

Diseño de un sistema de unión para mobiliario de concreto con estructura metálica en la línea
universal de la empresa Arteconcreto S.A.

Luis Jorge Restrepo Machacado

Trabajo de Grado para optar al título de Diseñador Industrial

Director

German Adolfo Díaz Ramírez

PhD en Ingeniería de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2026

Dedicatoria

A mi Mama y a mi papa, que además del apoyo emocional y económico que me dieron a lo largo de mis semestres en la universidad, me ayudaron con la construcción de este documento dando sugerencias y realizando correcciones y revisiones.

A mi abuela, hermanas y resto de mi familia, por estar siempre preocupados por mí y darme ánimos constantemente para seguir adelante con el proyecto.

A mis amigos por ayudarme a sacar tiempo de vez en cuando para tomarme un descanso del trabajo, para luego volver y continuar con energías renovadas.

Y a Dios por haberme acompañado todo este tiempo y ser testigo de todo el esfuerzo que le dedique a este trabajo.

Agradecimientos

Muchas gracias al profesor German Diaz que fue quien me presentó este tema, por confiarme este proyecto y por toda su asesoría durante todo el desarrollo de este.

Agradezco el apoyo dado por los trabajadores de Metalmaq y Todocauchos, por la asesoría que me dieron durante las fases tempranas del proceso de diseño y por la fabricación de los prototipos durante las distintas etapas.

Muchas gracias al Ing. Marion Vera por darme la oportunidad de trabajar en pos de resolver una problemática de su empresa Arteconcreto, y proporcionar los espacios, herramientas e información necesaria para realizar la investigación y diseño de la propuesta de solución.

Gracias al personal de Arteconcreto por ayudarme en la preparación y desarrollo de las pruebas planeadas.

Y especial gracias a la señorita Amandita de secretaria por estar siempre disponible para atender todas mis dudas sobre las fechas, entregas e información en general sobre todo lo relacionado al trabajo de grado.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
1. Definición del problema	17
1.1. Título.....	17
1.2. Planteamiento del Problema	17
1.3. Justificación	18
1.4. Pregunta de diseño	20
1.5. Alcance del Proyecto	20
2. Objetivos.....	21
2.1. Objetivo General.....	21
2.2. Objetivos Específicos.....	21
3. Antecedentes	22
3.1. Silla H Chair.	23
3.2. Silla Chair One.....	24
3.3. Silla Hauteville.....	25
3.4. Banca Vilnius.....	26
3.5. Poltrona Vinkel	27
3.6. Conclusiones del análisis de la competencia	28
4. Marco teórico	29
4.1. El Concreto	29

DISEÑO DE UN SISTEMA DE UNIÓN PARA MOBILIARIO DE CONCRETO CON ESTRUCTURA METÁLICA

5

4.1.1.	Sistemas de unión en estructuras de concreto.....	31
4.1.2.	Fisuramiento en concreto.....	33
4.1.2.1.	Control y diagnóstico de fisuras.....	35
4.2.	El Metal.....	39
4.3.	Mobiliario urbano	40
4.3.1.	Principios Generales del mobiliario urbano.....	40
4.4.	Normativa sobre los mobiliarios urbanos en Colombia.....	42
5.	Metodología	44
5.1.	Enfoque de investigación.....	44
5.2.	Tipo de Estudio.....	44
5.3.	Diseño Metodológico.....	44
6.	Presentación de resultados	47
6.1.	Objetivo 1.....	47
6.1.1.	Actividad 1:.....	47
6.1.2.	Actividad 2:.....	49
6.2.	Objetivo 2.....	59
6.2.1.	Actividad 3:.....	59
6.3.	Objetivo 3.....	65
6.3.1.	Actividad 4:.....	65
6.3.2.	Actividad 5:.....	87
6.4.	Objetivo 4.....	96
6.4.1.	Actividad 5:.....	96
6.4.2.	Actividad 6:.....	98

DISEÑO DE UN SISTEMA DE UNIÓN PARA MOBILIARIO DE CONCRETO CON ESTRUCTURA METÁLICA

6

7.	Conclusiones	106
7.1.	Retroalimentación final del empresario	106
7.2.	Conclusión final	110
8.	Recomendaciones	111
	Referencias bibliográficas.....	112
	Apéndices.....	115

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Banca Universal 180.....	19
Figura 2. Silla H Chair.....	23
Figura 3. Chair One.....	24
Figura 4. Hauteville Chair.....	25
Figura 5. Vilnius.	26
Figura 6. Poltrona Vinkel.....	27
Figura 7. Varillas corrugadas y estribos de vigas y columnas antes de ser fundidos.	30
Figura 8. Malla electrosoldada dispuesta en vertimiento de concreto.	31
Figura 9. Definición de "Junta" y "Conexión".....	32
Figura 10. Tipos de fisuras que pueden aparecer en losas sobre el suelo.....	34
Figura 11. Regla de anchura de grietas.....	36
Figura 12. Microscopio de fisuras.	36
Figura 13. Fisurómetro de regleta.....	37
Figura 14. Metodología de doble diamante.	45
Figura 15. Análisis estático, esfuerzo de Flexión en la estructura metálica.	51
Figura 16. Análisis estático, esfuerzo de compresión en la base.....	52
Figura 17. Análisis Estático, desplazamiento resultante.....	53
Figura 18. Excitación de la base seleccionada, esfuerzo cortante.	54
Figura 19. Áreas afectadas por el esfuerzo de flexión.....	55
Figura 20. Áreas afectadas por el esfuerzo de compresión.....	56
Figura 21. Áreas afectadas por el esfuerzo de cizalladura.....	56

Figura 22. Ejemplo de unión imantada.	60
Figura 23. Mecanismo interno de un amortiguador.	61
Figura 24. Soportes antivibratorios.	63
Figura 25. Bocetos iniciales.	65
Figura 26. Modelos de soporte embebido en el concreto.	66
Figura 27. Modelos de soporte por fuera del concreto.	67
Figura 28. Bocetos de correcciones.	68
Figura 29. Fabricación de prototipos.	68
Figura 30. Prototipo 1.	69
Figura 31. Prototipo 2.	69
Figura 32. Prototipo 3.	70
Figura 33. Prototipos fabricados.	71
Figura 34. Alternativa 1.	72
Figura 35. Alternativa 2.	73
Figura 36. Alternativa 3.	74
Figura 37. Alternativa 4.	74
Figura 38. Alternativa 5.	75
Figura 39. Alternativa 6.	75
Figura 40. Fotos de la reunión.	76
Figura 41. Maqueta de la alternativa 1.	77
Figura 42. Maqueta de la alternativa 2.	78
Figura 43. Maqueta de la alternativa 3.	79
Figura 44. Maqueta de la alternativa 4.	80

DISEÑO DE UN SISTEMA DE UNIÓN PARA MOBILIARIO DE CONCRETO CON ESTRUCTURA METÁLICA

9

Figura 45. Maqueta de la alternativa 5.....	81
Figura 46. Maqueta de la alternativa 6.....	82
Figura 47. Propuesta de solución.....	84
Figura 48. Propuesta aplicada al mobiliario.	84
Figura 49. Molde utilizado.....	86
Figura 50. Soportes Fabricados.....	86
Figura 51. Modelo de probeta.....	87
Figura 52. Ejemplo de medición de fisura.	90
Figura 53. Probeta armada.	90
Figura 54. Probeta fijada a la mesa vibratoria.	91
Figura 55. Probeta durante la verificación.....	91
Figura 56. Fisura por sobreesfuerzo de la tuerca.	93
Figura 57. Juntas de la sección del espaldar.	94
Figura 58. Juntas de la sección de la base.....	94
Figura 59. Mobiliario armado.....	96
Figura 60. Soporte torsionado.....	97
Figura 61. Resultados de la prueba de uso.....	98
Figura 62. Ruta seguida.	100
Figura 63. Mueble embalado a punto de partir.....	101
Figura 64. Mueble tras completar el trayecto.	102
Figura 65. Juntas en el espaldar.	103
Figura 66. Juntas en la base.	104

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Descripción mobiliario 1.	23
Tabla 2. Descripción mobiliario 2.	24
Tabla 3. Descripción mobiliario 3.	25
Tabla 4. Descripción mobiliario 4.	26
Tabla 5. Descripción mobiliario 5.	27
Tabla 6. Descripción mobiliario 6.	35
Tabla 7. Cuadro metodológico.....	46
Tabla 8. Propiedades del concreto arquitectónico.	50
Tabla 9. Propiedades del acero aleado.....	50
Tabla 10. Tabla comparativa de resultados y propiedades.	57
Tabla 11. Tabla de requerimientos.....	83
Tabla 12. Características del soporte.	86
Tabla 13. Parámetros del Vibrador eléctrico.	89
Tabla 14. Tabla de fisuras en la sección.	95
Tabla 15. Escala de comodidad.	98
Tabla 16. Resumen de la ruta.....	101
Tabla 17. Tabla de fisuras en el mobiliario.....	105
Tabla 18. Escala de rendimiento.....	106
Tabla 19. Escala de efectividad.	106
Tabla 20. Escala de estabilidad.....	107
Tabla 21. Escala de seguridad.....	107

DISEÑO DE UN SISTEMA DE UNIÓN PARA MOBILIARIO DE CONCRETO CON
ESTRUCTURA METÁLICA

11

Tabla 22. Escala de estética. 108

Tabla 23. Escala de viabilidad. 108

Tabla 24. Escala de satisfacción. 109

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Entrevista al empresario y al arquitecto.....	115
Apéndice B. Análisis estático del mobiliario actual.	116
Apéndice C. Análisis estático, resultados de desplazamiento.	118
Apéndice D. Análisis de dinámica Lineal del mobiliario actual.	119
Apéndice E. Planos de la Propuesta de Solución.....	121
Apéndice F. Video fragmento de la prueba de verificación.	122
Apéndice G. Medidor de fisuras.	123

Resumen

Título: Diseño de un sistema de unión para mobiliario de concreto con estructura metálica en la línea universal de la empresa Arteconcreto S.A.*

Autor: Luis Jorge Restrepo Machacado**

Palabras clave: Sistema de unión, mobiliario de concreto, agrietamiento, vibración, estructura metálica

Descripción:

El concreto que destaca por ser un material sólido y resistente que lo hace muy llamativo para el desarrollo de todo tipo de estructuras en el campo de la construcción, pero que a su vez es bastante frágil y propenso a fisurarse al someterse a ciertos esfuerzos, como es el caso de los productos de la empresa Arteconcreto, que se especializa en la fabricación de mobiliario de concreto para todo tipo de espacios, algunos de los muebles de su catálogo cuentan además con una estructura metálica a la vista. Debido al sistema que usan actualmente como interfase de unión entre los componentes de concreto y la estructura metálica de soporte, el mobiliario resulta fisurado principalmente cerca de las juntas, a causa de las vibraciones que se producen al ser transportado a su lugar destino y por los movimientos que pueden llegar a realizar los usuarios en su uso diario.

Este proyecto tuvo como objetivo el desarrollo y fabricación de un nuevo sistema de unión que absorba las vibraciones e impactos para eliminar el fisuramiento. Se investigaron las variables más importantes que influyen en la problemática para establecer unos requerimientos que guíen el proceso de generación y evolución de las alternativas, tras seleccionar una propuesta esta se verificó mediante un ensayo de laboratorio, para luego validarla al aplicarse al mobiliario y ponerla a prueba en condiciones de uso y transporte.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Director: German Adolfo Díaz Ramírez. PhD en Ingeniería de Materiales.

Abstract

Title: Design of a connection system for concrete furniture with metal structures in the universal series of the Company Arteconcreto S.A.*

Autor: Luis Jorge Restrepo Machacado**

Keywords: Connection system, concrete furniture, cracking, vibration, metal structure

Description:

Concrete is a material that stands out over others for its strength and durability, which makes it primarily used for the development of all kind of structures in the construction field, but it is also quite fragile and prone to cracking when subjected to certain type of stresses, as is the case of the products of the company Arteconcreto, which specializes in the manufacture of concrete furniture for all type of spaces, some of them having a visible metal structure. Because of the system they use nowadays to connect the concrete components with the metallic support structure, the furniture ends up cracking near the joints, cause of the vibrations that get produced when it gets transported to its destination or due to the movements that people make while using it.

This project had the objective of the development and manufacturing of a new connection system capable of absorbing vibrations and impacts to eliminate the cracking. A research for the most important variables that influenced the problem was done to establish a list of requirements that guided the process of creation and evolutions of design alternatives, after selecting a concept it is verified through a laboratory test, which is then validated when applied to the selected furniture and put it to the test in conditions of use and transportation.

* Degree Work

** Faculty of Engineering Physicomechanics. School of Industrial Design. Director: German Adolfo Díaz Ramírez. PhD in Material Science.

Introducción

Arteconcreto, es una empresa santandereana que nace en 2018 en Bucaramanga. Su primer encargo lo recibió de Veroco Ingeniería SAS, empresa encargada por la UIS, de desarrollar “la plazoleta de la escuela de Ingeniería Mecánica, ubicada en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander – UIS. Se requería dotar este espacio de la universidad con un mobiliario arquitectónico en concreto resistente y duradero, pero con estilo y confort”. (Arteconcreto, 2025, pp. 3)

La empresa se especializa en la fabricación de mobiliarios de concreto con tendencia minimalista, dirigidos a ambientes interiores y exteriores. Estos se caracterizan por su durabilidad, resistencia, accesibilidad y elegancia, requiriendo poco mantenimiento. Sus piezas se integran de forma armoniosa al espacio al que van dirigidas, gracias a un variado portafolio que responde a diferentes necesidades de diseño y uso.

La mayoría de sus proyectos se han realizado en el departamento de Santander-Colombia, y se visualizan para el 2030 como una importante organización de desarrollo y fabricación de mobiliario urbano a nivel nacional e internacional. A lo largo de los años ha ampliado su catálogo y cuenta con líneas como Genesis, Urbanismo, Iceberg, Universal, etc. Algunas de estas tienen productos que incluyen estructuras metálicas como parte de sus componentes, siendo éste el caso de la línea “Universal” (Arteconcreto, 2026).

Los mobiliarios que entran en esta categoría, requieren de un sistema de unión entre los elementos de concreto y la estructura metálica, para fijar los componentes y mantener la estabilidad del producto, sin embargo, a la hora de ser transportados los muebles son afectados por vibraciones

nacidas del movimiento del vehículo en el que se transportan, causando que el concreto se empiece a fisurar en los puntos donde se conecta con el otro material. Lo cual termina restándole a la resistencia y a la apariencia del mobiliario, requiriendo que la empresa reemplace y/o reembolse el valor de estos productos defectuosos para cumplir su promesa de valor.

La línea “Universal” se caracteriza por sus formas curvas y la facilidad de adaptación a entornos interiores y exteriores (Arteconcreto, 2025). Esta es una familia de objetos que se complementan mutuamente, compuesta por sillas, mesas, canecas, materas y principalmente con bancas, para el presente proyecto se decidió abordar la problemática suscitada con la banca Universal con espaldar, la única de su línea de producción que cumple con las características establecidas en el trabajo por contar con una estructura metálica.

La empresa Arteconcreto, comprometida con el mejoramiento continuo y altos estándares de calidad de sus productos, tiene en sus planes diseñar un nuevo sistema de unión entre estos dos materiales, debido al fisuramiento temprano que se produce en el concreto por el contacto con la conexión que sostiene el metal, buscando un mejor desempeño estructural que garantice su buen aspecto y durabilidad. En este contexto, el presente trabajo de grado tiene como su principal tarea analizar, conceptualizar y proponer un sistema de unión que deberá ser validado.

1. Definición del problema

1.1. Título

Diseño de un sistema de unión para mobiliario de concreto con estructura metálica en la línea “Universal” de la empresa Arteconcreto S.A.

1.2. Planteamiento del Problema

La empresa “Arteconcreto S.A” ubicada en Bucaramanga, se especializa en la fabricación de mobiliario y elementos modulares de concreto, que cuenta con un amplio portafolio dividido en líneas de productos que se adaptan a distintas necesidades y contextos especialmente en espacios públicos. Entre estas líneas, existen unas en donde el diseño de los muebles cuenta con una estructura metálica a la vista que se une a los elementos de concreto mediante tornillos que van soldados a una malla metálica, la cual está dispuesta como refuerzo interno de los componentes de concreto.

Se ha observado que, en esta área de unión del mobiliario, se producen fisuramientos en el concreto, cuando dicho mobiliario es transportado por tierra para su entrega, principalmente a otras ciudades del país; como resultado, algunos de estos muebles requieren reparaciones por garantía o reemplazo de la pieza, situación que genera daño reputacional y sobrecostos a la empresa. Se requiere, por lo tanto, un sistema de unión de los elementos de concreto a la estructura metálica visible que ayude a conservar su integridad.

1.3. Justificación

Arteconcreto se dedica a la fabricación y desarrollo de mobiliario urbano con concreto arquitectónico, con estándares de calidad y precios competitivos. Esta es la promesa de valor que le hacen a sus clientes y no pueden permitirse entregar productos con falencias que afecten su integridad estructural y su aspecto en un tiempo menor al esperado.

En el caso de sus muebles de concreto con estructura metálica, se han presentado fisuramientos por distintas razones, como: el uso diario, la reubicación de los mismos y principalmente por el transporte del producto desde el centro de fabricación hasta el lugar de destino. Los movimientos y vibraciones generados por el traslado de los muebles causan fisuras en el concreto, específicamente alrededor del sistema de unión que usan actualmente. Esto sucede aproximadamente en el 5% de los muebles transportados que cuentan con estructura metálica. Para el caso de la banca Universal con espaldar, con un costo de producción aproximado de \$1.000.000,00, se podría decir que de cada 20 bancas producidas y enviadas se pierde una, sin contar el sobre costo de volver a enviar y descargar la banca reparada o nueva, cuyo costo oscila entre uno y cinco millones dependiendo del destino. Teniendo en cuenta casos en que la empresa ha tenido que reemplazar el mueble afectado o hasta dar un reembolso, afectando la fue corporativa por calidad del producto y con ello el cumplimiento de su promesa de valor de entregar muebles que se caracterizan por su “durabilidad, resistencia, accesibilidad y elegancia, requiriendo poco mantenimiento”, lo que hace aún más imperativo dar solución al problema identificado.

Las bancas de la línea “Universal” como la observada en la Figura 1, está dirigida a espacios como centros comerciales, zonas hospitalarias o parques y son los únicos productos del catálogo cuya estructura metálica no ejerce como base del mueble, sino como componente

conector entre la base y espaldar de concreto que queda suspendido en el aire, lo que hace más preocupante la situación del fisuramiento, incluso peligroso, toda vez que no solo puede afectar la integridad del propio mobiliario sino generar algún tipo de accidente.

Figura 1

Banca Universal 180.



Nota. Tomado de Portafolio de productos (Arteconcreto, 2025).

Por lo que el nuevo sistema de unión pretende eliminar el fisuramiento, de forma que la empresa cumpla con la promesa de valor a sus clientes y ahorrando costos. Otro beneficio pretendido por el empresario, es que, mediante el buen funcionamiento de la propuesta en el objeto de estudio, se plantee pruebas piloto para adaptarla a demás productos de la empresa que cuenten con estructura similar.

1.4. Pregunta de diseño

¿En qué medida se reduce el fisuramiento del concreto en el mobiliario urbano de la línea Universal de Arteconcreto, mediante el diseño y aplicación de un sistema anti vibratorio a su estructura?

