bajo techo (Figura 33).

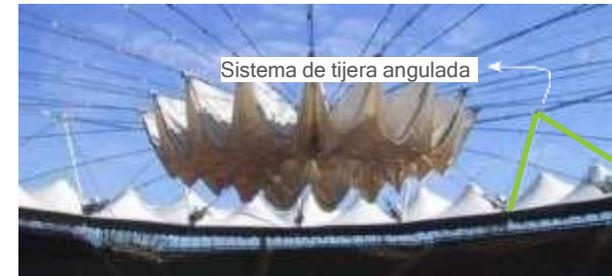
La mencionada torre tenía tres objetivos principales: cubrir parcialmente la piscina olímpica, servir como área de almacenamiento para la cubierta retráctil del estadio y generar una superficie utilizable de 27,000 m².

La cubierta retráctil, fabricada con materiales sintéticos duraderos y resistentes a la pudrición, podía elevarse y descender en menos de 20 minutos, lo que permitiría utilizar el estadio en todas las estaciones del año y en diversas condiciones climáticas. Una vez instalada, debía cubrir un espacio abierto de aproximadamente 18,000 m².

Sin embargo, la cubierta retráctil nunca funcionó según lo previsto debido a las dificultades en su despliegue y a la incapacidad del sistema para operar en presencia de vientos superiores a 40 km/h. En 1992, se decidió mantenerla siempre recogida y en 1998, la cubierta fue retirada y reemplazada posteriormente por otra de color azul que no era retráctil (Figura 34), manteniendo la misma forma que la original.

Este ejemplo muestra el uso de un sistema de tijera de tipo angulado (Figura 35), ya que implica el uso de dos elementos rectos que no forman un ángulo de 180 grados entre sí. Es evidente que la arquitectura en movimiento busca adaptarse a las condiciones cambiantes del clima o a las necesidades de los ocupantes de un espacio. A pesar de que este ejemplo no tuvo un funcionamiento óptimo, sigue siendo un caso que merece estudio para identificar los elementos que fallaron y rescatar lo que funcionó, con el objetivo de obtener diseños funcionales y duraderos.

Figura 33. Cubierta retráctil textil



Fuente: Hightex, 1997.

Figura 34. Vista aérea del Estadio Olímpico de Montreal



Fuente: BestHQwallpapers, 2022

Figura 35. Vista interna del Estadio Olímpico de Montreal



Fuente: dan_prat/iStock Unreleased via Getty Images

Figura 36. Pabellón Xue



Fuente: Torres, 2017.

Figura 37. Estructura del Pabellón Xue



Fuente: Torres, 2017.

Figura 38. Pabellón Xue



Fuente: Torres, 2017.

2.4.1.3. Pabellón Xuê

Tras analizar algunos ejemplos de estructuras que utilizaron el sistema de tijera, nos sumergimos en una escala más adecuada para abordar el proyecto de titulación propuesto. Se trata de un trabajo realizado durante un taller en la PUC Minas en la ciudad de Belo Horizonte, liderado por el grupo de investigación SMiA y coordinado por Hugo Alkmim de Matos y Natalia Torres, con la colaboración del Laboratorio de Fabricación Digital (LEFAD).

El propósito fundamental de este taller fue proporcionar instrucción sobre nuevas estrategias de diseño, destacando el sistema tipo tijera como una opción para la creación de diseños modulares, livianos y transformables.

El pabellón Xuê funciona como un comedor y se ha diseñado como una estructura plegable de madera. Está compuesto por cuatro arcos plegables independientes que forman una bóveda de cañón con una altura libre de 2.30 metros (ver Figura 36). Este pabellón abarca una superficie de 15 metros cuadrados y su propósito es proporcionar una zona sombreada para las mesas que se integran en su estructura (Figura 36, Figura 38).

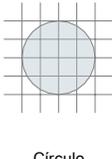
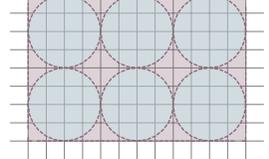
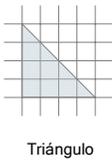
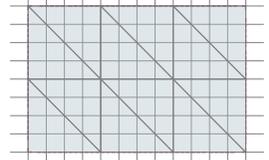
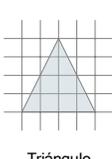
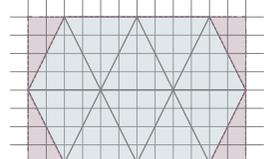
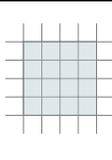
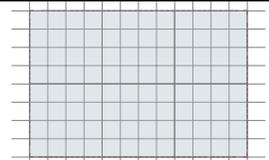
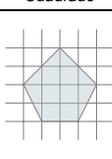
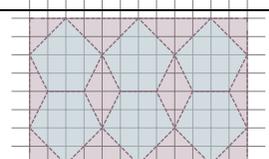
El diseño se basa en la geometría de un heptágono regular, lo que permite definir el arco ideal para la estructura plegable (Figura 37). La utilización de geometría de polígonos regulares es parte de un enfoque de investigación que ayuda a determinar el número de módulos de tijeras necesarios, las dimensiones y las características de los puntos de articulación entre los componentes de la tijera para lograr la geometría deseada (Torres y Peña, 2017).

Durante el taller, se exploraron nuevas estrategias de diseño, aprovechando la plegabilidad como una opción para crear estructuras transformables y modulares. El sistema tipo tijera permitió investigar diversas configuraciones espaciales basadas en la comprensión de la geometría básica de polígonos y poliedros, así como en la comprensión de superficies planas y curvas.

La propuesta de kits para configurar estructuras desplegadas con el STT (Sistema Tipo Tijera) introduce una nueva metodología para comprender este tipo de estructuras. La precisión de las piezas cortadas con láser y la impresión 3D permite crear maquetas con mayor calidad de detalle y precisión, lo que facilita la observación del comportamiento de la estructura a escala y el análisis de posibles fallos.

Proceso de diseño y materialización del prototipo

Figura 39. Análisis de geometrías

Figura geométrica	Agrupación	1	2	3
 Círculo			x	
 Triángulo rectángulo			x	x
 Triángulo isósceles			x	
 Cuadrado		x	x	x
 Pentágono				
Simbología	 Figura  Área residual  Área de cobertura  Segmentación			

Elaboración: Autores

3. Proceso de diseño y materialización del prototipo

3.1. Proceso de diseño

3.1.1 Contextualización y consideraciones iniciales para el diseño

En la ciudad de Cuenca, no se encuentra la aplicación de la arquitectura cinética en espacios públicos, más bien existen algunas propuestas en cuanto a envolventes para fachadas con el fin de optimizar el confort lumínico. En este sentido, este trabajo propone un enfoque hacia la sociedad y sus necesidades, con la ayuda de un prototipo multifuncional, el cual pueda aplicarse en la mayoría de plazas de la ciudad y sirva de apoyo para la realización de eventos culturales y festividades, contribuyendo a la formación de espacios públicos activos.

La idea general de este proyecto, se atribuye al trabajo de posgrado del Arq. Yaniv Hatiel (2018) titulado: Kinetic Architecture Response Systems For Intensive Cities, en donde se menciona un estudio realizado por OMA que indica que las ciudades deberían poder adaptarse a la vida del siglo XXI mediante la mayor variedad de eventos públicos y con una cantidad mínima de elementos permanentes, esto contribuiría a terminar con los espacios poco utilizados. La idea es que la arquitectura cinética pueda responder al constante cambio del ritmo

cotidiano de las personas, permitiendo generar un espacio de respuesta no solo en el ámbito social sino también en el político y económico.

El prototipo debe cumplir con características de multifuncionalidad y capacidad adaptativa, es decir, podrá ser usado como cubierta en ciertos casos, como asiento en otros, también como elementos de accesibilidad hacia tarimas o escenarios o simplemente mantenerse oculto cuando es necesario mantener libre el espacio, todo esto gracias a su diseño modular; por otro lado, se pretende que el diseño pueda replicarse en casi cualquier plaza de la ciudad, aportando de esta manera a la diversificación de actividades en un mismo espacio público y logrando que este se mantenga vigente ante el continuo cambio que experimenta la sociedad a través de los años.

En el primer capítulo de este trabajo se concluye que el prototipo no es aplicable a las plazas del centro histórico de la ciudad de Cuenca, debido a sus cortas extensiones y que, a diferencia de otros centros históricos de Latinoamérica, el de la ciudad de Cuenca se encuentra en constante observación y mejoramiento, tal como lo plantea el Plan de Recuperación y Mejoramiento del espacio público en el Centro Histórico, realizado por la municipalidad de Cuenca en el año 2016. Además, se pudieron constatar en los últimos años proyectos de remo-

delación como el mercado 9 de Octubre y su plaza cívica en 2009, el de la plaza de San Francisco en 2018 y la revitalización urbana de la Plaza Rotary en 2020.

En este sentido, se decide tomar en cuenta 2 plazas de la ciudad de Cuenca externas al centro histórico, debido a análisis previos en trabajos de titulación acerca de su funcionamiento y utilidad. Primero la plaza Miraflores, Sacoto, K.(2018) en su proyecto final de Carrera titulado Red de Recuperación de Espacios Públicos Deteriorados en Cuenca Caso: Plaza de Miraflores, menciona que la plaza de Miraflores, a pesar de poseer una extensión considerable para realizar distintas actividades, la mayor parte del espacio se encuentra desaprovechado debido a la falta de mobiliario y elementos urbanos que permitan generar espacios de estancia.

Por otro lado, en el trabajo de titulación denominado El uso de la Plaza como espacio público de calidad caso de estudio “La plaza del Otorongo”, Astudillo, P (2019) menciona que la única actividad que realizan las personas que llegan a este espacio público es transitoria, es decir, resulta necesario pensar en implementar elementos que prolonguen la estancia de los usuarios y generen un espacio público activo.

3.1.2 Aproximación a la forma

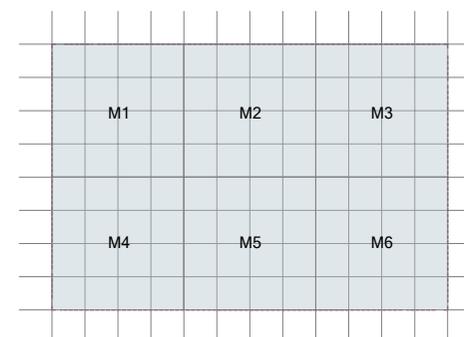
Como punto de partida, se toma como referencia los escritos de Le Corbusier durante su paso por Italia a finales de 1911, en uno de ellos escribió:

“Clamo por la geometría elemental; estoy poseído por el color blanco, el cubo, la esfera, el cilindro y la pirámide. Los prismas se elevan y se equilibran entre sí, estableciendo ritmos... bajo el sol del mediodía los cubos se aplanan convirtiéndose en una superficie, en el crepúsculo un arco iris parece elevarse de las formas. Por la mañana son reales, arrojan luz y sombra y se perfilan claramente como un dibujo...”.

En tal sentido, para llegar a la forma que tendrá el prototipo, se desarrolla un análisis de los elementos geométricos más sencillos, estudiando las distintas posibilidades que ofrecen y estableciendo un módulo de diseño que contribuirá a crear ritmo y generar una estructura mucho más funcional y eficiente, tomando en cuenta que éste debe ser fácil de replicar y con un porcentaje bajo de residuos materiales.

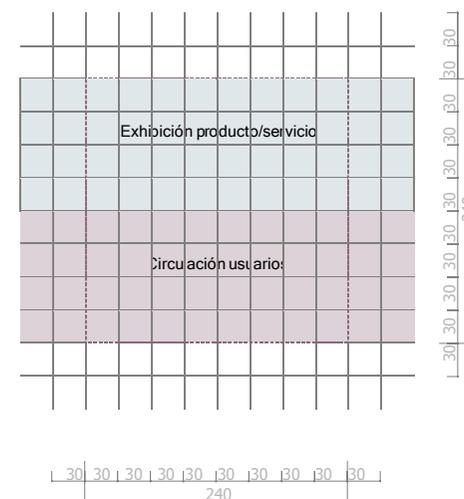
Sobre la base de las consideraciones anteriores, primero se realiza un análisis de la geometría óptima para la superficie del prototipo, ésta va a regir

Figura 40. Agrupación de módulos cuadrados



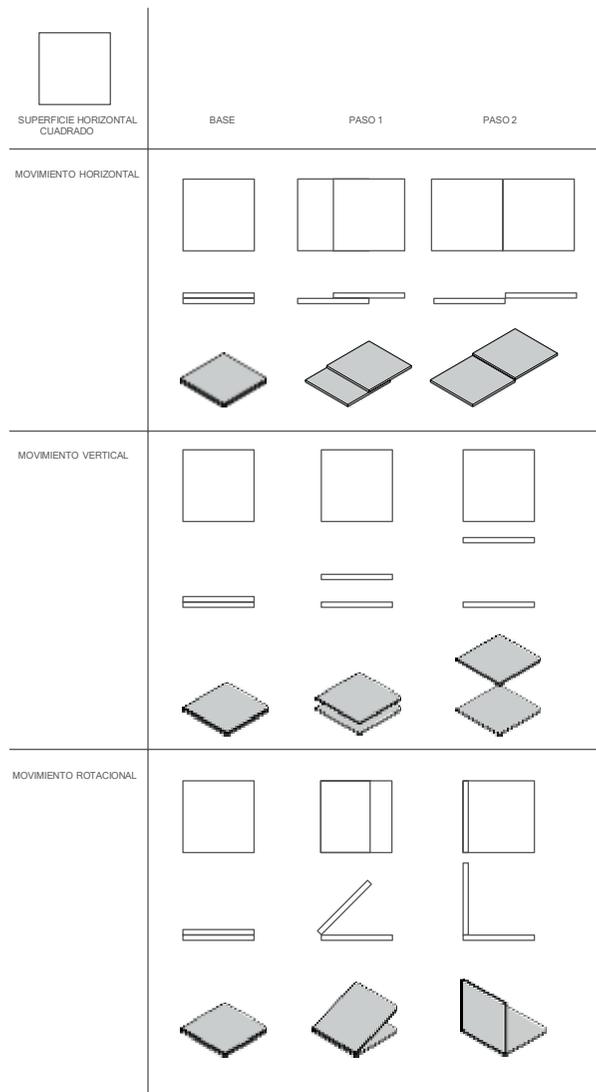
Elaboración: Autores

Figura 41. Módulo de diseño. Dimensión final.



Elaboración: Autores

Figura 42. Posibilidades de movimiento para el diseño del prototipo



Elaboración: Autores

todas las posibles utilidades del mismo, recordando que debe ser útil como piso, asiento y cubierta; además, debe tener la capacidad de poder agruparse con otros módulos para formar plataformas o cubiertas de mayor dimensión. En este sentido, se desarrollan una serie de dibujos digitales que indican cómo se comporta la geometría analizada.

Para la elección de la geometría óptima, se toman en cuenta 3 factores claves, estos son: posibilidad de fragmentación (1), posibilidad de agrupación (2) y superficie de cobertura (3). El primero hace referencia a las posibles subdivisiones que podría tener el elemento, tratando de que éstas no sean complejas si no más bien regulares entre sí; después, se analiza si la figura forma una superficie homogénea al momento de agruparse, por último se toma en cuenta cómo el elemento al momento de agruparse puede cubrir una superficie, permitiendo de este modo aprovechar al máximo todo el espacio constituido.

Según la figura 30, podemos concluir que la geometría que mejor se adapta a las necesidades mencionadas anteriormente es el cuadrado, esta figura posibilita una segmentación perfecta, sin reazos ni formas complicadas al momento de agruparlos (Figura 31); además, se toma en cuenta el factor de la materialidad, debido a que resulta más eficiente que exista el menor número de cortes y

desperdicios al momento de su fabricación en serie.

Por otro lado, es importante definir el módulo de diseño que se utilizará para llegar de este modo a la dimensión correcta del prototipo. Corredera (2020) en su tesis titulada "El módulo en la Arquitectura" menciona lo siguiente:

La arquitectura modular está basada en el diseño de sistemas compuestos por formas geométricas simples o módulos separados que, mediante su conexión, crea una unidad arquitectónica útil, y en la mayoría de casos habitable, residiendo la belleza de esta arquitectura en la posibilidad de crear infinidad de espacios diferentes a través de la composición de los diversos módulos. (p.9)

Para definir entonces el módulo de diseño, se toma en cuenta las dimensiones de la mayoría de materiales utilizados en nuestro medio para la construcción, encontramos por ejemplo medidas de 1.20m, 2.40m, 3m y 6m . Por lo mencionado anteriormente, se define como módulo de diseño la medida de 30cm; además, se toma en cuenta que el prototipo debe cubrir mínimo un puesto ferial, con suficiente espacio para la circulación de los usuarios y el área necesaria para los exhibidores de productos o servicios. A continuación se detallan dichas dimensiones y se define la medida total que tendrá

el prototipo.

Tomando en cuenta el módulo de diseño de 30cm, se pudo concluir que al juntar 8 módulos se obtiene una dimensión ideal para llevar a cabo las actividades que exige un puesto ferial, en este sentido, el prototipo de desarrollará en un espacio de 2.40m x 2.40m, siendo éstos distribuidos en 8 módulos de largo y 8 módulos de ancho; para definir el espacio de circulación se toma en cuenta la dimensión de 1.20m, la cual es cómoda para transitar sobre todo en espacios públicos (Figura 32).

3.1.3 Posibilidades de movimiento

Una vez definida la forma que tendrá el prototipo, se procede a desarrollar un análisis de los posibles movimientos que puede tener, considerando los usos a los que está destinado. Una superficie horizontal cuadrada presenta una variedad de opciones de desplazamiento y rotación.

Según la Figura 33, podemos concluir que los movimientos que mejor satisfacen los usos planteados son el vertical y el rotacional. El movimiento vertical permite al prototipo el uso de cubierta y el movimiento rotacional el uso de pared. Debido a que el prototipo forma parte de un sistema modular expandible hacia el sentido horizontal, no es necesario este movimiento.

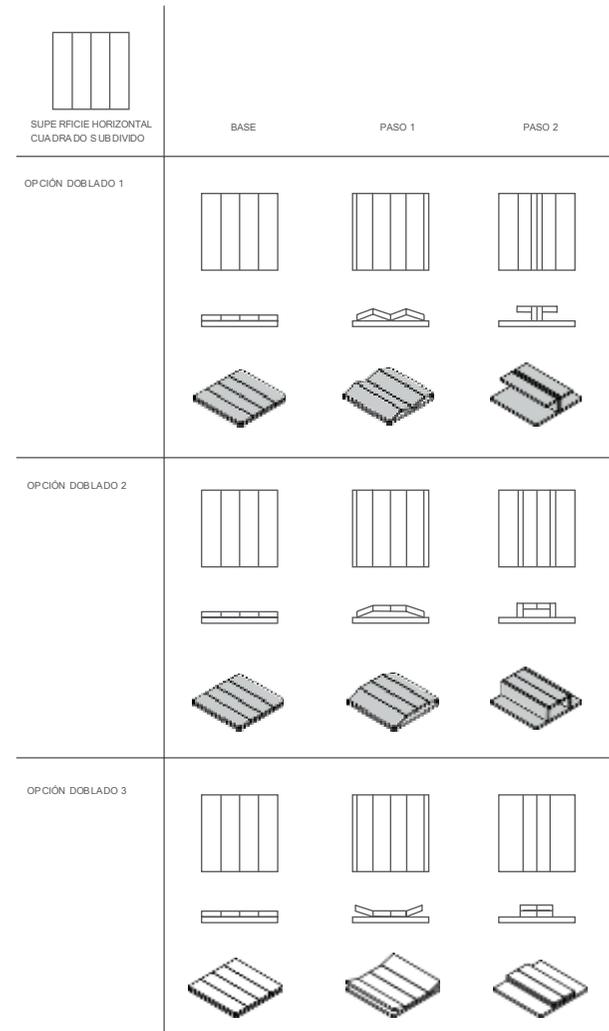
La segunda subdivisión en el mismo componente permite diferentes tipos de movimiento de doblado e incrementa el rango de posibilidades. En este sentido, se pueden conseguir usos como bancas, rampas, etc.

Podemos observar, según la Figura 34, que existen tres opciones de doblado que permiten al prototipo la función de banca. Sin embargo, se debe tener en cuenta algunos factores que determinan la eficiencia y factibilidad de cada opción. Si bien las tres opciones satisfacen el uso para el que están destinados, la opción tres presenta una forma estéticamente superior, un armado y desarmado más sencillo y considera un mantenimiento más simple en caso de ser necesario.

3.1.4. Método de diseño

En la actualidad existen diversos procedimientos para generar ideas de una forma que solucione un ejercicio arquitectónico. En este caso, es importante reconocer las diferentes cargas a las que estará sometido el prototipo para que pueda funcionar de manera correcta y segura, por lo que se prefirió el método de diseño estructural. El diseño estructural es un método de estudio de la estabilidad, resistencia y rigidez de las estructuras, y su función principal es asegurar la estabilidad de ellas mediante el uso correcto de los materiales y su diseño.

Figura 43. Posibilidades de movimiento con fragmentación para el diseño del prototipo



Elaboración: Autores

Para la correcta elaboración de la estructura se debe tener en cuenta algunas normas que facilitan el proceso de diseño: La NEC-15 (Norma Ecuatoriana de Construcción), la INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y la AISI S100 (American Iron and Steel Institute). De la misma manera, se utiliza el programa SAP 2000 que permite realizar la modelación, análisis y dimensionamiento de casos de ingeniería de estructuras basado en métodos matriciales.

3.1.5. Análisis de cargas

Las cargas generan fuerzas que actúan sobre una estructura y pueden afectar su vida útil si no se los analiza correctamente. Las cargas pueden presentarse en diferentes direcciones; horizontales, verticales, inclinadas, etc. (NEC, 2015)

Tabla 1. Clasificación de cargas de la NEC

Clasificación de las cargas		
Permanentes	Variables	Accidentales
- Materiales - Instalaciones - Cargas geológicas	- Carga viva - Carga de viento - Cargas de granizo	- Cargas sísmicas

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG 26-1, 2015.

Gallegos (2015) nos indica que la estimación de las cargas depende de varios parámetros, siendo los más importantes el diseño de la estructura, el lugar donde se construirá y las normas que se de-

ben cumplir. Por lo tanto, la determinación de estos parámetros se convierte en una de las tareas más importantes del diseñador.

Una vez que se ha identificado las cargas que actúan sobre la estructura, es importante establecer posibles combinaciones entre ellas. Existen normas como INEN-14 y NEC-15 que recomiendan algunas combinaciones (Gallegos, 2015)

Tabla 2. Combinaciones de carga de la NEC

Combinaciones de carga	
Símbolos y notación	D = Carga permanente E = Carga de sismo L = Sobrecarga (carga viva) Lr = Sobrecarga cubierta (carga viva) S = Carga de granizo W = Carga de viento
Combinación 1	1,4D
Combinación 2	1,2D + 1,6L + 0,5max[Lr ; S ; R]
Combinación 3	1,2D + 1,6max[Lr ; S ; R] + max[L ; 0,5W]
Combinación 4	1,2D + 1,0W + L + 0,5max[Lr ; S ; R]
Combinación 5	1,2D + 1,0E + L + 0,2S
Combinación 6	0,9D + 1,0W
Combinación 7	0,9 D + 1,0 E

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG 26-1, 2015

3.1.5.1. Carga muerta

La carga muerta tiene una magnitud constante y actúa de manera permanente a lo largo de la vida útil de la estructura. La mayor parte de la carga muerta es el peso muerto de la estructura, por lo

que se puede determinar a partir del tamaño de la estructura y la densidad del material especificado en el diseño.

3.1.5.2. Carga viva

La carga viva que se utiliza depende del uso previsto de la estructura y está conformada por el peso de personas, muebles, equipos y accesorios no fijos, mercadería en transición y otras. Para la asignación de esta carga se tiene en consideración la NEC (2015), la cual establece cargas mínimas para las diferentes ocupaciones o usos. Se aceptarán las cargas representativas de los diferentes usos previstos: tránsito peatonal, asiento, cobertura y pared de exhibición.

Tabla 3. Sobrecargas mínimas para los usos especificados

Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, L0, y concentradas P		
Ocupación o uso	Carga uniforme (kN/m2)	Carga concentrada (kN)
Asientos fijos	2.90	
Asientos móviles	4.80	
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paso	3.00	
Sistema de piso para circulación	2.40	9.00
Plataforma de reunión	4.80	

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG 26-1, 2015

3.1.5.3. Carga de sismo

Para determinar la carga de sismo se utiliza el Di-

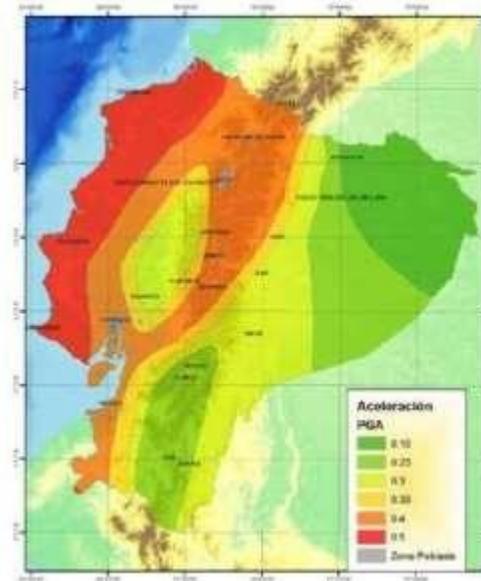
seño basado en fuerzas. El DBF (Diseño basado en fuerzas) es el método de referencia de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) utilizado para cualquier estructura, es un proceso sencillo que pretende reducir el daño sísmico en las estructuras mediante factores de reducción R, al cual se le agregan más factores que dependen de la importancia y regularidad de la estructura para modificar resistencia de sus componentes. Carrión (2013) resume al DBF de la siguiente manera:

- Predimensionamiento del periodo elástico de la estructura con análisis de cargas del sistema
- Evaluación de masa y rigidez de la estructura
- Definición de acción sísmica, espectro de aceleraciones de diseño considerando ductilidad y la capacidad de disipación de energía
- Cálculo del periodo fundamental de la estructura
- Cálculo de cortante en basal
- Cálculo de fuerzas cortantes y momentos
- Diseño por capacidad de elementos estructurales (Carrión, 2013)

Formulas:

A continuación se presentan las ecuaciones y tablas que ayudan en el cálculo de el diseño sísmico según la NEC (2015):

Figura 44. Mapa para diseño sísmico



Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 4. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 5. Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > Vs > 760 m/s

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 6. Ecuación del Espectro de diseño

Espectro de diseño	
Fórmula	
$S_a = n * Z * F_a * (T_c / T)^r$	
Simbología	
n	Razón entre aceleración espectral y el PGA para el período de retorno seleccionado
r	Factor utilizado para el espectro de diseño elástico
T	Período fundamental de vibración de la estructura
T _c	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico
Z	Aceleración máxima en roca esperada

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 7. Ecuación Período de vibración

Período de vibración T	
Fórmula	
$T = C_t * h_n^\alpha$	
Simbología	
H _n	Máxima altura de la edificación de n pisos
T	Período de vibración
C _t	Coficiente que depende del tipo de edificio

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 8. C_t Coeficiente que depende del tipo de edificio

Tipo de estructura	C _t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Porticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 9. Ecuación del Espectro de diseño

Periodo de vibración T_c	
Fórmula	
$T_c = 0.55F_s^* (F_d/F_a)$	
Simbología	
Fa	Coficiente de amplificación de suelo: Periodo corto.
Fd	Coficiente de amplificación de suelo: Ordenadas del espectro elástico para diseño en roca
Fs	Coficiente del comportamiento no lineal de los suelos.