1.5. Alcance del Proyecto

- La investigación se desarrollará hasta un nivel de madurez tecnológica TRL 6 (Tecnología demostrada en un entorno relevante).
- El estudio se enfocará exclusivamente en la banca con espaldar de la línea de mobiliario “**Universal**” de la empresa Arteconcreto S.A., en la cual la estructura metálica cumple la función de interfase entre los componentes de concreto. No se abordarán otras líneas de producto, con el fin de centrar el desarrollo en una solución específica y técnicamente viable.
- Se diseñará, fabricará y validará un prototipo funcional del sistema de unión con base en los requerimientos funcionales y mecánicos definidos en un entorno controlado que emule condiciones relevantes de uso, transporte y carga dinámica del mobiliario urbano.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de unión para la interfase entre la estructura metálica y los elementos de concreto, para la línea de mobiliario Universal de la empresa Arteconcreto S.A.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las solicitaciones mecánicas a las cuales están sometidos los elementos del mobiliario de la línea seleccionada por medio de un análisis por elementos finitos (FEA).
- Determinar atributos y requerimientos de diseño requeridos para la elaboración de la propuesta de solución, por medio de los resultados de las simulaciones y la revisión bibliográfica.
- Diseñar una propuesta de valor para el mobiliario tomando como referencia los requerimientos previamente establecidos y verificar que se cumplen mediante un ensayo de laboratorio.
- Fabricar y validar la solución propuesta en condiciones que emulen el contexto de aplicación del mobiliario.

3. Antecedentes

Antes de iniciar con la investigación, se analizaron características como el sistema de unión, transporte, resistencia entre otras especificaciones, de distintos mobiliarios desarrollados por otras empresas que entre sus elementos este el concreto y el metal, con tal de identificar mediante una descripción tabulada que métodos o mecanismos usan para abordar el problema planteado en este trabajo. A continuación, se listan las siguientes:

3.1. Silla H Chair.

Figura 2

Silla H Chair.



Nota. Tomado de Savannah Bay Gallery (Bentu Design, 2016)

Tabla 1

Descripción mobiliario 1.

Hecho por	Bentu Design	
Origen	Guangzhou, China	
Análisis formal		
Peso	Dimensiones (Largo-Ancho-Altura)	Uso destinado
12 Kg	58 cm x 55 cm x 67 cm	Interiores
Componentes	Acabados superficiales	Sistema de unión
<ul style="list-style-type: none"> • Asiento • Espaldar • Estructura metálica 	<ul style="list-style-type: none"> • Aluminio con recubrimiento en polvo (Metal) • Patrones característicos del concreto pulido (Concreto) 	Atornillado
Información Adicional		
<ul style="list-style-type: none"> • Rehusó de sobras de concreto producto de demoliciones. • Los movimientos bruscos podrían romper las delgadas lozas de concreto 		

Nota. Tomado de Savannah Bay Gallery (Bentu Design, 2016)

3.2. Silla Chair One.

Figura 3

Chair One.



Nota. Tomado de MAGIS (Grcic, 2004)

Tabla 2

Descripción Mobiliario 2.

Hecho por	Magis	
Origen	Motta di Livenza, Italia	
Análisis formal		
Peso	Dimensiones (Largo-Ancho-Altura)	Uso destinado
38,7 Kg	59 cm x 55 cm x 80 cm	Tanto interiores como exteriores
Componentes	Acabados superficiales	Sistema de unión
<ul style="list-style-type: none"> • Asiento • Soporte • Base 	<ul style="list-style-type: none"> • Recubrimiento en polvo de poliéster (Metal) • Sellador transparente o negro (Concreto) 	El asiento se atornilla a la base, y el soporte esta encajado en la base.
Información Adicional		
<ul style="list-style-type: none"> • Se vende por separado un acolchonado para el asiento o espaldar, este puede ser de cuero, tela o poliuretano. • Buena ventilación. • Optimización de material. • Viene dividida en 2 partes (Soporte más base y asiento), cada en una caja de carton rodeada de icopor. • El agarradero de la parte superior no es muy usado. • Difícil de mover debido al peso. 		

Nota. Tomado de MAGIS (Grcic, 2004)

3.3. Silla Hauteville

Figura 4

Hauteville Chair.



Nota. Tomado de Lyon Beton (Boget & Legros, 2014)

Tabla 3

Descripción Mobiliario 3.

Hecho por	Lyon Beton	
Origen	Villefranche-sur-Saône, Francia	
Análisis formal		
Peso	Dimensiones (Largo-Ancho-Altura)	Uso destinado
10 Kg	43 cm x 42 x cm x 76 cm	Interiores
Componentes	Acabados superficiales	Sistema de unión
<ul style="list-style-type: none"> • Asiento • Patas 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficie lisa en el interior y áspera en el exterior (Concreto) • Barniz transparente repelente al agua y aceite (Concreto) 	Esqueleto de acero profundamente compenetrado en el concreto.
Información Adicional		
<ul style="list-style-type: none"> • Reforzado con fibra de vidrio. • Las varillas que hacen de refuerzo interno forman también las patas. • Tacos de goma en la punta de las patas. • Las patas son susceptibles a la oxidación. • "Los poros, microfisuras y variaciones de color son características inherentes del material usado y pruebas de su artesanía, que le da su apariencia y encanto" (Boget y Logres, 2022, p. 2). • Requiere mantenimiento. 		

Nota. Tomado de Lyon Beton (Boget & Legros, 2014)

3.4. Banca Vilnius

Figura 5

Vilnius.



Nota. Tomado de Escofet (Benedito, 2011)

Tabla 4

Descripción Mobiliario 4.

Hecho por	Escofet	
Origen	Barcelona, España	
Análisis formal		
Peso	Dimensiones (Largo-Ancho-Altura)	Uso destinado
180 Kg	200 cm x 60 x cm x 80 cm	Exteriores
Componentes	Acabados superficiales	Sistema de unión
Banca Soportes	Pintado con plata texturizada con protección a la corrosión (Metal) Decapado e hidrofugo (Concreto)	Los soportes van anclados con tornillos al suelo y a la banca.
Información Adicional		
<ul style="list-style-type: none"> • Posee 2 variaciones, una curva y otra sin apoya brazos. • Se pueden interconectar entre ellas para formar composiciones. • Fácil elevación y manipulación con eslingas y carretillas. • El uso de hormigón UHPC eleva la resistencia al desgaste y le disminuye el peso, permitiéndole prescindir del refuerzo interno. 		

Nota. Tomado de Escofet (Benedito, 2011)

3.5. Poltrona Vinkel

Figura 6

Poltrona Vinkel.



Nota. Tomado de Konkretus (Konkretus, s.f.)

Tabla 5

Descripción Mobiliario 5.

Hecho por	Konkretus	
Origen	Medellín, Colombia	
Análisis formal		
Peso	Dimensiones (Largo-Ancho-Altura)	Uso destinado
226 kg	85 cm x 71 x cm 80 cm	Tanto interiores como exteriores
Componentes	Acabados superficiales	Sistema de unión
<ul style="list-style-type: none"> • Asiento • Base metálica 	<ul style="list-style-type: none"> • Sellada con hidrófugo y oleófugo (Metal) • Superficie porosa característica del concreto (Concreto) 	Atornillado
Información Adicional		
<ul style="list-style-type: none"> • Reforzado con fibra sintética. • Las piezas son fabricadas manualmente así que cada una es única e irreplicable. • Las microfisuras y poros son consideradas una parte inherente del producto y pueden aparecer, sin que sean consideradas un defecto de manufactura. • El uso de montacarga es fundamental. • Evitar lo más posible la manipulación de las piezas para su conservación. • Requiere mantenimiento. 		

Nota. Tomado de Konkretus (Konkretus, s.f.)

3.6. Conclusiones del análisis de la competencia

Después del análisis realizado a distintos mobiliarios, se puede ver en primer lugar que las empresas que se especializan en el desarrollo y fabricación de estos productos, al igual que Arteconcreto, usan tornillos como sistema de unión entre ambos materiales. Ninguna ha tenido la idea de intervenir el sistema de unión de sus muebles, haciendo de éste un aspecto sin explorar, y que la propuesta resultante de este proyecto sería una solución que el mercado no ha considerado.

Los métodos usados por estos productos que se han identificado, es el uso de concretos con mayor rendimiento de forma que puedan resistir movimientos bruscos durante su transporte y uso sin fisurarse o reforzarlo con fibras ya sean de vidrio o sintéticas. Y finalmente, varios de los productos analizados tienen el sistema de unión entre ambos materiales en lugares oculto a la vista de los usuarios, como lo sería la parte inferior del asiento como queriendo esconderlo y evitar que destaque por chocar por la estética general de mueble.

4. Marco teórico

En la siguiente sección se va a exponer sobre distintos temas que son relevantes para la investigación realizada. Este apartado inicia hablando en términos generales de los materiales que componen el producto enfocándose principalmente en el concreto y aspectos relacionados con este, como es el reforzamiento, principios que deben cumplir los sistemas de unión en estructuras hechas con este, el fisuramiento que se puede presentar, seguido de una breve descripción del metal. Luego se procede con un análisis a la idea del mobiliario urbano, sus características y su normativa en Colombia.

4.1. El Concreto

El concreto se obtiene al mezclar principalmente cemento, agua y agregados. La interacción química del cemento y Agua, proceso al cual se le conoce como fraguado, une las partículas haciendo que se endurezca y contraiga con el paso del tiempo hasta convertirse en una masa sólida y resistente similar a la roca (Nilson, 2001). El concreto tiene distintas variaciones con propiedades únicas que se pueden alterar cambiando la proporción de sus componentes.

En el caso de la empresa con la que se está trabajando, utiliza una variedad llamada “concreto arquitectónico” el cual se diferencia del normal principalmente en su mayor resistencia a diferentes tipos de esfuerzos, versatilidad en cuanto acabados y textura sin necesitar de acabados adicionales, permitiéndole cumplir con funciones específicas tanto estructurales como de diseño. Este tipo de producto cuenta con una variedad de modelos, formatos y colores, sin que se alteren sus cualidades físicas y mecánicas. De acuerdo con el profesor David Delgado, “*este tipo de*

concreto convierte al material en un lenguaje visual, expresando fuerza, sobriedad y carácter en una sola superficie.” (Equipo editorial de Holcim Colombia, 2025)

Si bien el concreto es fuerte contando con una alta resistencia a la compresión, este a su vez se caracteriza por su fragilidad y debilidad a otros esfuerzos como los de tensión (Nilson, 2001). Desde el siglo XIX para contrarrestar esta limitación, referentes como: Joseph-Louis Lambot, François Hennebique, François Coignet y Joseph Monier, propusieron reforzarlo con elementos de metal que les permitiera cumplir dos objetivos centrales: el primero dado a que el metal tiene buena resistencia a los esfuerzos que el concreto es débil y el segundo, como dice la PCI (2004), este material complementario está diseñado para fallar después del concreto, ya que al agrietarse se produce una fractura dúctil controlada por el refuerzo, dando claros indicios de un problema, otorgando un margen de tiempo para repararlo o evacuar la estructura en casos extremos, mientras que, si el concreto estuviera solo, colapsaría súbitamente.

El metal de refuerzo puede venir en distintos formatos siendo el más usado las varillas, y juntando varias de estas puedes fabricar elementos como castillos o mallas electrosoldadas según la necesidad del proyecto. Estas construcciones se exponen en las Figuras 7 y 8.

Figura 7

Varillas corrugadas y estribos de vigas y columnas antes de ser fundidos.



Nota. Tomado de Interempresas (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, 2022).

Figura 8

Malla electrosoldada dispuesta en vertimiento de concreto.



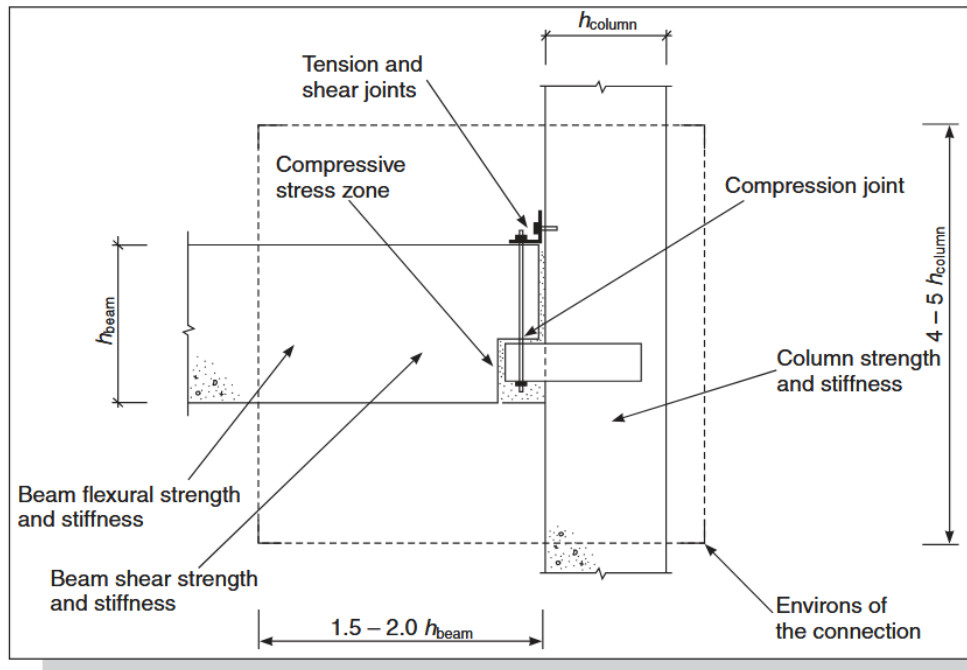
Nota. Tomada de Habitissimo (Oswaldo, 2020)

4.1.1. Sistemas de unión en estructuras de concreto

Los sistemas de unión cumplen la función de asegurar la conexión entre los componentes que constituyen una estructura de concreto, haciendo que esta pueda mantenerse estable y sólida, además de permitir la transmisión de fuerzas entre los distintos elementos que la componen (PCI, 2004). Igualmente hay que hacer una distinción entre “Junta” y “Conexión”, según Kim S. Elliott (2002) una junta es la acción de esfuerzos de tensión, cortantes y de compresión que toman lugar en el punto de intersección entre dos o más elementos estructurales, teniendo un componente intermedio en la mayoría de casos. Por otro lado, la conexión es el ensamble de dos o más interfaces, que presentan los mismos esfuerzos antes mencionados y/o momentos.

Figura 9

Definición de "Junta" y "Conexión".



Nota. Tomado de Precast Concrete Structures (Elliott, 2002)

Como se ejemplifica gráficamente en la Figura 9, la conexión de la columna con la viga está compuesta por dos juntas, una sometida a un esfuerzo de compresión y la otra a esfuerzos de corte y tensión. Ya que el propósito de este trabajo es fabricar un sistema de unión, es pertinente conocer la terminología correcta.

Según lo expuesto por PCI (2004) , para el diseño de sistemas de unión empleando notas - materiales de concreto se hace necesario: Fortaleza, fuerza necesaria para transferir los esfuerzos a las que estará sometida a lo largo de su vida; Ductilidad, la capacidad de pasar por una gran deformación inelástica sin fallar; Margen de tolerancia a los cambios de volumen, tener presente el estrés generado por la contracción del concreto durante el secado; Durabilidad, protección al

ambiente al que este expuesto; Constructibilidad, usar piezas estandarizadas por el mercado o asegurar métodos o lugares del cual se puedan adquirir o fabricar.

El concreto al ser un material con características específicas, sus sistemas de conexión deben cumplir con unos requisitos ajustados a esas propiedades, y estas han de tenerse en cuenta durante el proceso de desarrollo de las alternativas.

4.1.2. Fisuramiento en concreto

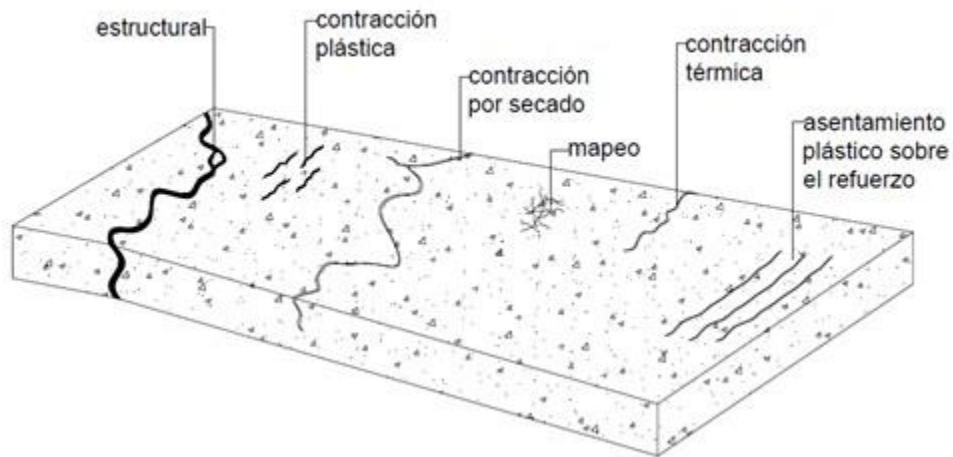
La aparición de fisuras en el concreto se debe a que es un material frágil, estas se manifiestan a medida que el material se fractura, hasta que la resistencia de la pieza cede y falla, es que estas empiezan a manifestarse. Siendo el concreto un material usado principalmente para soportar grandes cargas, que estas fisuras se presenten es algo común. “Las fisuras y grietas son discontinuidades que aparecen en elementos estructurales como losas, placas, vigas, columnas, taludes, etc. y de alguna forma alertan un suceso que puede comprometer la serviciabilidad y durabilidad de las estructuras” (Cruz, 2020, p1).

Además de comprometer la integridad de la estructura desde su sola presencia, estas fisuras, aunque inicialmente pueden ser pequeñas, con el paso del tiempo se empiezan a propagar si la estructura continúa en uso y soportando las mismas cargas de servicio para las que fue diseñada, lo que reduce su rigidez. Asimismo, cuando alcanzan una profundidad significativa, los refuerzos pueden quedar expuestos al ambiente y entrar en contacto con agentes nocivos como cloruros, sulfatos, sales u otras sustancias químicas, acelerando así el proceso de deterioro estructural (Cruz, 2020).

Para Corral (2004), las fisuras y grietas en “Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención; ciencia y sociedad”, atribuyéndoles su ocurrencia en el concreto principalmente a la utilización de materiales inadecuados, errores de proyectos y ejecución, así como de aspectos posteriores a la ejecución. De igual manera establece la importancia de conocer la causa de la fisura o grieta en el concreto al momento que aparecen para conocer la progresividad de la misma, establecer su peligrosidad y de ser necesario repararla efectivamente.

Figura 10

Tipos de fisuras que pueden aparecer en losas sobre el suelo.



Nota. Tomada de Revista Hormigón (Pombo & Zerbino, 2021)

Como se expone en la Figura 10, no todas las fisuras son iguales y estas pueden manifestarse de distintas formas dependiendo de su causa, ya sea por cargas estructurales, algún error durante la mezcla o secado, o un cambio térmico que hizo que se expandiera. Saber reconocer cada una ayuda a identificar cuál es la causa que hay que intervenir (Cruz, 2020).

4.1.2.1. Control y diagnóstico de fisuras

La presencia de fisuras no implica un error técnico durante el proceso de preparación, o que hubo malas prácticas constructivas. Por el contrario, la aparición de fisuras muestra que la varilla de refuerzo está cumpliendo su función estructural, no obstante, una vez aparecen es necesario llevar un registro de su desarrollo para saber cuándo tomar acción y de qué forma. En esta sección se habla de varias herramientas y métodos de estudio para medir el progreso de las grietas, anchos aceptables, y características que pueden influenciar su desarrollo. Sin embargo, antes de empezar es pertinente hacer la aclaración de que una grieta y una fisura no son lo mismo, como comenta Cruz (2020) Las fisuras son aberturas de ancho de hasta un milímetro mientras que las grietas son aberturas de más de un milímetro.