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 10. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Tabla de clasificación de los perfiles de suelo y punto 10.6.4 NEC-15					

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 11. Desplazamientos para diseño en roca

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Tabla de clasificación de los perfiles de suelo y punto 10.6.4 NEC-15					

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 12. Coeficiente no lineal de los suelos F_s

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Tabla de clasificación de los perfiles de suelo y punto 10.6.4 NEC-15					

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 13. Ecuación de cortante basal de diseño

Cortante basal de diseño	
Fórmula	
$S_a = \frac{I S_a(T_a) * W}{R O_p O_e}$	
Simbología	
Sa(Ta)	Espectro de diseño en aceleración
Op y Oe	Coficientes de configuración: Planta y elevación
I	Coficiente de importancia
R	Factor de reducción de resistencia sísmica
V	Cortante basal total de diseño
W	Carga sísmica reactiva
Ta	Periodo de vibración

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 14. Coeficiente no lineal de los suelos F_s

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HA,	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	3

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-DS, 2015

Tabla 15. Configuración estructural recomendada Op

Coeficientes en planta	Op
La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al centro de masa	1

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

Tabla 16. Configuración estructural recomendada Oe

Coeficientes de irregularidad en elevación	Oe
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aperticados, es constante en todos los niveles	1
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional.	1

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

3.1.5.4. Carga de viento

Las cargas de viento se calculan como se muestra en el numeral 3.2.4. de la NEC (2015). La norma considera a las cargas de viento como fuerza horizontal sobre los elementos de fachada. Las siguientes ecuaciones se utiliza para determinar el viento y la presión:

Tabla 17. Ecuación velocidad de viento corregido

Carga de viento	
Fórmula	
$V_b = V \cdot \alpha$	
Simbología	
Vb	Velocidad corregida
V	Velocidad de diseño
α	Coefficiente de corrección

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

Tabla 18. Ecuación de la presión

Presión	
Fórmula	
$P = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot c_e \cdot c_f$	
Simbología	
P	Presión de cálculo expresada en Pa
ρ	Densidad del aire expr
c _f	Coefficiente de entorno/altura

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

Tabla 19. Coeficiente de corrección

Altura	Sin obstrucción. Cat. A	Obstrucción baja. Cat. B	Zona edificada. Cat. C
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

Tabla 20. Determinación del factor de forma Cf

Construcción	BAR	SOTA
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con unadimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 - 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60	+0.3-+0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

Tabla 21. Determinación simplificada del factor de forma

Construcción	Coefficiente Ce
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos afachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

3.1.5.5. Carga de granizo

La carga de granizo se calcula como se muestra en el numeral 3.2.5. de la NEC (2015) mediante la siguiente fórmula:

Tabla 22. Ecuación velocidad de viento corregido

Carga de granizo	
Fórmula	
$S = p_s * H_s$	
Simbología	
p	Peso específico del granizo (Kg/m ³)
Hs	Altura de acumulación (m).

Fuente: CPE INEN-NEC-SE-CG, 2015

3.2. Diseño y materialización del prototipo

Teniendo en consideración que el prototipo va a encontrarse expuesto al exterior, la estructura debe desarrollarse en un material resistente a la intemperie, en este caso el acero; en nuestro medio podemos encontrar el acero estructural convencional en color negro o galvanizado, y por otro lado, un material poco usado pero que ha ido tomando fuerza en los últimos años, el Steel Frame.

3.2.1. El acero estructural

El hierro y sus aleaciones fueron los primeros metales en ser utilizados industrialmente para soportar estructuras. Su entrada al campo de la construcción es relativamente reciente, pues la producción de hierro soldable requiere mucho esfuerzo, y durante siglos su uso estuvo limitado a los productos más necesarios y caros: armas e implementos agrícolas (Quiroga, 2021).

Las primeras estructuras metálicas fueron puentes (alrededor de 1800), y posteriormente se construyeron edificios, con el edificio de 12 pisos en Chicago en 1887 y el Empire State Building de 85 pisos y 379 metros de altura en Nueva York en 1931. Gracias al desarrollo de la metalurgia y la soldadura eléctrica, se ha incrementado el uso del acero y la construcción dejó de estar limitada a sistemas

tradicionales como a la mampostería de piedra, de ladrillo y a la madera.

La característica principal de la estructura de acero moderna es la simplificación y la esbeltez. El acero ha ido desarrollando un uso en edificios residenciales y de oficinas, aunque los avances en la tecnología del hormigón armado lo han limitado.

Tipos de acero adecuados para la construcción

La selección del tipo de acero depende de las necesidades específicas del edificio y su ubicación. Quiroga (2021) menciona algunos factores a considerar al elegir el mejor tipo de acero para cada proyecto:

- **Por sus propiedades mecánicas:**

Resistencia: la capacidad de resistir fuerzas sobre la estructura

Rigidez: permite que el acero limite su desplazamiento horizontal

Ductilidad: la capacidad del acero para exhibir grandes deformaciones

Soldabilidad: la facilidad de unir dos o más piezas de acero

Tenacidad: la medida necesaria para deformar el acero hasta que se rompa

- **Por los tipos de acero:**

Acero corten: material de capa color rojo, resistente a la corrosión y se utiliza principalmente en puentes, estructuras, fachadas y puertas metálicas

Acero corrugado: Es una placa de acero que consta de barras con relieves, que permite adherirse al concreto.

Acero galvanizado: Acero recubierto de zinc altamente resistente a la corrosión

Acero Laminado: Acero realizado en caliente utilizado principalmente en estructura de edificios y obras de ingeniería.

3.2.2. El Steel Frame

El Steel Frame (SF) es un sistema constructivo cuya característica principal es una estructura compuesta por perfiles de acero galvanizado conformado en frío, paneles estructurales y no estructurales, vigas secundarias y otros componentes. Al ser un sistema desarrollado industrialmente, es capaz de producir una estructura en seco con una ejecución rápida (Sarmanho & Moraes, 2007).

El origen del Steel Framing se remonta a principios del siglo XIX. Históricamente comenzó con cabañas de troncos construidas por colonos en los territorios de América del Norte. Para dar cabida al aumento de la población, fue necesario adoptar métodos más rápidos y eficientes de construcción de viviendas con materiales disponibles en la zona,

en este caso la madera, con un sistema conocido como “Wood Framing “. Un siglo después aproximadamente, en 1933, se produjo un gran desarrollo del acero en los Estados Unidos y apareció el primer prototipo de una residencia en Steel Framing que incorporaba perfiles de acero, expuesto en la Feria Mundial de Chicago (Sarmanho & Moraes, 2007).

El progreso de la fabricación de perfiles conformados en frío y la preferencia por los perfiles de acero en lugar de la madera, se vieron impulsados por los acontecimientos de la Segunda Guerra Mundial, por las ventajas de estos elementos, como mayor resistencia, eficiencia estructural, así como la capacidad de soportar desastres naturales como terremotos y huracanes. Para finales de la década de los 90, un 25% de las residencias en Estados Unidos se basaron en el sistema del SF. Si bien este sistema constructivo es muy utilizado en países donde la construcción es predominantemente industrializada, aún es relativamente poco conocido en países latinoamericanos donde predominan los métodos artesanales (Sarmanho & Moraes, 2007).

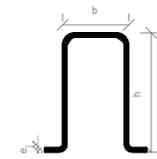
Las paredes que componen la estructura se denominan paneles estructurales o paneles autoportantes, están formados por un gran número de perfiles galvanizados muy ligeros, llamados montantes,

con una distancia entre sí de 400 o 600 mm. Esta dimensión se determina a partir de los cálculos estructurales y determina cómo se modula el proyecto. La modulación optimiza el costo y la mano de obra al estandarizar la estructura. El revestimiento de estos paneles puede ser de diferentes materiales, aunque en el exterior se suele utilizar tablero de cemento u OSB (oriented strand board) y en el interior es de yeso cartón (Sarmanho & Moraes, 2007).

El entrepiso se construye siguiendo el mismo principio que los paneles, utilizando perfiles galvanizados colocados en horizontal y siguiendo la misma modulación que los montantes. Estos perfiles son vigas que actúan como estructura de soporte del material que forma la superficie del contrapiso. Los perfiles del entrepiso se apoyan en los montantes de modo que sus almas coinciden con las del montante. Esta disposición garantiza que las fuerzas axiales predominen en los elementos estructurales (Sarmanho & Moraes, 2007).

Para la cubierta, el arquitecto tiene varias soluciones. Muchas veces la elección del techo estará influenciada por el estilo o tendencia de la época. La versatilidad del sistema SF brinda a los arquitectos libertad de expresión. Para cubiertas inclinadas, la solución es muy similar a la construcción habitual con montantes, pero en lugar de perfiles galvani-

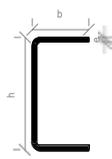
Tabla 23. Comparación perfil omega



CARACTERÍSTICAS	DIPAC	TUGALT
Dimensiones (mm) - bx-hxcxe	35x50x20x2	35x45x32x1,64
Masa (Kg/m)	2,54	2,2
Área (m²)	3,24	2,75
Momento de Inercia Ix (cm4)	11,25	7,86
Momento de Inercia Iy (cm4)	-	12,07
Módulo Resistente Wx (cm3)	4,36	4,32
Módulo Resistente Wy (cm3)	10,93	2,66

Fuente: DIPAC. TUGALT.

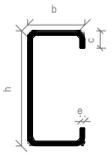
Tabla 24. Comparación perfil C



CARACTERÍSTICAS	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT
Dimensiones (mm) - hxbxe	80x40 x2	94x35 x1,64	100x50 x2	104x35 x1,64	150x50 x2	154x35 x1,64	200x50 x2	204x35 x1,64
Masa (Kg/m)	2,4	1,99	3,02	2,12	3,81	2,7	4,59	3,34
Área (m ²)	3,07	2,53	3,87	2,69	4,87	3,49	5,87	4,29
Momento de Inercia Ix (cm ⁴)	30,8	32,9	61,5	41,81	138	108,1	316	218
Momento de Inercia Iy (cm ⁴)	4,89	2,88	9,72	2,96	10,9	3,27	11,8	3,46
Módulo Resistente Wx (cm ³)	7,71	7	12,3	8,04	21,1	14,04	31,6	21,37
Módulo Resistente Wy (cm ³)	1,68	1,08	2,66	1,09	2,8	1,14	2,88	1,16

Fuente: DIPAC. TUGALT.

Tabla 25. Comparación perfil G



CARACTERÍSTICAS	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT	DIPAC	TUGALT
Dimensiones (mm) - hxbxcxe	80x40 x15x2	90x40 x15x1,64	100x50 x15x2	100x40 x15x1,64	150x50 x15x2	150x40 x15x1,64	200x50 x15x2	200x40 x15x1,64
Masa (Kg/m)	2,75	2,44	3,38	2,57	4,16	3,34	4,95	3,85
Área (m ²)	3,54	3,07	4,34	3,23	5,34	4,03	6,34	4,96
Momento de Inercia Ix (cm ⁴)	35,25	38,3	69,24	49,01	178,7	128,99	354,9	271,87
Momento de Inercia Iy (cm ⁴)	8,07	7,33	14,98	7,61	17,13	8,68	18,59	11,82
Módulo Resistente Wx (cm ³)	8,81	8,51	13,85	9,82	23,83	17,2	35,49	27,19
Módulo Resistente Wy (cm ³)	3,18	2,88	4,57	2,91	4,78	3,02	4,91	3,55

Fuente: DIPAC. TUGALT.

zados, se utiliza madera. Las tejas pueden ser de cerámica, acero, cemento reforzado con fibras sintéticas u hormigón. También se utilizan baldosas de material asfáltico (Sarmanho & Moraes, 2007).

3.2.3. Materialización del Prototipo

Para este trabajo se tomaron en consideración dos empresas muy reconocidas en el medio, la empresa DIPAC para el análisis del acero convencional y la empresa TUGALT para el estudio de los perfiles de acero galvanizados de bajo espesor. DIPAC utiliza la norma INEN-2415 de calidad ASTM A36 – SAE J 403 1008 para la fabricación del acero y por otro lado TUGALT, quienes se basan en la norma INEN 2526 con calidad ASTM C955 - AISI S100 - AISI S240. Para el análisis, se tomará en cuenta la normativa utilizada, comparando 3 tipos de perfiles existentes en el mercado y semejantes entre sí, estos son: perfil C, Perfil G y Perfil Omega.

Frente a lo expuesto en las tablas anteriores y considerando que las características que van a guiar la elección de la materialidad son la masa (kg/m) y el módulo resistente (cm³), podemos concluir que el Steel Frame es un material mucho más liviano que el acero convencional y que su resistencia tampoco difiere en gran medida; conforme a lo mencionado, resulta importante destacar que una estructura resistente y al mismo tiempo liviana, posibilitará

un mejor funcionamiento del prototipo ya que éste debe tener sobre todo facilidad de movimiento.

En este sentido, se selecciona al Steel frame como el material ideal para la construcción de los entrepisos que conformarán el prototipo, por otro lado, se toma en cuenta al acero tradicional para la construcción del mecanismo de pliegue y despliegue, debido a que este material posee perfiles con espesores mayores al steel frame, lo cual posibilitará una mayor durabilidad al mecanismo que se someterá a constante movimiento.

Con respecto al material que se utilizará para la superficie, resulta necesario tomar en cuenta que ésta debe ser llana y plana, debido a que debe funcionar como piso, pared y cubierta; además, debe estar debidamente impermeabilizada y contar con el menor peso posible, con el fin de posibilitar mayor facilidad de movimiento. Existen dos tipos de cubiertas, la primera de tipo seca (Figura 36), en la cual predominan materiales como el OSB y una barrera de agua y viento ancladas a la estructura de Steel Frame; la segunda de tipo húmeda (Figura 37), la cual cuenta con una chapa metálica, una carpeta de hormigón armado, impermeabilización y un piso de terminado.

Tomando en cuenta las características que debe tener la superficie, se opta por trabajar con una cu-

bierta plana de tipo seca, sobre todo para aminorar el peso total del prototipo; tomando en cuenta que la estructura debe ser factible para la construcción en la ciudad de Cuenca, se recopilan los materiales disponibles en el mercado, con sus respectivos formatos y la empresa que los fabrica o distribuye dentro de la ciudad o el país. En este sentido, el piso de PVC posibilitaría un menor peso en el prototipo completo.

Tabla 26. Materiales disponibles en el mercado

Zona	Material	Formato o perfiles disponibles	Empresa
Entrepiso (estructura)	Steel frame	PGC89x41x13-PG-05x41x13 e=0.93-2.60mm PGU 89x38-PGU 305x38 e=0.93-2.60mm	TUGALT
Mecanismo (pliegue y despliegue)	Acero estructural	Tubo cuadrado: 20x20x1.2mm - 100x100x5mm	DIPAC
Entrepiso (rigidizador)	Fibro cemento	2440 x 1220 mm e=14-17-20mm	SICON
Entrepiso (barrera de agua y viento)	Lámina asfáltica	Rollos de 10 m2. (1x10m)	IMPTEK (chova del Ecuador)
Terminado de piso	Piso deck PVC Madera de Teca	Ancho: 166mm. e=25mm. Peso=2.52kg/ml - 607.23kg/m3 Peso = 690 kg/m3	BAUMTEC MADERAME

Fuente: Tugalt. Dipac. Sicon. Imptek. Baumtec. Maderame.

Tabla 27. Requisitos mecánicos para materias primas con recubrimiento de Zn-Al-Mg

Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)
250	330	200

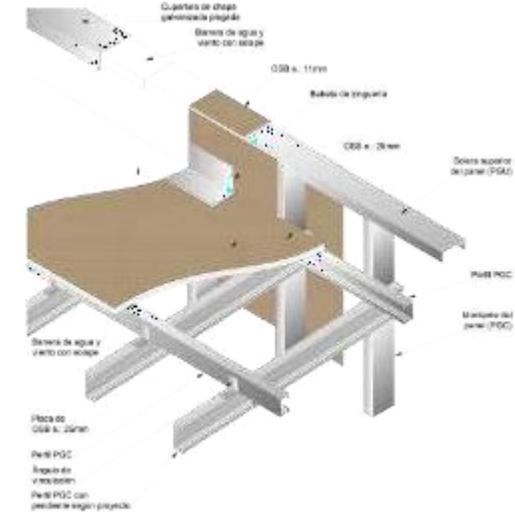
Fuente: INEN 2415:2016. SAE J403. SAE J403.

Tabla 28. Requisitos mecánicos para perfiles livianos

Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)
250	365	29,500 ksi (203,000 MPa, or 2,070,000 kg/cm2)

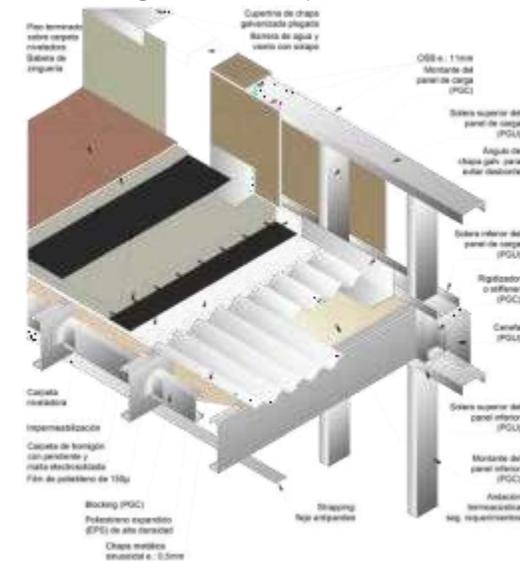
Fuente: INEN 2526:2010. AISI S100-16w/S1-18.

Figura 45. Cubierta seca con pendiente mínima



Fuente: Instituto de la construcción en seco, 2018.

Figura 46. Cubierta plana húmeda

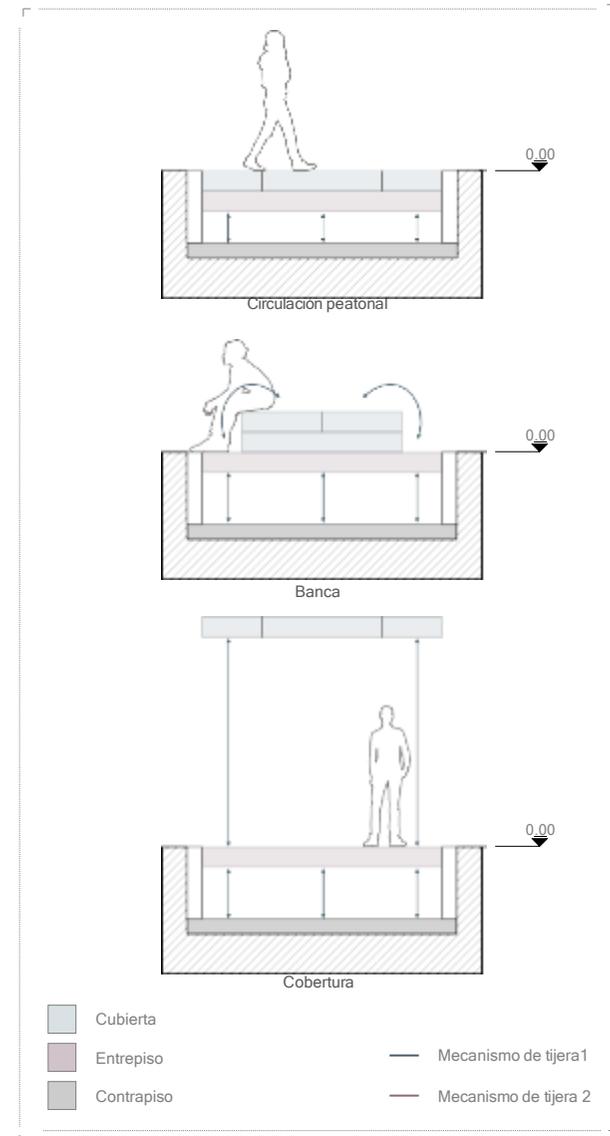


Fuente: Instituto de la construcción en seco, 2018.

3.3. Predimensionamiento

Se propone desarrollar el prototipo en tres cuerpos horizontales, cada uno con una función específica. El primero, denominado “contrapiso”, estará en contacto directo con el suelo y será responsable de soportar a los dos cuerpos superiores mediante un mecanismo de pliegue y despliegue conocido como tijera. El segundo cuerpo, designado como “entrepiso”, será utilizado para circulación peatonal. Por último, el tercer cuerpo podrá transformarse para cumplir la función de cubierta y asiento, y se designará con el nombre de “cubierta”. La Figura 38 permite un mayor entendimiento de lo mencionado anteriormente.

Figura 47. Esquemas de composición del prototipo



Elaboración: Autores

3.3.1. Cubierta

A continuación, se presenta el predimensionamiento del tercer cuerpo, teniendo en cuenta las características de la estructura y los materiales que se utilizarán para su construcción.

Tabla 29. Datos generales cubierta

Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Longitud de la luz (L)	2,4	m
Resistencia del material	250	MPa
Separación entre perfiles (d)	0,3	m
Perfil mínimo para entrepiso	PGC 150 x 0.90	mm
Fluencia del Steel Frame (Fy)	250	MPa
Carga viva	4,8	KN/m2
	480	kg/m2

Elaboración: Autores

Los datos generales expuestos en la Tabla 29, fueron obtenidos anteriormente a lo largo del desarrollo de este trabajo; a continuación, se definirá la carga muerta (D) del prototipo, teniendo en consideración que este término hace referencia al peso propio de los materiales que van a conformar la cubierta y que tendrán que soportar los perfiles de la misma.

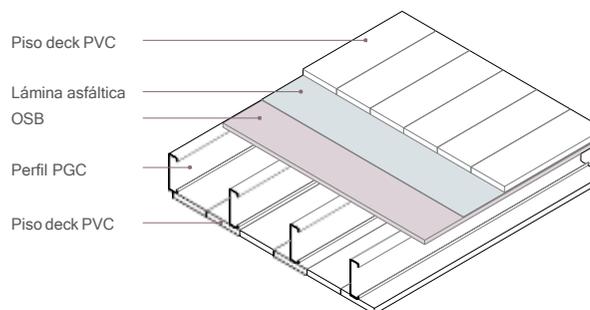
Tabla 30. Cálculo de carga muerta de la cubierta

Carga muerta (D)				
Material	Valor	Unidad	Peso total por m2	Unidad
Piso Deck PVC ancho=16,6cm	2,52	kg	15,18	kgf/m2
OSB 1,22 x 2,44 m e=18,3mm	38	kg	12,77	
Lámina asfáltica	2	kg/m2	2	
Perfil Steel Frame PGC 150 x 0.90	1,89	kg/ml	7,56	
Piso Deck PVC ancho=16,6cm	2,52	kg	15,18	
Carga muerta (D)			52,69	kgf/m2

Elaboración: Autores

Resulta importante destacar que el cálculo de la carga muerta debe responder al peso de los materiales por metro cuadrado de entrepiso, a continuación se muestra un gráfico que explica cómo está conformado un metro cuadrado del mismo. (Figura 39)

Figura 48. Composición de un metro cuadrado de entrepiso



Fuente: Autores

Después, se realiza el cálculo de la carga que soportarán los perfiles del entrepiso, con la ayuda de la fórmula mayorizada $(1.2 D + 1.6 L) \times d$, en donde D corresponde a la carga muerta, L a la carga viva y d representa la separación entre los perfiles.

Como siguiente paso, se realiza el cálculo de los esfuerzos, es decir el momento y la cortante a los que estará sometido el perfil. A continuación se muestra en la Tabla 31 los cálculos correspondientes.

Tabla 31. Cálculo de carga sobre la viga

Cálculo de carga sobre la viga				
Carga mayorizada sobre el entrepiso (q)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$(1,2 D + 1,6 L)$	831,22	kgf/m ²	8,31	kN/m ²
Carga mayorizada sobre la viga (U)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$(1,2 D + 1,6 L) \times d$	249,37	kgf/m	2,49	kN/m
Momento (M)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$(U \times L2) / 8$	1,80	KNm	1,80	KNm
Cortante (V)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$(U \times L) / 2$	2,99	KN	2,99	KN

Elaboración: Autores

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procede a verificar el elemento a flexión. Para este fin, se calcula el momento resistente Wx, el cual se despeja de la fórmula del momento nominal $MN = Fy \times Wx$, en donde MN es el momento nominal y Fy la resistencia del acero. El dato del momento nomi-

nal lo obtendremos dividiendo el momento máximo (M) obtenido en cálculos anteriores para 0.90, un factor de seguridad que permite mayorizar el momento. Se presentan los cálculos correspondientes en la Tabla 32.

Tabla 32. Cálculo de momento nominal y resistente

Cálculo de Momento Nominal				
Momento Nominal (Mn)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
M / 0,90	1,99	KNm	1,99	-1,00
Cálculo de Momento Resistente				
Momento resistente (Wx)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mn / Fy	0,008	m ³	7,98	cm ³

Elaboración: Autores

Finalmente, con el dato obtenido que corresponde al momento resistente (Wx), procedemos a revisar la tabla de perfiles disponibles en el mercado con el fin de obtener uno cuyo momento resistente sea igual o mayor al obtenido con los cálculos correspondientes.

Tabla 33. Perfiles disponibles en Tugalt

Denominación	mensione					Módulo Resistente (Wx)
	Alma (mm)	Espesor (mm)	Ancho B (mm)	Ancho C (mm)	Masa (kg/m)	
90x0.90	90	0.93	40	15	1.38	4.99
90x1.25	90	1.28	40	15	1.90	6.77
90x1.6	90	1.64	40	15	2.44	8.51
100x0.90	100	0.93	40	15	1.45	5.74
100x1.25	100	1.28	40	15	2.00	7.81
100x1.50	100	1.64	40	15	2.57	9.82
150x0.90	150	0.93	40	15	1.89	9.96
150x1.25	150	1.28	40	15	2.60	13.61
150x1.60	150	1.64	40	15	3.34	17.20

Fuente: Tugalt

Según la Tabla 33, podemos decir que el perfil adecuado para configurar la estructura de la cubierta corresponde a un PGC 100 x 1,50 mm, el cual cuenta con un módulo resistente de 9,82 cm³. Sin embargo, el perfil indicado tiene dimensiones menores al perfil mínimo recomendado, por lo tanto, para el prototipo se ocupará el perfil mínimo correspondiente a un PGC 150 x 0.90 mm. Finalmente, se presenta un cuadro que resume todos los cálculos necesarios para llegar a las conclusiones expuestas.

Tabla 34. Resumen predimensionamiento cubierta

Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad		
Longitud de la luz (L)	2,4	m		
Resistencia del material	250	MPa		
Separación entre perfiles (d)	0,3	m		
Perfil mínimo para entrepiso	PGC 150 x 0.90	mm		
Fluencia del Steel Frame (Fy)	250	MPa		
Carga viva	4,8	KN/m ²		
	480	kg/m ²		
Carga muerta (D)				
Material	Valor	Unidad	Peso total por m ²	Unidad
Piso Deck PVC ancho=16,6cm	2,52	kg	15,18	kgf/m ²
OSB 1,22 x 2,44 m e=18,3mm	38	kg	12,77	
Lámina asfáltica	2	kg/m ²	2	
Perfil Steel Frame PGC 150 x 0.90	1,89	kg/ml	7,56	
Piso Deck PVC ancho=16,6cm	2,52	kg	15,18	
Carga muerta (D)			52,69	kgf/m ²
Cálculo de carga sobre la viga				
Carga mayorizada sobre el entrepiso (q)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(1,2 D + 1,6 L)	831,22	kgf/m ²	8,31	kN/m ²

Momento (M)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(U x L ²) / 8	1,80	KNm	1,80	KNm
Cortante (V)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(U x L) / 2	2,99	KN	2,99	KN
Cálculo de Momento Nominal				
Momento Nominal (Mn)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
M / 0,90	1,99	KNm	1,99	-1,00
Cálculo de Momento Resistente				
Momento resistente (Wx)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mn / Fy	0,008	m ³	7,98	cm ³

Elaboración: Autores

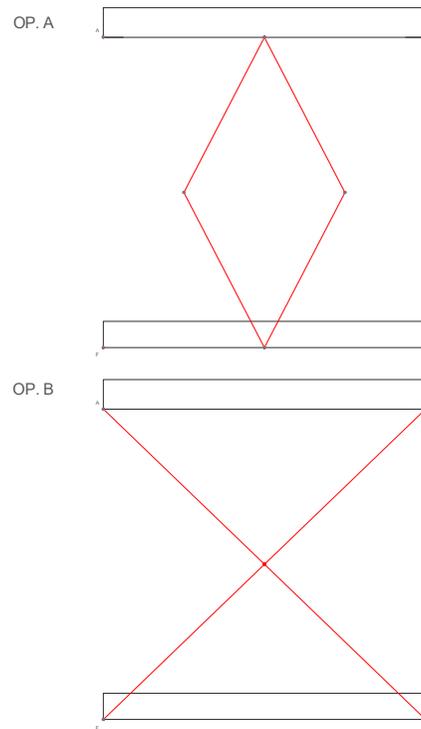
3.3.2. Mecanismo entrepiso - cubierta

En relación al mecanismo de tijera, existen dos posibilidades para su composición: la opción A (OP.A), que se caracteriza por tener una forma de diamante con un solo apoyo fijo en cada extremo del mecanismo; y la opción B (OP.B), que tiene forma de cruz y cuenta con cuatro articulaciones, uno en cada extremo, tal como se muestra en la Figura 40.