Tabla 6

Guía de anchos de fisura razonable, para el concreto reforzado bajo cargas de servicio.

Condición de exposición	Ancho de fisura	
	Pulg.	mm
Aire seco o membrana protectora	0.016	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Químicos para deshielo	0.007	0.18
Agua de mar, zona de salpique, ciclo húmedo y seco	0.006	0.15
Estructuras de retención de agua	0.004	0.1

Nota. Adaptado de Control of Cracking in Concrete Structures (ACI Committee 224, 2001)

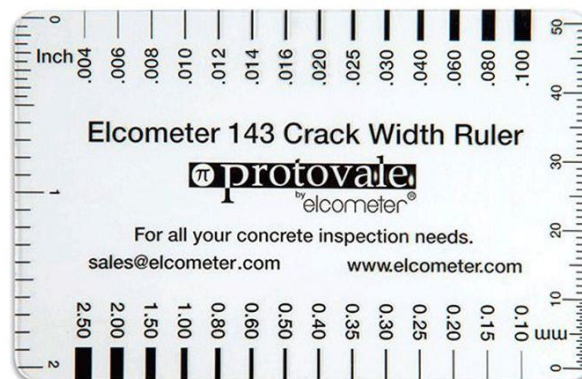
La tabla 6, muestra el ancho aceptable que pueden tener las fisuras dependiendo del entorno y tarea a la que va dirigida la estructura. No todas tienen el mismo grado de exigencia, ya que ciertos entornos son más intensos y pueden afectar a fisuras de menor tamaño, acelerando el

deterioro de la estructura y poniendo en peligro su integridad. En ausencia de requerimientos específicos como los expuestos en la tabla 6, un ancho límite de fisura de 0.30 mm es satisfactorio respecto a la apariencia y durabilidad de la estructura. (ACI Committee 224, 2001)

Una vez identificadas las fisuras, se les realiza un estudio a distintas características para llevar nota de su estado, siendo el primer factor a identificar la causa, si fue sobrecarga estructural, algún error en los ingredientes, mezcla o proceso de secado, cambio del ambiente, mal manejo por parte de los usuarios o simplemente deterioro natural. Con esto definido lo siguiente sería mensurar su grosor, lo cual puede realizarse por medio de un medidor de fisuras, el cual viene en dos formatos, el de carta y de microscopio (ACI Committee 224, 2007).

Figura 11

Regla de anchura de grietas.



Nota. Tomado de Elcometer (Elcometer, s.f.)

La herramienta mostrada en la Figura 11, cuenta con líneas negras de distintos grosores tanto en sistema métrico como imperial, estas se superponen una por una sobre la fisura hasta encontrar la que tenga la misma anchura para saber su grosor.

Figura 12

Microscopio de fisuras.



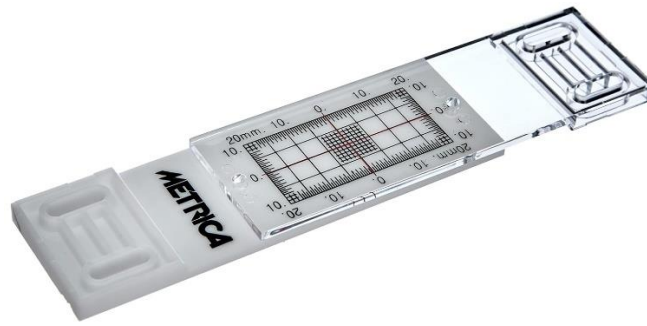
Nota. Tomado de Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures (ACI Committee 224, 2007)

La herramienta mostrada en la Figura 12, cumple la misma tarea que la regleta, pero esta permite ver e identificar grietas de menor tamaño de hasta 0.001 in/0.025 mm.

El siguiente factor a conocer, seria si la fisura esta activa o no, es decir si se está moviendo y creciendo o no. Corral (2004) propone métodos empíricos para medirlas como marcar con una x o encajando una aguja en la misma midiendo su crecimiento en milímetros. Otro método disponible es el fisurómetro mostrado en la Figura 13, el cual mismo cuenta con dos partes que se instalan cada una a un lado de la fisura, para luego ver en qué dirección y que tanto se ha movido, luego de un tiempo previamente definido, permitiendo una medición más precisa.

Figura 13

Fisurómetro de regleta.



Nota. Tomado de Amazon (Metrica, 2012)

Tras haber anotado los datos anteriores, hay otros aspectos que se deben conocer: 1- Condición de humedad, 2- Presión del agua, en caso de tener contacto con esta y, 3- Profundidad de la fisura (Sika Colombia, 2014).

De ser necesario obtener más información de fisuras más profundas, existen pruebas destructivas y no destructivas. En la primera se requiere remover material de la estructura para estudiarla, mientras que en la segunda no es necesario ese tipo de intrusión: 1- No destructivo: visualización, golpear la superficie buscando sonidos huecos y uso de ultrasonido o radiografías para visualizar las discontinuidades internas. 2- Destructivo: retirar una sección o núcleo del elemento de concreto cercano a la zona que se quiere estudiar para así medir directamente el ancho y longitud de las grietas, o aplicársele un estudio petrográfico para analizar su composición (Toxement, 2019).

El ultimo método para evaluar las fisuras en una estructura de concreto, es repasar todos los elementos relacionados a su construcción, cómo qué materiales y componentes fueron usados, los planos, las cargas presentes y el ambiente, con tal de tener un panorama completo de todas las características en juego. (ACI Committee 224, 2007)

Tras terminar de recolectar la información con los métodos antes mencionados, se puede decidir qué método usar para sanearla, prevenir su esparcimiento, y protegerla del ambiente. Las soluciones son de dos tipos: aplicar un elemento sellante como la resina que cierre la apertura o agregar piezas de metal que se sujeten de ambos extremos de la fisura de forma que impida su crecimiento (ACI Committee 224, 2007). Recordar que el concreto se volverá a fisurar si no se interviene la causa.

4.2. El Metal

Según la Real Academia Española (2025) los metales son “Cada uno de los elementos químicos buenos conductores del calor y de la electricidad, con un brillo característico, sólidos a temperatura ordinaria, salvo el mercurio, y que en sus sales en disolución forman iones electropositivos o cationes.”

Estos elementos son bastante trabajables, permitiendo mecanizarlos y esculpirlos en distintas formas, y gracias a su buena conducción térmica, éste se puede fundir, pasando a un estado líquido para luego moldearlo en la forma deseada. Lo anterior, unido a su alta resistencia y durabilidad hace que sea un material ideal a la hora de crear una gran variedad de componentes estructurales y/o soportes.

La variedad de metales que existen es amplia y cada uno tiene tareas en las cuales destaca sobre otros, y de ser necesario como expone Weinhandl (2021) estos se pueden fortalecer aún más por medio de aleaciones; proceso que parte de la mezcla homogénea de dos o más elementos químicos de los cuales al menos uno debe ser un metal, con el fin de fortalecer sus propiedades tanto físicas como químicas.

Entender las propiedades de los materiales con los que se va a trabajar es vital para poder contemplar todas las características que se han de tener en cuenta a la hora de definir, por ejemplo, los requerimientos de un soporte, o intervenir de alguna manera en sus componentes ya sea un rediseño de la estructura metálica o cambiar la composición del concreto para que se ajuste a este nuevo soporte.

4.3. Mobiliario urbano

Este se puede definir como, los elementos dispuestos en espacios públicos o privados para satisfacer una necesidad existente de los peatones que se encuentren o pasen por la zona y pueden ser para el reposo, ornamentación, educación. En este caso, la línea de mobiliario “Universal” con la que se está trabajando, está principalmente conformada por bancas dirigidas a centros comerciales, zonas hospitalarias, parques y áreas comunes. Si bien estos son fabricados con una o dos funciones en mente, también cuentan con características secundarias que ayudan a las personas de otras formas. Como explica WAN (2007) Estos otros aspectos abarcan desde la información que comunica a los peatones con base a su disposición, ubicación en el espacio y en cómo embellecen su entorno por medio de su diseño. El grado de importancia de cada aspecto no es el mismo para todos los mobiliarios, algunos estarán enfocados más a la parte estética, mientras que otros a la funcional.

4.3.1. Principios Generales del mobiliario urbano

El mobiliario urbano al ser pensado para satisfacer las necesidades de las personas, debe tener al usuario al que va dirigido como la mayor prioridad a la hora de tomar una decisión de

cualquier aspecto de este. La metodología de “diseño centrado en el usuario” es importante en este campo ya que como dice su nombre, el usuario es el eje principal durante todo el proceso. Según comentan Kaygin y Demir (2017), este método comenzó a tomar fuerza a partir de la segunda mitad del siglo XX, bajo la idea de que los productos con mayor calidad y mejor ajustados a sus usuarios son más atractivos al público.

El “diseño centrado en el usuario” definido por Domingo y Pera (2010) se caracteriza por la comunicación constante con el usuario objetivo durante todas las fases del proyecto, de forma que el producto resultante satisfaga sus necesidades reales evitando sesgos propios o del grupo de trabajo. Sin embargo, esto no implica hacer todo lo que el usuario diga, ya que en la gran mayoría de ocasiones ellos no saben exactamente aquello que necesitan y el trabajo del diseñador consiste en traducir las pistas dadas por ellos en la verdadera solución.

Aparte de la metodología antes mencionada, hay otros elementos a tener en cuenta a la hora de diseñar el producto. El mobiliario no es un elemento aislado del mundo, existe en un contexto y comparte espacio con otras piezas, por lo que se debe diseñar y disponer teniendo en cuenta el paisaje urbano de forma que estén en armonía (WAN, 2007). Como establece Bolkaner, et al. (2019) Hay que estudiar la identidad, dinámicas internas y reconocer las necesidades de la región a la que va dirigida, para que la solución propuesta sea del agrado de las personas del lugar y ayude a su desarrollo.

La función principal por la que está dispuesto un mobiliario debe de ser reconocible a primera vista, si ese no es el caso puede llevar a que los peatones no interactúen con este. Aunque si bien se fabrican con una forma correcta de uso como dice WAN (2007), al ser un producto de uso público, no puede controlar como los usuarios interactúen con éste, podrían por ejemplo

pararse en las sillas o escalar esculturas; los diseñadores deben considerar estas posibilidades de forma que la integridad del mobiliario o la del usuario no se vea afectada. Finalmente, su vida útil debe ser lo más larga posible, esto se logra por medio de materiales de buena calidad, de alta durabilidad y que requieran poco o ningún mantenimiento, de forma que pase más tiempo sin necesitar ser reemplazada y no haya un desperdicio innecesario de material fabricando más unidades de las requeridas.

4.4. Normativa sobre los mobiliarios urbanos en Colombia

En la actualidad, la legislación afín a los procesos de mobiliario urbano carece de un sustento jurídico, salvo el decreto 1538 de 2005, único que menciona algo relacionado al tema y que en su artículo 7 establece:

El mobiliario se debe localizar única y exclusivamente en la franja de amoblamiento, garantizando que la franja de circulación peatonal permanezca libre y continua. Los elementos del mobiliario urbano instalados a lo largo de las vías peatonales, deben ser fácilmente detectables por todas las personas, en especial por las personas invidentes o de baja visión, para ello se instalará una franja sobre la superficie del piso, de diferente textura al material de la superficie del andén. (Decreto 1538, 2005, artículo 7)

La normativa existente no comenta nada al respecto de reglas que los mobiliarios en sí deban cumplir, sino que se enfoca más en la disposición de este en el espacio que ocupa, señalando que solo pueden ocupar el espacio que se les está permitido de forma que no obstaculicen el tránsito de las personas sin importar su condición, y que cuente con la correcta señalización para que los peatones, incluso invidentes o con baja visión puedan ubicarse y reconocer los elementos a su alrededor. Así que más allá de la limitación de la franja de paisajismo y mobiliario que varía entre

0.6-1.5 metros dependiendo del perfil vial (Ministerio de Transporte, 2023), no existe mayor reglamentación que limite el proceso creativo del diseño de un mobiliario.

5. Metodología

5.1. Enfoque de investigación

La presente investigación cuenta con un enfoque mixto, que contempla por un lado la metodología cualitativa, útil para entender la problemática, recolección de información, definición de requerimientos y generación de alternativas, por otro lado, se encuentra la metodología cuantitativa, necesaria para parametrizar la propuesta seleccionada y evaluar su rendimiento antes de la prueba final.

5.2. Tipo de Estudio

Este proyecto conlleva la metodología de trabajo de investigación, y en este se busca indagar en una problemática usando como objeto de estudio el producto de una empresa; el gerente hará seguimiento a través de reuniones en las que se le presenta el progreso. Se quiere alcanzar un nivel de profundidad del conocimiento Descriptivo, definiendo para ello, que requerimientos son necesarios para desarrollar el sistema de unión y luego verificar si hay una relación entre las propiedades de la solución propuesta y la problemática del fisuramiento presentada en el objeto de estudio.

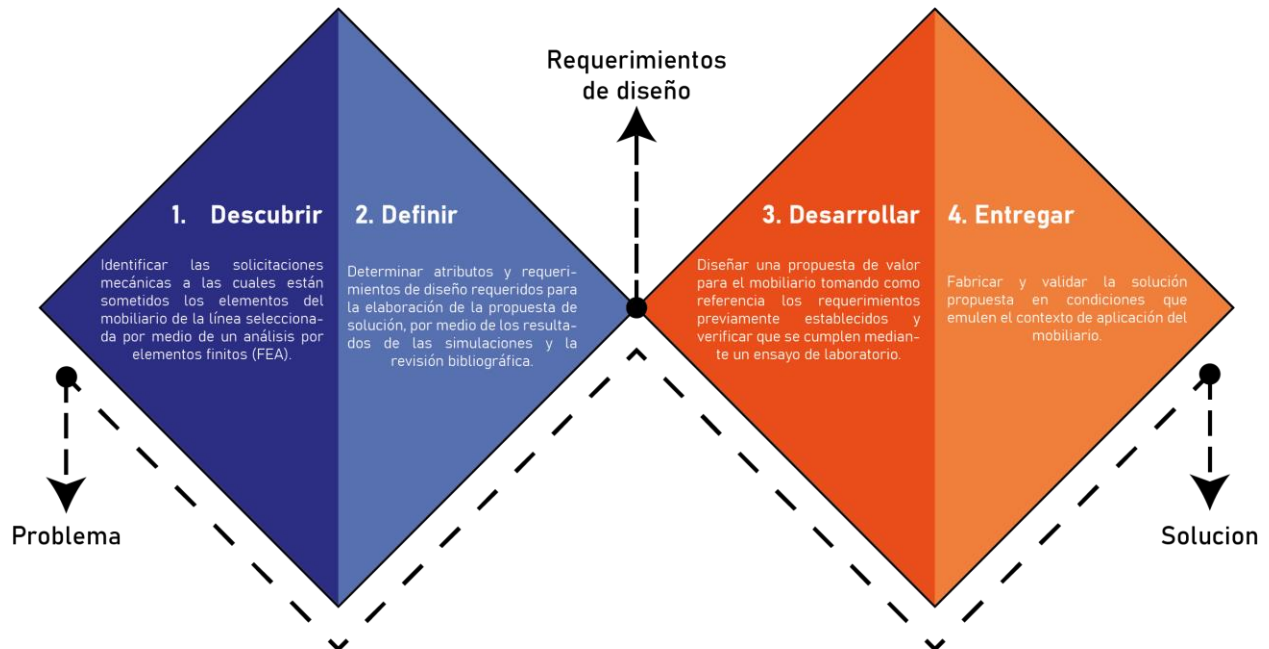
5.3. Diseño Metodológico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron dos metodologías, la primera es el modelo de diseño doble diamante, dado a que el flujo y las fases que propone son similares a los objetivos

propuestos para seguir en el presente trabajo de investigación. En el primer diamante se indaga sobre las variables que intervienen en el problema y con base a ese conocimiento establecer los fundamentos necesarios para el desarrollo de la solución. El segundo diamante va desde el proceso de iteración de soluciones usando los fundamentos de referencia previamente establecidos, hasta encontrar la mejor propuesta, la cual será puesta a prueba en un ensayo que emule las condiciones reales de la situación de uso.

Figura 14.

Metodología de doble diamante.



La segunda metodología usada se le conoce como OKR cuyo acrónimo se traduce en “objetivos y resultados clave”, con tal de establecer una ruta de trabajo que guie el proyecto, esta fue usada para asignarle a cada objetivo una serie de actividades, cada una con las herramientas necesarias para su desarrollo, y el resultado que se espera obtener.

Tabla 7

Cuadro metodológico.

Objetivo	Actividad	Descripción	Instrumentos	Resultados esperados
1.	Análisis del contexto	Identificar los factores que generan fisuramiento, alrededor del sistema de unión del mueble.	Entrevistas	Causas
	Revisión documental	Determinar los tipos de esfuerzos presentes en el mobiliario.	Simulaciones de elementos finitos Investigación de escritorio	Tipo de esfuerzos
2.	Revisión documental	Estudiar, analizar y entender productos y objetos que puedan solucionar problemáticas similares a las presentes en el mobiliario urbano objeto de estudio.	Revisión bibliográfica Benchmarking	Características del soporte.
	Diseño conceptual	Formular propuestas que apunten a solucionar la problemática optimizando los recursos.	Bocetación Modelado 3D Maquetación Consultas con expertos Co-Evaluación Diagrama de afinidad Tabla de requerimientos	Propuestas de alternativas de solución.
3.	Ensayo de laboratorio	La alternativa seleccionada se coloca a prueba en un ensayo de vibración para medir su efectividad.	Prototipo de solución Ensayo de laboratorio	Verificación
	Trabajo de campo	Fabricar el mobiliario con el soporte propuesto incluido.	Prototipado de alta fidelidad	Mobiliario en tamaño real con materiales reales.
4.	Pruebas de campo	Validar el mueble bajo las condiciones de uso y distribución.	Toma de evidencia Resultados Conclusiones	Buen estado del mobiliario.

6. Presentación de resultados

6.1. Objetivo 1

“Identificar las solicitaciones mecánicas a las cuales están sometidos los elementos del mobiliario de la línea seleccionada por medio de un análisis por elementos finitos (FEA)”

6.1.1. Actividad 1: Identificar los factores que generan fisuramiento, alrededor del sistema de unión del mueble.

Se realizó una entrevista al gerente de la empresa para tener una introducción de la problemática presentada, a los aspectos generales del producto, su sistema de unión, método de transporte y embalaje actual, y luego a uno de los arquitectos encargados de la producción de pieza para obtener más detalles sobre los temas antes mencionados. Se organizó la información obtenida y esta se presenta a continuación.

Los productos de la línea “Universal” se caracterizan por su diseño curvo en sus aristas y esquinas, y su capacidad de adaptación a todo tipo de espacios, como el hogar, plazoletas y parques. El concreto arquitectónico que usan tiene una resistencia a la compresión de 4500 Psi que es mayor al margen de 3000 psi que manejan otras marcas. En el caso de la banca con espaldar esta reforzado con fibras plásticas, malla electrosoldada y varillas que pasan por el centro de la base. El sistema de unión usado son tornillos embebidos en el concreto que sobresalen de los elementos, los cuales se pasan a través de agujeros en la estructura metálica, se les enrosca una tuerca para asegurarlos y se les aplica un punto de soldadura para prevenir que cualquier persona la desajuste. A la hora del transporte el mobiliario es amarrado con eslingas para sujetarlo y evitar

que se mueva, y también es recubierto con Vinipel y Yumbolon para protegerla de rayones, suciedad, movimientos bruscos y golpes.