Para el presente trabajo, se ha optado por utilizar la opción B con los 4 apoyos articulados. Esta opción nos permitirá mantener un pliegue y despliegue simple sin la necesidad de trabados manuales y a mantener una rigidez en la estructura, a diferencia de lo que ocurriría con la opción A. Por lo tanto, se considera que la opción B es más conveniente para el diseño y la construcción del mecanismo de

tijera requerido en este proyecto.

Figura 49. Posibilidades de composición mecanismo tijera



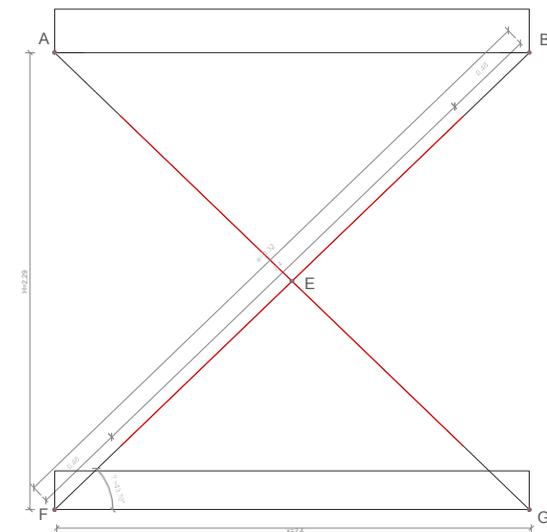
Elaboración: Autores

La geometría del mecanismo del prototipo se resuelve considerando dos dimensiones clave: el ancho total del prototipo y la altura requerida. En primer lugar, se establece que la longitud de cada barra del mecanismo de tijera no puede superar los 2,40 metros, ya que en la posición plegada estas barras deben ocultarse dentro del ancho total del

prototipo. Por otro lado, se determina una altura libre de 2,10 metros, basada en la altura promedio de una persona en Ecuador (1,65 metros), lo que permite una transformación cómoda del prototipo a una altura de 2,10 metros con los brazos extendidos.

Con estos datos establecidos, se requiere una longitud de barra de 3,32 metros en posición desplegada y de 2,40 metros en posición plegada. Para cumplir con estos requisitos, se opta por utilizar un sistema telescópico que permite la extensión y retracción de las barras. En la Figura 42 se puede observar la geometría establecida para el prototipo

Figura 50. Geometría del mecanismo en posición desplegado



Elaboración: Autores

Tabla 35. Geometría del mecanismo en posición desplegado

Geometría del mecanismo desplegado		
Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Altura total del mecanismo (H)	2,29	m
Angulo de los tubos (θ)	43,70	°
Longitud de cada tubo (a)	3,32	m
Longitud en x de los tubos (x)	2,40	m

Elaboración: Autores

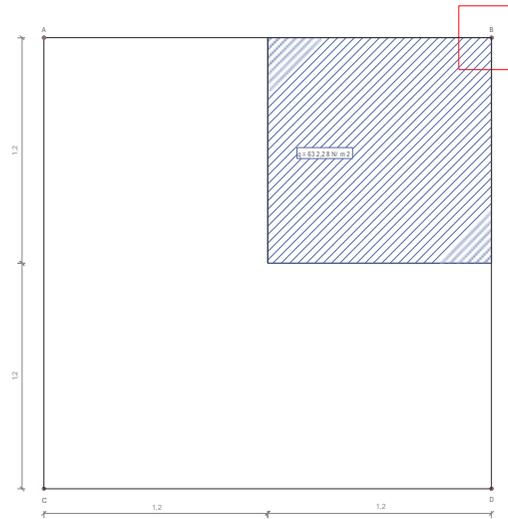
Una vez obtenida la forma del mecanismo y considerando que se apoyará en cuatro puntos, se procede a realizar los cálculos necesarios. Para ello, se lleva a cabo un solo análisis en el punto B, ya que los demás puntos de apoyo serían idénticos. Cabe destacar que se ha tomado en cuenta la carga mayorizada (q) que equivale al peso de la cubierta multiplicado por el factor de mayorización (1,2), la cual corresponde a 632, 28 N/m². De esta forma, se puede obtener la carga que actúa sobre el soporte; los cálculos desarrollados se muestran en la Tabla 36.

Tabla 36. Carga ejercida sobre un soporte del mecanismo

Carga ejercida sobre el mecanismo		
Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Carga mayorizada del entrepiso ($q=1.2 D$)	632,28	N/m ²
Área de aporte de un soporte (A)	1,44	m ²
Cálculo de carga sobre un soporte		
Carga	Valor	Unidad
$q * A$	910,48	N

Elaboración: Autores

Figura 51. Área de aporte y carga distribuida



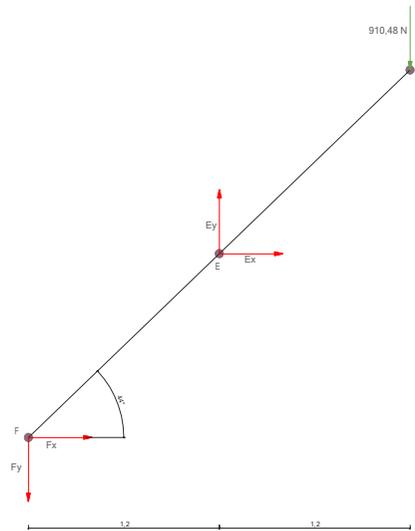
Elaboración: Autores

La Tabla 36 indica la carga puntual de 910,48 N, la cual se utilizará para calcular las reacciones, fuerzas axiales, cortantes y momentos máximos que actúan sobre los tubos de acero que conforman el mecanismo. Es importante destacar que los cálculos se realizarán únicamente en la posición desplegada del mecanismo, ya que, en la posición plegada, la cubierta está en contacto directo con el entrepiso y el mecanismo no resiste ninguna carga.

Como siguiente paso, se procede a calcular las reacciones en el tubo BEF. Este se comportará igual que los demás tubos del mecanismo debido a su geometría regular y simétrica.

Una vez obtenidas las reacciones correspondientes, es posible calcular las fuerzas axiales, las fuerzas cortantes y los momentos que actúan sobre cada tubo que componen el mecanismo.

Figura 52. Reacciones en nodos BEF



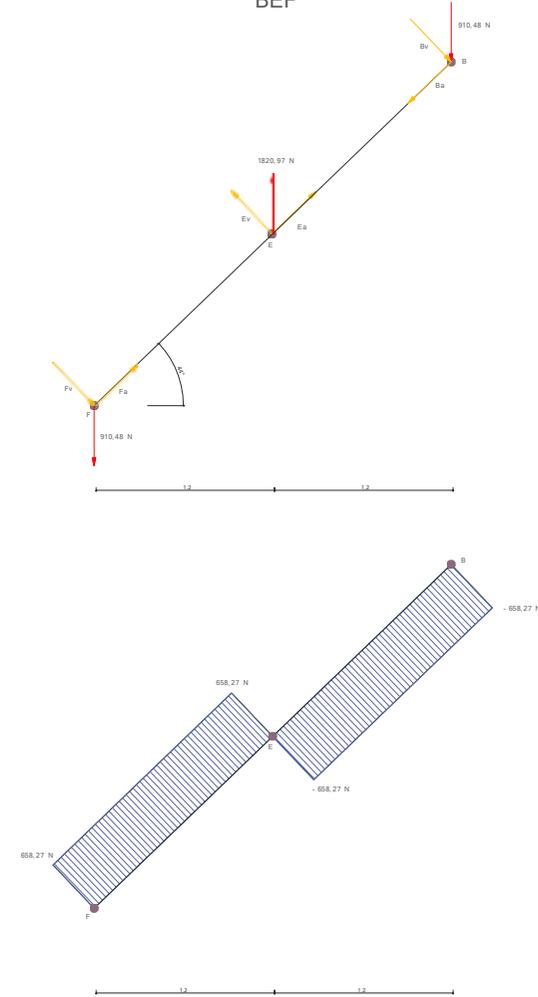
Elaboración: Autores

Tabla 37. Reacciones en nodos BEF

Calculo de reacciones BEF		
Descripción	Valor	Unidad
Bx	0,00	N
By	-910,48	N
Ex	0,00	N
Ey	1820,97	N
Fx	0,00	N
Fy	-910,48	N

Elaboración: Autores

Figura 53. Fuerzas axiales, cortante y momentos en nodos BEF



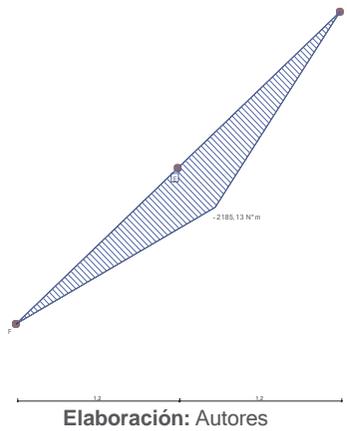


Tabla 38. Fuerzas axiales, cortante y momentos en nodos BEF

Fuerzas Axiales, de Cortante y Momento		
Tubo BEF		
Descripción	Valor	Unidad
Longitud del tubo (L)	3,32	m
Angulo (θ)	43,70	°
Angulo (β)	46,30	°
Ba	-629,01	N
Bv	-658,27	N
Ea	1258,03	N
Ev	1316,54	N
Fa	-629,01	N
Fv	-658,27	N
Momento	-2185,13	N*m

Elaboración: Autores

A partir del cálculo de las fuerzas axiales, cortantes y momentos que actúan sobre cada tubo, se obtiene un cuadro que resume los valores máximos que deben ser soportados por el perfil del mecanismo.

Tabla 39. Fuerzas máximas del mecanismo desplegado

Fuerzas Máximas Mecanismo Desplegado		
Descripción	Valor	Unidad
Fuerza axial máxima	629,01	N
Fuerza cortante máxima	658,27	N
Momento máximo	2185,13	N*m

Elaboración: Autores

Con los datos obtenidos en los cálculos previos, se procede a obtener el módulo resistente necesario para el perfil que soportará el mecanismo. Es importante destacar que este módulo resistente debe ser igual o menor al del perfil seleccionado.

Tabla 40. Diseño del tubo

Diseño del tubo				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Longitud del tubo (L)	3,32	m		
Esfuerzo del acero (σ)	2500,00	kg/cm ²		
Momento máximo	2185,13	kg*cm		
Modulo resistente (Wx)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mmax / 0,6 σ	1,46	cm ³	1,46	cm ³

Elaboración: Autores

Tabla 41. Catálogo de tubos cuadrados disponibles en DIPAC

Dimensiones			
A (mm)	Espesor (mm)	Peso (mm)	W (cm ³)
20	1.2	0.72	0.53
20	1.5	0.88	0.58
20	2.0	1.15	0.69
25	1.2	0.90	0.87
30	2.0	1.78	1.81
40	3.0	3.54	5.10
50	1.5	2.29	4.42
50	2.0	3.03	5.65
50	3.0	4.48	4.48

Fuente: DIPAC

A partir de los cálculos realizados en la Tabla 40, se determina que el perfil seleccionado para soportar el mecanismo debe tener un módulo resistente igual o mayor a 1,46 cm³. Al revisar el catálogo de perfiles disponibles en el mercado, se encuentra que un tubo cuadrado de 40x40x3mm cumple con dicho requisito, con un módulo resistente de 5,10 cm³; sin embargo este perfil no cumple la comprobación de rigidez; como segunda opción se podría pensar en un tubo cuadrado de 50x50x2mm, el cual cumple con el módulo resistente requerido. Sin embargo la NEC(2015) establece que el espesor mínimo para estructuras metálicas debe ser de 3mm, por lo que se utiliza el tubo de 50x50x3mm con un módulo resistente de 4,48 cm³.

Como último paso, se debe realizar la comprobación de resistencia y rigidez del perfil seleccionado de acuerdo con la NEC (2015) en el tema de estructuras metálicas. Si se comprueba que el perfil cumple con los requisitos de resistencia y rigidez necesarios, se procede a utilizar este perfil en el diseño del prototipo.

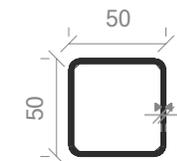
Tabla 42. Comprobación de resistencia con el tubo escogido

Tubo escogido		
Datos Generales Tubo 50x50x3mm		
Descripción	Valor	Unidad
Longitud del tubo (L)	3,32	m
Módulo resistente del tubo escogido (Wx)	4,48	cm ³

Peso (P)	4,48	kg/m		
Inercia en X (Ix)	21,20	cm ⁴		
Módulo de elasticidad del acero (Ea)	210000,00	kg/cm ²		
Esfuerzo del acero (σ)	2500,00	kg/cm ²		
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza cortante máxima	658,27	N	65,83	kgf
Peso total del tubo 50x50x3mm				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
w= Fuerza cortante + Peso	25,21	kg/m	0,25	kg/cm
Comprobación de Resistencia				
Esfuerzo de diseño (σ diseño) < 0,6 Esfuerzo del material (σ material)				
Mmax (con el nuevo w)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
w x L ² / 8	3471,90	kg*cm	3471,90	kg*cm
σ diseño	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mmax/Sreal	774,98	kg/cm ²	774,98	kg/cm
σ MAterial	Valor	Unidad	Valor	Unidad
0,6 * Esfuerzo del material	1500,00	kg/cm ²	1500,00	kg/cm ²
Comprobación de Rigidez				
Deformación del tubo (S) < Deformación permisible (L/360)				
Deformacion del tubo (S)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(5 * Wx * L ⁴) / (384 * Ea * Ix)	0,895	cm	0,895	cm
Deformacion permisible	Valor	Unidad	Valor	Unidad
L / 360	0,922	cm	0,92	cm

Elaboración: Autores

Figura 54. Tubo escogido y comprobado 50x50x3mm



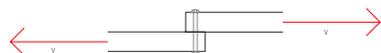
Elaboración: Autores

Para la implementación del sistema telescópico, se tomó la decisión de utilizar un tubo cuadrado de dimensiones 50x50x3mm, que cumplió como perfil mínimo, para el interior y un tubo de dimensiones 75x75x3mm para el exterior considerando un margen de 1,25cm entre ellos para permitir el movimiento de extensión y retracción de manera suave y sin fricciones.

Diseño del perno

Para el diseño del perno en un mecanismo con características cinéticas, es importante considerar la alta resistencia del mismo. Por ello, se sugiere el uso de pernos hexagonales de grado 8, que cumplen con la normativa SAE J429, según se indicó en una visita realizada al Banco del Perno. Con esta información y el dato del cortante máximo obtenido, se puede calcular el diámetro necesario del perno. Además, se debe tener en cuenta que la longitud del perno debe cubrir al menos dos tubos de 75x75mm, considerando el espacio necesario para las tuercas y arandelas.

Figura 55. Diagrama de fuerza actuante sobre el perno



Elaboración: Autores

Tabla 43. Diseño de pernos

Diseño de Pernos				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza cortante max (V)	658,27	N	658,27	N
Esfuerzo que resiste el perno de grado 8 (σ)	150	kpsi	105682,03	N/cm ²
Área del perno	Valor	Unidad	Valor	Unidad
V / σ	0,006	cm ²	0,006	cm ²
Diámetro del perno	Valor	Unidad	Valor	Unidad

Elaboración: Autores

Con los cálculos realizados, y tras la revisión de los pernos disponibles en el mercado, se puede concluir que el perno que cumple con todos los requerimientos corresponde al perno mínimo existente, el cual equivale a un perno de 5/8" x 8" (1,5x20cm).

3.3.3. Entrepiso

A continuación, se presenta el predimensionamiento del segundo cuerpo, el cual sigue un proceso similar al utilizado para diseñar la cubierta. No obstante, en este caso, además del peso de los componentes que conforman el entrepiso, se debe considerar la carga adicional del peso de la cubierta que es de 52.69 kgf/m² según se encuentra indicado en la Tabla 20 y del mecanismo de tijera que corresponde a 15,47 kg/m² como se indica en la Tabla 44.

Tabla 44. Calculo de la carga muerta

Carga muerta mecanismo de tijera entrepiso - cubierta				
Material	Peso (p)		Unidad	
Tubo cuadrado 75x75x3 mm	6,71		kg/ml	
Longitud de cada tubo (a)	Unidad	Cantidad total de tubos (n)	Longitud total L (a x n)	Unidad
3,32	m	4	13,28	ml
Peso total del mecanismo P (p x L)	Unidad	Equivalencia en 1 m ² (P/Área total de entrepiso)	Unidad	
89,1088	kg	15,47	kg/m ²	

Elaboración: Autores

Tabla 45. Resúmen cálculos entrepiso

Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad		
Longitud de la luz (L)	2,4	m		
Resistencia del material	250	MPa		
Separación entre perfiles (d)	0,3	m		
Perfil mínimo para entrepiso	PGC 150 x 0.90	mm		
Perfil de acero para mecanismo de tijera	50x50x3	mm		
Fluencia del Steel Frame (Fy)	250	MPa		
Carga viva (plataforma de reunión)	4,8	KN/m ²		
	480	kg/m ²		
Carga muerta (D)				
Material	Valor	Unidad	Peso total por m ²	Unidad
Piso Deck PVC ancho=16,6cm	2,52	kg	15,18	kgf/m ²
OSB 1,22 x 2,44 m e=18,3mm	38	kg	12,77	
Lámina asfáltica	2	kg/m ²	2	
Perfil Steel Frame PGC 150 x 0.90	1,89	kg/ml	7,56	
Peso muerto de cubierta	52,69	kgf/m ²	52,69	
Peso muerto mecanismo de tijera, tubos cuadrados 75x75x3mm	15,47	kgf/m ²	15,47	
Carga muerta (D)			102,69	

Cálculo de carga sobre la viga				
Carga mayorizada sobre el entrepiso (q)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(1,2 D + 1,6 L)	891,23	kgf/m ²	8,91	kN/m ²
Carga mayorizada sobre la viga (U)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(1,2 D + 1,6 L) * d	267,37	kgf/m	2,67	KN/m
Momento (M)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(U x L ²) / 8	1,93	KNm	1,93	KNm
Cortante (V)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(U x L) / 2	3,21	KN	3,21	KN
Cálculo de Momento Nominal				
Momento Nominal (Mn)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
M / 0,90	2,14	KNm	2,14	-1,00
Cálculo de Momento Resistente				
Momento resistente (Wx)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mn / Fy	0,009	m ³	8,56	cm ³

Elaboración: Autores

Según la Tabla 45, podemos decir que el perfil adecuado para configurar la estructura del entrepiso corresponde a un PGC 100 x 0.90 mm, el cual cuenta con un módulo resistente de 5.00 cm³. Sin embargo, como en el caso de la cubierta, el perfil indicado tiene dimensiones menores al perfil mínimo recomendado, por lo tanto, se ocupará el perfil mínimo PGC 150 x 0.90 mm.

3.3.4. Mecanismo contrapiso - entrepiso

En esta sección, se ha decidido emplear un mecanismo de tijera en forma de X, debido a que se cuenta con mayores dimensiones en el eje x lo cual permitirá un desplazamiento adecuado de los puntos móviles. Asimismo, cabe destacar que la altura

que se requiere elevar es menor en comparación con el mecanismo que conecta el entrepiso y la cubierta.

3.3.4.1. Mecanismo contrapiso - entrepiso: Plegado

Las siguientes figuras y tablas describen el mismo proceso que se llevó a cabo para el predimensionamiento del sistema entre el entrepiso y la cubierta.

Figura 56. Carga y área de aporte de un soporte

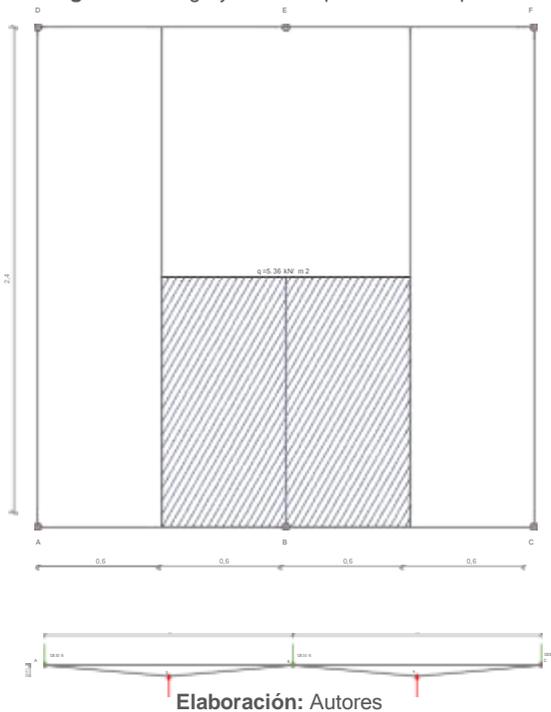


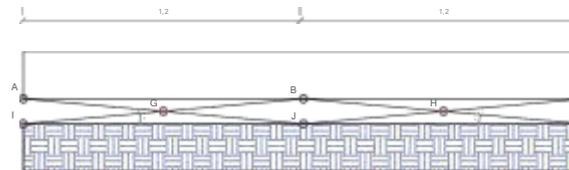
Tabla 46. Cálculo de carga sobre un soporte

Carga ejercida sobre el mecanismo				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad		
Carga mayorizada del entrepiso + mecanismo (q)	8,91	kN/m ²		
Área de aporte de un soporte (A)	1,44	m ²		
Cálculo de carga sobre un soporte				
carga	Valor	Unidad	Valor	Unidad
q * A	12,83	kN	12830,00	N

Elaboración: Autores

Para este mecanismo se considera el peso de la cubierta, del mecanismo y de la carga viva ya que este soportará todas las cargas. Se decide diseñar cuatro tijeras en X, dos a cada lado del prototipo para mantener una rigidez en la estructura y no utilizar perfiles muy anchos que resultan al trabajar únicamente con dos. A continuación en la Figura 48 observamos la geometría del mecanismo plegado.

Figura 57. Geometría del mecanismo plegado



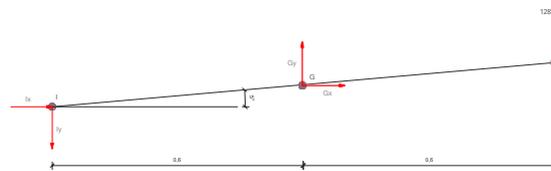
Elaboración: Autores

Tabla 47. Geometría del mecanismo plegado

Geometría del mecanismo		
Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Altura total del mecanismo (H)	0,11	m
Angulo de los tubos (θ)	5,00	°
Longitud de cada tubo (a)	1,20	m
Longitud en x de los tubos (x)	1,20	m

Elaboración: Autores

Figura 58. Reacciones en los nodos BGI



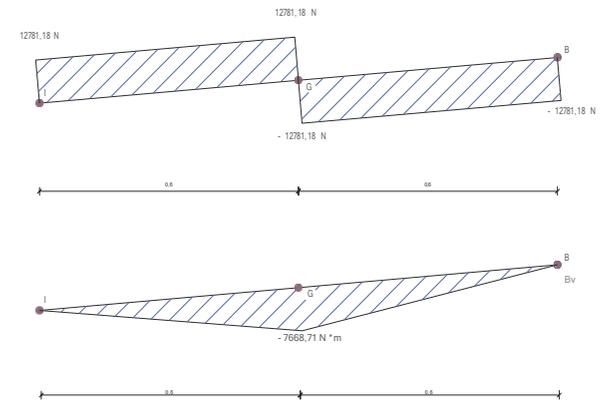
Elaboración: Autores

Tabla 48. Reacciones en los nodos BGI

Calculo de reacciones BGI		
Descripción	Valor	Unidad
Bx	0,00	N
By	-12830,00	N
Gx	0,00	N
Gy	25660,00	N
Ix	0,00	N
Iy	-12830,00	N

Elaboración: Autores

Figura 59. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI



Elaboración: Autores

Tabla 49. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI

Fuerzas Axiales, de Cortante y Momento		
Tubo BGI		
Descripción	Valor	Unidad
Longitud del tubo (L)	1,20	m
Angulo (θ)	5,00	°
Angulo (β)	85,00	°
Ba	-1118,21	N
Bv	-12781,18	N
Ga	2236,42	N
Gv	25562,36	N
Ia	-1118,21	N
Iv	-12781,18	N
Momento	-7668,71	N*m

Elaboración: Autores

Tabla 50. Fuerzas y momentos máximos

Fuerzas Máximas Mecanismo Plegado		
Descripción	Valor	Unidad
Fuerza axial máxima	1118,21	N
Fuerza cortante máxima	12781,18	N
Momento máximo	7668,71	N*m

Elaboración: Autores

3.3.4.2. Mecanismo contrapiso - entrepiso: desplegado

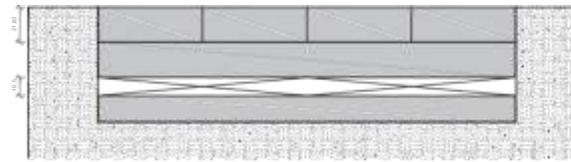
Para esta sección, es importante considerar varios factores al momento de determinar la altura total que deberá alcanzar el mecanismo en su posición desplegada. Estos factores incluyen el espesor de la cubierta, el mecanismo de tijera entre entrepiso y cubierta en su posición plegada, así como la altura del mecanismo entre contrapiso y entrepiso. La distancia corresponderá a la altura que el mecanismo debe subir para que la cara superior del entrepiso quede a nivel 0.00 m de la plaza o superficie en donde se desee aplicar. La altura mencionada, se obtiene a través de la Tabla 51.

Tabla 51. Cálculo de altura requerida

Cálculo de altura total del mecanismo: desplegado				
Material	Altura	Unidad	Altura Total	Unidad
Piso Deck PVC ancho=16,6cm (Parte superior e inferior)	25,00	mm	5,00	cm
OSB 1,22 x 2,44 m e=18,3mm	18,30	mm	1,83	cm
Perfil Steel Frame PGC 150 x 0,90	150,00	mm	15,00	cm
Espesor total de cubierta			21,83	cm
Mecanismo entrepiso - cubierta : plegado	-	cm	-	cm
Mecanismo contrapiso - entrepiso : plegado	10,50	cm	10,50	cm
Total			32,33	cm

Elaboración: Autores

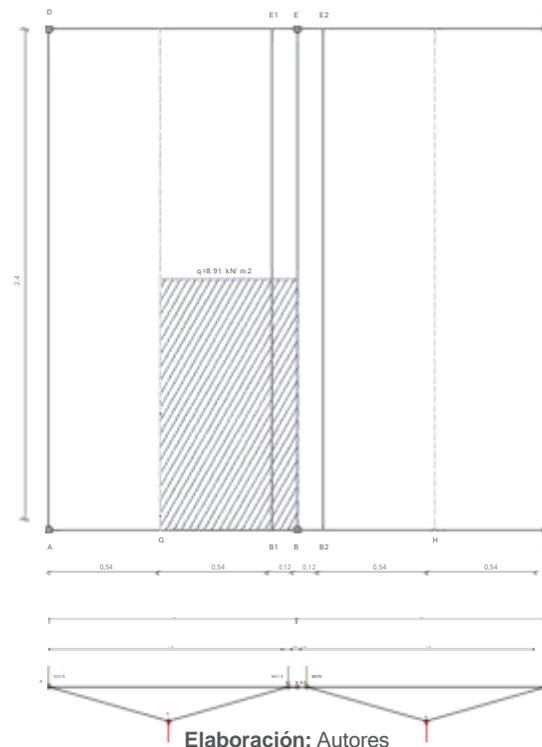
Figura 60. Gráfico de altura requerida



Elaboración: Autores

Los siguientes gráficos y tablas describen el mismo proceso que se llevó a cabo para el predimensionamiento del sistema entre el entrepiso y la cubierta.

Figura 61. Carga y área de aporte de un soporte



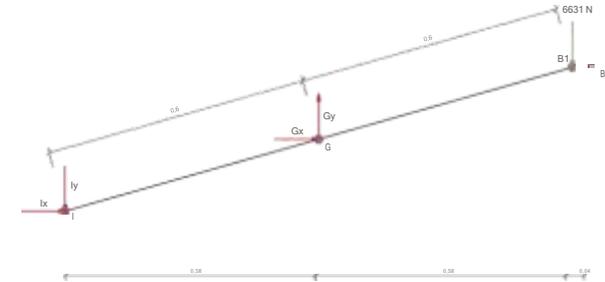
Elaboración: Autores

Tabla 52. Carga y área de aporte de un soporte

Carga ejercida sobre el mecanismo				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad		
Carga mayorizada del entrepiso + mecanismo (q)	8,91	kN/m ²		
Área de aporte de un soporte (A)	0,74	m ²		
Cálculo de carga sobre un soporte				
carga	Valor	Unidad	Valor	Unidad
q * A	6,631	kN	6631	N

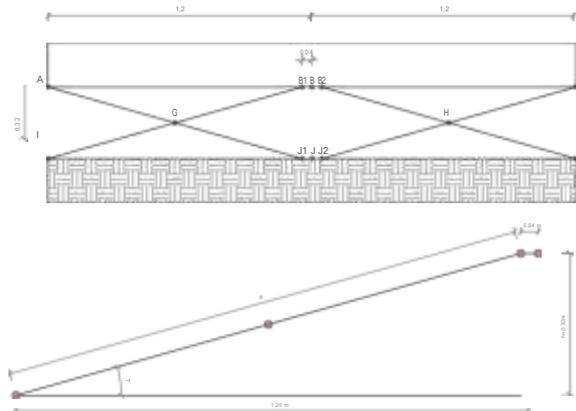
Elaboración: Autores

Figura 63. Reacciones en los nodos BGI



Elaboración: Autores

Figura 62. Geometría del mecanismo desplegado



Elaboración: Autores

Tabla 54. Reacciones en los nodos BGI

Calculo de reacciones BGI		
Descripción	Valor	Unidad
Bx	0,00	N
By	-6631,00	N
Gx	0,00	N
Gy	13262,00	N
Ix	0,00	N
Iy	-6631,00	N

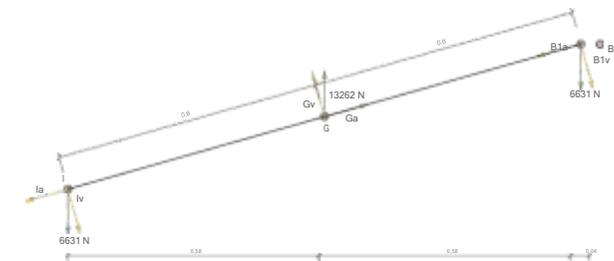
Elaboración: Autores

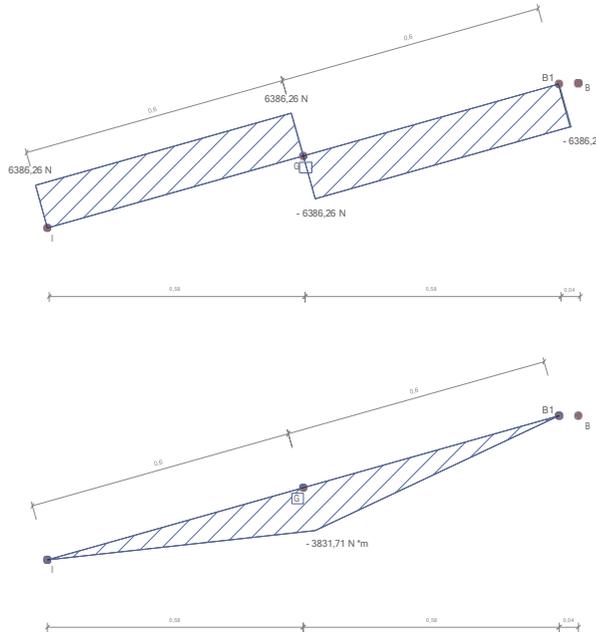
Tabla 53. Geometría del mecanismo desplegado

Geometría del mecanismo		
Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Altura total del mecanismo (H)	0,32	m
Angulo de los tubos (θ)	15,62	°
Longitud de cada tubo (a)	1,20	m

Elaboración: Autores

Figura 64. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI





Elaboración: Autores

Tabla 55. Fuerzas axiales, cortante y momento BGI

Fuerzas Axiales, de Cortante y Momento		
Tubo BGI		
Descripción	Valor	Unidad
Longitud del tubo (L)	1,20	m
Angulo (θ)	15,62	°
Angulo (β)	74,39	°
Ba	-1784,88	N
Bv	-6386,26	N
Ga	3569,76	N
Gv	12772,53	N
Ia	-1784,88	N
Iv	-6386,26	N
Momento	-3831,76	N*m

Elaboración: Autores

Tabla 56. Fuerzas y momentos máximos

Fuerzas Máximas Mecanismo Desplegado		
Descripción	Valor	Unidad
Fuerza axial máxima	1784,88	N
Fuerza cortante máxima	6386,26	N
Momento máximo	3831,76	N*m

Elaboración: Autores

Al comparar los datos obtenidos en la Tabla 50 con los de la Tabla 56, se puede concluir que se trabajarán con los valores más altos para los cálculos posteriores, los cuales son 1784,88 N como fuerza axial máxima, 12781,18 N como fuerza cortante máxima y 7668,71 N·m como momento máximo.

Tabla 57. Diseño del tubo

Diseño del tubo				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad		
Longitud del tubo (L)	1,20	m		
Esfuerzo del acero (σ)	2500,00	kg/cm ²		
Momento máximo	76687,07	kg*cm		
Modulo resistente (Wx)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mmax / 0,6 σ	51,12	cm ³	51,12	cm ³

Elaboración: Autores

Tabla 58. Catálogo de tubos cuadrados disponibles en DIPAC

Dimensiones			
A (mm)	Espesor (mm)	Peso (mm)	W (cm ³)
20	1.2	0.72	0.77
20	1.5	0.88	0.74
20	2.0	1.15	0.72
25	1.2	0.90	0.97
30	2.0	1.78	1.13
40	3.0	3.54	1.52
50	1.5	2.29	1.97
50	2.0	3.03	1.94
50	3.0	4.48	1.91

Dimensiones			
A (mm)	Espesor (mm)	Peso (mm)	W (cm3)
60	3.0	5.42	11.69
75	2.0	4.52	13.46
75	3.0	6.71	19.08
75	4.0	8.99	24.00
100	3.0	9.17	35.39
100	4.0	12.13	45.22
100	5.0	14.40	54.11

Fuente: DIPAC

A partir de los cálculos realizados en la Tabla 57, se determina que el perfil seleccionado para soportar el mecanismo debe tener un módulo resistente igual o mayor a 51,12 cm³. Al revisar el catálogo de perfiles disponibles en el mercado, se encuentra que un tubo cuadrado de 100x100x5mm con un módulo resistente de 54,11 cm³. Con este perfil se realiza la comprobación de resistencia y rigidez, si el perfil cumple con dichos requerimientos, se mantendrá para el diseño del prototipo.

Tabla 59. Comprobación tubos de acero de 100x100x3mm

Tubo escogido				
Datos Generales de tubo cuadrado 100x100x5mm				
Descripción	Valor	Unidad		
Longitud del tubo (L)	1,20	m		
Módulo resistente del tubo escogido (Wx)	54,11	cm ³		
Peso (P)	14,40	kg/m		
Inercia en X (Ix)	270,57ZX	cm ⁴		
Esfuerzo del acero (σ)	2500,00	kg/cm ²		
Módulo de elasticidad del acero (Ea)	2100000,00	kg/cm ²		
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza cortante máxima	12781,18	N	1278,12	kgf
Peso total del tubo 100x100x5mm				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad

w= Fuerza cortante + Peso	1082,38	kg/m	10,82	kg/cm
Comprobación de Resistencia				
Esfuerzo de diseño (σ diseño) < 0,6 Esfuerzo del material (σ material)				
Mmax (con el nuevo w)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
w x L ² / 8	19482,81	kg*cm	19482,81	kg*cm
σ diseño	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Mmax/Sreal	360,06	kg/cm ²	360,06	kg/cm ²
σ MMaterial	Valor	Unidad	Valor	Unidad
0,6 * Esfuerzo del material	1500,00	kg/cm ²	1500,00	kg/cm ²
Comprobación de Rigidez				
Deformación del tubo (S) < Deformación permisible (L/360)				
Deformación del tubo (S)	Valor	Unidad	Valor	Unidad
(5 * Wx * L ⁴) / (384 * Ea * Ix)	0,051	cm	0,05	cm
Deformación permisible	Valor	Unidad	Valor	Unidad
L / 360	0,333	cm	0,33	cm

Elaboración: Autores

Predimensionamiento de perno

Para el diseño del perno, se toma en cuenta las mismas consideraciones expresadas para el mecanismo entre el entrepiso y la cubierta, es decir se sugiere el uso de pernos hexagonales de grado 8. Con esta información y el dato del cortante máximo obtenido, se puede calcular el diámetro necesario del perno. Además, se debe tener en cuenta que la longitud del perno debe cubrir al menos dos tubos de 10x10, considerando el espacio necesario para las tuercas y arandelas.

Tabla 60. Diseño de pernos

Diseño de Pernos				
Datos Generales				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Fuerza cortante max (V)	12781,18	N	12781,18	N
Esfuerzo que resiste el perno de grado 8 (σ)	150	kpsi	105682,03	N/cm ²
Área del perno	Valor	Unidad	Valor	Unidad
V / σ	0,121	cm ²	0,121	cm ²
Diametro del perno	Valor	Unidad	Valor	Unidad
$\sqrt{(A \cdot 4) / \pi}$	0,392	cm	0,39	cm

Elaboración: Autores

Con los cálculos realizados, y tras la revisión de los pernos disponibles en el mercado, se puede concluir que el perno que cumple con todos los requerimientos corresponde al perno de 5/8" x 10".

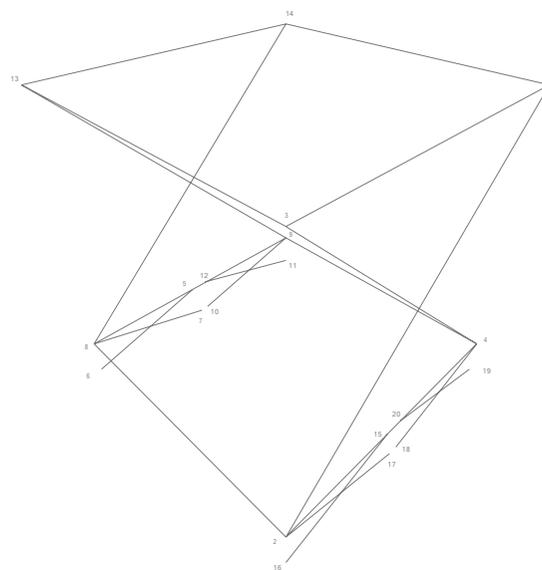
3.3.5. Comprobación SAP 2000

Una vez se ha completado el diseño de todos los elementos del prototipo, se procede a introducir el modelo en el programa SAP2000. Esta herramienta permite realizar la modelación, análisis y verificación de la resistencia estructural frente a cargas sísmicas, de viento y de impacto de granizo, siguiendo las normas establecidas por la NEC (2015).

El primer paso consistió en el modelado del prototipo en el programa, utilizando los perfiles previamente calculados y asignando las propiedades

correspondientes a cada uno de ellos. Es fundamental contar con perfiles adecuados y precisos, ya que estos constituyen los elementos estructurales principales del prototipo y deben soportar las cargas impuestas por los diferentes eventos naturales.

Figura 65. Modelado del prototipo en SAP2000



Elaboración: Autores

Luego, se calcula la carga sísmica mediante el procedimiento revisado en el punto 3.1.5.3. Bermeo (2016) nos indica que mediante información

de estaciones acelerográficas se puede determinar el tipo de suelo. Para este estudio se decidió trabajar con la estación ubicado cercano a la Universidad de Cuenca de: Latitud: -2.8981; Longitud: -79.0074; Altura 2480 msnm; Perfil de suelo tipo B (Bermeo, 2016). A continuación una tabla resumen de los cálculos.

Tabla 61. Cálculo de carga de sismo

CARGA DE SISMO		
Datos Generales		
Descripción	Valor	Unidad
Factor Z	0,15	-
Tipo de Perfil	B	-
Fa	1,00	-
Fd	1,00	-
Fs	0,75	-
T (Periodo fundamental de vibración de la estructura)		
T=Ct*hn^a		
Descripción	Valor	Unidad
Ct	0,072	-
hn	2,29	m
a	0,80	-
T	0,140	seg
Tc (Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones)		
Tc=0,55Fs(Fd/Fa)		
Descripción	Valor	Unidad
Fs	0,75	-
Fd	1,00	m
Fa (Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó)	1,00	-
Tc	0,413	seg

Sa (Espectro de diseño)		
Sa=nZFa(Tc/T)^r		
Descripción	Valor	Unidad
n	2,48	-
Z	0,25	-
Fa	1,00	-
-1,000	0,14	seg
-1,000	0,41	seg
r	1,00	-
Sa	1,831	
V (Cortante Basal de diseño)		
V=((ISa(Ta))/(RθpθE))*W		
Descripción	Valor	Unidad
I	1,00	-
Sa (Ta) Espectro de diseño en aceleración	1,83	-
R	2,50	-
θp	1,00	-
θE	1,00	-
W	815,65	kg
V	597,45	kg
Fuerzas sísmicas laterales		
Descripción	Valor (V*1)	Unidad
F	597,45	kg
30%F	179,23	kg

Elaboración: Autores

Tabla 62. Cálculo de carga de viento

CARGA DE VIENTO		
Vb = V . σ		
Descripción	Valor	Unidad
V	21,00	m/s
σ	0,86	-
Vb	18,060	m/s

PRESIÓN		
$P=1/2 \cdot \rho \cdot Vb^2 \cdot ce \cdot cf$		
Descripción	Valor	Unidad
ρ	1,25	kg/m ³
Vb^2	326,16	m/s
ce	0,30	-
cf	0,10	-
P	6,116	N/m ²
CÁLCULO DE P PUNTUAL		
P	0,612	Kg/m ²
Área de aporte	0,264	m ²
P puntual	0,161	Kg

Elaboración: Autores

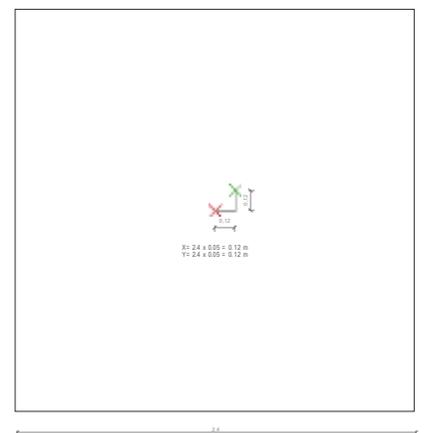
Tabla 63. Cálculo de carga de granizo

CARGA DE GRANIZO		
Descripción	Valor	Unidad
Carga de granizo mínimo (Smin)	1,00	kN/m ²
Área de aporte	1,44	m ²
Carga de Granizo (S)	144,00	Kg

Elaboración: Autores

Una vez se han obtenido las fuerzas correspondientes, es necesario insertarlas en los puntos respectivos según lo establecido por la normativa NEC-15. Esta normativa especifica que la carga sísmica debe ser aplicada en un punto desplazado un 5% tanto en la dirección X como en la dirección Y, con respecto al punto medio de la estructura. Esta consideración tiene como objetivo simular un comportamiento más realista y representativo de las condiciones a las que la estructura estará expuesta en caso de un evento sísmico. Este punto se le determina a continuación en la Figura 57.

Figura 66. Gráfico de punto P

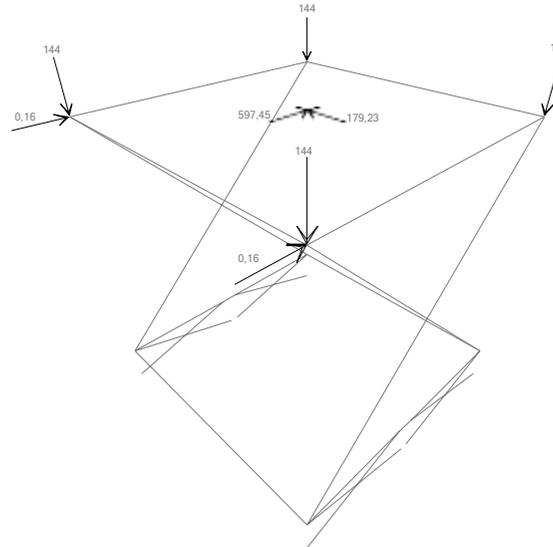


Elaboración: Autores

En cuanto a las cargas de granizo, estas se aplican en la parte superior de la estructura, mientras que las cargas de viento actúan como fuerzas laterales en las caras del prototipo. Estas cargas se colocan estratégicamente para simular las condiciones reales a las que la estructura estará expuesta durante su vida útil.

Una vez que se han ubicado adecuadamente las cargas en los puntos correspondientes (Figura 58), se procede a realizar combinaciones de carga. Estas combinaciones permiten examinar de manera exhaustiva el comportamiento del prototipo frente a las fuerzas naturales, las cuales que ejercen un impacto significativo en la estructura.

Figura 67. Cargas aplicadas en el modelado



Elaboración: Autores

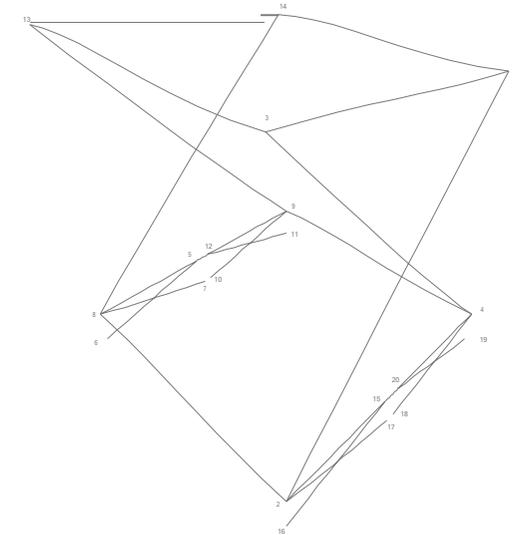
Tabla 64. Combinaciones de carga

Combinaciones de carga			
Combinación	Fuerzas	Valor	Unidad
Dx	Sismo X (F)	597,45	kg
	Sismo Y (30%F)	179,23	kg
	Viento X	0,1616	kg
Dy	Sismo X (30%F)	179,23	kg
	Sismo Y (F)	597,45	kg
	Viento Y	0,1616	kg
Dz	Granizo Z	144	kg

Elaboración: Autores

A continuación, se presentan los gráficos que ilustran el comportamiento del prototipo frente a las fuerzas naturales, junto con los cuadros de desplazamientos correspondientes. Los desplazamientos más representativos se observan específicamente en la cubierta del prototipo.

Figura 68. Comportamiento de la estructura en Dx



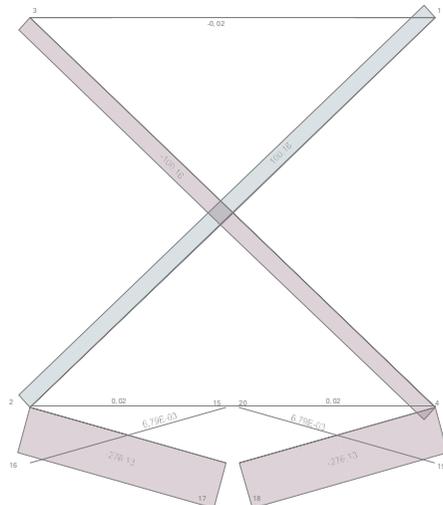
Elaboración: Autores

Tabla 65. Desplazamientos en Dx

DESPLAZAMIENTO DE NODOS Dx							
NODO	Output-Case	Case-Type	U1	H	D. Inelastica	R	D.Elástica
			m	m	m		%
1	Dx	LinStatic	0,015	2,1	0,007	3	1,59%
3	Dx	LinStatic	0,015	2,1	0,007	3	1,59%
13	Dx	LinStatic	0,016	2,1	0,007	3	1,69%
14	Dx	LinStatic	0,016	2,1	0,007	3	1,69%

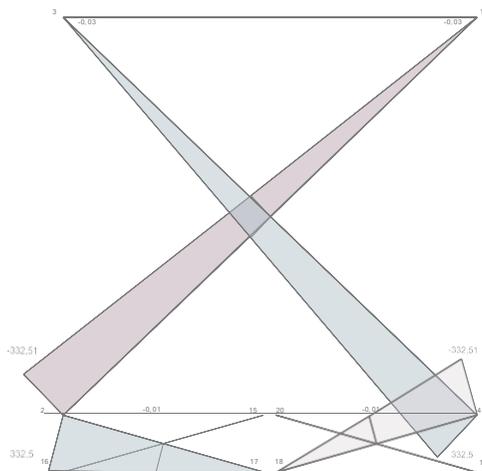
Elaboración: Autores

Figura 69. Gráfico de cortante Dx



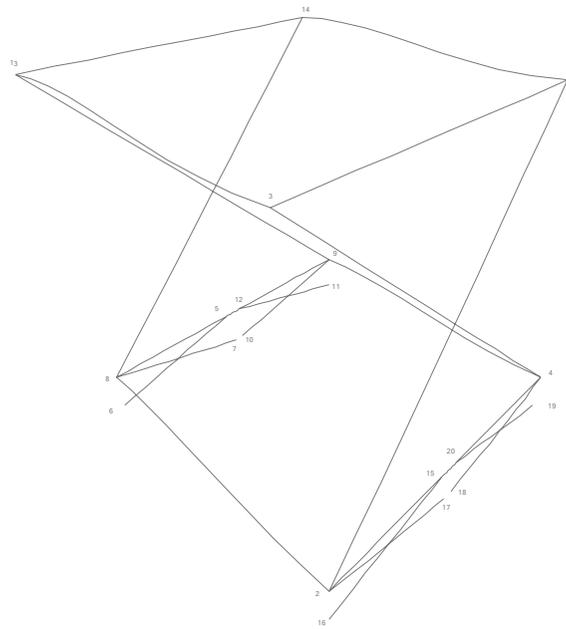
Elaboración: Autores

Figura 70. Gráfico de momento Dx



Elaboración: Autores

Figura 71. Comportamiento de la estructura en Dy



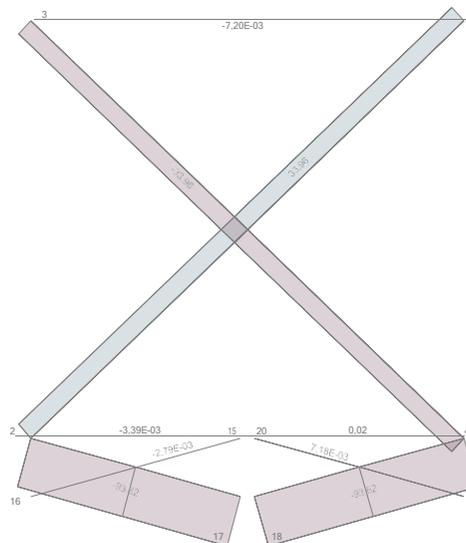
Elaboración: Autores

Tabla 66. Desplazamientos en Dy

DESPLAZAMIENTO DE NODOS Dy							
NODO	Output-Case	Case-Type	U2	H	D. Inelastica	R	D.Elástica
			m	m	m		%
1	Dy	LinStatic	0,017	2,1	0,008	3	1,84%
3	Dy	LinStatic	0,017	2,1	0,008	3	1,84%
13	Dy	LinStatic	0,015	2,1	0,007	3	1,56%
14	Dy	LinStatic	0,015	2,1	0,007	3	1,56%

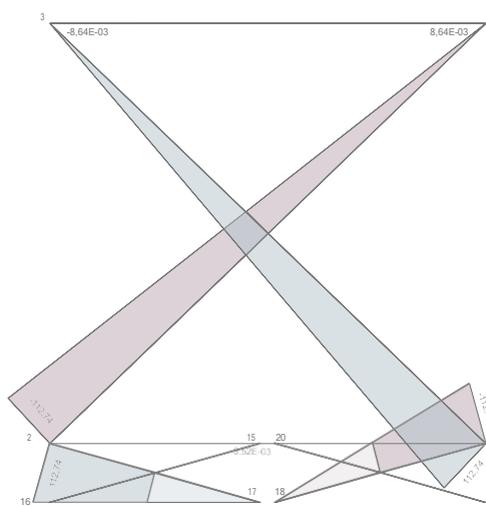
Elaboración: Autores

Figura 72. Gráfico de cortante Dy



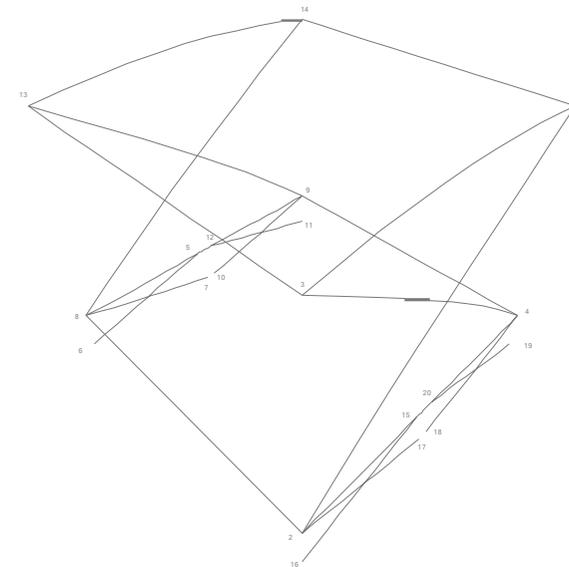
Elaboración: Autores

Figura 73. Gráfico de momentos Dy



Elaboración: Autores

Figura 74. Comportamiento de la estructura en Dz

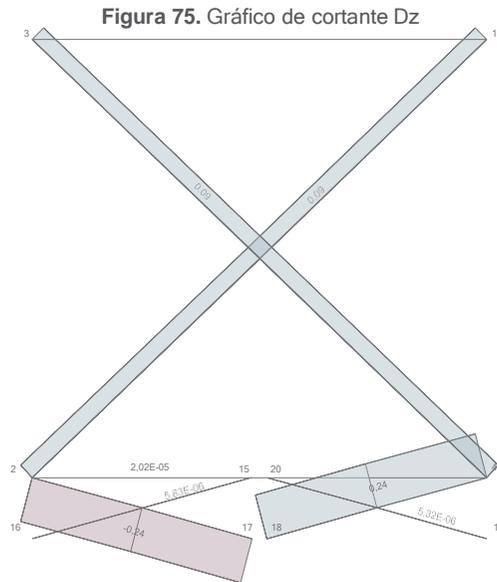


Elaboración: Autores

Tabla 67. Desplazamientos en Dz

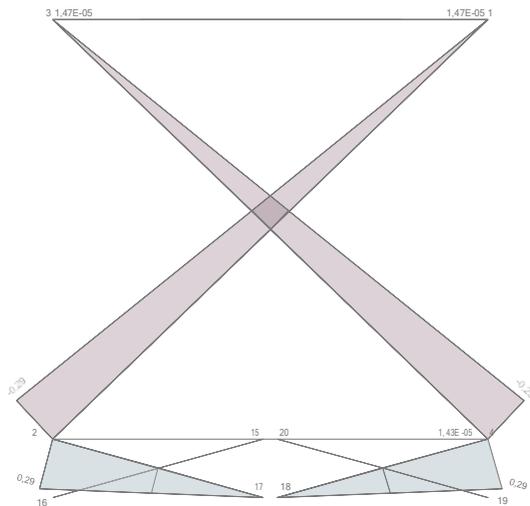
DESPLAZAMIENTO DE NODOS Dz							
NODO	Output-Case	Case-Type	U3	H	D. Inelastica	R	D. Elástica
			m	m	m		%
1	Dz	LinStatic	-0,000	2,1	-0,000	3	-0,00%
3	Dz	LinStatic	-0,000	2,1	-0,000	3	-0,00%
13	Dz	LinStatic	-0,000	2,1	-0,000	3	-0,00%
14	Dz	LinStatic	-0,000	2,1	-0,000	3	-0,00%

Elaboración: Autores



Elaboración: Autores

Figura 76. Gráfico de momentos Dz



Elaboración: Autores

La cubierta del prototipo muestra un desplazamiento de los nodos mayor que en los demás nodos de la estructura, lo cual es un aspecto destacado en su funcionamiento frente a las fuerzas naturales. Este desplazamiento se encuentra dentro de los límites aceptados por la normativa NEC(2015), que permite una deriva elástica de hasta el 2%.