Por el lado más estético del mobiliario, la pintura que se utiliza se le conoce como pintura electroestática, además se le pueden aplicar pigmentos de color al concreto durante su preparación si el cliente lo solicita. Y en cuanto a garantía la empresa maneja un periodo de dos años para la pintura y cinco para el concreto.

El concreto es un material duro y resistente, pero a la vez es frágil y tiende a fisurarse con facilidad ante esfuerzos para los que no está diseñado como serían los de tracción, flexión o cortante, estos se hacen presente no solo al momento de transportarlo al lugar de destino sino también por usos comunes como moverse en el puesto o reubicar la silla, lo cual genera la aparición de fisuras en los puntos de sujeción con la estructura metálica al estar hecha de un material más duro.

Otro problema del sistema de unión es que, durante el vertimiento y secado del concreto, los tornillos son propensos a moverse de sitio, complicando aún más la colocación de la estructura al requerirse de demasiada precisión. Además, por la forma de la estructura metálica usada, el espaldar se tiene que encajar de frente y los tornillos dificultan eso al entrar con Angulo, lo que ocasiona que, durante el forcejeo para colocar la pieza, esta puede llegar a recibir golpes que la afecten. Así que tienen que darle forma ovalada al agujero donde va a entrar para que no sea tan complicado, lo que a la larga es más trabajo y le resta a la estética del producto. Y el último problema mencionado sobre este sistema es que si se sobreesfuerza la tuerca al momento de enroscarla en el tornillo también puede llegar a fracturar el concreto.

Previamente lo que usaban para fijar el espaldar a la estructura metálica, era pegarlo con pegamento epóxico para concreto y acero el cual tiene que aplicarse directamente a ambos materiales para que funcione, cosa que es un problema ya que al tener que usarse sobre la estructura metálica ya pintada, esta capa es propensa a desprenderse del metal a causa de movimientos bruscos o el pandeo del concreto, inutilizando la fijación del pegante, y que los clientes terminen haciendo uso de la garantía por que el espaldar se está desprendiendo. Y fue debido a esto que se realizó el cambio al sistema con tornillos.

Sin embargo, comentan que recientemente han desarrollado un nuevo sistema que les ha mostrado una mejora. Este consiste en un sistema hembra, donde lo que quede embebido en el concreto sea una tuerca soldada a una tubería y una platina, a la que luego se le enrosca un tornillo luego de colocarse en la estructura, cosa que facilita el anclaje al no tener el tornillo obstaculizando durante el proceso. No obstante, tiene la desventaja de que fabricar el elemento toma más tiempo, cuidado y dinero que simplemente soldar el tornillo a la malla.

6.1.2. Actividad 2: Determinar los tipos de esfuerzos presentes en el mobiliario.

Se realizó una simulación mediante el software de Solidworks al mobiliario sin el refuerzo interno, con tal de visualizar el comportamiento de las tensiones en el mobiliario y la deformación del concreto puro ya que así es más propenso a fisurarse sin los refuerzos de fibras, mallas o varillas que ayuden a prevenirlas, al estar sometido a cargas de uso. El tipo de simulación realizada fue la de análisis estático que consiste en “aplicar cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del sólido. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de equilibrio” (SolidWorks, s.f., p1). El análisis estático se realiza bajo dos suposiciones:

- Suposición estática: Las cargas se aplican de forma lenta y gradual hasta alcanzar su valor máximo.
- Suposición de linealidad: La relación entre cargas y respuestas es lineal, si se duplica la fuerza, las respuestas del modelo también.

Para esta prueba se tomó de referencia la norma BS EN 12520 (FIRA International, 2021), que define los requerimientos mínimos de resistencia, durabilidad y seguridad que deben cumplir los asientos de uso doméstico, para definir los valores de las cargas a usar en la simulación, se aplicaron 1000 N a la superficie del asiento y 300 N a la del espaldar. Para el concreto se usaron las especificaciones del utilizado en la empresa (Tabla 8) y para el metal se usó el “acero aleado” proporcionado por la biblioteca de materiales de SolidWorks (Tabla 9). Estas son las propiedades de los materiales usados:

Tabla 8

Propiedades del concreto arquitectónico.

Propiedad	Valor	Unidad
Modulo elástico	26170	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.2	N/D
Densidad de masa	2400	Kg/m ³
Límite de tracción	3.1	N/mm ²
Límite de compresión	31.03	N/mm ²
Límite elástico	20	N/mm ²

Nota. Entrevista a Arteconcreto.

Tabla 9

Propiedades del acero aleado.

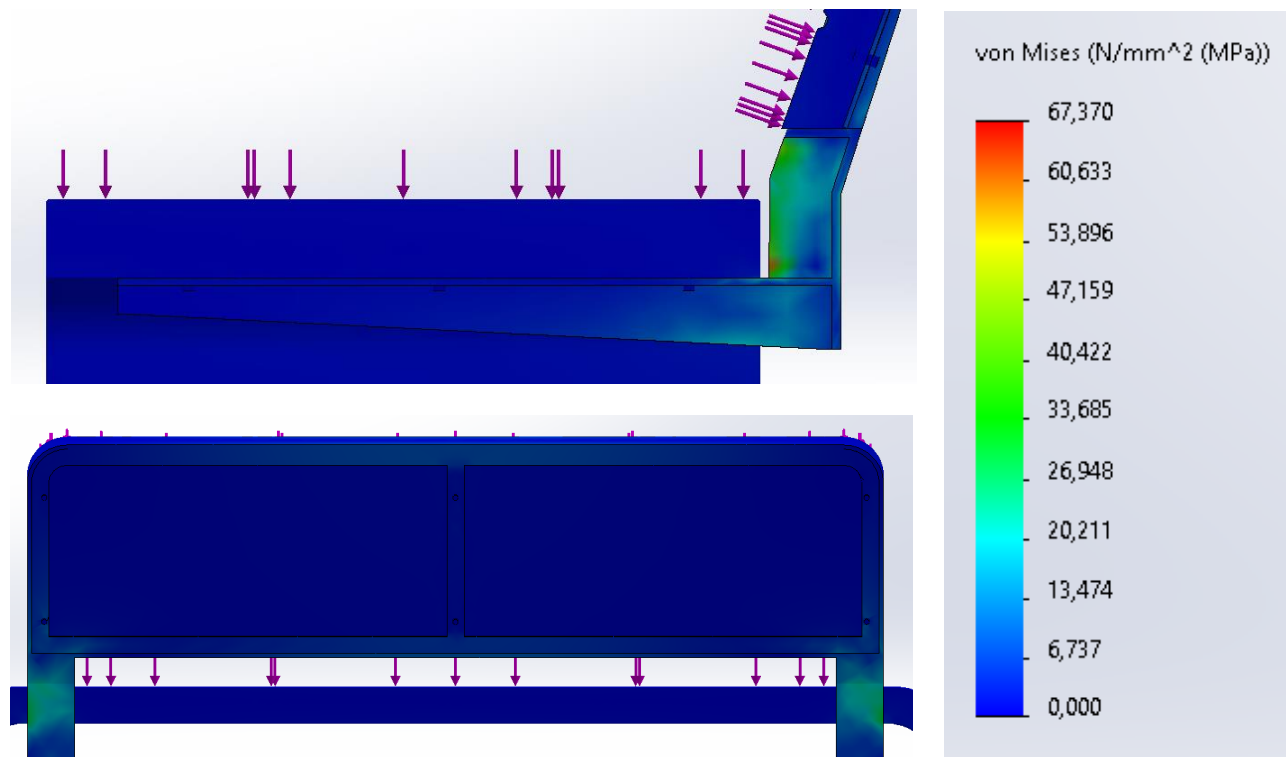
Propiedad	Valor	Unidad
Modulo elástico	210000	N/mm ²
Coficiente de Poisson	0.28	N/D
Densidad de masa	7700	Kg/m ³
Límite de tracción	723.82	N/mm ²
Límite de compresión	X	N/mm ²
Límite elástico	620.42	N/mm ²

Nota. Biblioteca de materiales de SolidWorks.

Ya con las especificaciones de los materiales usados, tipo de análisis y valor de las cargas definido, a continuación, se observan los resultados identificados:

Figura 15.

Análisis estático, esfuerzo de Flexión en la estructura metálica.



Como se muestra en la Figura 15, la tensión se representa por medio de una escala de colores que va desde el azul hasta el rojo, siendo las zonas color azul donde están los valores más

bajos de la simulación y con rojo donde están los más altos. El primer tipo de esfuerzo que podemos identificar es el de flexión, que se presenta en sus tres componentes (Base, Espaldar y Estructura metálica) cuando se aplica fuerza sobre la superficie del espaldar o de la base, siendo en justo en la mitad donde su tensión alcanza el mayor valor, en el caso de la base esta llega a un esfuerzo de 0,41 Mpa y en el caso del espaldar alcanza un esfuerzo de 1 Mpa; y en la estructura metálica cuando uno se recuesta sobre el espaldar esta se manifiesta en el vértice de la estructura metálica que conecta la base con el espaldar donde alcanza el máximo valor de todo el mobiliario que sería 67.3 Mpa. Además, a partir de la Figura 16 podemos visualizar como la flexión de la estructura hace que la lámina que está en contacto con la base busque elevarse generando un esfuerzo de compresión al concreto llegando a alcanzar un valor de 17.3 Mpa, siendo mayor cerca del borde y amainando a medida que se aleja de este.

Figura 16

Análisis estático, esfuerzo de compresión en la base.

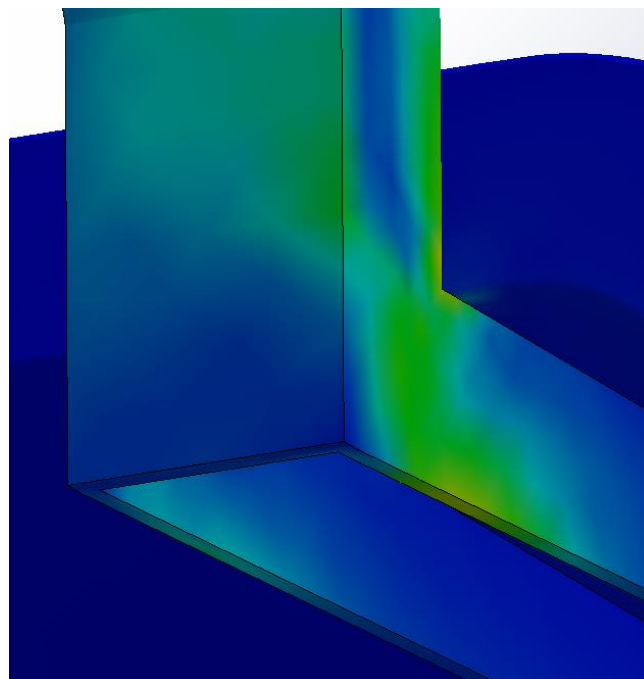
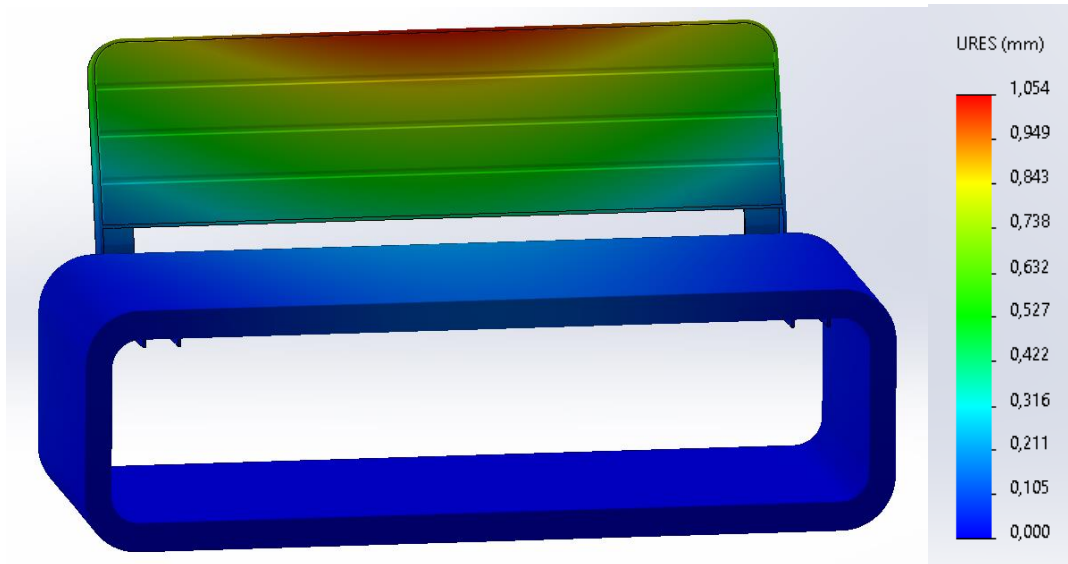


Figura 17

Análisis Estático, desplazamiento resultante.



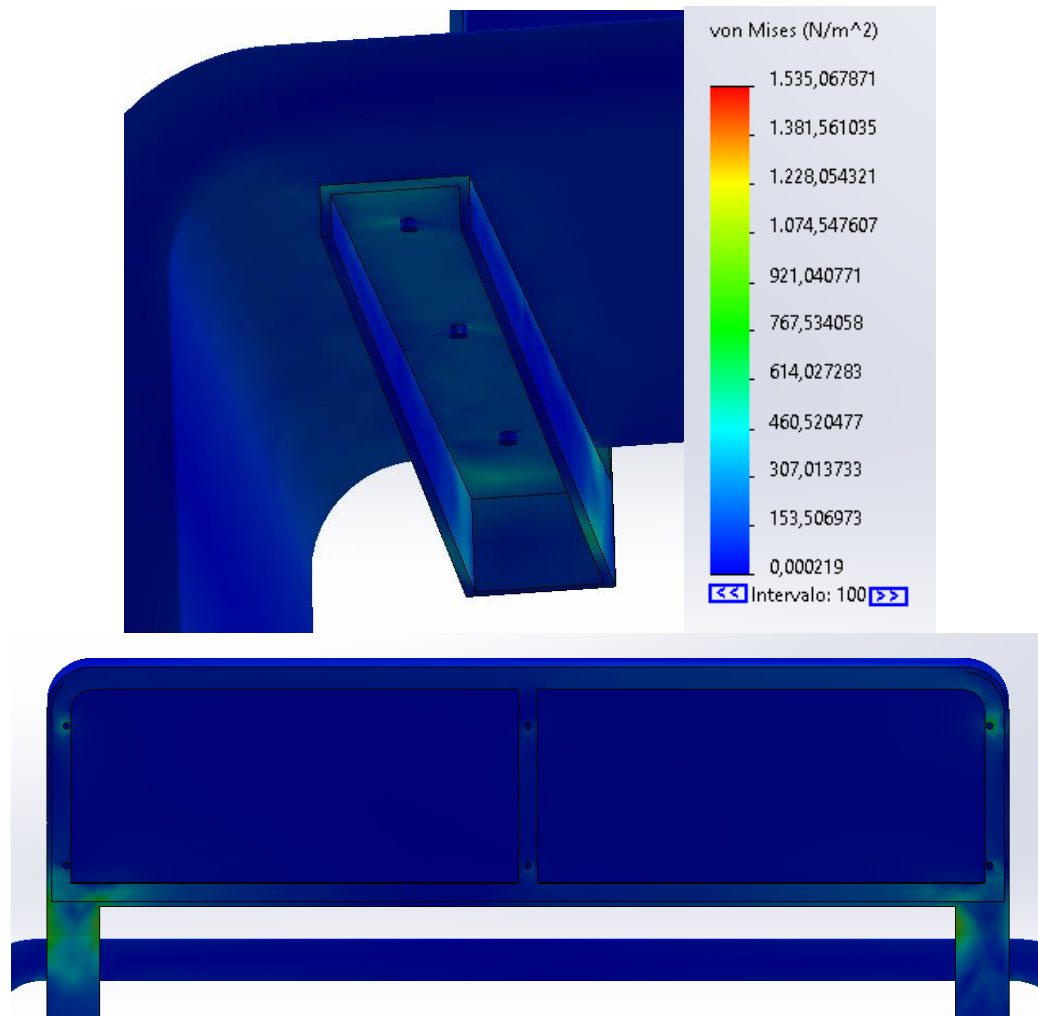
Mirando los resultados de desplazamiento que se observan en la Figura 17, podemos observar el deformación que se produce en el mobiliario frente a cargas de uso cuando una persona se sienta y recuesta en la banca, la primera flexión de la base es de 0.2 mm justo en la mitad de la superficie del asiento, y la segunda y mayor deformación que fue identificada es de 1.054 mm, la cual se encuentra en la mitad del extremo superior del espaldar, esto es debido a la flexión conjunta de la estructura metálica y el espaldar, siendo la estructura la que más se deforma al estar compuesta de láminas de acero maleables a diferencia del concreto rígido y macizo del espaldar.

Mediante un análisis de dinámica lineal en el que se simula el desplazamiento del mobiliario cinco metros lateralmente, para simular las vibraciones del transporte, el ultimo tipo de esfuerzo que podemos identificar en este mobiliario es el esfuerzo cortante como se puede ver en la Figura 18, el cual se concentra en alrededor de los tornillos cuando se mueven colisionando contra la estructura metálica, producto de las vibraciones o movimientos en el plano horizontal que puede sufrir el mobiliario lo cual va dañando y fisurando poco a poco el concreto, además en

el caso de las juntas laterales del espaldar al estar muy cerca del borde hace de esta una zona propensa a fracturarse.

Figura 18

Excitación de la base seleccionada, esfuerzo cortante.



Otro detalle que podemos extraer de la simulación de vibración es que no solo son los tornillos los que aplican esfuerzos, sino que también la propia lámina que está en contacto con la base aplica presión a esta, alcanzando su valor más alto en el contorno de la lámina y al borde interno de la base.

Ya después de identificar todos los tipos de esfuerzos presentes en la banca mediante las simulaciones, se resaltaron con color en el modelo las zonas del mobiliario que cada tipo afecta. De rojo las áreas de componentes metálicos y de rosa las de concreto, para poder diferenciar entre ambos materiales, estas se muestran en las Figuras 19, 20 y 21.

Figura 19

Áreas afectadas por el esfuerzo de flexión.

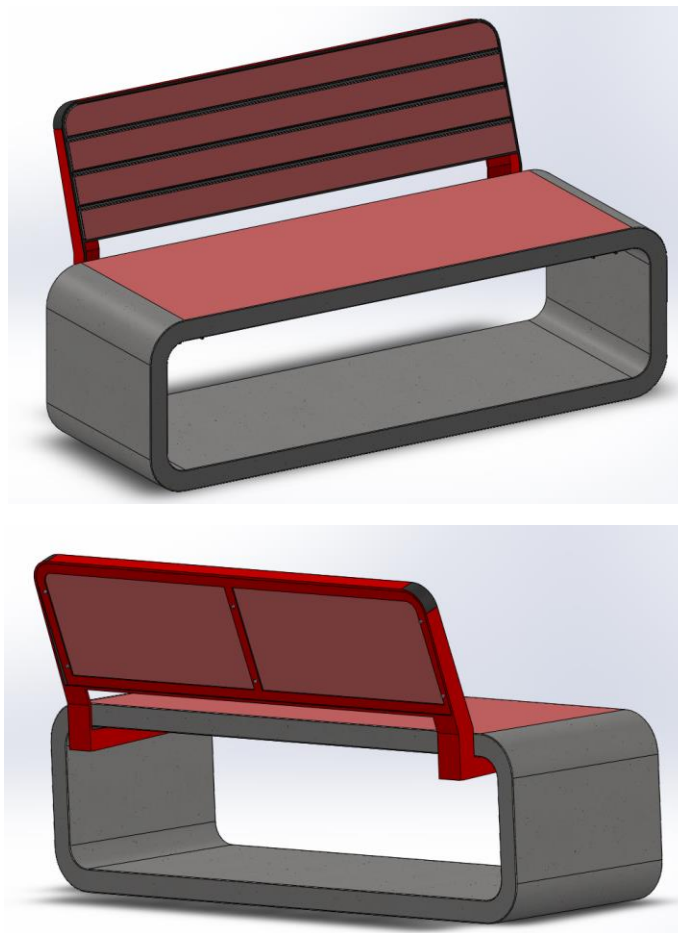


Figura 20

Áreas afectadas por el esfuerzo de compresión.