La capacidad de la cubierta para mantener un desplazamiento aceptable es fundamental en términos de seguridad y desempeño estructural. La deriva elástica, que representa el desplazamiento lateral relativo entre la cubierta y el suelo, permite que esta pueda absorber las cargas impuestas por eventos sísmicos u otras fuerzas naturales, sin comprometer su integridad.

El hecho de que la cubierta del prototipo sea capaz de mantenerse dentro de los límites establecidos por la normativa NEC(2015) refleja su capacidad para resistir y adaptarse a las fuerzas externas sin sufrir daños estructurales significativos. Esto es esencial para garantizar la seguridad de las personas que utilizan el espacio y la durabilidad a largo plazo de la estructura.

4

Digitalización del prototipo final

4.1. Planos constructivos

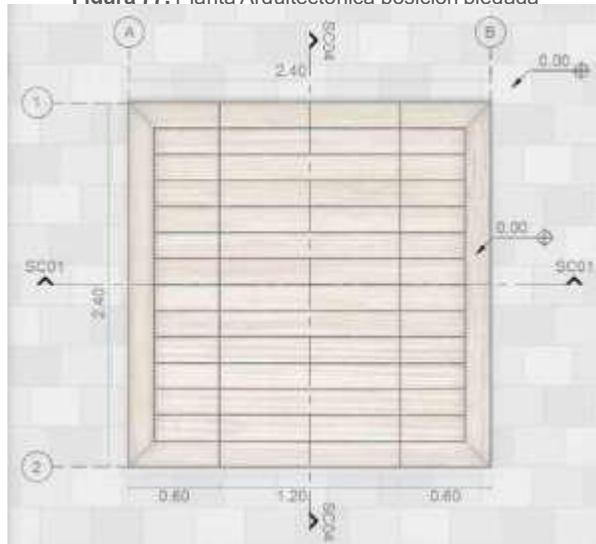
4.2. Detalles constructivos

Este capítulo desglosa el funcionamiento del prototipo desarrollado, ofreciendo una visión detallada de la disposición espacial de sus elementos clave. Se presentarán a continuación, plantas, secciones, detalles constructivos y esquemas que permiten explorar a fondo las características estructurales y estéticas del mecanismo, revelando su complejidad y ofreciendo una perspectiva clara de los aspectos técnicos y de diseño. Este capítulo sirve como piedra angular para la comprensión completa de nuestro proyecto.

4.1 Planos Constructivos

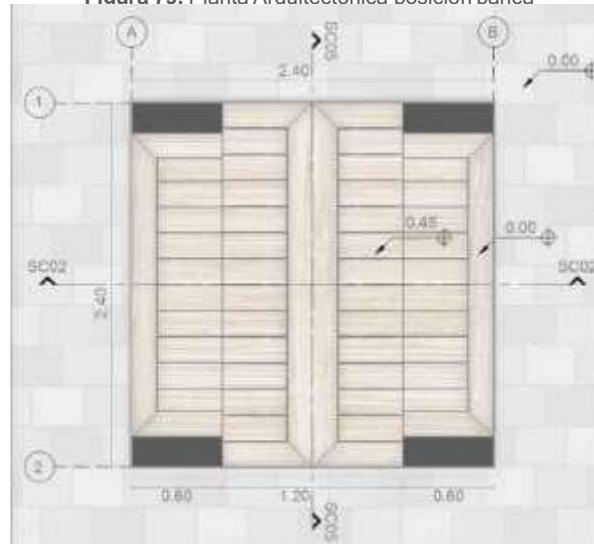
Escala 1:50

Figura 77. Planta Arquitectónica posición plegada



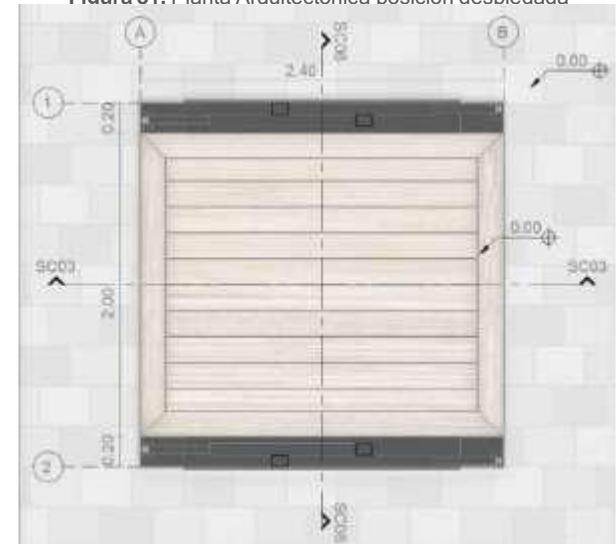
Elaboración: Autores

Figura 79. Planta Arquitectónica posición banca



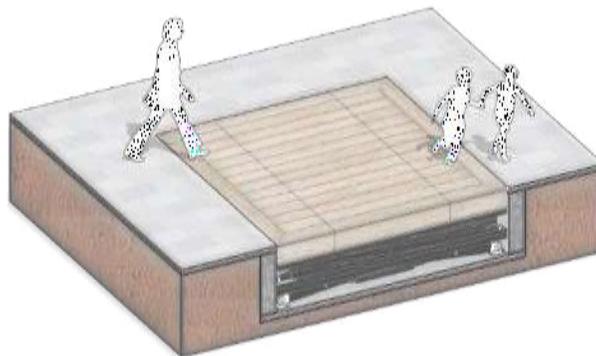
Elaboración: Autores

Figura 81. Planta Arquitectónica posición desplegada



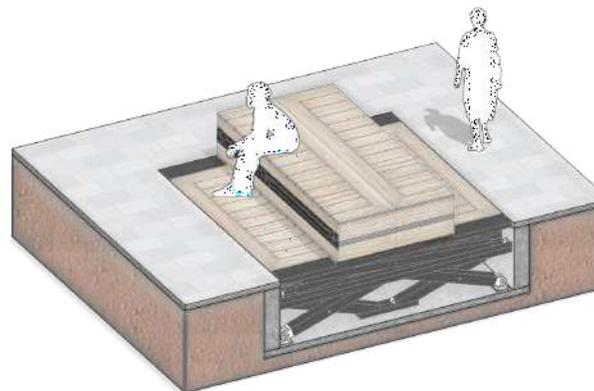
Elaboración: Autores

Figura 78. Axonometría posición plegada



Elaboración: Autores

Figura 80. Axonometría posición banca



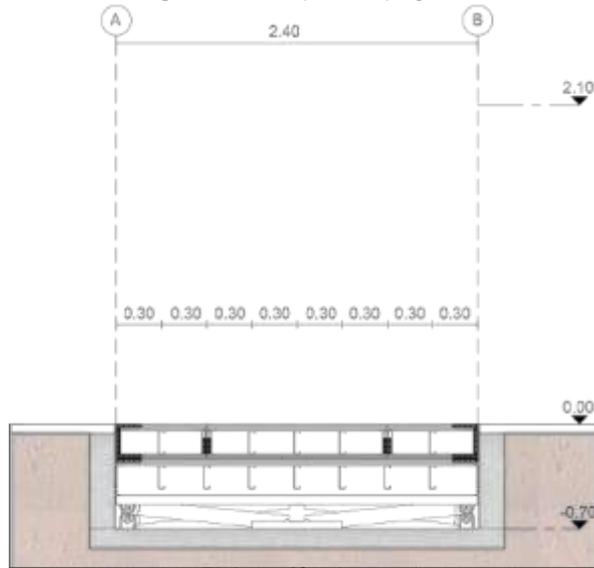
Elaboración: Autores

Figura 82. Axonometría posición desplegada



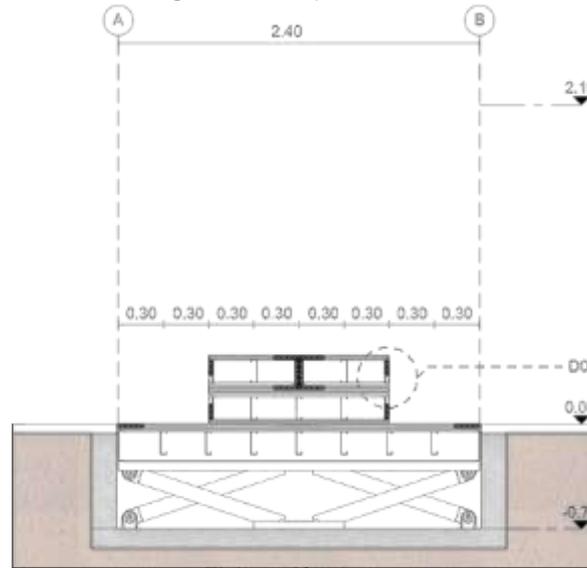
Elaboración: Autores

Figura 83. SC01 posición plegada



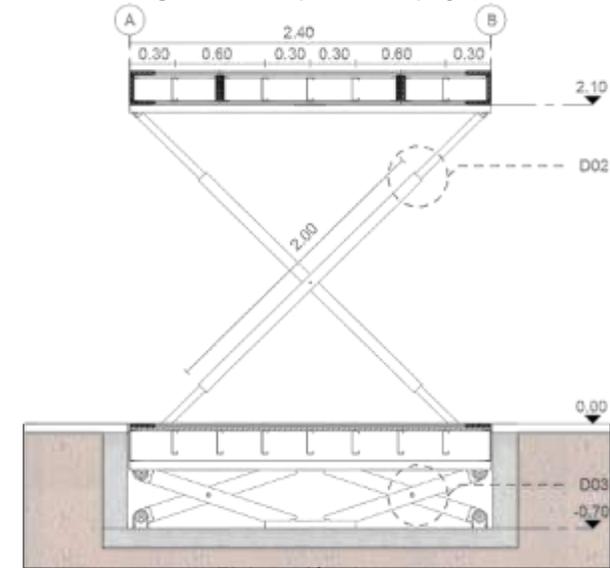
Elaboración: Autores

Figura 84. SC02 posición banca



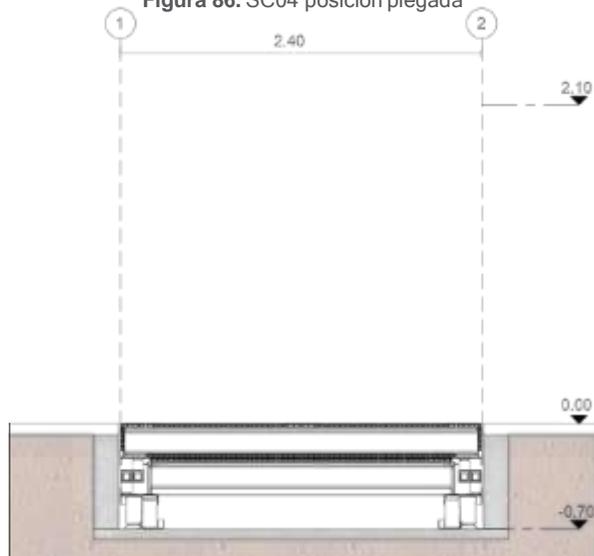
Elaboración: Autores

Figura 85. SC03 posición desplegada



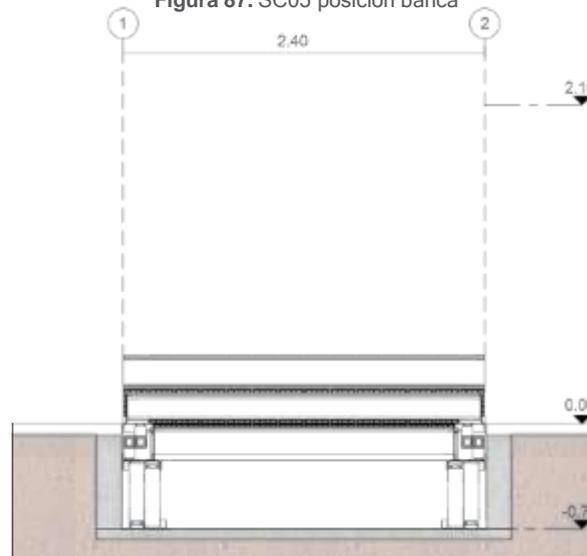
Elaboración: Autores

Figura 86. SC04 posición plegada



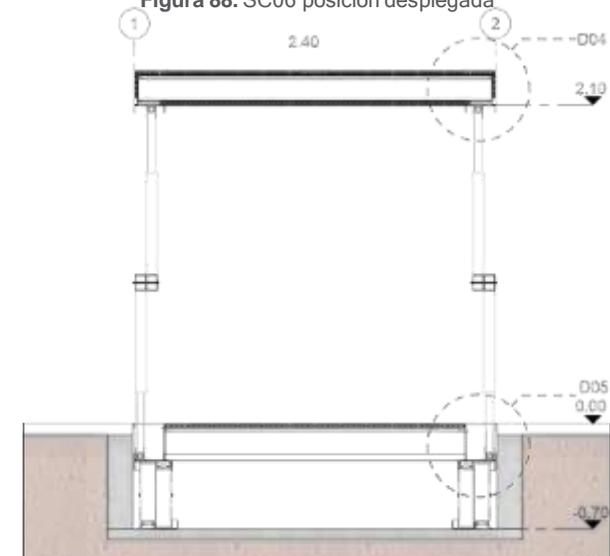
Elaboración: Autores

Figura 87. SC05 posición banca



Elaboración: Autores

Figura 88. SC06 posición desplegada

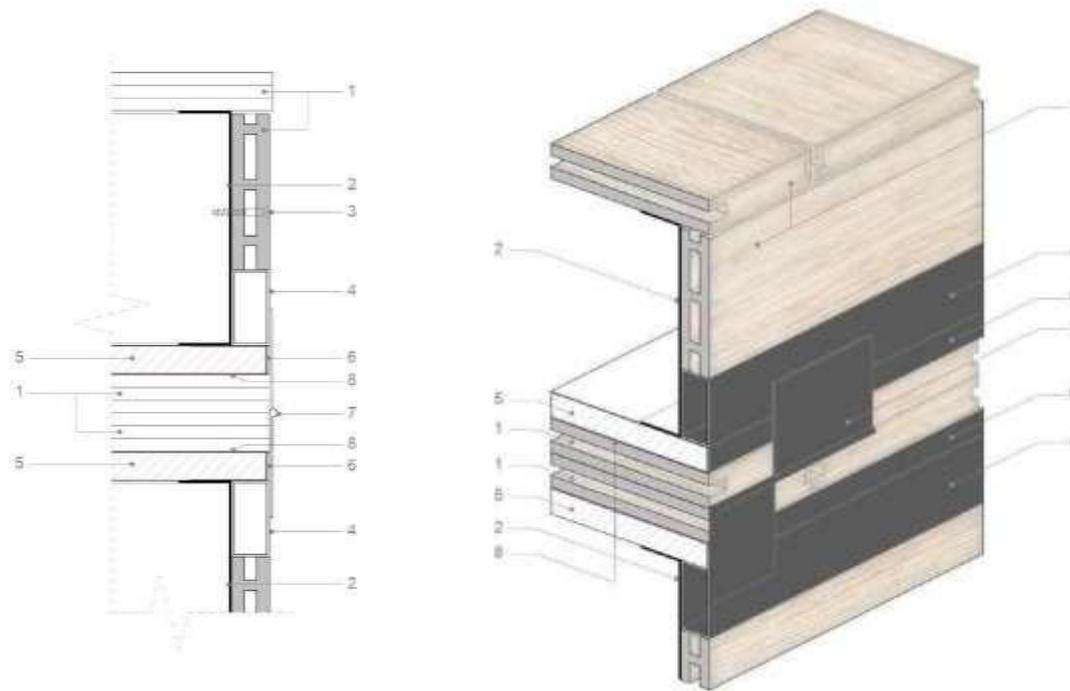


Elaboración: Autores

4.2 Detalles Constructivos

Escala 1:5

Figura 89. D01 Detalle de bisagra



Elaboración: Autores

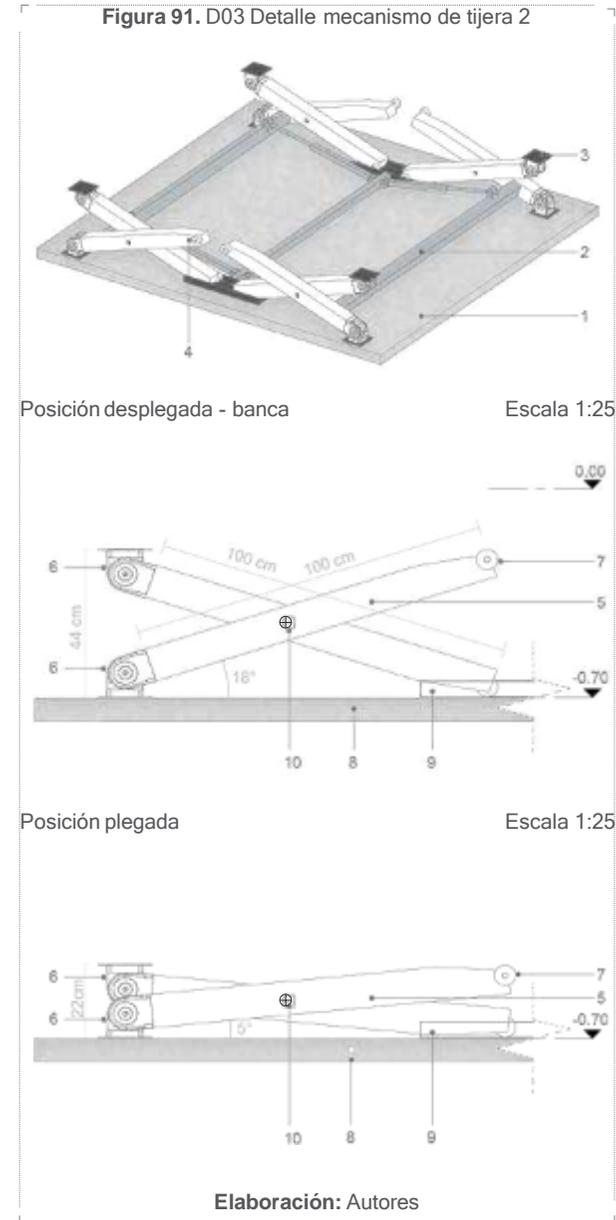
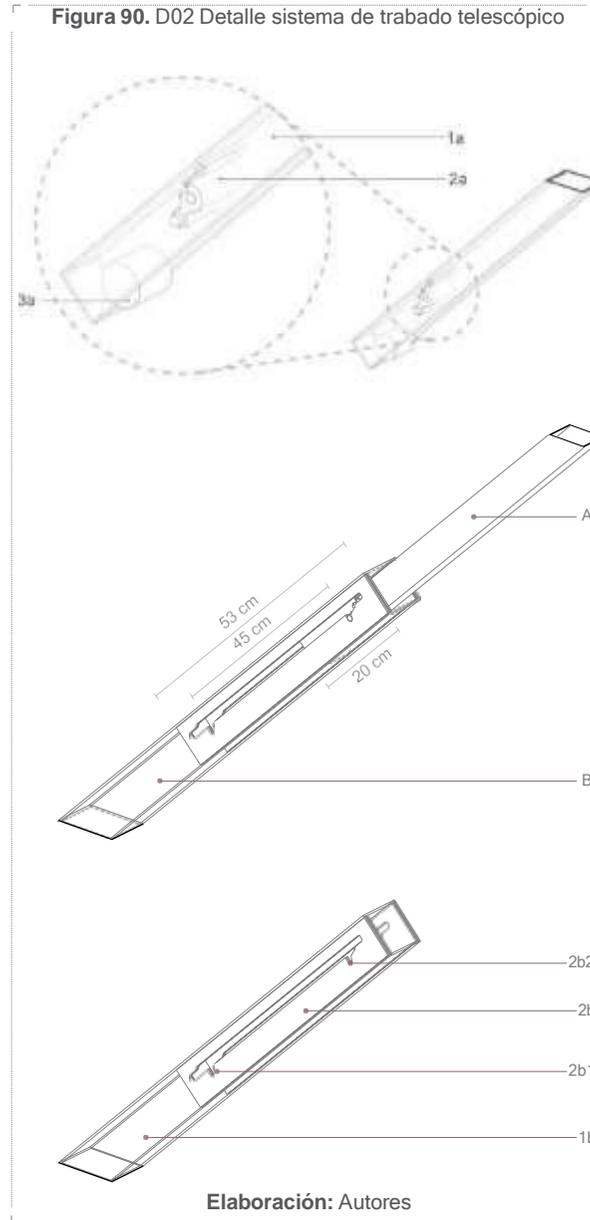
1. Piso deck de PVC 16.6x2.5cm.
2. Perfil C Steel Frame 154x35x1.64mm.
3. Tornillo autoroscante avellanado #10x11/2".
4. Tubo mecánico rectangular 25x50x1.5mm.
5. Placa de fibrocemento hidrófugo 122x244x2cm.
6. Platina 20x3mm.
7. Bisagra estructural para soldar 3"x4" e=2mm.
8. Lámina asfáltica.

D02

- A. Tubo interior de sistema telescópico.
- B. Tubo exterior de sistema telescópico.
- 1a. Tubo cuadrado 50x50x3mm.
- 2a. Mecanismo de trabafo fijo a 1a.
- 3a. Rueda de acero d=60mm capacidad 750kg.
- 1b. Tubo cuadrado 75x75x3mm.
- 2b. Mecanismo de trabafo fijo a 1b.
- 2b1. Trabafo para posición plegada.
- 2b2. Trabafo para posición desplegada y banca.

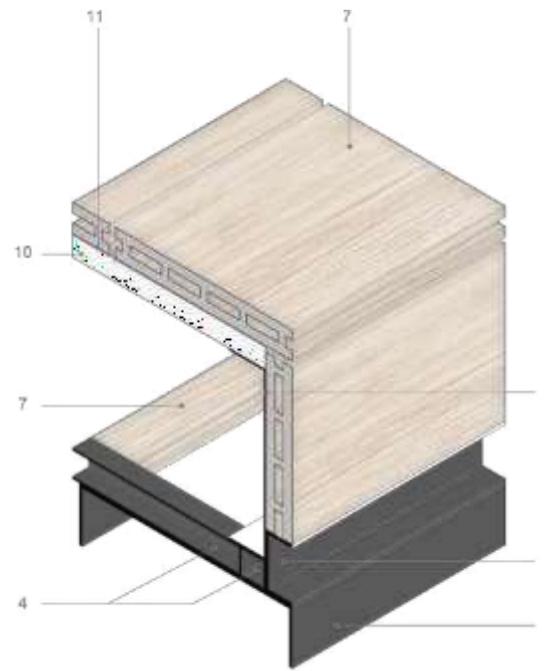
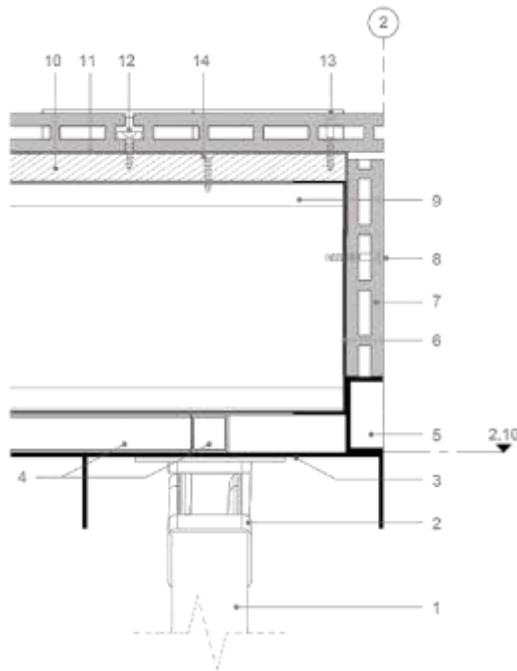
D03

- 1. Contrapiso hormigón armado 210kg/cm² e=7cm.
- 2. Sistema de movimiento - cilindro hidráulico.
- 3. Puntos fijos articulados.
- 4. Puntos móviles.
- 5. Tubo cuadrado 100x100x3mm.
- 6. Articulación de acero 100mm.
- 7. h8. Contrapiso hormigón armado 210kg/cm² e=7cm.
- 9. Perfil C 150x50x3mm.
- 10. Perno de grado 8, 5/8" x 10".



Escala 1:5

Figura 92. D04 Detalle de cubierta posición desplegada

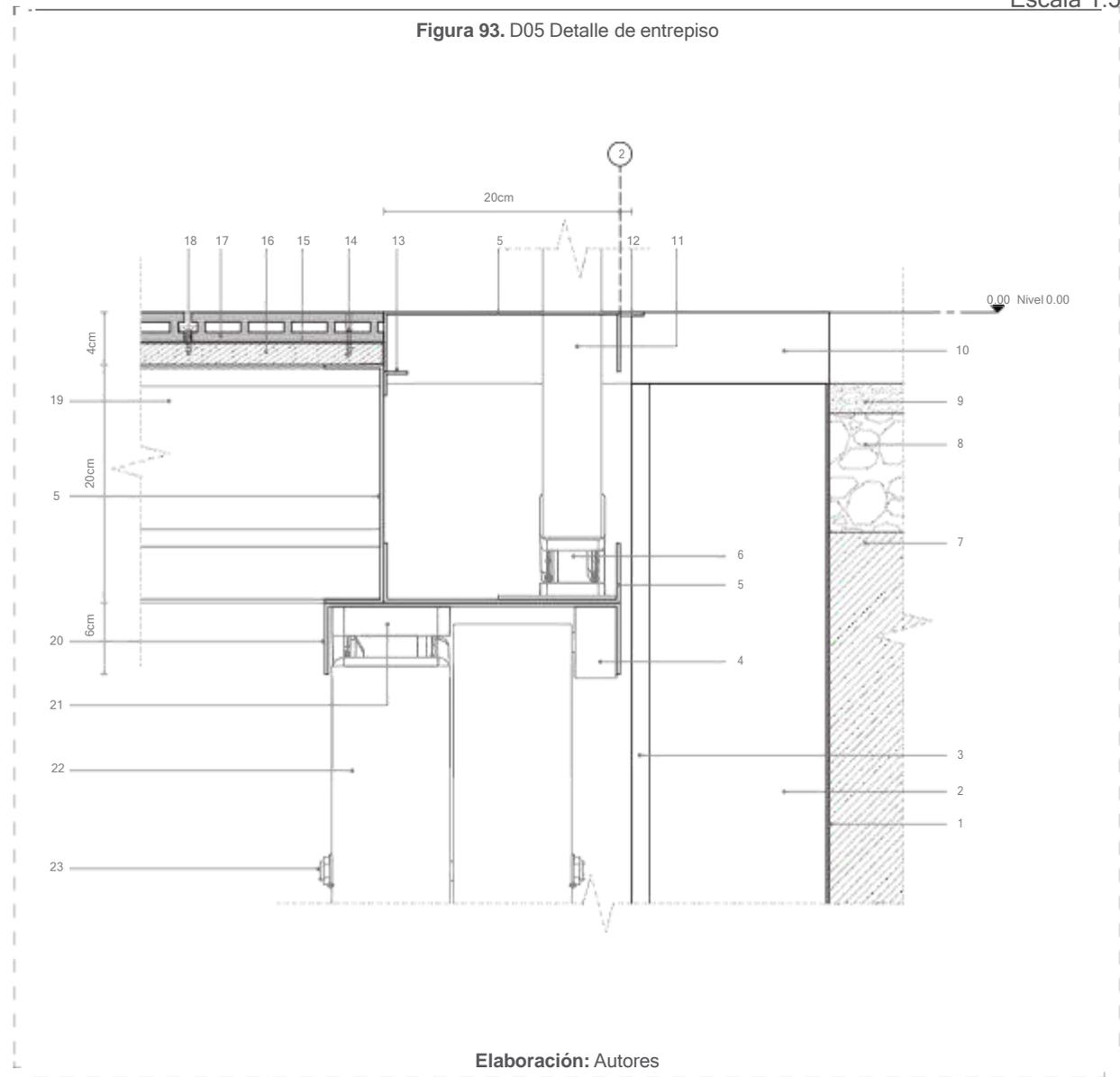


1. Tubo cuadrado 50x50x3mm.
2. Articulación de acero 50mm.
3. Perfil C 200x50x3mm.
4. Tubo cuadrado 25x25x2mm.
5. Perfil C 25x50x3mm (para elevar cubierta manualmente).
6. Perfil C Steel Frame 154x35x1.64mm.
7. Piso deck de PVC 16.6x2.5cm.
8. Tornillo autoroscante avellanado #10x11/2".
9. Perfil G Steel Frame 150x40x15x1.64mm.
10. Placa de fibrocemento hidrófugo 122x244x2cm.
11. Lámina asfáltica.
12. Pieza plástica en T para fijación con tornillo autoroscante para madera #8x1".
13. Tornillo autoroscante para madera #8x11/2".