Figura 21

Áreas afectadas por el esfuerzo de cizalladura.





Finalmente se organizaron en la tabla 10, el valor máximo que alcanza cada tipo de esfuerzo en los materiales en los que se presenta y se compara con las propiedades de los materiales usados, para ver como son afectados:

Tabla 10

Tabla comparativa de resultados y propiedades.

Concreto arquitectónico			
Flexión max Concreto	1.085 Mpa	Resistencia a la flexión Concreto	13.9 Mpa
Compresión max Concreto	17.3 Mpa	Resistencia a la compresión Concreto	31 Mpa
Cizalladura max Concreto	266 Pa	Resistencia a la cizalladura Concreto	3.1 Mpa
Acero aleado			
Flexión max Metal	67.3 Mpa	Resistencia a la flexión Metal	620.4 Mpa
Cizalladura max Metal	1535.8 Pa	Resistencia a la cizalladura Metal	419.81 Mpa

En conclusión, de la banca con espaldar Universal se pueden identificar tres tipos de esfuerzos: flexión, compresión y cizalladura. El primero se produce durante su uso diario, afectando los tres componentes que conforman el mobiliario (la base, el espaldar y la estructura metálica), de los cuales la base y el espaldar no son muy impactados ya que la resistencia a la flexión del concreto arquitectónico usado (13.9 Mpa) está muy por encima del valor máximo que se alcanza en el análisis estático, además que el desplazamiento máximo de 0.2 mm en la base es 10 veces menor al resultado del límite de deflexión admisible $L/480$ (ACI Committee 318, 2025)

que en este caso sería de 0.23 cm y eso sin incluir los refuerzos interno (fibra plástica, malla electrosoldada y varilla) que ayuda a prevenir la aparición de fisuras y la deformación del concreto. En cuanto a la estructura metálica, ésta si alcanza a demostrar una deformación cuando alguien se recuesta en el espaldar, sin embargo, la misma es de poco más de un milímetro, siendo un desplazamiento contemplado durante su diseño, de la que el material se puede recuperar una vez se retire la carga ya que es un material ductal y que la tensión máxima está muy por debajo de su límite elástico (620.4 Mpa), por lo que en sí misma no afecta negativamente el mueble.

El segundo esfuerzo es producto de la flexión de la estructura metálica. Cuando una persona se recuesta sobre el espaldar, la lámina que está en contacto con la base se impulsa hacia arriba, lo que en este caso termina aplicando una presión mayor a la mitad resistencia a la compresión del concreto (31 Mpa) que puede resquebrajarlo con el paso del tiempo tras varias aplicaciones. Y finalmente el esfuerzo de cizalladura que causa fisuramiento por las repetidas colisiones entre los tornillos, el metal y el concreto, las cuales se generan debido a la vibración que hay durante el transporte o movimientos bruscos realizados por los usuarios. Es decir que, de los tres esfuerzos identificados, solo los esfuerzos de compresión y cizalladura son responsables de la aparición de fisuras en el concreto que deterioran la apariencia y resistencia del producto.

6.2. Objetivo 2

“Determinar atributos y requerimientos de diseño requeridos para la elaboración de la propuesta de solución, por medio de los resultados de las simulaciones y la revisión bibliográfica.”

6.2.1. Actividad 3: Estudiar, analizar y entender productos y objetos que puedan solucionar problemáticas similares a las presentes en el mobiliario urbano objeto de estudio.

Benchmarking

Ya entendiendo bien cómo funciona el mobiliario, los tipos de esfuerzos presentes y las causas del fisuramiento, hay que investigar un material o mecanismo que pueda adaptarse al mobiliario para proporcionar una solución al problema. Y para que este pueda considerarse como una opción válida tiene que cumplir con uno de dos criterios: el primero, sería que permita la unión entre los componentes sin necesidad de que haya una conexión directa entre ambos materiales, y así evitar la aparición de los esfuerzos cortantes, y el segundo sería que cuente con alguna forma de absorber los esfuerzos de forma que la fuerza que le termina llegando al concreto sea mucho menor. Con esta información establecida estas fueron las alternativas de solución seleccionadas:

Imanes

Este método cumple con el primer criterio de evitar tener que ingresar elementos en el concreto para mantener la unión. La fuerza de atracción que tienen los imanes permitiría que la conexión fuera solo superficial y además facilitaría la colocación al no necesitar del mismo nivel de precisión que requieren los tornillos.

Figura 22

Ejemplo de unión imantada.



Nota. Tomado de Amazon (MAGBLOCK, 2018)

Los imanes ya son usados como sistema de unión indirecta entre dos elementos, como podemos ver en la Figura 22 son usados en juguetes que gracias a su imantación permiten crear todo tipo de estructuras que el niño imagine, o un ejemplo más común serían los imanes decorativos que se colocan en la nevera. Y en el caso del mobiliario con el que se está trabajando, su estructura está hecha con un material ferromagnético y puede ser atraído por imanes, reduciendo así el número de piezas requeridas, en caso de tomarse esta ruta.

Como desventaja está, que estas uniones suelen ser usadas para materiales más ligeros como los antes mencionados, y no algo tan pesado como una estructura de metal y concreto, se

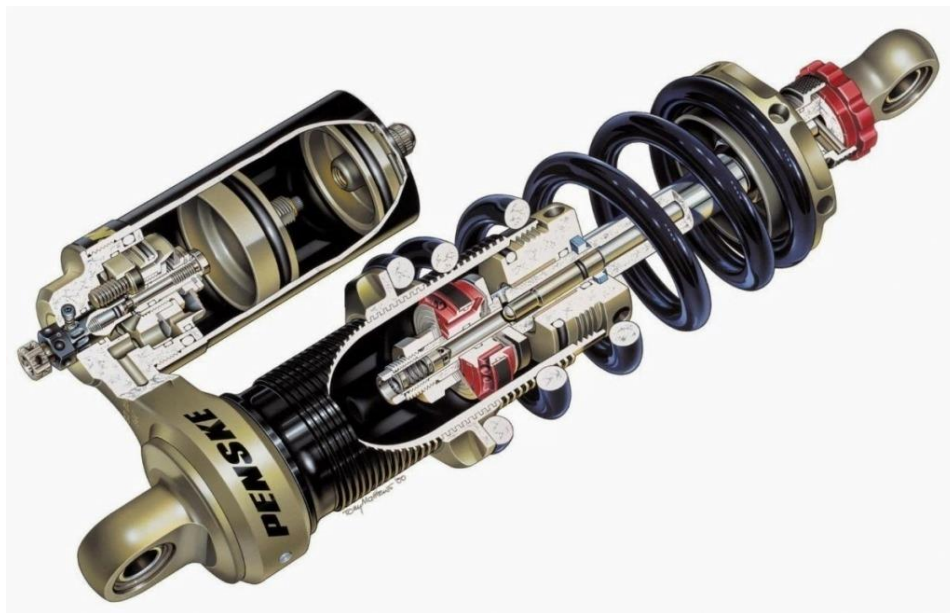
requeriría un imán grande y pesado para soportarla, y que además al ser el objeto de estudio un mobiliario dirigido principalmente a espacios abiertos, el imán queda expuesto a la brisa y lluvia del ambiente que lo oxiden y empiece a perder sus propiedades magnéticas inutilizando el sistema de unión.

Amortiguadores

Siguiendo la línea de la opción anterior los amortiguadores son un componente que conecta las llantas en los automóviles al chasis, para absorber impactos, mantener su balance a la hora de que el vehículo pase sobre terreno irregular, entre otras funciones. Su funcionamiento consiste “en la circulación de aceite entre los dispositivos internos a través de un conjunto de válvulas que generan una resistencia al paso del mismo entre las cámaras del amortiguador. De esta forma se controlan las oscilaciones de la suspensión.” (Vigliani, 2023)

Figura 23

Mecanismo interno de un amortiguador.



Nota. Tomado de Instituto de automovilismo deportivo (Vigliani, 2023)

Podemos ver la apariencia del mecanismo en la Figura 23, Este permanecerá en su estado de base cuando se deje quieto, y se retraerá al aplicársele una fuerza durante su uso diario o las vibraciones de su transporte de forma que los esfuerzos que le llegan al concreto son mucho menores

Por otro lado, se notó que el aspecto mecánico del elemento chocaba con el estilo más sobrio y minimalista del mobiliario, además de que solo es capaz de absorber impactos y vibraciones en una sola dirección, cuando los esfuerzos que recaen en el mobiliario vienen en múltiples sentidos y son de distintos tipos.

Soportes de caucho

El caucho es un material polimérico que puede obtenerse tanto de la naturaleza como producirse sintéticamente, el cual se destaca principalmente por su capacidad de sufrir grandes deformaciones al aplicársele una fuerza externa y ser capaz de volver a su forma original una vez retirada (Fortaps, 2022). Esta propiedad hace de este un material idóneo para absorber impactos y vibraciones, siendo muy usado como interfase entre dos componentes en entornos industriales para garantizar el buen funcionamiento de maquinarias, motores, incluso son usados en edificios como soportes antisísmicos.

Figura 24

Soportes antivibratorios.



Nota. Tomado de Mecanocaucho (Mecanocaucho, 2026)

Este es un producto prácticamente diseñado para resolver la misma problemática planteada en este proyecto, y como podemos observar en la Figura 24, al ser usados en diferentes campos, estos tienen una gran variedad de formatos que pueden utilizarse para cualquier estructura que lo requiera, y en este caso se podría modificar uno de estos para adaptarlo al objeto de estudio del proyecto, y por esta versatilidad se decidió seguir esta línea para el desarrollo y generación de prototipos.

Antes de empezar a generar las alternativas de solución se establecieron unos requerimientos de diseño con base en el estudio teórico antes realizado de los distintos aspectos que influyen en el mobiliario, que ayuden a guiar el proceso de diseño de las alternativas de solución, usando los soportes de caucho como concepto base sobre la cual trabajar, estos se organizaron en categorías en base a su grado de importancia:

Muy importante: Enfoque principal aparte de la problemática planteada.

- Que el mobiliario conserve la coherencia formal con la línea tras la adición de los soportes.
- Capacidad de absorber vibraciones e impactos.
- Practicidad de uso del soporte.
- Capacidad de soportar el peso de los componentes y mantenerse estable.
- Que el mobiliario siga siendo cómodo de usar.
- Usar piezas y materiales en los formatos estandarizados por el mercado.

Importante: aspectos secundarios a tener en cuenta.

- Tener cierto margen de flexibilidad a usos indebidos o inesperados de forma que no falle inmediatamente.
- Requerir el menor número de soportes para su uso.

Neutral: Adición opcional que sería bien recibida.

- El soporte ha de ser visible para mostrarlo como un valor agregado del producto.

6.3. Objetivo 3

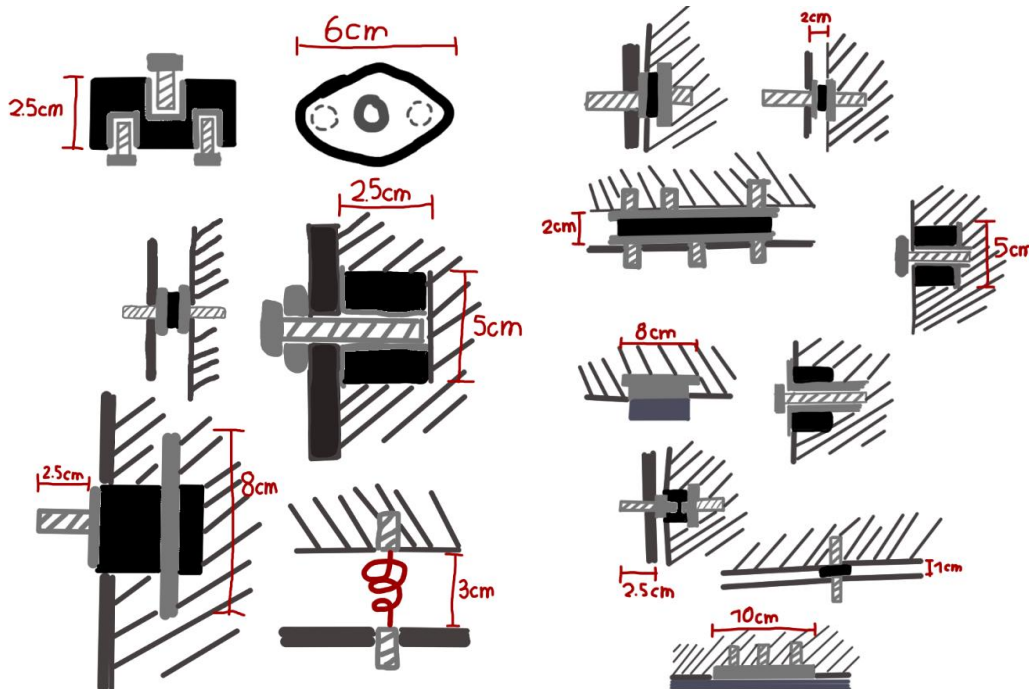
“Diseñar una propuesta de valor para el mobiliario tomando como referencia los requerimientos previamente establecidos y verificar que se cumplen mediante un ensayo de laboratorio.”

6.3.1. Actividad 4: Formular propuestas que apunten a solucionar la problemática optimizando los recursos.

Tras haber identificado mecanismos y productos que puedan solucionar la problemática para usar de base, y definir los requerimientos que guíen el proceso de diseño, se empieza la generación de alternativas, cuyo primer paso es la bocetación de ideas con medidas aproximadas como se puede observar en la Figura 25.

Figura 25

Bocetos iniciales.



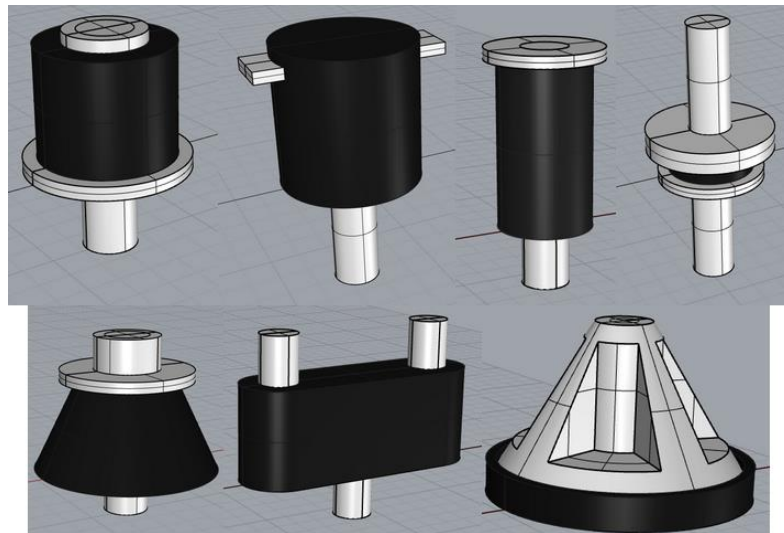
El siguiente paso fue agrupar los bocetos que sigan una misma línea de pensamiento, para generalizarlas bajo un mismo concepto sobre los cuales seguir iterando y evolucionando. Los grupos identificados se muestran en a continuación:

Soporte de caucho dentro del concreto:

Sistema hembra o macho que tendrá el material absorbente embebido en el concreto. No se pueden ver desde afuera y no se pueden reemplazar, se pueden observar en la figura 26.

Figura 26

Modelos de soporte embebido en el concreto.



Por un lado, los soportes embebidos en el concreto presentaban dos falencias a tratar, la primera es que el caucho por sí solo no tiene mucha adherencia al concreto, restándole agarre de forma que el soporte se puede despegar y caer más fácilmente, la segunda sería que en algunas el canal donde se enrosca el tornillo va desde la superficie hasta la soldadura de la malla, de forma que el tornillo queda fijo en su lugar y el caucho que lo rodea queda inutilizado ya que no habrá movimiento. Así que para resolver esta problemática se decidió que el lugar donde se enrosca el

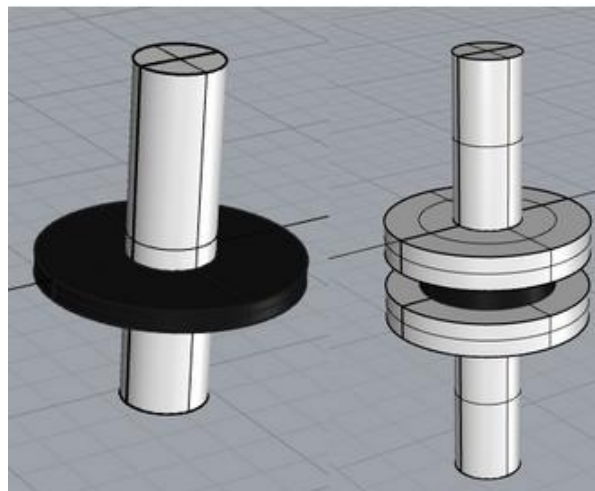
tornillo quede suspendido en medio del caucho para que así pueda absorber las vibraciones e impactos, y por el otro lado se busca recubrir el caucho por completo en metal ya que este tiene una mejor adherencia al concreto.

Soporte de caucho por fuera del concreto

Sistema hembra o macho, en donde el material absorbente hace de interfaz que separa la estructura metálica del concreto. Sería visible al público y podría diseñarse para que se pueda reemplazar se pueden observar en la figura 27.

Figura 27

Modelos de soporte por fuera del concreto.

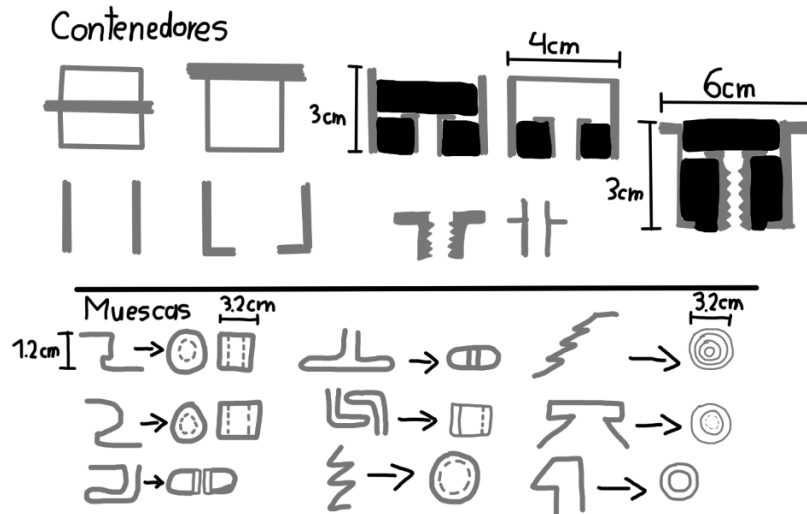


Este sistema no presentaba falencias en si como es el caso de la variación anterior, pero existía la duda de si el caucho por si solo sería lo suficiente fuerte para soportar la estructura metálica y los elementos de concreto, así que se le considero agregar una cuña de metal dentro del caucho que evite la separación de ambas partes.

En la figura 28 se pueden ver bocetos de nuevas propuestas de ambos grupos con las correcciones aplicadas.

Figura 28

Bocetos de correcciones.



Alternativas iniciales

Con ayuda y sugerencias de los trabajadores de industrias Metalmaq en Barrancabermeja, se desarrollaron tres prototipos de fidelidad de media usando metal y caucho de dureza shore A 30, dos de fuera del concreto y uno embebido en este.

Figura 29

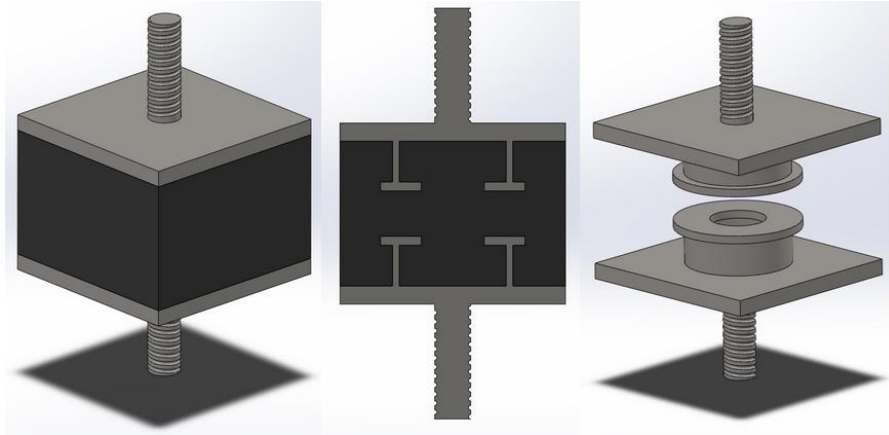
Fabricación de prototipos.



Estos se presentan a continuación:

Figura 30

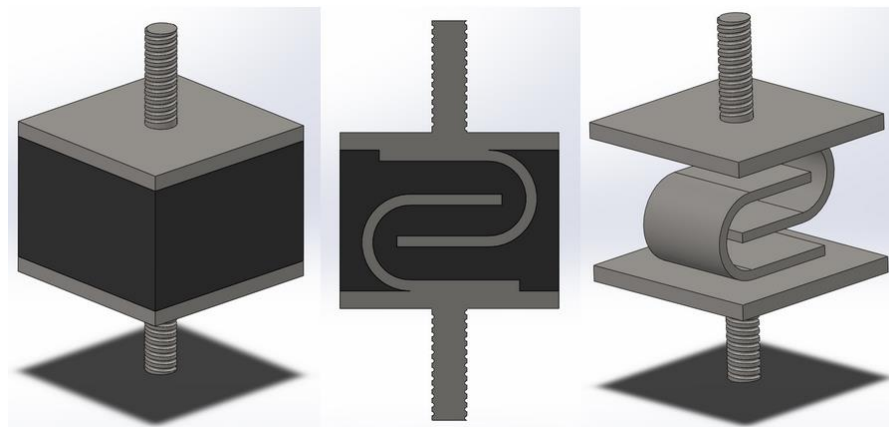
Prototipo 1.



El prototipo mostrado en la Figura 30 está compuesta de dos partes que se mantienen unidas mediante una interfaz de caucho, y para evitar que se despegue el caucho de las láminas de metal, se les agregó una arandela soldada a una tubería a ambas partes para darles resistencia a la tracción con un buen agarre al caucho, un extremo soldado a la malla mientras el otro se atornilla a la estructura metálica.

Figura 31

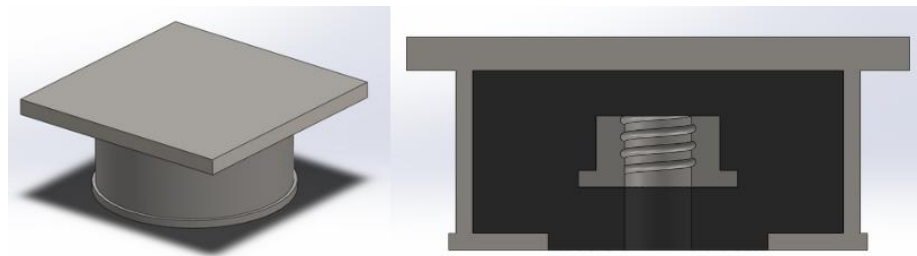
Prototipo 2.



El prototipo de la Figura 31 sigue la misma lógica de la propuesta anterior, solo que esta vez la cuña está compuesta de una tira metálica curvada para realizar un efecto similar al de la tensegridad. No solo darán resistencia a la tracción, sino también al intentar estirarse se generará un esfuerzo de compresión en la zona central que asegura más la unión sin perder la capacidad de absorción.

Figura 32

Prototipo 3.

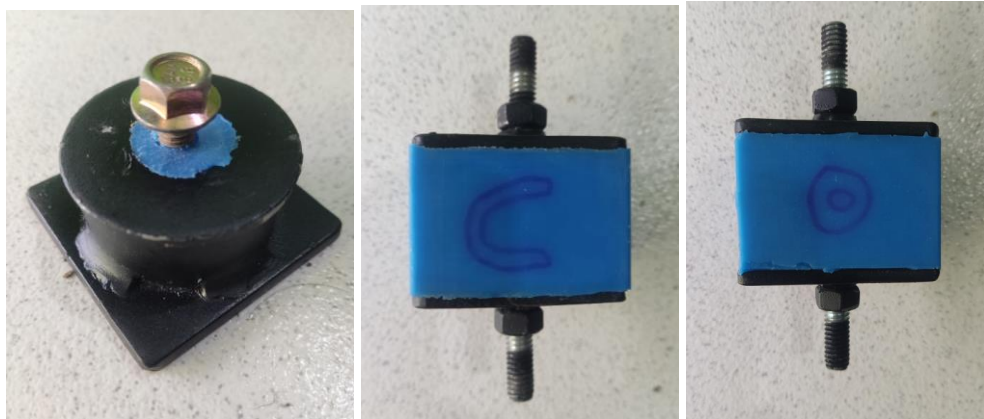


El prototipo presentado en la Figura 32 muestra una arandela biselada suspendida en caucho, dejando un camino por el cual el tornillo pueda pasar y enroscarse en este, de forma que se pueda mover con cierta libertad mientras el material polimérico que lo rodea absorbe las vibraciones, y todo está contenido en un recipiente metálico compuesto de varias piezas, para evitar que se desprenda del concreto y a su vez la lámina superior va soldada a la malla para asegurarla.

Los prototipos ya fabricados se muestran en la Figura 33, estos fueron llevados a una empresa de Bucaramanga llamada Todocauchos, que se encargarán de fabricar la propuesta seleccionada para la verificación y validación, para que diera retroalimentación de estos.

Figura 33

Prototipos fabricados.



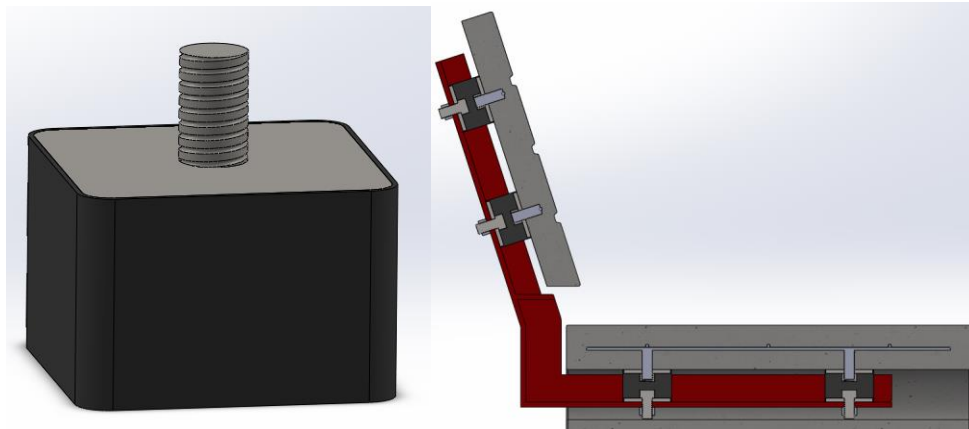
Las recomendaciones realizadas por estos fueron, que actualmente en el mercado los soportes hacen de interfases entre dos o más componentes en vez de quedar incrustado dentro de uno de estos, para así darles mayor libertad de movimiento, y estos no utilizan cuñas para mantener el agarre de sus extremos metálicos con el caucho, sino que se utiliza un adhesivo super fuerte al que se le conoce como pegamento americano, y que además, los soportes de sección redonda son más fáciles y económicos de fabricar que los de sección cuadrada. Con este nuevo conocimiento se empezó una nueva ronda de iteración de propuestas.

Segunda ronda de alternativas

En esta siguiente ronda de evolución de alternativas, se vio la necesidad de acompañar cada nueva propuesta con un rediseño de la estructura metálica que se ajuste a ella, que al igual que con las alternativas de soporte, también deben de tener coherencia con la línea. Para saber cuántos soportes se necesitan de cada propuesta en el mobiliario, se realizó una simulación rápida con el peso de la estructura metálica y espaldar como carga dividida en el número de soportes que habrían conectados al espaldar, usando “caucho natural” de la biblioteca de solidworks, hasta que presentaran una deformación de menos de un milímetro. Una vez realizados los diseños se fabricaron maquetas de los mobiliarios con la solución aplicada a escala 1:5 para presentarle al empresario en una reunión de Coevaluación para que compartiera su opinión.

Figura 34

Alternativa 1.

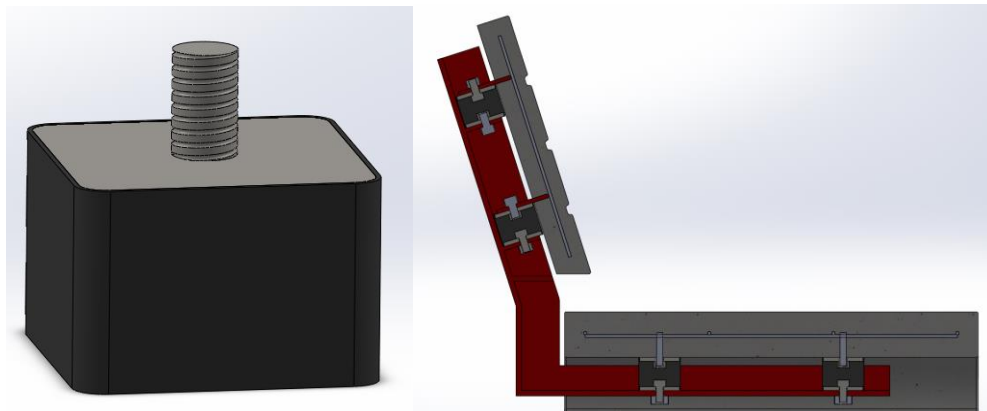


La primera alternativa que se puede ver en la Figura 34 se puede ver que el soporte lleva una sección cuadrada, si bien el fabricante de soportes de cauchos recomendó la sección circular para mayor facilidad en su construcción, se decidió seguir con la forma cuadrada con las aristas

redondeadas, ya que tenía una mayor coherencia con el resto del mueble. Además, se buscaba reducir el material necesario para la fabricación de la estructura metálica, reduciendo la flexión que recae en el espaldar al redistribuir la ubicación de los soportes.

Figura 35

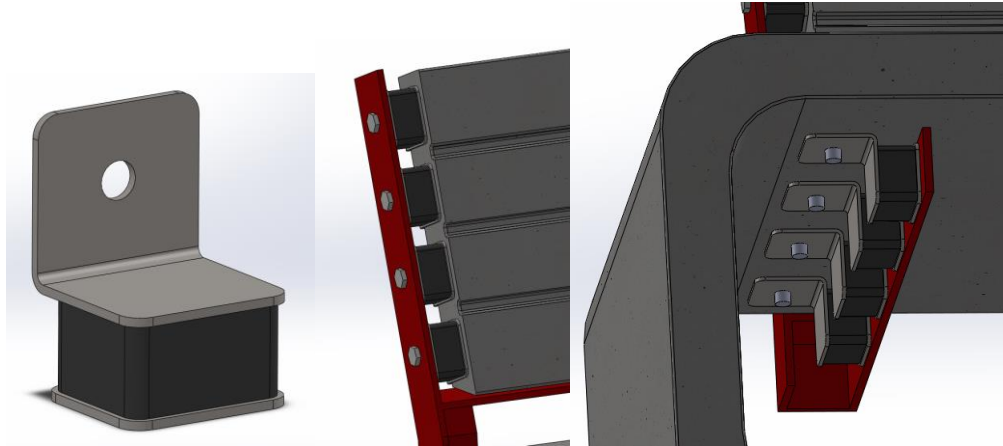
Alternativa 2.



En la alternativa dos mostrada en la Figura 35, la cual es bastante similar a la anterior, pero con la diferencia, que se cambió la posición de los soportes conectados al espaldar, para que estén a compresión la mayoría del tiempo cuando este en estado de reposo el mueble, siendo este uno de los esfuerzos con los que se comporta mejor el caucho.

Figura 36

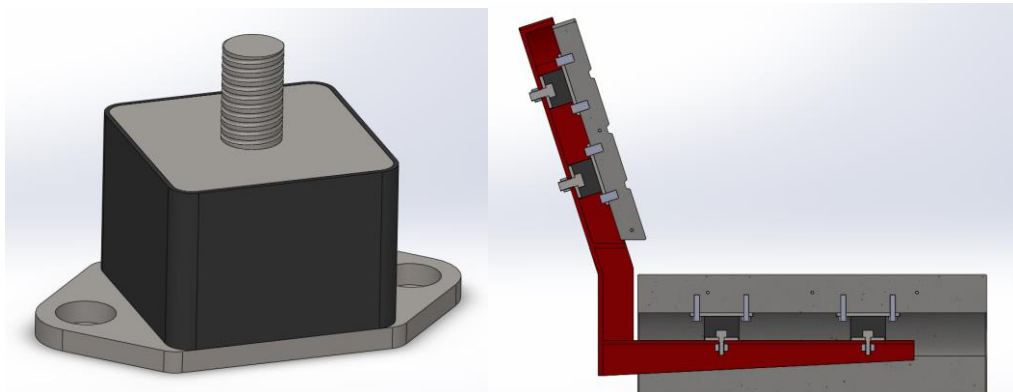
Alternativa 3.



La alternativa tres en la Figura 36, es una propuesta experimental, el alto número de soportes se debe a que en las simulaciones no mostraba un buen rendimiento a los esfuerzos a los que fue sometido.

Figura 37

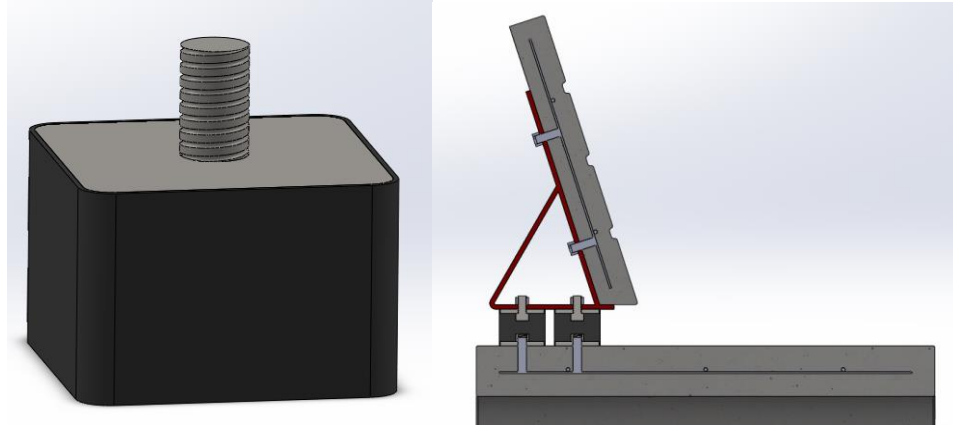
Alternativa 4.



En la alternativa cuatro mostrada en la Figura 37, Se probó con un diseño de la estructura metálica más cercana al actual con pocos cambios, y esta vez el soporte cuenta con dos anclajes al concreto para mejorar el agarre y darle cierta resistencia a la flexión.

Figura 38

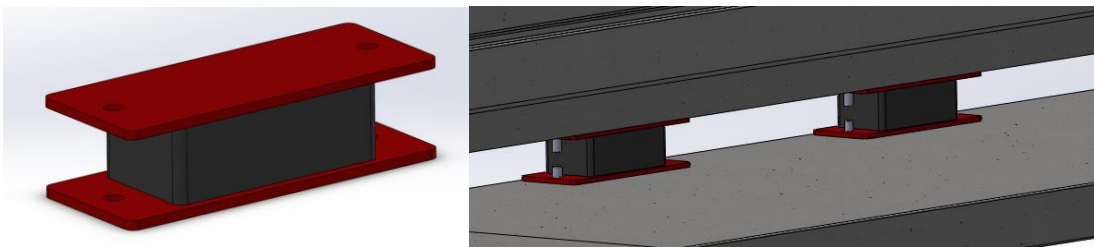
Alternativa 5.



En la alternativa cinco mostrada en la Figura 38, Se redujo el tamaño de la estructura metálica a dos secciones separadas que se apoyan en la parte superior de la base, restándole área a la superficie del asiento, y no se colocaron soportes en las juntas del espaldar al considerar que las vibraciones del suelo serán absorbidas cuando pasen por los soportes que hay entre la estructura metálica y la base.

Figura 39

Alternativa 6.



En la alternativa seis mostrada en la Figura 39, se eliminó por completo la estructura metálica, y se compensó haciendo los soportes que sostienen el espaldar más gruesos y largos.

Figura 40

Fotos de la reunión.



En la coevaluación con el empresario y el director, se evaluaron las 6 propuestas una por una con su maqueta, muñeco de madera articulado para representar la escala humana, cuadernillos con sus vistas, secciones y detalles, se recibieron sugerencias a cada una, y con base en estas se completó una tabla de requerimientos para decantarse, con una opción para realizarle los ajustes, estos comentarios se presentan a continuación:

Figura 41

Maqueta de la alternativa 1.



- Los soportes no tienen que ser tan voluminosos, podrían hacerse más pequeños.
- El no tener soportes en el centro del espaldar la hace más propensa al esfuerzo de flexión, habría que fortalecer el concreto como medida de precaución.
- Sería preferible que los soportes estuvieran sometidos al mismo de esfuerzo, en todo momento.
- Cuando se enrosque el soporte de caucho cuadrado, no es seguro que vaya a quedar paralelo a la estructura metálica.
- Las matrices que usan para colocar los tornillos ya están fijas y no se puede cambiar la distancia que tienen de las paredes laterales del espaldar

Figura 42

Maqueta de la alternativa 2.



- Los soportes no tienen que ser tan voluminosos, podrían hacerse más pequeños.
- El no tener soportes en el centro del espaldar la hace más propensa al esfuerzo de flexión, habría que fortalecer el concreto como medida de precaución.
- Sería preferible que los soportes estuvieran sometidos al mismo de esfuerzo, en todo momento.
- Cuando se enrosque el soporte de caucho cuadrado, no es seguro que vaya a quedar paralelo a la estructura metálica.
- Las matrices que usan para colocar los tornillos ya están fijas y no se puede cambiar la distancia que tienen de las paredes laterales del espaldar

Figura 43

Maqueta de la alternativa 3.