Elaboración: Autores

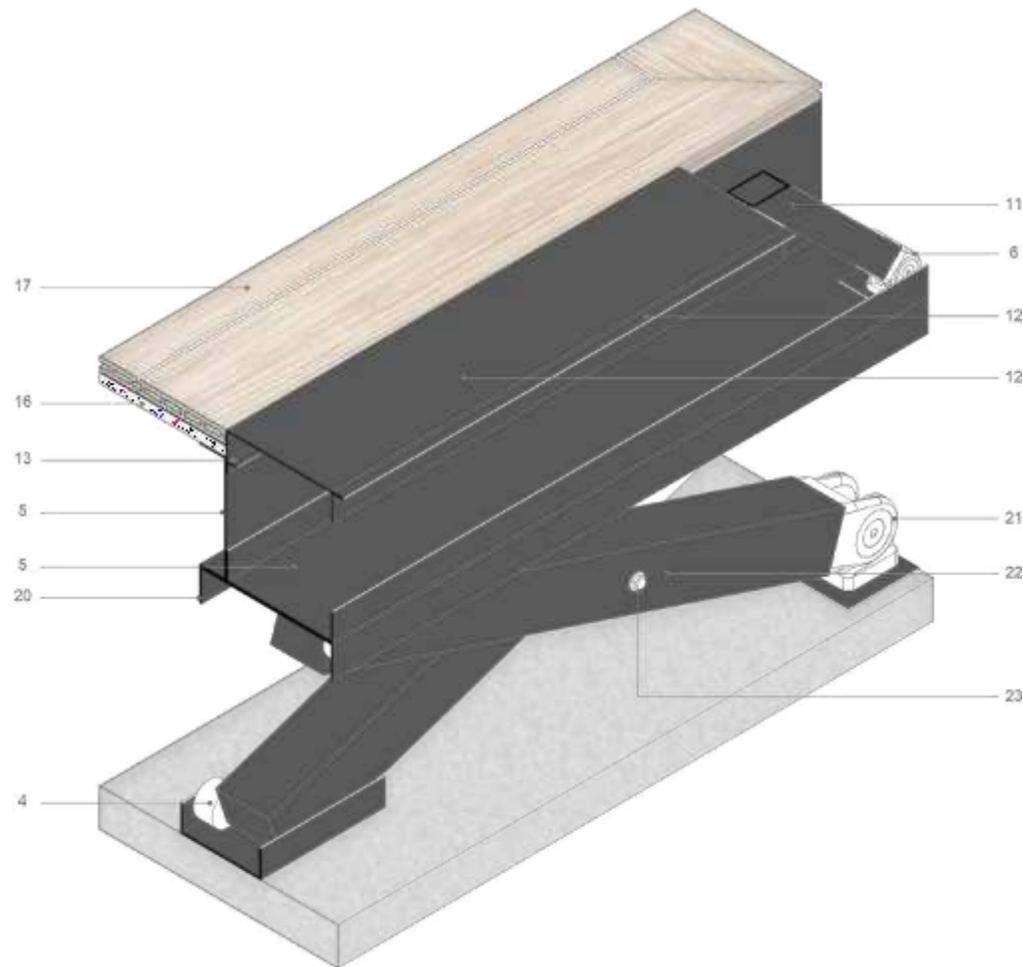
Figura 93. D05 Detalle de entrepiso

1. Impermeabilizante.
2. Muro perimetral de hormigón armado.
3. Enlucido e=1.5cm.
4. Rueda de acero d=60mm capacidad 750kg.
5. Perfil C 200x50x3mm.
6. Articulación de acero 50mm.
7. Suelo natural.
8. Replanteo de piedra.
9. Cama de arena.
10. Adoquín e=6cm.
11. Tubo cuadrado 50x50x3mm.
12. Platina 20x2mm.
13. Ángulo 20x2mm.
14. Tornillo autoroscante para madera #8x1 1/2".
15. Lámina asfáltica.
16. Placa de fibrocemento hidrófugo 122x244x2cm.
17. Piso deck de PVC 16.6x2.5cm.
18. Pieza plástica en T para fijación con tornillo autoroscante para madera #8x1".
19. Perfil G Steel Frame 150x40X15x1.64mm.
20. Perfil C 250x60x3mm.
21. Articulación de acero 100mm.
22. Tubo cuadrado 100x100x3mm.
23. Perno de grado 8, 5/8" x 10".



Escala 1:5

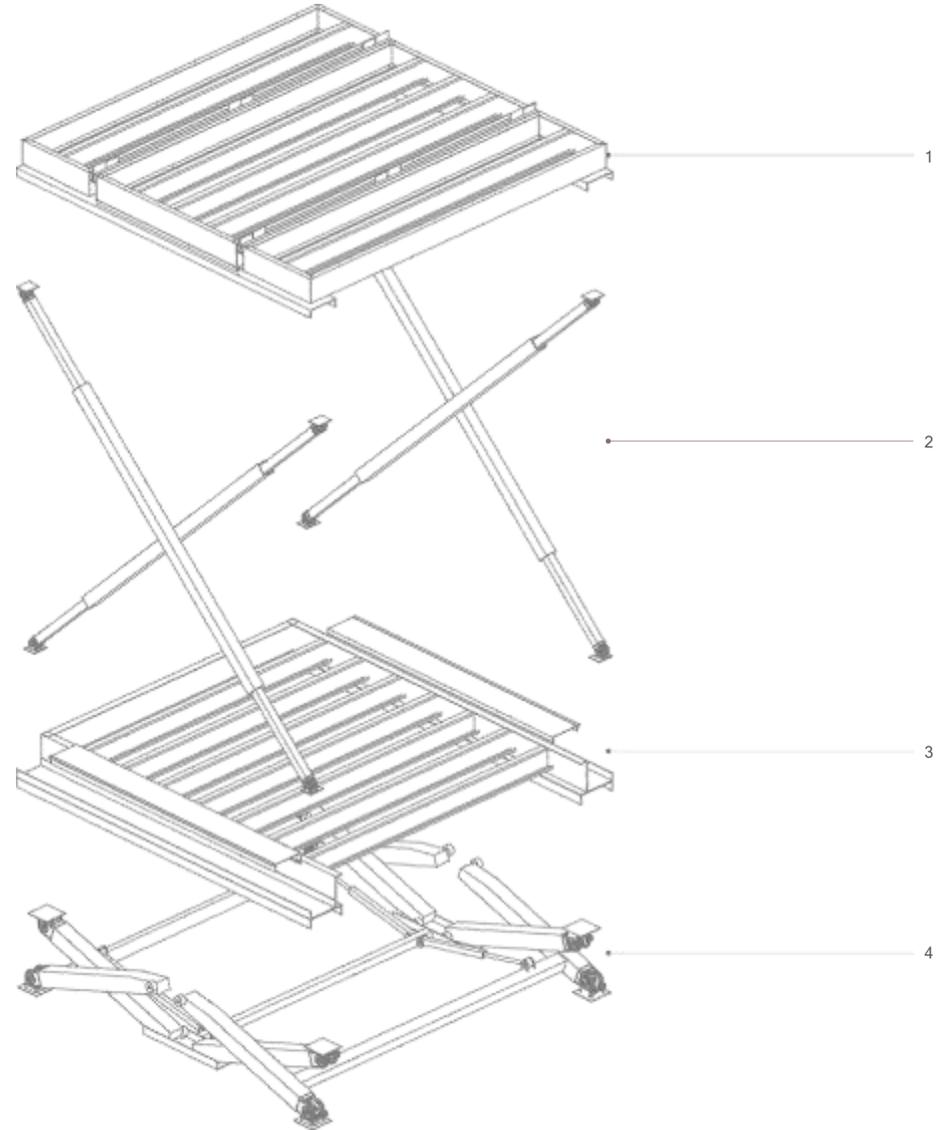
Figura 94. Axonometría D05 Detalle de entrepiso



Elaboración: Autores

- 4. Rueda de acero d=60mm capacidad 750kg.
- 5. Perfil C 200x50x3mm.
- 6. Articulación de acero 50mm.
- 11. Tubo cuadrado 50x50x3mm.
- 12. Platina 20x2mm.
- 13. Ángulo 20x2mm.
- 16. Placa de fibrocemento hidrófugo 122x244x2cm.
- 17. Piso deck de PVC 16.6x2.5cm.
- 20. Perfil C 250x60x3mm.
- 21. Articulación de acero 100mm.
- 22. Tubo cuadrado 100x100x3mm.
- 23. Perno de grado 8, 5/8" x 10".

Figura 95. Axonometría explotada de estructura

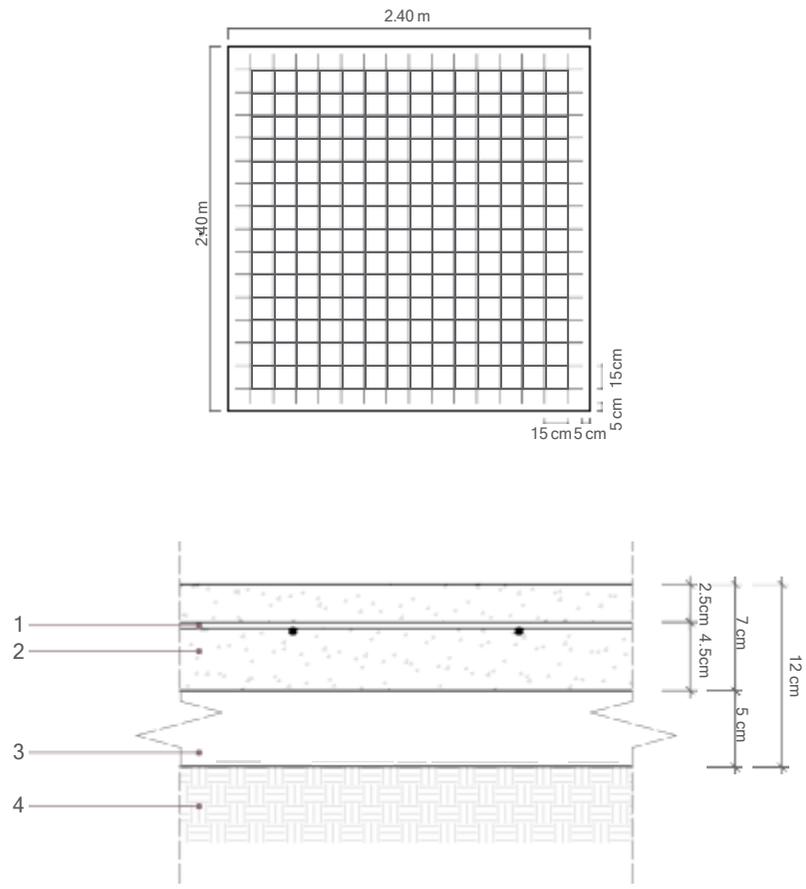


1. Estructura Steel Frame de cubierta - banca.
2. Mecanismo de tijera 1 (telescópico).
3. Entrepiso.
4. Mecanismo de tijera 2.

Elaboración: Autores

Escala 1:5

Figura 96. Detalle de contrapiso



Elaboración: Autores

1. Malla electrosoldada R84 d=4.0 mm (15×15 cm).
2. Hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ $e=7\text{cm}$.
3. Hormigón pobre de nivelación $f'c=180\text{kg/cm}^2$ $e=5\text{cm}$.
4. Suelo natural compactado.

El prototipo se desarrolla en base a 4 componentes principales:

1. Cubierta/Banca.
2. Mecanismo de tijera 1.
3. Entrepiso.
4. Mecanismo de tijera 2.

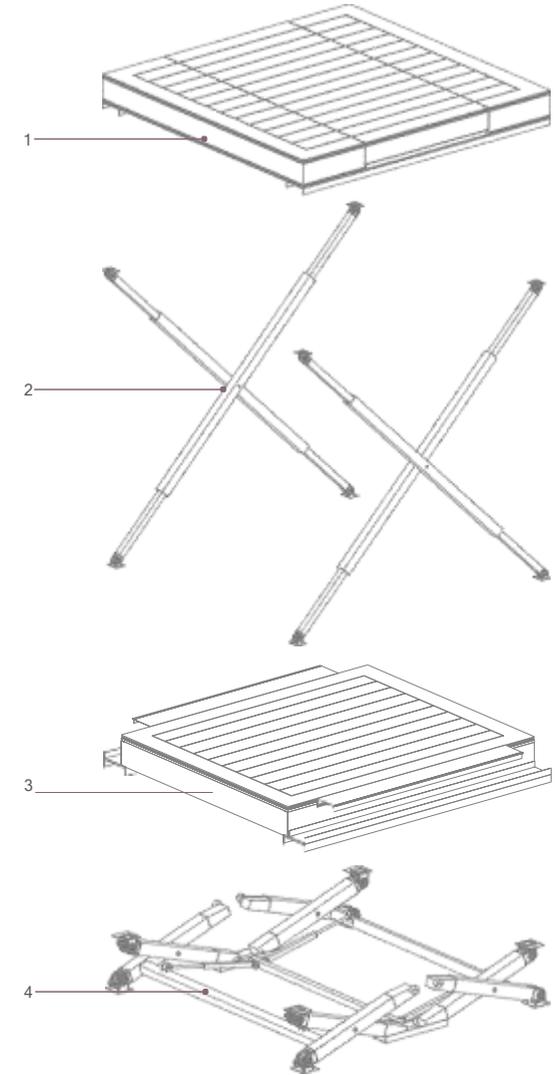
Las especificaciones y sus respectivos movimientos se detallan en la Tabla 68 y Tabla 69.

Tabla 68. Especificaciones del prototipo

Especificaciones Prototipo				
Dimensiones posición plegado (Piso)				
Descripción	Valor	Unidad		
Largo	2,40	m		
Ancho	2,40	m		
Altura	0,00	m		
Dimensiones posición doblado (Asiento)				
Descripción	Valor	Unidad		
Largo	2,40	m		
Ancho	1,20	m		
Altura	0,40	m		
Dimensiones posición doblado (Cubierta)				
Descripción	Valor	Unidad		
Largo	2,40	m		
Ancho	2,40	m		
Altura	2,10	m		
Peso del prototipo				
Descripción	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Cubierta	52,69	kgf/m2	303,48	kgf
Mecanismo de tijera entrepiso - cubierta	15,47	kgf/m2	89,11	kgf
Entrepiso	37,51	kgf/m2	216,04	kgf
Mecanismo de tijera contrapiso - entrepiso	15,28	kgf/m2	88,03	kgf
Total	120,95	kgf/m2	696,65	kgf

Elaboración: Autores

Figura 97. Axonometría explotada de los componentes del prototipo



Elaboración: Autores

Tabla 69. Componentes del prototipo y sus respectivos movimientos

	Posición plegada	Posición banca	Posición desplegada	Especificaciones		
Cubierta/Banca y entrepiso						
				Elemento	Movimiento	Mecanismo
				Cubierta/Banca	Rotación (Manual)	Bisagra (Ver D01)
Entrepiso	Vertical (Manual)	Mecanismo de tijera 1 (Ver D02 y D04)				
Mecanismo de tijera 1				Elemento	Movimiento	Mecanismo
				Mecanismo de tijera 1	Rotación (Manual) Axial (Manual)	Articulaciones (Ver D05) Telescópico (Ver D02)
				Mecanismo de tijera 2		
Mecanismo de tijera 2	Rotación (Mecánico)	Articulaciones (Ver D05) Cilindros hidráulicos (Ver D03)				
Contrapiso						
				Contrapiso	Ninguno	Ninguno (Ver D06)
				Prototipo completo		

Elaboración: Autores

**Previsualizaciones del prototipo en plazas de
Cuenca, Ecuador**

5. Previsualización del prototipo en una plaza de Cuenca, Ecuador

Dentro del contexto de la ciudad de Cuenca, se puede identificar la existencia de varias plazas que, en aras de promover la “libertad de expresión”, permanecen mayormente desocupadas. Estos espacios públicos, concebidos originalmente para acoger eventos festivos, se enfrentan a la realidad de estar prácticamente abandonados durante el resto del año, lo cual suscita una percepción de inseguridad en la comunidad local.

Esta investigación busca superar la limitación temporal de las plazas y revalorizar su potencial como lugares de encuentro y participación activa. Se aspira a que estos espacios públicos, en lugar de permanecer subutilizados y desolados, se conviertan en puntos de referencia constantes para la ciudadanía, donde se promueva la cohesión social y el intercambio de ideas en un contexto seguro y estimulante.

Es relevante enfatizar que este capítulo se centra en una previsualización del prototipo en la plaza, y no en la redefinición completa del diseño de la plaza. El propósito principal radica en demostrar la viabilidad y el potencial impacto del prototipo en conjunto en un entorno real, lo que puede proporcionar información valiosa para futuras intervencio-

nes urbanas más amplias.

5.1 Plaza del Otorongo

La elección de la Plaza del Otorongo en Cuenca como ubicación para la inserción del prototipo diseñado se basó en una evaluación exhaustiva de varios factores clave. Estos factores no solo permiten comprender la relevancia de esta elección, sino también la necesidad de abordar los desafíos que enfrenta la plaza en la actualidad.

Uno de los elementos cruciales que influyó en esta elección fue la ubicación estratégica de la Plaza del Otorongo en el tejido urbano de la ciudad. Situada en un punto central y de fácil acceso, la plaza desempeña un papel fundamental como nexo entre diferentes áreas de la ciudad. Esta ubicación privilegiada asegura que el prototipo diseñado tenga la capacidad de impactar a una audiencia diversa y amplia, convirtiéndola en un escenario ideal para la observación y evaluación de la interacción entre las personas y el prototipo.

Además, como ya se ha mencionado, la histórica práctica de utilizar la Plaza del Otorongo para ferias y exposiciones en días festivos subraya su potencial como espacio de congregación y actividad comunitaria. Aprovechar este patrón existente significa que la inserción del prototipo en la plaza

puede alinearse con las actividades y comportamientos ya arraigados en la cultura local.

No obstante, es fundamental reconocer que la Plaza del Otorongo enfrenta una serie de desafíos que limitan su utilidad y valor en el día a día. La percepción de que la plaza permanece subutilizada o vacía en gran parte del tiempo es un tema crucial que este proyecto busca abordar. Al elegir esta ubicación, se asume la responsabilidad de revitalizar y mejorar la funcionalidad de la plaza, convirtiéndola en un espacio que promueva la interacción social, el disfrute y la participación activa.

5.1.1 Ubicación
Ciudad de Cuenca

Figura 98. Mapa de Cuenca



Elaboración: Autores

Barrio el Vado

Figura 99. Mapa del barrio El Vado



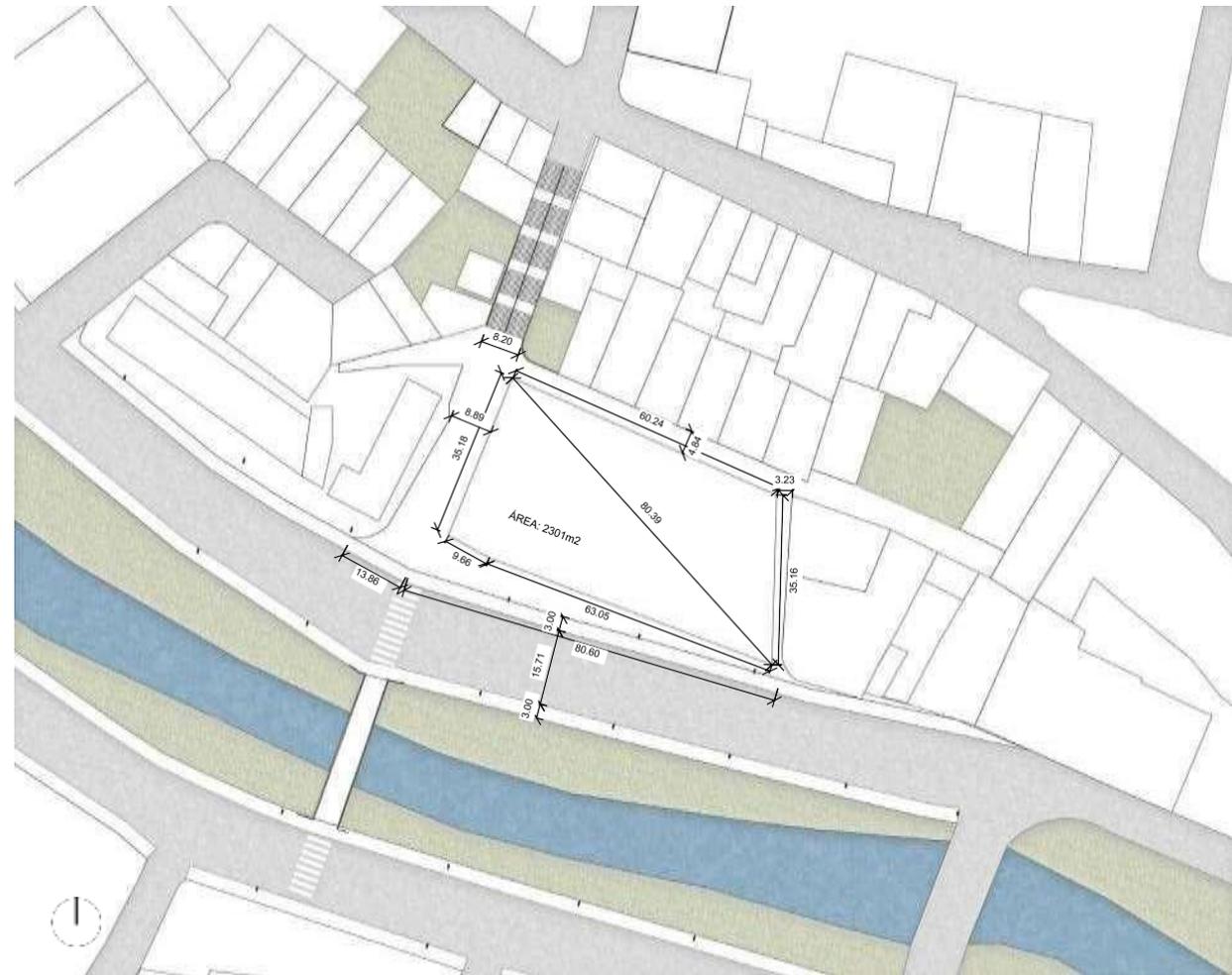
Elaboración: Autores

5.1.2 Medio Físico

5.1.2.1 Geometría

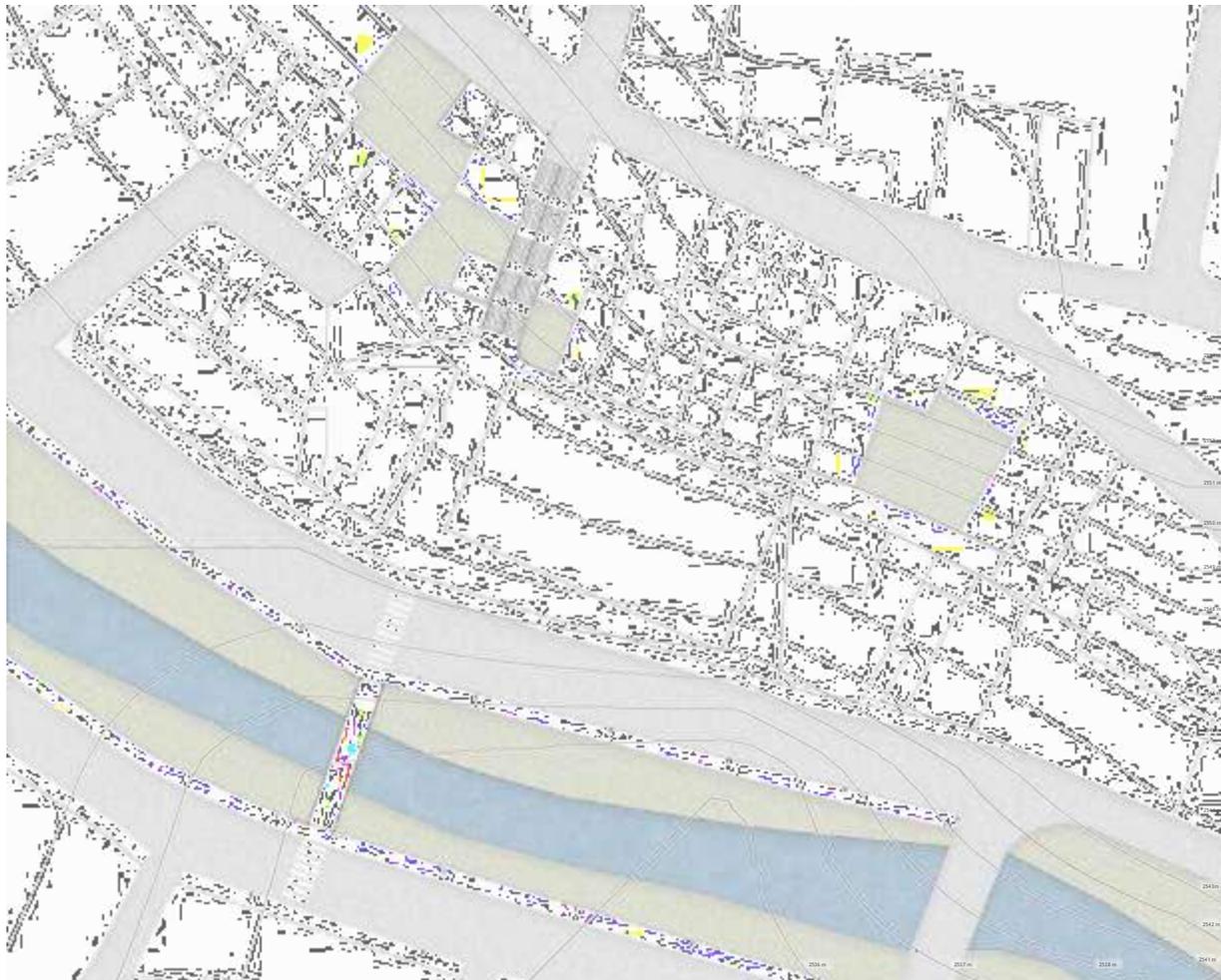
Mediante la utilización del visor geográfico proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Cuenca, se ha generado la Figura 100, la cual facilita la identificación precisa de las dimensiones y el área correspondiente a la plaza en cuestión. Dada la considerable extensión de este emplazamiento, se observa la factibilidad de llevar a cabo la implementación del prototipo propuesto en dicha área.