- Demasiados soportes
- El no tener soportes en el centro del espaldar la hace más propensa al esfuerzo de flexión, habría que fortalecer el concreto como medida de precaución.
- Por la posición en la que están puestos los soportes y la forma que se conecta al espaldar, el concreto sería propenso a fisurarse al recostarse una persona.
- El caucho no es muy bueno con los esfuerzos cortantes.
- Hacerlo un soporte largo monolítico en vez de varios soportando a cada lado.

Figura 44

Maqueta de la alternativa 4.



- Los soportes no tienen que ser tan voluminosos, podrían hacerse más pequeños.
- La longitud de las alas de los ángulos es dispareja.
- El no tener soportes en el centro del espaldar la hace más propensa al esfuerzo de flexión, habría que fortalecer el concreto como medida de precaución.
- Sería preferible que los soportes estuvieran sometidos al mismo de esfuerzo, en todo momento.

Figura 45

Maqueta de la alternativa 5.



- Que los apoyos de metal sean triángulos cerrados para dar mejor soporte al espaldar.
- Los soportes podrían ser uno rectangular por sección en vez de dos cuadrados
- El no tener soportes en el centro del espaldar la hace más propensa al esfuerzo de flexión, habría que fortalecer el concreto como medida de precaución.
- Esta propuesta ocupa demasiado espacio de la base, reduciendo la profundidad disponible para sentarse de los 40-50 cm recomendados (Marcotrade, 2025) a aproximadamente 30 cm.

Figura 46

Maqueta de la alternativa 6.



- No transmite mucha confianza teniendo solo dos soportes
- Los tornillos conectados al espaldar podrían fallar
- El estar soportado por caucho haría el espaldar endeble y propenso a moverse con facilidad cuando alguien quiera recostarse.
- Usos indebidos de parte de los usuarios, como sentarse en el espaldar, recostarse en el espaldar, etc. podrían deteriorar más rápido los soportes.

Tabla 11

Tabla de requerimientos.

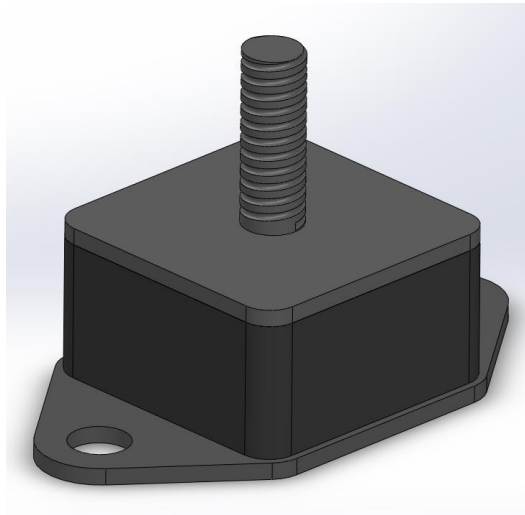
Requerimientos	Propuesta	Propuesta	Propuesta	Propuesta	Propuesta	Propuesta
	1	2	3	4	5	6
Que el mobiliario conserve la coherencia formal con la línea tras la adición de los soportes.	5	5	2	4	3	3
Capacidad de absorber vibraciones e impactos.	5	5	3	5	4	4
Practicidad de uso del soporte.	3	3	2	5	3	2
Capacidad de soportar el peso de los componentes y mantenerse estable.	5	4	3	5	4	3
Que el mobiliario siga siendo comodo de usar.	5	5	3	5	2	3
Usar piezas y materiales en los formatos estandarizados por el mercado.	5	4	5	3	5	4
Tener cierto margen de flexibilidad a usos indebidos o inesperados de forma que no falle inmediatamente.	5	5	4	5	5	1
Requerir el menor número de soportes para su uso.	3	3	1	3	4	5
El soporte ha de ser visible para mostrarlo como un valor agregado del producto.	3	3	5	1	4	5
Total	39	37	28	36	34	30

La alternativa que obtiene la mayor suma de puntos es la uno, por lo tanto, se le realizaran los ajustes necesarios con base a las sugerencias propuestas en la reunión, una vez terminado el rediseño se fabricaran en físico, escala 1:1 y con materiales reales para realizar la verificación y validación.

Alternativa Final

Figura 47

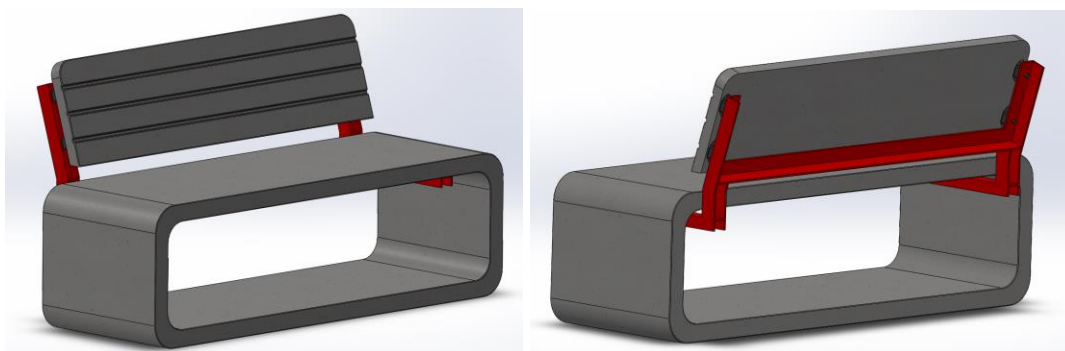
Propuesta de solución.



Se cambio el soporte de la alternativa 1 por el de la 4, ya que este permitía conservar la sección cuadrada sin tener que preocuparse de que no quede paralela a la estructura cuando se atornille, además de darle un mejor agarre al concreto al fijarse con dos tornillos en vez de uno solo, aparte de eso se le redujeron varias medidas como la altura, grosor de las platinas, diámetro del tornillo y el área de la sección.

Figura 48

Propuesta aplicada al mobiliario.



Con la reducción realizada a la altura de los soportes, ya no eran lo suficientemente altos para poder sobresalir y conectarse con el concreto, de manera que se decidió girar el Angulo metálico y que la superficie sobre la que reposan los soportes quede hacia afuera de cara a la parte trasera del espaldar y que además sean más visibles al público. Hubo que extender la estructura metálica a la longitud estándar usada en la empresa ya que tenían la matriz para colocar los tornillos y no se podía cambiar la distancia que tienen de la pared.

Fabricación del soporte

La empresa Todocaucho quien dio retroalimentación durante el proceso de diseño del soporte fue la encargada de elaborar los prototipos. Para su fabricación, se recortaron las platinas de metal en la forma requerida mediante el uso de corte láser, y a la lámina cuadrada se le soldó la cabeza de un tornillo al pasarlo a través del agujero del centro para fijarlo. Con las platinas hechas se continuó con un proceso químico conocido como vulcanización, consistente en colocar una mezcla de un material vulcanizante como el azufre con caucho natural dentro de un molde al que se le aplica calor y presión, dándole resistencia, flexibilidad y una forma definida. En este caso se le aplicó pegamento de contacto a las platinas, dejándolo secar por alrededor de 10 minutos, tras pasar ese tiempo se colocó en cada extremo del molde de la Figura 49 tras calentarlo para luego rellenarlo con preformas de la mezcla de caucho, se colocó en una prensa que mantiene la alta temperatura del molde y aplica fuerza para que tome su forma, después de pasar unos minutos en la prensa, se retiró el molde para sacar la pieza, recortándose el material excedente y finalmente se aplicó una capa de pintura al metal, terminando así la fabricación del soporte. El producto terminado se observa en la Figura 50.

Figura 49

Molde utilizado.

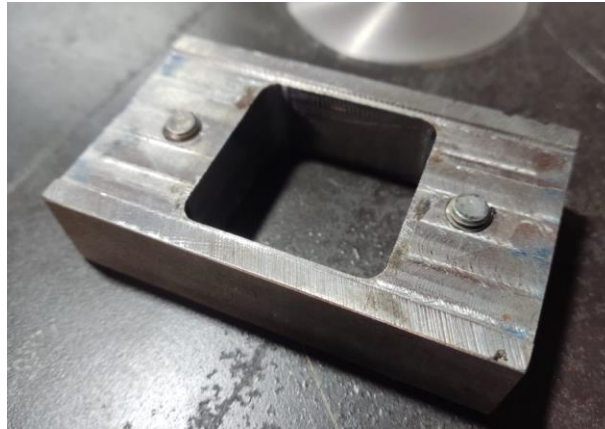


Figura 50

Soportes Fabricados.



En la tabla 12 se pueden observar las características del soporte fabricado:

Tabla 12

Características del soporte.

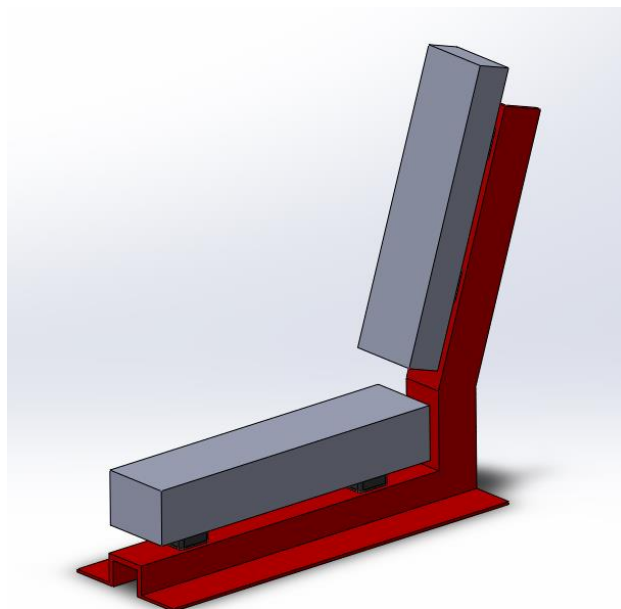
Caucho	Caucho natural
Dureza Shore	45 A

6.3.2. Actividad 5: La alternativa seleccionada se coloca a prueba en un ensayo de vibración para medir su efectividad.

Para la verificación se realizó un ensayo de laboratorio con una probeta compuesta de uno de los extremos de la estructura metálica, una sección del espaldar y de la base, conectados con el soporte propuesto, dos para el espaldar y dos para la base. El render de la probeta se puede observar en la Figura 51.

Figura 51

Modelo de probeta.



Ensayo de laboratorio.

Actualmente no existe una norma estándar para realizar el ensayo del soporte para mobiliario de concreto con estructura metálica, así que se propuso un protocolo para su realización con el fin de verificar la capacidad de los soportes de caucho en la prevención de aparición de fisuras gracias a las propiedades antivibratorias del material.

Para el ensayo se fabricó la probeta en escala 1:1 del mobiliario, cuya estructura metálica es fijada con tornillos y tuercas en sus alas laterales a una esquina de una mesa vibratoria proporcionada por la empresa para emular los movimientos que se producen en el transporte. La vibración aplicada al ensayo con la probeta fue de seis minutos. A continuación, se muestran los parámetros, especificaciones de todos los elementos relacionados a la prueba, las variables a medir y el cómo se calculan:

Condiciones de la prueba:

La prueba de vibración se realizó de manera intermitente, con una duración de 20 segundos y luego dejándola descansar por un minuto, emulando así los momentos agitados y de reposo que suceden durante el transporte, para un total de seis minutos de vibración efectivamente aplicados a la probeta.

Materiales de la probeta:

- Sección del espaldar y base: Concreto arquitectónico (ver apéndice B), reforzado con fibra sintética y malla electrosoldada de 4 mm de diámetro.
- Estructura metálica: Acero al carbón Hr (Norma ASTM A36)
- Caucho del soporte: observar la tabla 12.

Especificaciones de la mesa vibratoria:

Tabla 13

Parámetros del Vibrador eléctrico.

Uso	Vibrador de Formaleta para Concreto
Modelo	ZF-T2/200
Kw	0.17
Hz	60
r/min	3600
Fuerza vibratoria	200 kg.f
Corriente Máx. (A)	0.32
Dirección de las oscilaciones	Eje vertical

Variables a medir:

- Numero de fisuras en el concreto.
- Ancho máximo de cada fisura.

Parámetros para la medición de fisuras:

1. Para que se cuente una fisura esta tiene que nacer de una de las juntas.
2. Las fisuras que se bifurquen en dos o más se seguirán contando como una sola.
3. La medición del grosor se hará en el punto más ancho de la fisura usando un medidor de grietas impreso (ver Anexo A. Medidor de Grietas), ejemplo de esto se muestra en la Figura 52.

Los resultados obtenidos serán luego organizados en una tabla separando las juntas del espaldar y las de la sección, cada una con su número de fisuras y el ancho de cada una.

Figura 52

Ejemplo de medición de fisura.



A continuación, se puede observar la sección armada desde distintas vistas, ya fijada a la mesa vibratoria y durante la prueba en las Figuras 53, 54 y 55 respectivamente:

Figura 53

Probeta armada.



Figura 54

Probeta fijada a la mesa vibratoria.



Figura 55

Probeta durante la verificación.



Machacado (2026) grabo un fragmento de la prueba realizada tal como puede observarse en el Apéndice F.

Aclaración

Figura 56

Fisura por sobreesfuerzo de la tuerca.



Tras cuatro rondas de vibración, se pudo ver como los tornillos que unían los soportes se aflojaban poco a poco, por lo que se hizo una pausa para reajustarlos con una pistola de impacto que termino sobreesforzando el concreto y fisurando parte del bloque del espaldar como se observa en la Figura 56, aunque sin llegar a romperlo, luego de esto, se decidió ajustar las tuercas faltantes con una llave inglesa para evitar que volviera a suceder, continuando con la verificación hasta completar seis minutos de vibración.

Tras finalizar la prueba se procedió a desarmar la sección y en las Figuras 57 y 58 se puede observar cada par de juntas de las dos secciones de concreto:

Figura 57

Juntas de la sección del espaldar.



Figura 58

Juntas de la sección de la base.



Los resultados de las tres variables fueron organizados en la tabla 14, las juntas 1 y 2 son las que están conectadas a la sección del espaldar y las juntas 3 y 4 son las que están conectadas a la sección de la base:

Tabla 14

Tabla de fisuras en la sección.

Junta	Numero de fisuras	Grosor de fisuras
Junta 1.1	2	0,6 mm 0,3 mm
Junta 1.2	2	0,3 mm 0,1 mm
Junta 2.1	0	-
Junta 2.2	0	-
Junta 3.1	1	0,1 mm
Junta 3.2	1	0,1 mm
Junta 4.1	2	0,1 mm 0,1 mm
Junta 4.2	0	-

Según el ACI Committee 224 (2001) en la tabla 6, el ancho admisible para fisuras en ambientes de humedad es de 0,30 mm, que sería lo indicado para un mueble que está dirigido a espacios públicos y exteriores. Como podemos ver en la tabla 14, salvo una de las fisuras de la junta 1.1, que fue causada por el sobreesfuerzo de la pistola de impacto, todas se encuentran dentro del rango satisfactorio respecto a la apariencia y durabilidad de la estructura antes mencionado. Además, hay que recalcar que, aunque la gran fisura de la junta 1.1 sucedió a mitad de la prueba, el bloque logró mantenerse en una sola pieza durante el resto de la prueba. Finalmente tomando en cuenta que las vibraciones de la mesa son mucho más fuertes que las que se producen durante el viaje, si estas secciones de concreto pueden soportar estas fuerzas, deberían tener un mejor rendimiento durante la validación de transporte.

6.4. Objetivo 4

“Fabricar y validar la solución propuesta en condiciones que emulen el contexto de aplicación del mobiliario.”

6.4.1. Actividad 5: Fabricar el mobiliario con el soporte propuesto.

Tras verificar la efectividad del soporte en un entorno controlado se procedió con la fabricación del mobiliario completo. En la Figura 59 se muestra el mueble desde distintas vistas:

Figura 59

Mobiliario armado.



A la hora de atornillar el soporte, se utilizó la pistola de impacto para ajustarlo bien, y como solo está en contacto directo con caucho y metal, no hay preocupación que termine dañando el concreto. En otro sentido, el caucho del soporte puede quedar torsionado debido al esfuerzo y no paralelo a la estructura metálica como era la intención en el render, agregando un esfuerzo adicional con el que el soporte debe trabajar, tal cual se observa en la Figura 60.

Figura 60

Soporte torsionado.



6.4.2. Actividad 6: Validar el mueble bajo las condiciones de uso y distribución.

Prueba de uso

La prueba para comprobar si el mobiliario sigue siendo cómodo de usar tras la aplicación de los soportes propuestos, consiste en medir dicho factor con 26 trabajadores de la empresa, pidiéndoles que se sienten durante 30 segundos en el centro de la banca, pidiéndoles que califiquen la comodidad del mobiliario con la propuesta en una escala de 1 al 5:

Tabla 15

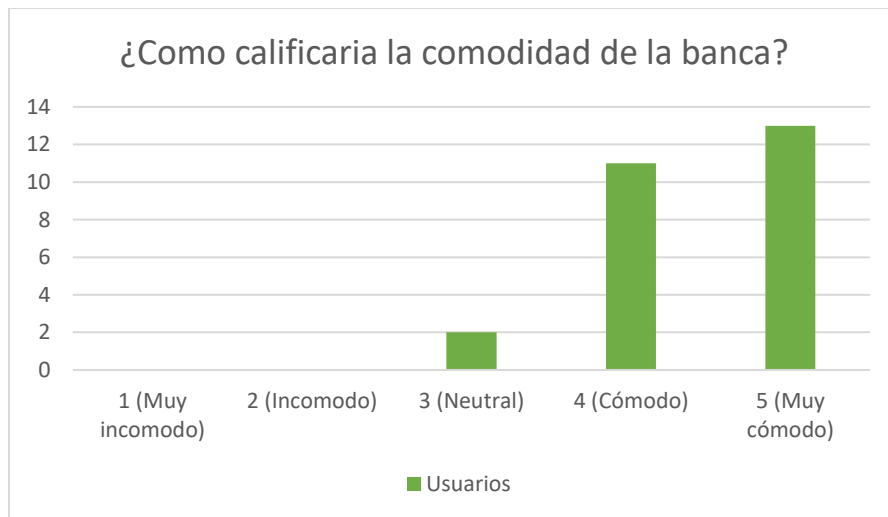
Escala de comodidad.

Muy incomodo	Incomodo	Neutral	Cómodo	Muy cómodo
1	2	3	4	5

En el gráfico de barras de la figura 61 se presentan los resultados ya organizados:

Figura 61

Resultados de la prueba de uso.



Con base en esto, se puede concluir que aun tras la adición de los soportes a la banca esta sigue siendo cómoda de usar por la gran mayoría de usuarios, algunos de estos se animaron a dar comentarios adicionales sobre su experiencia, estos fueron recopilados y organizados en las siguientes ideas generales a continuación:

- La capacidad de absorber impactos también aporta a la comodidad, haciendo que el espaldar tenga cierta capacidad de acolchado en vez de ser completamente rígido como el piso.
- Los usuarios más altos de estatura consideraron que el espaldar estaba bajo, lo que hacía que no pudieran recostarse sobre éste con total comodidad, y sugirieron que estuviera más alejado de la base.
- No todas las personas usan los espaldares en las bancas, algunos solo requieren una superficie donde sentarse.
- Se deberían soldar las tuercas a los tornillos para evitar vandalismo y robos de componentes del mobiliario.
- Los tornillos de los soportes no deberían sobresalir tanto de la estructura metálica

Prueba de distribución

Tras terminar la prueba de uso, se procede con la validación de transporte donde el mobiliario fue llevado en el recorrido mostrado en la Figura 62, con un trayecto ida y vuelta sede Arteconcreto – Mesa de los Santos, tal cual lo muestra Google Maps. Esta es una zona a la que Arteconcreto ha realizado envíos en el pasado, y debido a la topografía existente y carretera serpenteante agrega un desafío adicional al mobiliario. Una vez realizada la prueba, se desarmó la estructura para verificar la presencia o no de grietas cerca de las juntas, y en caso de que si, se contara la que hay alrededor de cada una y su grosor. Los resultados de la medición se muestran en la tabla 17.