Figura 100. Geometría de la Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Figura 101. Curvas de nivel de la Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Simbología:

— Curvas de nivel

5.1.2.2 Topografía

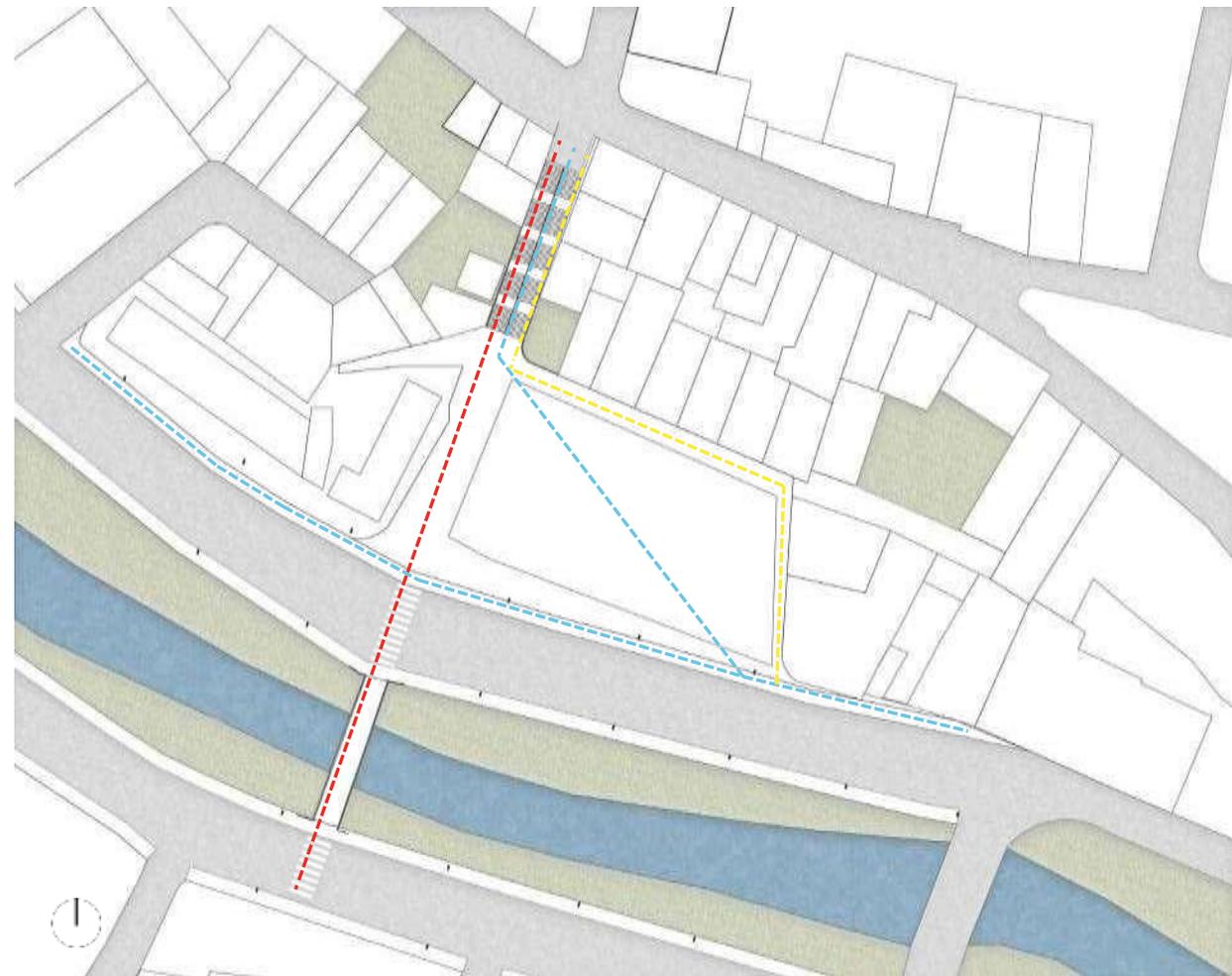
Por medio de Google Earth, se han adquirido coordenadas geográficas relevantes de la zona en cuestión, lo que ha permitido el mapeo de curvas de nivel en el terreno. Aunque se observa una marcada inclinación en las curvas de nivel en la zona correspondiente a la escalinata del sector, en líneas generales, la plaza exhibe una pendiente mínima. Se ha establecido que la cota máxima y mínima de la plaza se sitúan en 2543 metros y 2541 metros respectivamente. A partir de estos datos, se ha calculado una pendiente del 4%.

5.1.3 Accesibilidad, movilidad y vialidad

5.1.3.1 Circulación peatonal

Conforme al análisis llevado a cabo por Astudilloo (2019) en su tesis titulada “El uso de la plaza como espacio público de calidad: caso de estudio ‘La plaza del Otorongo’”, se logró discernir la presencia de flujos peatonales caracterizados por niveles de uso elevado, moderado y reducido en la mencionada plaza. Este hallazgo resulta instrumental para delinear la ubicación estratégica de los prototipos propuestos. Al asegurar que estas intervenciones sean colocadas de manera que no interfieran con la circulación de las personas, se contribuye sustancialmente a la experiencia del recorrido en el espacio público.

Figura 102. Mapa de flujos peatonales

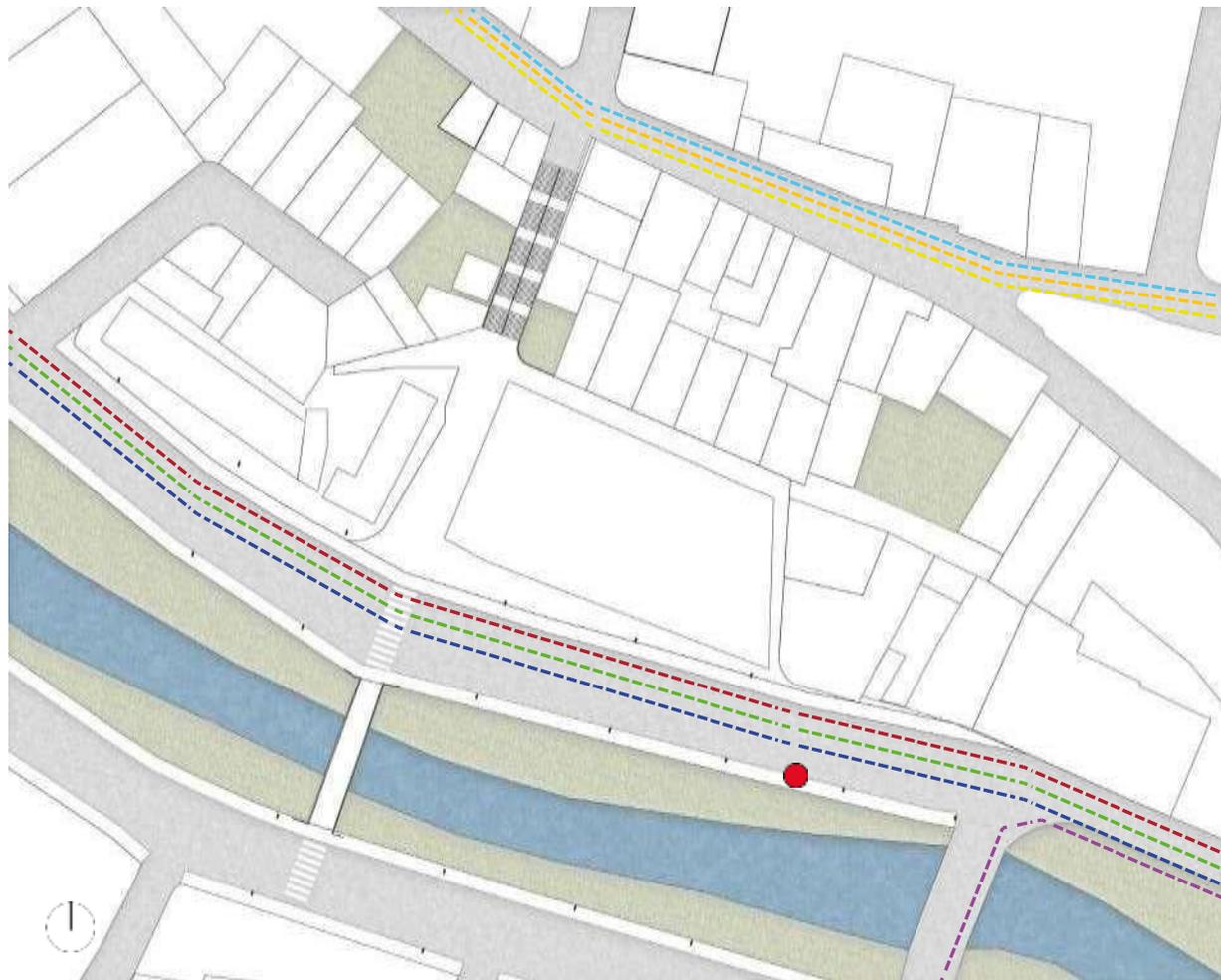


Elaboración: Autores

Simbología:

- Circulación de mayor uso
- Circulación de medio uso
- Circulación de menor uso

Figura 103. Mapa de líneas de buses cercanos a la plaza



Elaboración: Autores

Simbología:

- | | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|
|  | Línea N°19 Orquideas - Tenis Club |  | Para de bus |
|  | Línea N°15 Baguanchi - Feria Libre |  | Línea N°13 Hospital del IESS - Tejar |
|  | Línea N°25 Jaime Roldos - Santa María del |  | Línea N°5 Totoracocha - Yanuncay |
|  | Línea N°12 Baños - Quinta Chica |  | Línea N°3 Eucaliptos Sayausi |

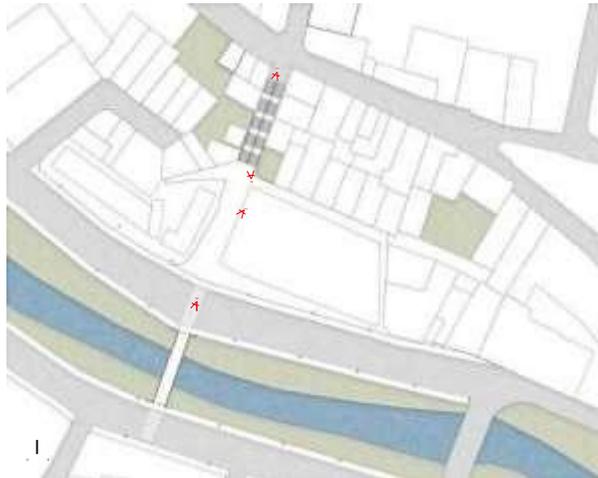
5.1.3.2 Sistemas de transporte

La zona en la que se encuentra ubicada la plaza se ve beneficiada por la presencia y operatividad de 7 líneas de autobuses que transitan en sus cercanías, lo que contribuye significativamente a su accesibilidad. Este conjunto de rutas de transporte público resalta la relevante ubicación de la plaza, convirtiéndola en un punto de fácil alcance. Este aspecto, en particular, subraya el potencial altamente favorable que posee la plaza en términos de facilitar la implementación exitosa del prototipo propuesto. La confluencia de estas líneas de buses no solo garantiza la llegada de visitantes, sino que también refuerza la conexión de la plaza con la red de movilidad urbana, consolidando así su relevancia como un espacio de encuentro y actividad.

5.1.4 Paisaje

5.1.4.1 Visuales

Figura 104. Mapa de ubicación de fotografías



Elaboración: Autores

Figura 105. Vista superior de la escalinata (F1)



Elaboración: Autores

Figura 107. Vista inferior de la escalinata (F2)



Elaboración: Autores

Figura 106. Vista hacia las zonas de comercio (F3)



Elaboración: Autores

Figura 108. Vista hacia el puente peatonal (F4)



Elaboración: Autores

Simbología:

- F1 ✖ Vista desde la parte superior de la escalinata
- F2 ✖ Vista desde la parte inferior de la escalinata
- F3 ✖ Vista desde la plaza hacia la zonas de comercio

- F4 ✖ Vista desde la Av. 3 de Noviembre hacia el puente
- F5 ✖ Vista desde la Av. 3 de noviembre hacia la plaza

Figura 109. Mapa de árboles en la zona



Elaboración: Autores

Simbología:

● Árboles

5.1.4.2 Vegetación

La vegetación desempeña un papel que va más allá de su aspecto visual, ya que contribuye a la configuración de un concepto formal en el diseño. Asimismo, la vegetación juega un rol fundamental en las estrategias ambientales dirigidas a controlar la exposición a la luz solar y el calor. Por esta razón, es esencial realizar un estudio detallado para identificar las ubicaciones adecuadas para su implementación.

De acuerdo con la EMAC EP (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca), se ha identificado un conjunto de especies destinadas a proteger el río Tomebamba y los espacios adyacentes. Entre estas especies se encuentran el Guayacán, el Prunus, el Arrayán, el Sauce, el Fresno y el Capulí. La selección de estas especies no solo tiene en cuenta la funcionalidad ambiental, sino también la relevancia de preservar y mejorar los entornos naturales cercanos.

5.1.5 Preexistencias

5.1.5.1 Locales comerciales

En las proximidades de la plaza, se sitúan diversos establecimientos comerciales que abarcan una variedad de funciones, como restaurantes, puntos de venta de artesanía, entre otros. Estos diversos usos asignados a los espacios circundantes de la plaza desempeñan un papel fundamental en el fomento de su actividad y en la dinámica de circulación en el área. Estos locales comerciales no solo contribuyen a la funcionalidad del entorno, sino que también enriquecen la experiencia y la interacción de las personas con el espacio público, generando un ambiente más activo y vibrante en su conjunto.

Figura 110. Mapa de ubicación de locales comerciales

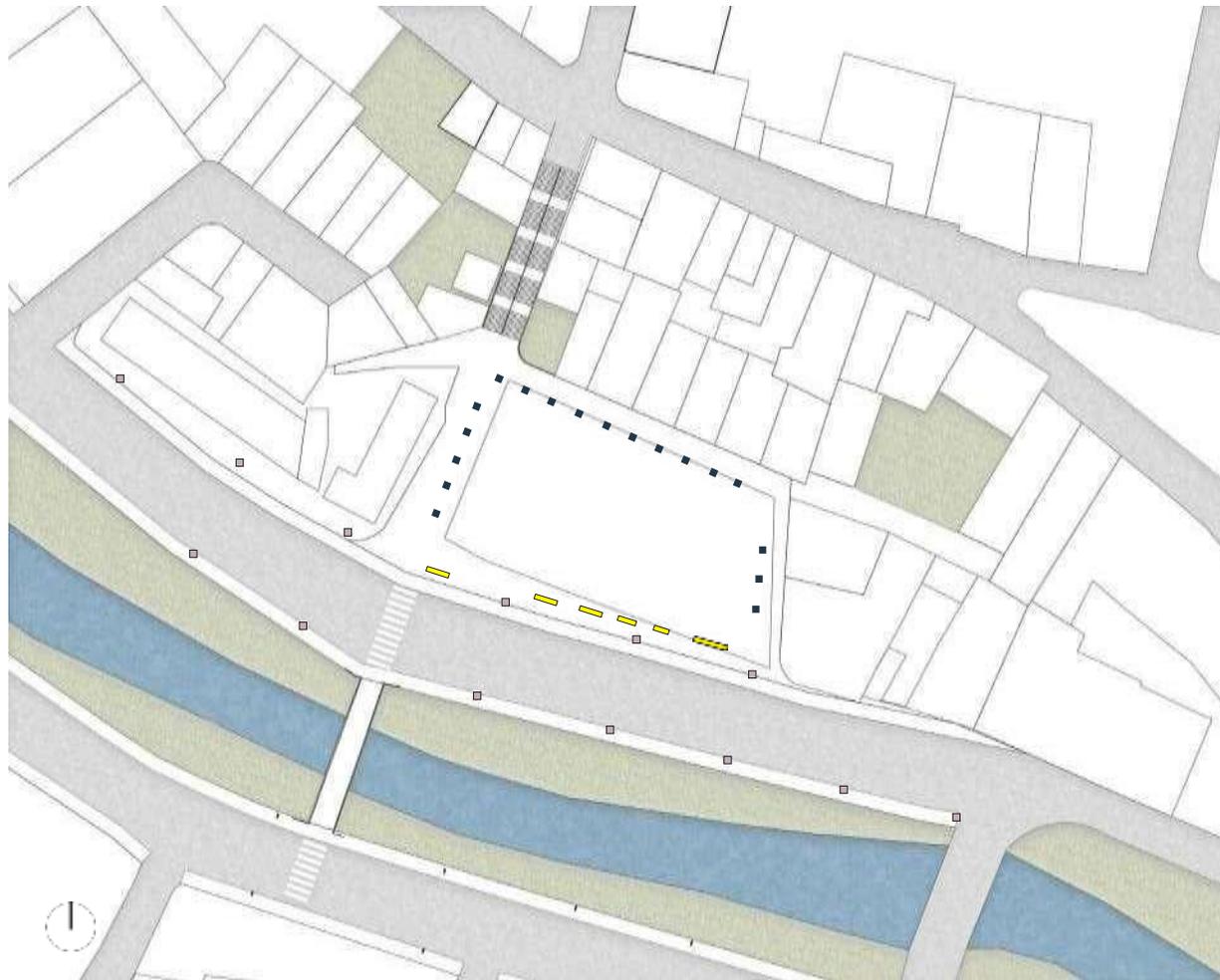


Elaboración: Autores

Simbología:

 Locales comerciales

Figura 111. Mapa de ubicación de mobiliario urbano



Elaboración: Autores

Simbología:

- Puntos de alumbrado plaza
- Bancas de hormigón
- Puntos de alumbrado público

5.1.5.2 Mobiliario urbano

La identificación y planificación cuidadosa del mobiliario público y los puntos de iluminación en una plaza son aspectos fundamentales en el diseño y la gestión de espacios urbanos. Estos elementos desempeñan un papel crucial en la funcionalidad, seguridad, comodidad y estética del entorno público, y su consideración adecuada aporta numerosos beneficios a la experiencia de los visitantes y residentes.

Es evidente que la plaza presenta una carencia notable de áreas destinadas a la permanencia prolongada de las personas. Esta situación conlleva a que la plaza sea mayormente utilizada como un espacio de tránsito.

En lo que respecta a la iluminación, se evidencia la presencia de un considerado número de puntos de luz, tanto pertenecientes al alumbrado público como los específicamente diseñados para el espacio de la plaza. Estos puntos de iluminación contribuyen de manera efectiva a proporcionar una adecuada luminosidad en la plaza, generando un ambiente iluminado y seguro durante las horas de la tarde y la noche.

5.2 Previsualización del prototipo en la Plaza del Otorongo

A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación del prototipo en la plaza del Otorongo, que se considera posee un gran potencial en términos de ubicación estratégica, variedad de usos actuales y escala que permiten una previsualización idónea de la integración del prototipo en el diseño de una plaza.

En la primera opción, se presenta la plaza con los prototipos ubicados a nivel 0,00, conservando un diseño que se caracteriza por su apertura y ausencia de mobiliario o estructuras permanentes.

La segunda opción propone la cubierta del prototipo de varios módulos desplegados, brindando espacios protegidos para la realización de ferias, exposiciones, festividades, etc. Estas estructuras ofrecen beneficios tanto funcionales como estéticos, agregando valor al entorno urbano.

La tercera opción plantea la combinación de prototipos en posición de bancas y cubiertas, brindando una solución más dinámica y versátil que permite diversos usos en la plaza. Este diseño integra espacios para la realización de ferias, exposiciones y ofrece áreas de descanso para los visitantes.

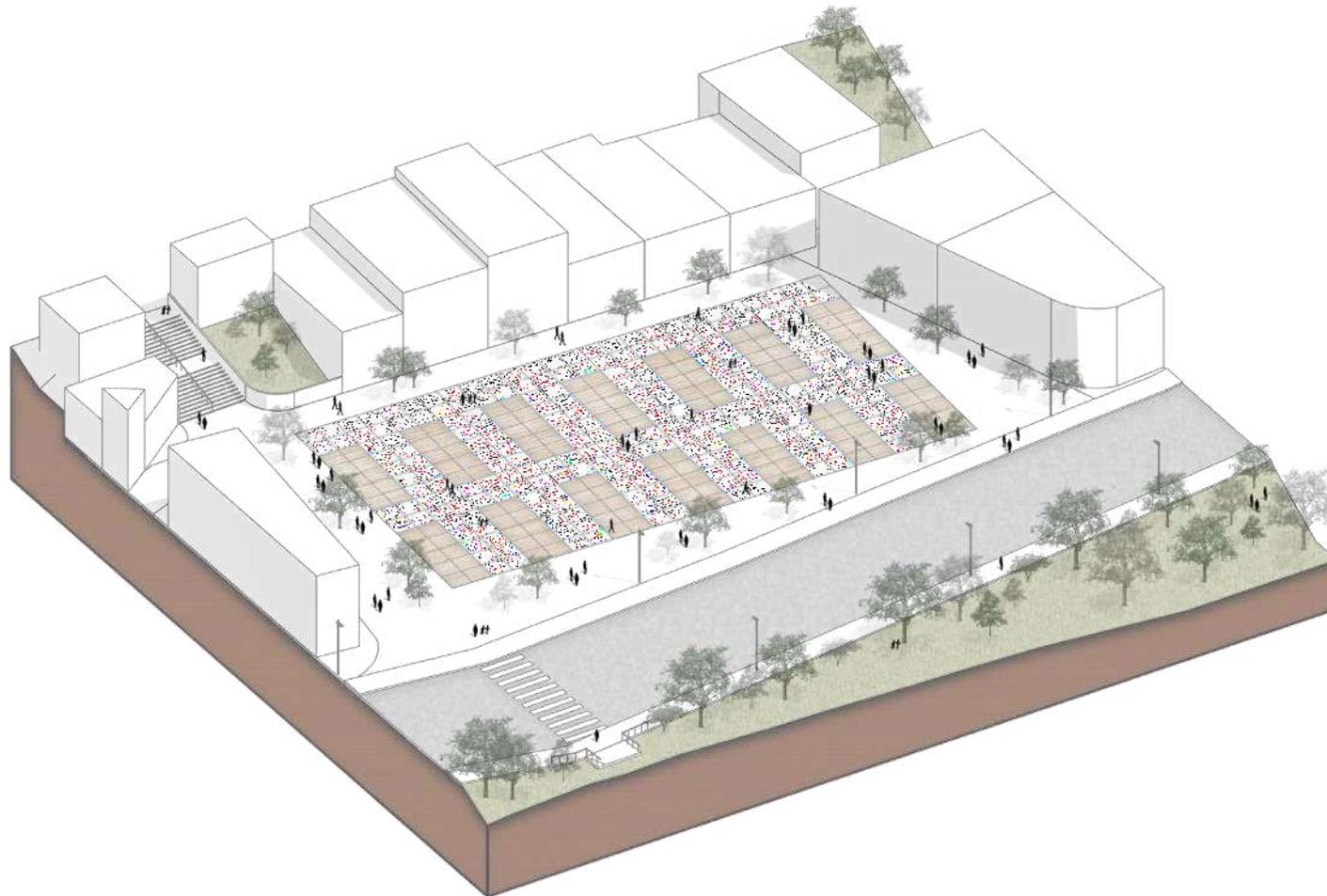
Figura 112. Ejemplo de aplicación del prototipo en la Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

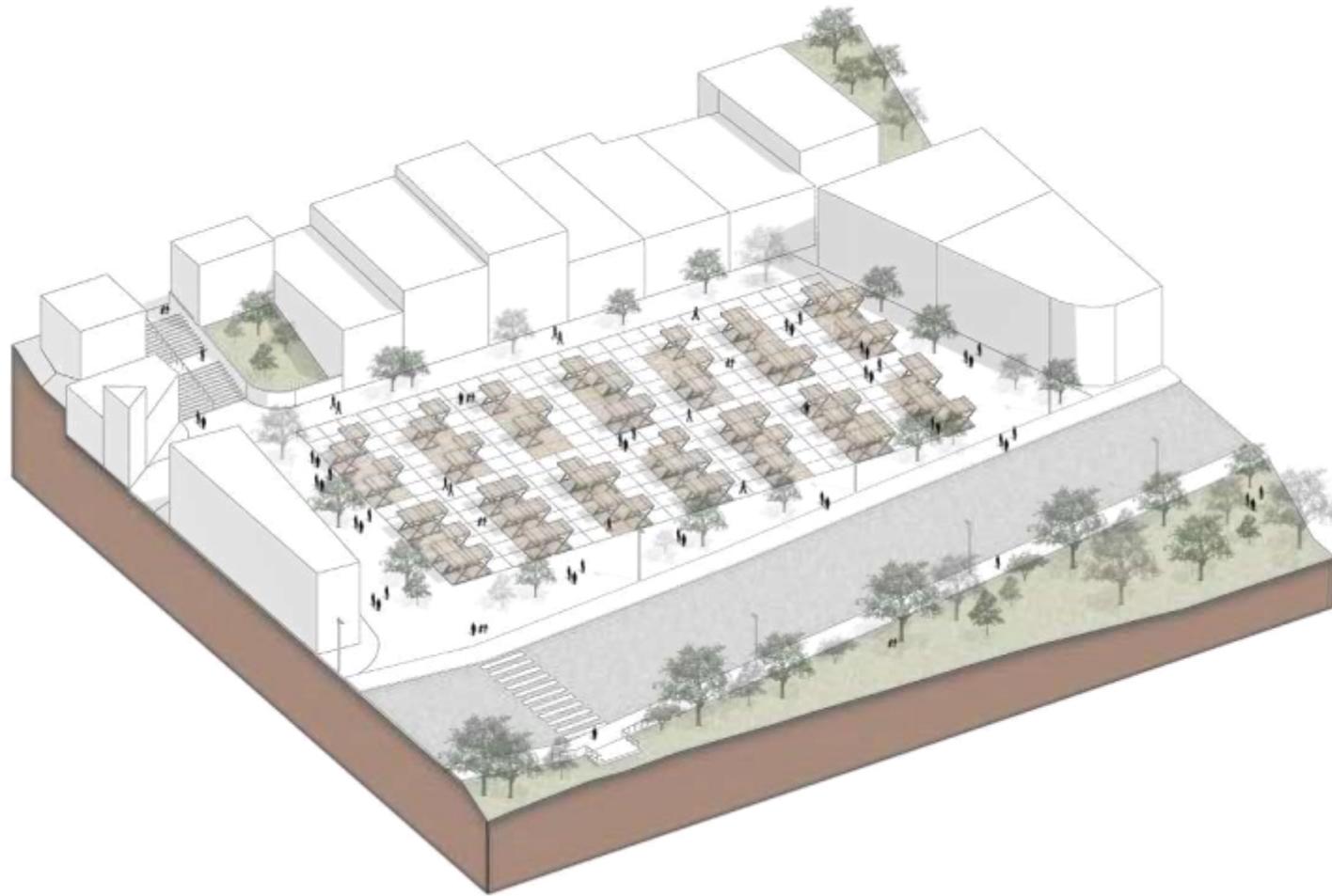
5.2. Plaza del Otorongo

Figura 113. Primera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo



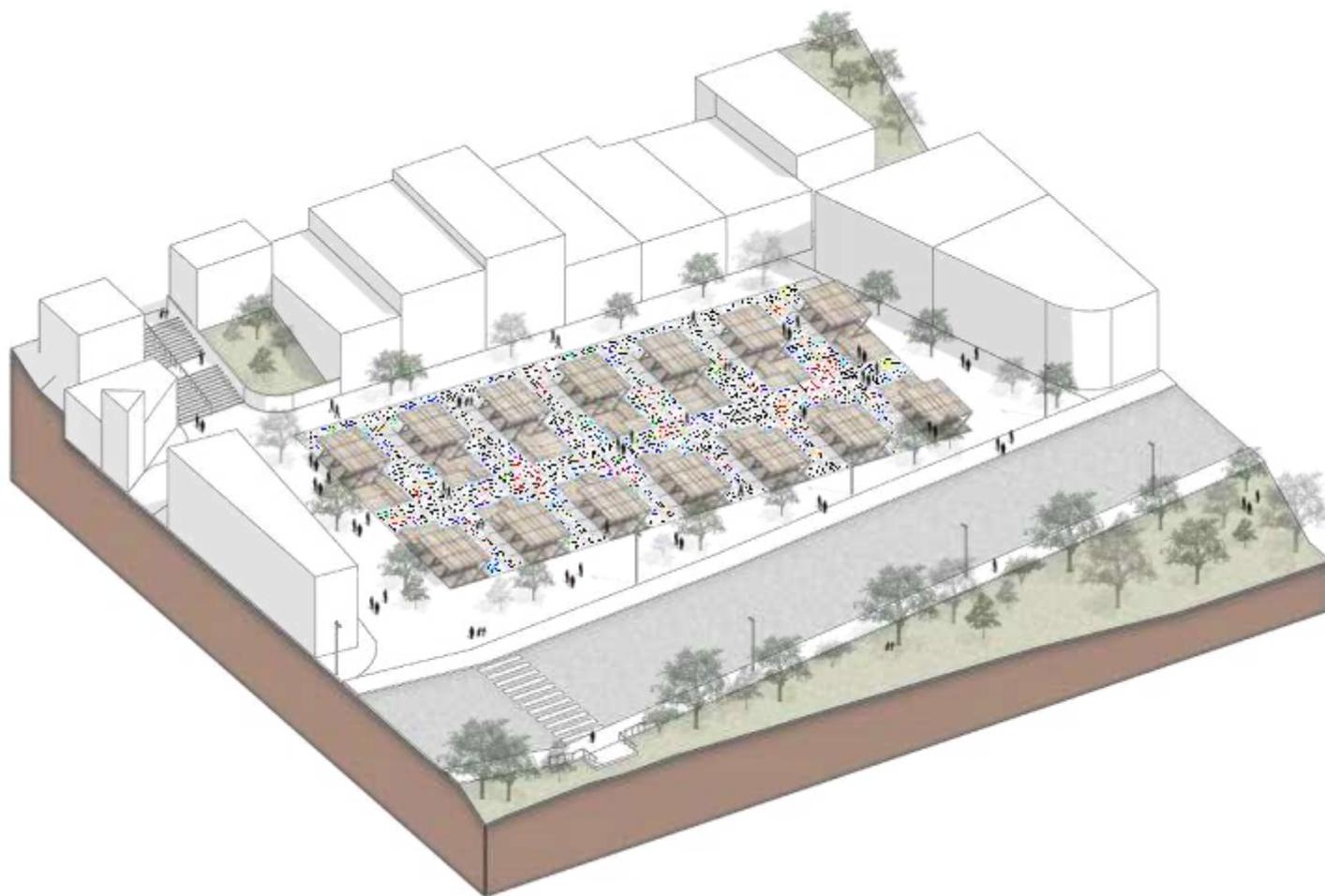
Elaboración: Autores

Figura 114. Segunda opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Figura 115. Tercera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Figura 116. Render primera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Figura 117. Render de segunda opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo



Elaboración: Autores

Figura 118. Render de tercera opción de la aplicación del prototipo Plaza del Otorongo

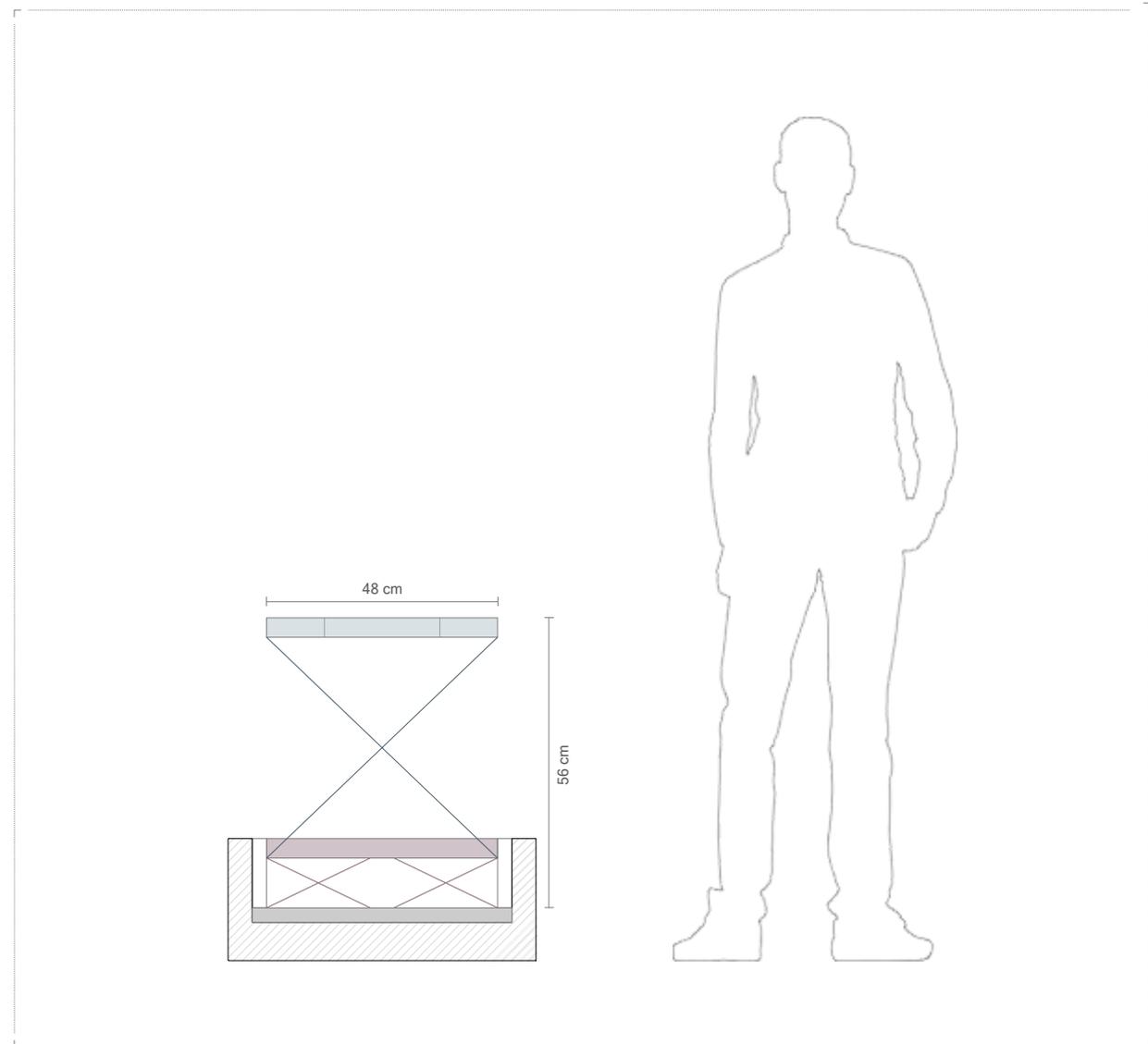


Elaboración: Autores

6

Desarrollo del prototipo a escala

Figura 119. Escala de maqueta del prototipo en relación a la escala humana



Elaboración: Autores

Una vez que se obtuvieron los planos técnicos del prototipo, se procedió a desarrollar una maqueta que representara de manera clara el diseño y la funcionalidad del prototipo. A continuación, se describen los pasos seguidos durante el proceso de desarrollo de la maqueta a escala.

1. Selección de la escala adecuada: Inicialmente se consideró una escala de 1:10; sin embargo, a esa escala los tubos de acero tendrían una sección demasiado pequeña, lo cual dificultaría la elaboración de estos elementos. Por consiguiente, se tomó la decisión de desarrollar el prototipo a una escala de 1:5. De esta manera, se obtuvo una maqueta con dimensiones de 48x48 cm y una altura de 56 cm (Figura 93).

Figura 120. Material utilizado para mecanismo de tijeras



Fuente: Autores

2. Selección de materiales: Con el objetivo de lograr la máxima fidelidad en la representación, se tomó la decisión de utilizar perfiles de acero en el proceso de construcción. Para los tubos interiores del sistema telescópico, se emplearon tubos de acero cuadrados de 1x1 cm, mientras que los tubos exteriores contaban con una sección de 1,5x1,5 cm y los tubos del mecanismo de tijera 2 una dimensión de 2x2 cm. Además de estos tubos, se utilizaron planchas de acero dobladas para los perfiles de tipo C y G. Para representar las tablas de PVC, se empleó cartón tipo sándwich de 4 mm de espesor. Por último, las ruedas se simularon utilizando arandelas sujetas con tornillos como pasadores.

Figura 121. Solución de articulaciones



Fuente: Autores

Figura 122. Colocación de pintura negra en elementos de acero



Fuente: Autores

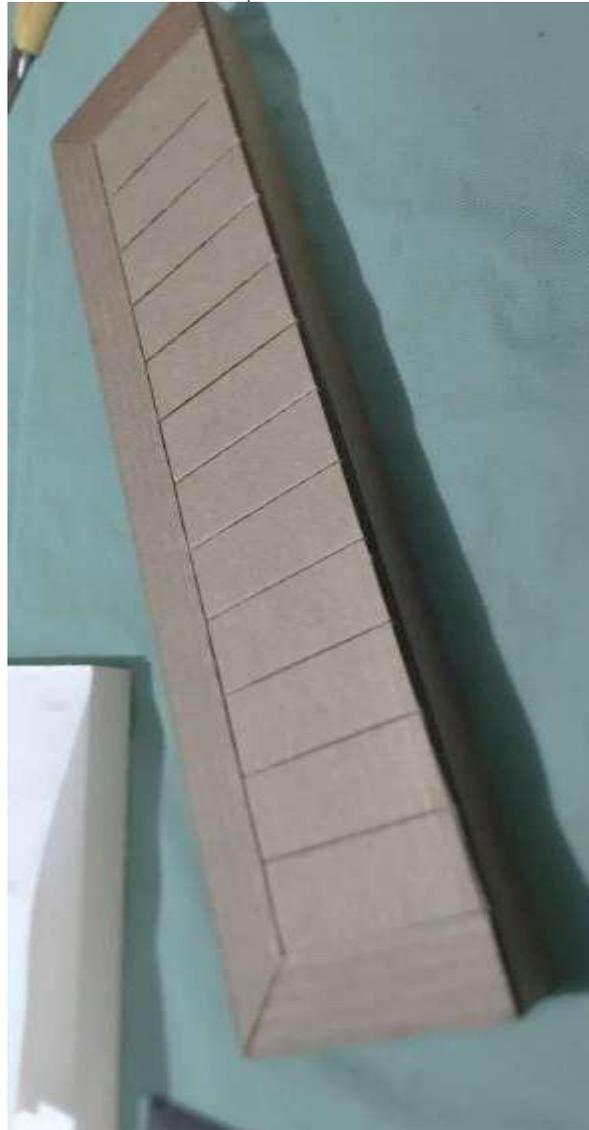
3. Preparación de piezas de acero: Las piezas de acero se someten a procesos de corte, doblado y perforación con la asistencia de un especialista en metalmecánica. Para las articulaciones, se utiliza una plancha doblada en forma de “C” que cuenta con agujeros alineados con las perforaciones en el perfil correspondiente, y se utiliza un clavo como simulación de pasadores. Una vez finalizadas las piezas, se procede a limpiarlas y pintarlas de color negro mate.

Figura 123. Armado de cubierta y entrepiso



Fuente: Autores

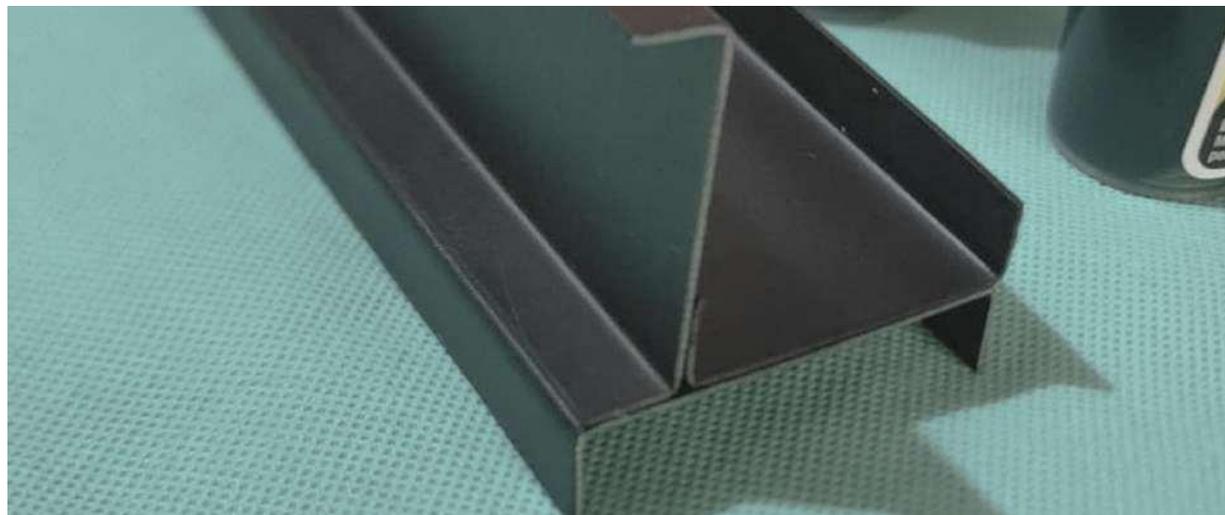
Figura 124. Ranurado para simulación de tabloncillos de PVC para cubierta



Fuente: Autores

4. Desarrollo de cubierta y entrepiso: La cubierta se construye utilizando un núcleo de espuma flex de 3 cm de grosor, revestido en ambos lados con cartón tipo sándwich. Una vez cubierto con este material, se realizan las ranuras necesarias utilizando una cuchilla para simular los tabloncillos de PVC. Por otro lado, el entrepiso se compone de dos capas de cartón que imitan su grosor real, prescindiendo del núcleo de espuma flex.

Figura 125. Unión entre piezas de acero



Fuente: Autores

Figura 126. Unión entre piezas de acero y cartón de cubierta



Fuente: Autores

5. Unión de piezas: Los perfiles de acero se unen entre sí mediante un adhesivo denominado pegatanque, mientras que para unir acero con cartón se utiliza un adhesivo de silicona fría. Las tres partes que componen la cubierta se ensamblan utilizando bisagras pequeñas.

Figura 127. Unión de tijeras a elementos fijos



Fuente: Autores

6. Unión de elementos: En esta sección, se opta por fijar las partes móviles mediante soldadura a los elementos estables de la maqueta. Posteriormente, se procede a colocar las ruedas en las partes correspondientes.

Figura 128. Elaboración de base de madera



7. Desarrollo de base: La base se construye utilizando un tablero reciclado de melamina blanco. Las esquinas se ensamblan mediante una unión de 45 grados, y los elementos se aseguran mediante el uso de cola industrial y una pistola de clavos.

Fuente: Autores

Figura 129. Maqueta finalizada. Posición plegada



Fuente: Autores

8. Anclaje: El prototipo se asegura firmemente a la base de madera MDF mediante perfiles que se atornillan a la superficie. Estos perfiles proporcionarán soporte estructural a la maqueta, mientras que las articulaciones se fijan mediante soldadura para garantizar su estabilidad.

Figura 130. Maqueta finalizada. Posición banca



Fuente: Autores

Figura 131. Maqueta finalizada. Posición desplegada



Fuente: Autores

Conclusiones y recomendaciones

7.1. Conclusiones

El presente trabajo tiene como enfoque el espacio público, el cual desempeña un papel fundamental para la sociedad ya que actúa como un punto de encuentro e interacción. Además, constituye un entorno compartido que fomenta la cohesión social, la participación ciudadana y el sentido de pertenencia, por lo que es necesario recordar que el espacio público debe proporcionar un entorno accesible y equitativo para todos sus usuarios, independientemente de su edad, género, capacidad física o estatus socioeconómico.

Por otra parte, se busca que el espacio público cumpla con ciertas características relacionadas con la funcionalidad, seguridad y sobre todo flexibilidad, este último punto es abordado en esta investigación ya que se busca un prototipo que se adapte a las necesidades cambiantes de la comunidad. En este sentido, el prototipo plantea su aplicación en plazas existentes de la ciudad de Cuenca, esto en pro de mejorar la calidad del espacio y resolver sus múltiples exigencias.

Durante la investigación se pudo identificar que las plazas analizadas no funcionan como sitio de encuentro e interacción social, debido en gran parte a su falta de dinamismo, resumiendo su uso a espacios solo de paso o completamente abandona-

dos, lo cual genera una sensación de inseguridad e incomodidad.

Ante la problemática planteada, se propuso una solución a través del uso de la Arquitectura cinética, determinando así las múltiples ventajas que proporciona su aplicación en distintas plazas; principalmente su capacidad de adaptabilidad y transformación,

En este sentido, el principal aporte del prototipo realizado radica en su multifuncionalidad, teniendo en cuenta que puede funcionar como cubierta, asiento y circulación peatonal, logrando hacer uso de estas opciones para ajustarse según las necesidades y condiciones específicas del lugar. Además, la experiencia interactiva que genera el movimiento de los elementos estimula la curiosidad de los usuarios debido a que el escenario nunca va a ser igual a ningún otro. También, cabe destacar el factor de innovación, este nuevo enfoque inspira a futuras ideas y soluciones para mejorar la calidad del espacio público y el confort dentro del mismo.

Por otra parte, se destaca la solución constructiva propuesta, la cual ha sido diseñada considerando su viabilidad en el contexto local pues este detalle es esencial para asegurar la factibilidad de su construcción en el futuro. Además, al utilizar recursos y materiales disponibles en el entorno se logra

minimizar los costos asociados a la adquisición y transporte de materiales externos, lo que contribuye a una mayor eficiencia económica.

La elección de los materiales se basó en la necesidad de contar con una estructura de alta resistencia y rigidez, así como en la ligereza y facilidad de manipulación para generar movimientos. En este sentido, la utilización del acero para el mecanismo de pliegue y despliegue, junto con el sistema Steel Frame para la cubierta del prototipo, ha demostrado ser una opción acertada en términos de viabilidad técnica y funcionalidad del proyecto pues estos materiales ofrecen las características necesarias para garantizar un funcionamiento óptimo y duradero del sistema.

La previsualización del prototipo en la Plaza del Otorongo de Cuenca se ha revelado como una herramienta esencial para comprender su funcionamiento y evaluar cómo puede beneficiar a la comunidad. Al llevar a cabo esta etapa de la investigación, hemos podido determinar cómo el sistema modular de piso puede transformar el espacio público y mejorar la relación entre la plaza y sus usuarios.

También, ha permitido explorar una amplia gama de opciones de diseño para la plaza ya que el sistema modular de piso ofrece una infinidad de posi-

bilidades en términos de distribución del espacio y adaptabilidad a diferentes actividades. Esta versatilidad nos permite adecuar la plaza a las necesidades cambiantes de la comunidad, ya sea para la realización de eventos, ferias, exposiciones, áreas de descanso o cualquier otro propósito que beneficie a los ciudadanos.

Por último, la elaboración de la maqueta proporciona una representación física y tangible del diseño propuesto, permitiendo una visualización clara y detallada del prototipo. Esta representación ayudó a comprender mejor las dimensiones, forma e interacciones espaciales del sistema, lo cual no es posible apreciar plenamente en un diseño bidimensional. Además, la maqueta permitió evaluar la viabilidad técnica del prototipo ya que al ser funcional a una escala 1:5, se puede inferir que existe una alta probabilidad de que el prototipo funcione de manera similar a una escala real 1:1.

7.2. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda:

1. Continuar investigando y explorando nuevas tecnologías y materiales en el campo de la arquitectura cinética, pues consideramos que es importante estar al tanto de los avances tecnológicos y las nuevas opciones de materiales que puedan mejorar aún más el diseño y funcionalidad del sistema modular de piso. Esto permitirá seguir innovando y mejorando las soluciones propuestas.
2. Estudiar nuevas posibilidades de movimiento con el fin de ampliar la gama de funciones que puede desempeñar el prototipo, debido a que cuanto mayor sea su capacidad de transformación, más dinámico y flexible se volverá el espacio en el que se implemente. Esto enriquecerá la experiencia de los usuarios y maximizará la utilidad del sistema modular de piso en entornos urbanos.
3. Explorar oportunidades de implementación en otros contextos, es recomendable considerar la posibilidad de implementar el prototipo en otras localidades y contextos urbanos. Esto permitirá evaluar su adaptabilidad a diferentes condiciones y necesidades, así como también ampliar el impacto y alcance de la solución propuesta.
4. Fomentar la colaboración interdisciplinaria, considerando que la arquitectura cinética es un campo que involucra a diferentes disciplinas, como la arquitectura, la ingeniería y el diseño. Por lo tanto, trabajar en equipo y aprovechar los conocimientos y habilidades de profesionales de diferentes áreas enriquecerá los resultados y permitirá abordar los desafíos desde diferentes perspectivas. En este sentido se podría plantear la automatización del prototipo mediante la incorporación de tecnología avanzada para mejorar su operatividad como por ejemplo la utilización de control remoto o programación electrónica para facilitar el control y ajuste del sistema.
5. Considerar aspectos de sostenibilidad y eficiencia energética; explorar el uso de materiales y sistemas que minimicen el consumo de recursos naturales y reduzcan el impacto ambiental será beneficioso tanto para el entorno como para los usuarios.

7.3. Referencias

- (S/f). Structuralia.com. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://blog.structuralia.com/puentes-moviles-tipos-y-ejemplos-parte-i>
- AISI. (2016). North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members (AISI S100-16w/S1-18).
- Albornoz, B. (2014). Revitalización del centro histórico de Cuenca, Ecuador. *Arquitectura y Espacio Urbano: Memorias del futuro*, 103-111.
- Amado, J. (2012). Orígenes y evolución del espacio público: Desafíos y oportunidades para la gestión urbana actual. En *Plataforma Urbana*.
- Andrade, J., Mónica, N., Emilio, T., María, G., Augusta, H. M., Daniel, H., & Mónica, R. (2018). Espacio público en Ecuador estableciendo la necesidad de generar criterios nacionales de su definición, clasificación y evaluación. En *Realidades en transformación* (pp. 15-24).
- Arquitectura cinética – HiSoUR Arte Cultura Historia. (s/f). Hisour.com. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://www.hisour.com/es/kinetic-architecture-28018/>
- Arquitectura cinética en Finlandia. Un pabellón para la relación entre el hombre y la naturaleza. (s/f). DesignOnWeb. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://www.architectureonweb.com/es/web/designonweb/-/arquitectura-cinetica-en-finlandia-un-pabellon-para-la-relacion-entre-el-hombre-y-la-naturaleza>
- Astudillo, P. (2019). El uso de la plaza como espacio público de calidad caso de estudio «La plaza del Otorongo». (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Ballester, L. M. (2015). Prototipos para la industrialización de la vivienda. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Bladimir, G. (2005). La historia de la ciudad... es la de sus espacios públicos. *Arquitectura y Urbanismo*, 26(1), 7-15.
- Cabrera, D., & Espinoza, M. (2019). Análisis del confort urbano en las plazas del Centro Histórico de Cuenca. (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Cano, A. (2016). El estadio olímpico. Sus fundamentos arquitectónicos. (Tesis de pregrado).

- Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Carrión, F. (2007). Espacio público: punto de partida para la alteridad. Espacios públicos y construcción social. *Hacia un ejercicio de ciudadanía*, 79-97.
- Cedenilla Magán, E., Cedenilla Magán, M., Lastres García, H., & Morales Caumel, R. (2019). *Tecnología A ESO*. McGraw-Hill.
- Chicken Point Cabin. (2017, enero 13). WikiArquitectura. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/chicken-point-cabin/>
- Coellar, I. R. (2018). *Fachada Cinética: Parametrización para optimizar el confort lumínico*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Colturi, P. (2011). Distrito 22@: el edificio Media-TIC en el marco del desarrollo de un área de excelencia. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- Constitución de la República del Ecuador. Art. 23. 20 de octubre de 2008 (Ecuador).
- Corredera, C. (2020). El módulo en la arquitectura. *Issuu*. https://issuu.com/carmencorredera/docs/el_m_dulo_en_la_arquitectura
- Cuenca. (s. f.). Ministerio de Cultura y Patrimonio. Recuperado 8 de marzo de 2023, de <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/cuenca/>
- D'Anna, E., & Molari, P. G. (2020). Il velarium del Colosseo: una nuova interpretazione. *Alma Mater Studiorum - Università di Bologna*. <https://doi.org/10.6092/UNIBO/AMSAC-TA/6307>
- Danies, B. (2013). La eterna evolución del espacio urbano. *Módulo Arquitectura CUC*.
- Gallegos, J., & Zhirzhán, N. (2015). Comportamiento estructural de nudos con losas TT de sección constante y de sección variable con luces de 6, 8, 10 y 12 metros. *Universidad de Cuenca*.
- Habraken, N. J. et al. (1974). *El Diseño de Soportes*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona
- Hatiel, Y. (2018). Kinetic Architecture: Response systems for intensive cities. <https://issuu.com/yanivhatiel/docs/1-6>
- INEN (2010). Perfiles especiales abiertos, livianos, pregalvanizados y conformados en frío para

- uso en estructuras portantes. Requisitos (NTE INEN 2526:2010).
- INEN (2015). Perfiles abiertos de acero conformados en frío negros o galvanizados para su uso estructural. Requisitos e inspección (NTE INEN 1623).
- INEN (2016). Tubos de acero al carbono soldados para aplicaciones estructurales y usos generales. Requisitos (NTE INEN 2415).
- Los Engranajes de Leonardo Da Vinci. (s/f). Com. co. Recuperado el 8 de julio de 2023, de <https://inventosleonardo.webnode.com.co/analisis-de-obras/los-engranajes-de-leonardo-da-vinci/>
- Martínez, P. (2020). Arquitectura cinética. (Tesis de pregrado). Universidad de Los Andes, Colombia.
- MIDUVI, C. (2015). Norma ecuatoriana de la construcción: Cargas (no sísmicas) NEC-SE-CG.
- MIDUVI, C. (2015). Norma ecuatoriana de la construcción: riesgo sísmico diseño sismo resistente NEC-SE-DS.
- Mínguez, E., Martí, P., Vera, M., & Meseguer, D. (2013). Claves para proyectar espacios públicos confortables. Indicador del confort en el espacio público. Murcia, España: Enrique Mínguez Arquitectos.
- Morris, A. (2018). Historia de la forma urbana desde sus orígenes hasta la revolución industrial. GG.
- Moyano, H. V. B. (2016). DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA. Universidad de Cuenca.
- ONU-HABITAT. (2016). The united nations conference on housing and sustainable urban development (Habitat III). Public Space. Quito ONU Habitat III.
- Pacha, M., Poma, J. (2016). Envoltentes arquitectónicos cinéticos con sistemas mecánicos aplicados a la protección solar en fachadas de vidrio. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- Quiroga, C. (2021). El Acero en la Ingeniería Civil, usos ventajas y limitaciones: revisión litera-

- ria. (Tesis de pregrado). Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio.
- Razaz, Z. E. (2010). Sustainable vision of kinetic architecture. *Journal of building appraisal*, 5(4), 341-356. <https://doi.org/10.1057/jba.2010.5>
- Rossi, A. (2015). *La arquitectura de la ciudad*. 2da. ed. GG.
- Sacoto, K. (2018). Red de recuperación de espacios públicos deteriorados en Cuenca. Caso: Plaza de Miraflores. (Tesis de pregrado). Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- SAE (2014). Datasheet for Steel Grades Carbon Steel (J403).
- SAE (2014). Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fasteners (J429).
- Sarmanho, A. y Moraes, R. (2007). *Steel Framing: Arquitectura*. ILAFA
- Sherer, P. M. (2003). Why America needs more city parks and open space. The Trust for Public Land.
- Thang, N. D. (2018). Linear ratchet mechanism 2. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=1PzEya9mjLY&ab_channel=thang010146
- Torres, D. (2017). Diseño de envolvente basada en arquitectura cinética con sistemas mecánicos. Caso de aplicación: Centro Comunitario comunidad El Kiim. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador.
- Torres, N. (2021). Domos desplegadas. Método geométrico a partir de polígonos regulares. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Viar Fraile, I. D. (2015). Bajo la Luz. Buscando la luz. Le Corbusier, 50 years later. Conference proceedings. DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/LC2015.2015.610>