Figura 62

Ruta seguida.

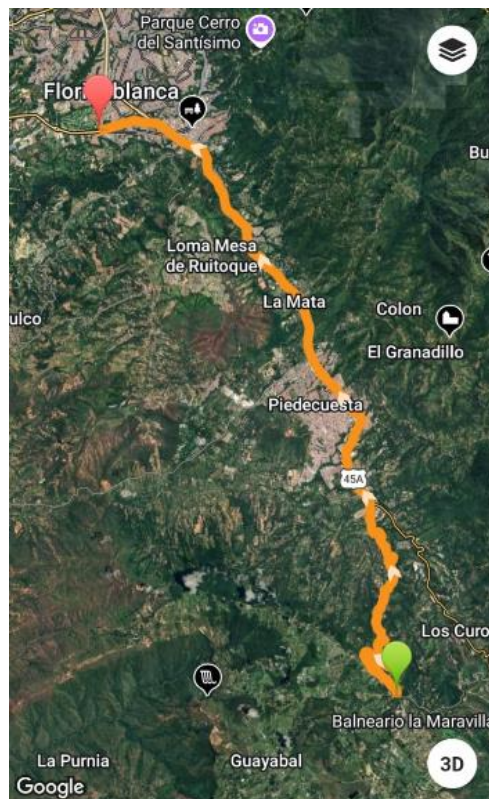


Tabla 16

Resumen de la ruta.

Distancia total recorrida	49,58 Kilómetros
Tiempo total	1 hora y 23 minutos
Tiempo en movimiento	1 hora y 15 minutos
Altura Maxima	1674,87 msnm
Altura minima	812 msnm

En las Figuras 63 y 64 se muestra el embalaje del mueble a la salida llegada de la ruta propuesta, respectivamente:

Figura 63

Mueble embalado a punto de partir.



Figura 64

Mueble tras completar el trayecto.



Una vez desembalado el mueble se procedió a verificar las diferentes juntas de la banca, tal cual se muestra en las Figuras 65 y 66 se muestran cada una de las juntas de la banca:

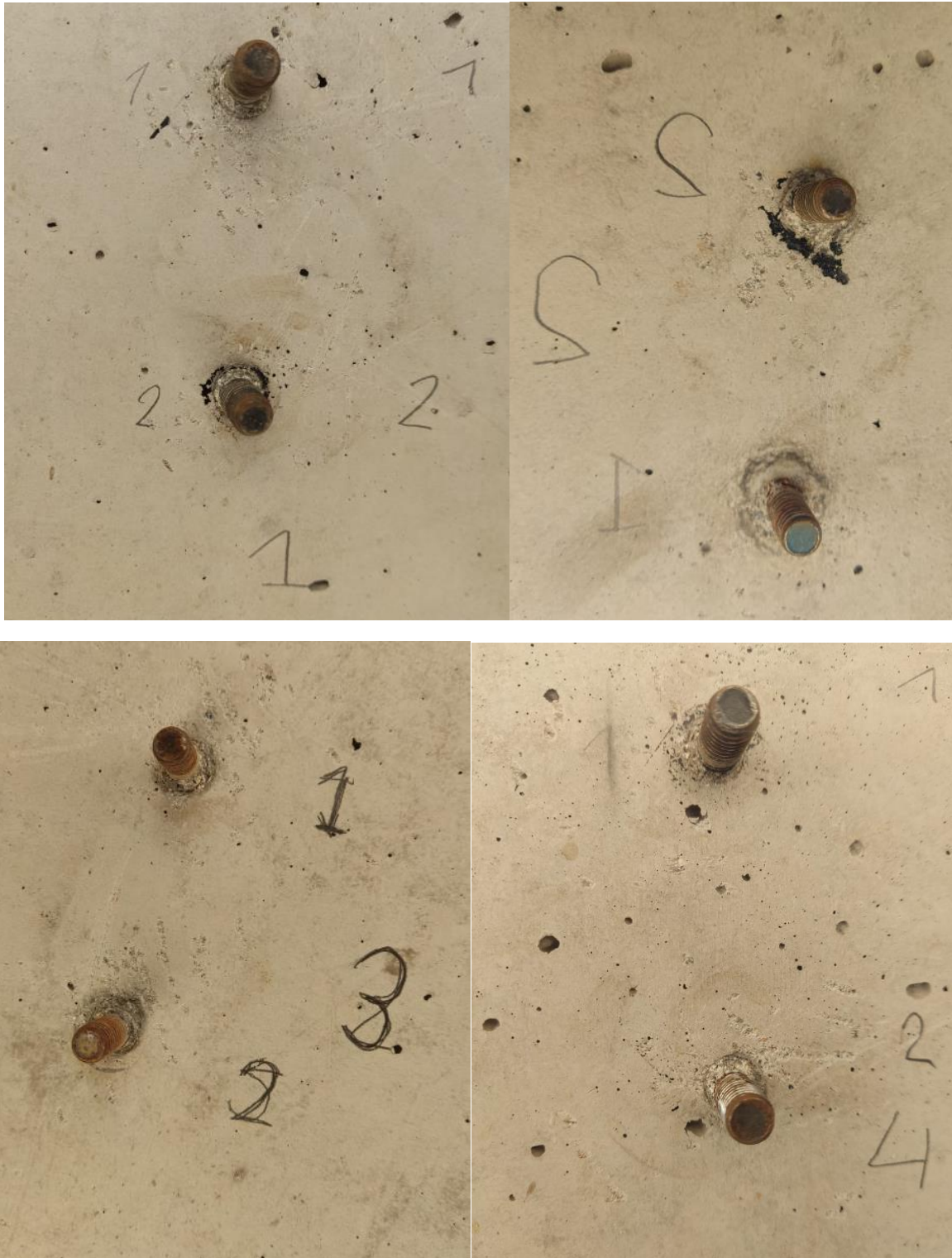
Figura 65

Juntas en el espaldar.



Figura 66

Juntas en la base.



En la tabla 17, se muestran los resultados identificados, las juntas 1 y 4 son las que están conectadas a la sección del espaldar y las juntas 5 y 8 son las que están conectadas a la sección de la base:

Tabla 17

Tabla de fisuras en el mobiliario.

Junta	Numero de fisuras	Grosor de fisuras
Junta 1.1	0	-
Junta 1.2	0	-
Junta 2.1	0	-
Junta 2.2	0	-
Junta 3.1	0	-
Junta 3.2	0	-
Junta 4.1	0	-
Junta 4.2	0	-
Junta 5.1	0	-
Junta 5.2	0	-
Junta 6.1	0	-
Junta 6.2	0	-
Junta 7.1	0	-
Junta 7.2	0	-
Junta 8.1	0	-
Junta 8.2	0	-

Con base en estos resultados se puede demostrar la eficacia de los soportes para absorber las vibraciones que generan las fisuras y en sostener la estructura metálica junto al espaldar de concreto, haciéndola una propuesta valida, que ayuda a resolver la principal problemática planteada en este proyecto.

7. Conclusiones

7.1. Retroalimentación final del empresario

Al finalizar las pruebas planeadas para verificar y validar el soporte, se le presentaron los resultados al empresario de Arteconcreto para que pudiera dar su opinión sobre estos mediante un cuestionario tipo Likert de distintos aspectos del soporte y el mueble. A continuación, se presentan los resultados:

- 1- ¿Cómo califica el rendimiento del soporte propuesto en comparación con el usado actualmente?

Tabla 18

Escala de rendimiento.

Mucho peor	Peor	Igual	Mejor	Mucho mejor
1	2	3	4	5

Considera la capacidad de absorción de impactos y vibraciones como el aspecto más destacado, y como esto aporta igualmente a la comodidad, haciendo que cuando uno se recueste se sienta como un ligero acolchado en vez de chocar contra un espaldar rígido

- 2- ¿Cómo califica la efectividad del soporte para reducir o eliminar las vibraciones en el mobiliario?

Tabla 19

Escala de efectividad.

Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
1	2	3	4	5

El que no aparecieran grietas durante la prueba de transporte, muestra su efectividad en un escenario que emula la realidad, sin embargo, considera que el caucho es grueso y podría mantener un desempeño similar, aun siendo más delgado.

3- ¿Cómo percibe la estabilidad del mobiliario con el soporte instalado?

Tabla 20

Escala de estabilidad.

Muy inestable	Inestable	Estable	Muy estable	Totalmente estable
1	2	3	4	5

Debido a la alta elasticidad del caucho de los soportes, estos permiten un ligero margen de movimiento al espaldar de forma que no es completamente rígido, pero sigue siendo lo suficientemente estable para transmitir confianza a los usuarios.

4- ¿Cómo califica la percepción de seguridad del mobiliario con el soporte propuesto?

Tabla 21

Escala de seguridad.

Nada seguro	Poco seguro	Seguro	Muy seguro	Totalmente seguro
1	2	3	4	5

Si bien los resultados obtenidos de las pruebas demuestran que los soportes funcionan y estos le dan confianza, le gustaría tener más datos y realizar más pruebas para poder afirmar con total seguridad.

5- ¿Cómo califica el aspecto estético de la banca con el soporte propuesto en comparación al actual?

Tabla 22

Escala de estética.

Mucho peor	Peor	Igual	Mejor	Mucho mejor
1	2	3	4	5

Comentó, que se puede seguir trabajando en éste y mejorarlo aún más.

6- ¿Qué tan probable ve el uso del nuevo soporte en futuras producciones de la banca y en otros productos?

Tabla 23

Escala de viabilidad.

Nada probable	Poco probable	Posible	Muy posible	Totalmente posible
1	2	3	4	5

Debido al buen rendimiento del soporte en el mobiliario de estudio, el empresario muestra interés para aplicar el soporte en este producto y en otros de la empresa que cuenten con estructuras metálicas a la vista, una vez realizados ajustes y mejoras que se podrían aplicar al soporte y que se mencionan en el apartado de Recomendaciones.

7- ¿Qué tan satisfecho/a se siente con los resultados obtenidos en este proceso de validación?

Tabla 24

Escala de satisfacción.

Nada satisfecho	Poco satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho	Totalmente satisfecho
1	2	3	4	5

Se siente totalmente satisfecho con los resultados obtenidos, y muestra interés en continuar la colaboración más allá del trabajo de grado universitario.

7.2. Conclusión final

Los soportes de caucho son piezas que se usan principalmente para mantener la integridad de maquinarias industriales, protegiéndolas de vibraciones que ellas mismas generan mientras trabajan. Se ha podido adecuar esta tecnología de forma inicialmente exitosa como un nuevo sistema de unión entre dos materiales distintos (concreto y metal) a uno de los mobiliarios de la empresa Arteconcreto, que además de absorber las vibraciones y evitar el fisuramiento, también es útil a la hora de abordar temas ergonómicos del mueble, mejorando los estándares de comodidad debido al movimiento elástico que sintieron algunos usuarios al momento de hacer la prueba de uso. Por su parte el empresario mostró interés de continuar el proyecto y considera la posibilidad de aplicar también la solución a otros productos de la empresa que cuenten con la misma problemática.

8. Recomendaciones

Tras la retroalimentación sobre el desempeño del soporte se conversó con el empresario sobre posibles ajustes que se podrían realizar al soporte para mejorarlo, a continuación, se lista las propuestas:

- Considerar usar la sección redonda que, además de ser más económica que la sección cuadrada, la cual además no es tan propensa a deformarse debido a un esfuerzo de torsión cuando se atornille el soporte a la estructura metálica.
- El soporte podría mantener un rendimiento cercano o igual, con un grosor de caucho menor.
- Considerar la posibilidad de que el sistema de unión requiera menos tornillos. Ya que entre más elementos hay que tener en cuenta, se es más propenso al error durante la construcción del mobiliario.

Referencias bibliográficas

- ACI Committee 224. (16 de Mayo de 2001). *224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures (Reapproved 2008)*. Obtenido de American Concrete Institute: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&id=10632>
- ACI Committee 224. (3 de Enero de 2007). *224.1R-07: Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures*. Obtenido de American concrete institute: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&id=18555>
- ACI Committee 318. (22 de Enero de 2025). *ACI CODE-318-25: Building Code for Structural Concrete—Code Requirements and Commentary*. Obtenido de American Concrete Institute: https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U25&Language=English&Units=US_Units
- Arteconcreto. (2025). *Portafolio de productos*. Obtenido de Arteconcreto: <https://arteconcreto.co/>
- Arteconcreto. (2026). *Banca Universal 150 con Espaldar*. Obtenido de Arteconcreto: <https://arteconcreto.co/producto/banca-universal-150-con-espaldar/>
- Benedito, G. (2011). *Vilnius*. Obtenido de Escofet: <https://www.escofet.com/producto/vilnius/>
- Bentu Design. (2016). *H Chair*. Obtenido de Savannah Bay Gallery: <https://www.savannah-bay.com/en/product/h-chair-by-bentu-design/>
- Boget, H. L., & Legros, J. (2014). *Silla Hauteville*. Obtenido de Bauhaus Movement: <https://shop.bauhaus-movement.com/es/lyon-beton-hauteville-chair-es/>
- Bolkaner, M. K., İnançoğlu, S., & Asilsoy, B. (2019). A Study on Urban Furniture: Nicosia Old City. *European Journal of Sustainable Development*, 8(2), 1-20. doi: 10.14207/ejsd.2019.v8n2p1
- Castiñeira. (22 de Abril de 2025). *Medidor grietas*. Obtenido de Geonovatek: <https://geonovatek.es/medidor-grietas/>
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. (12 de Julio de 2022). *Las infraestructuras en el juego internacional de poder*. Obtenido de Interempresas: <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/395267-Las-infraestructuras-en-el-juego-internacional-de-poder.html>
- Corral, J. T. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención; ciencia y sociedad. *CIENCIA Y SOCIEDAD*, 29, 72-114.

- Cruz, C. S. (Marzo de 2020). *Entendiendo las Fisuras y Grietas en las Estructuras de Concreto*. Obtenido de ConsultCreto: <https://consultcreto.com/entendiendo-las-fisuras-y-grietas-en-las-estructuras-de-concreto/>
- Domingo, M. G., & Pera, E. (2010). *Diseño centrado en el usuario (PID_00176058)*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya (UOC).
- Elcometer. (s.f.). *Regla de anchura de grietas Elcometer 143*. Obtenido de Elcometer: <https://www.elcometer.com/es/regla-de-anchura-de-grietas-elcometer-143.html>
- Elliott, K. S. (2002). *Precast Concrete Structures*. Woburn: Butterworth-Heinemann.
- Equipo editorial de Holcim Colombia. (1 de Septiembre de 2025). *El concreto arquitectónico redefine la construcción moderna*. Obtenido de Holcim: <https://holcimsoluciones.com/colombia/concreto-arquitectonico-estetica-funcion-sostenibilidad>
- FIRA International. (2 de Julio de 2021). *Seating testing - combined seat and back durability test [Video]*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=7Rdzy6Zodrk>
- Fortaps. (27 de Mayo de 2022). *Qué es el caucho y por qué se usa en la fabricación de una contera*. Obtenido de Fortaps: <https://fortaps.com/blog/caucho-transformacion-latex/>
- Gobierno de Colombia. (17 de Mayo de 2005). *Decreto 1538*. Obtenido de Funcion Publica: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=16540>
- Grcic, K. (2004). *Chair_One*. Obtenido de Magis: https://www.magisdesign.com/product/chair_one-concrete-base/
- Kaygın, B., & Demir, M. (2017). A Research on the Importance of User-Centered Design in Furniture. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(2), 20-29. doi:10.24011/barofd.331546
- Konkretus. (s.f.). *Poltrona Vinkel*. Obtenido de Konkretus: <https://co.konkretus.com/collections/poltronas-urban/products/poltrona-vinkel-mobiliario-urbano-bancas>
- Machacado, L. J. (10 de Abril de 2026). *Prueba de Verificación: Sección de mobiliario en mesa vibratoria [Video]*. Obtenido de Youtube: <https://youtube.com/shorts/t2c16CvRgXA>
- MAGBLOCK. (21 de Noviembre de 2018). *MAGBLOCK Bloques Magnéticos*. Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.com/-/es/MAGBLOCK-Bloques-Magn%C3%A9ticos-Construcci%C3%B3n-Preescolar/dp/B07HMZT2V2?th=1>
- Marcotrade. (1 de Diciembre de 2025). *Medidas de Bancas para Parques: estándares y recomendaciones*. Obtenido de Marcotrade: <https://marcotrade.mx/medidas-bancas-parques/>

- Mecanocaucho. (2026). *soporte antivibratorio*. Obtenido de Mecanocaucho: <https://www.mecanocaucho.com/es/productos/soporte-antivibratorio/>
- Metrica. (19 de Noviembre de 2012). *Metrica 40086 - Medidor de grietas sobre plano*. Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.es/Metrica-40086-Medidor-grietas-sobre/dp/B008MXZE1W>
- Ministerio de Transporte. (Julio de 2023). *LINEAMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA PARA MEDIOS NO MOTORIZADOS EN PASOS URBANOS*. Obtenido de Ministerio de Transporte: <https://share.google/3IokndgBdPMSKB5LB>
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Santa Fe: McGRAW-HILL INTERAMERICANA S.A.
- Oswaldo, D. (30 de Julio de 2020). *Ampliación de losa, y posterior ampliación de recámara*. Obtenido de Habitissimo: <https://proyectos.habitissimo.com.mx/proyecto/ampliacion-de-losa-y-posterior-ampliacion-de-recamara>
- PCI. (2004). *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete 6 th edition*. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute.
- Pombo, R., & Zerbino, R. (2021). Sobre la expectativa de fisuras en un piso industrial de hormigón. *Revista Hormigon*, 60, 4–15.
- Real Academia Española. (15 de Diciembre de 2025). *Metal*. Obtenido de Diccionario de la lengua española: <https://dle.rae.es/metal#P556gcy>
- Sika Colombia. (Julio de 2014). *REHABILITACIÓN. Fisuras en el concreto reforzado*. Obtenido de Sika: <https://col.sika.com/es/documentacion.html?#>
- SolidWorks. (s.f.). *Análisis estático lineal*. Obtenido de SolidWorks: https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/cworks/c_Linear_Static_Analysis.htm?id=29.6.0
- Toxement. (2019). *GUÍA DE ESPECIFICACIÓN PARA EL TRATAMIENTO*. Obtenido de Toxement: https://www.toxement.com.co/media/3896/spec_fisuras-comprimido.pdf
- Vigliani, N. (31 de julio de 2023). *Amortiguador... ¿Cómo funciona?* Obtenido de Instituto de automovilismo deportivo: <https://iad.la/blogs/amortiguador-como-funciona-iad/>
- WAN, P. H. (Noviembre de 2007). *Street furniture design principles and implementations : case studies of street furniture design in densely populated old urban areas*. Obtenido de PolyU Institutional Research Archive: <http://hdl.handle.net/10397/84610>
- Weinhandl, D. (27 de Octubre de 2021). *What is an Alloy?* Obtenido de MEAD METALS, INC. : <https://www.meadmetals.com/blog/what-is-an-alloy>

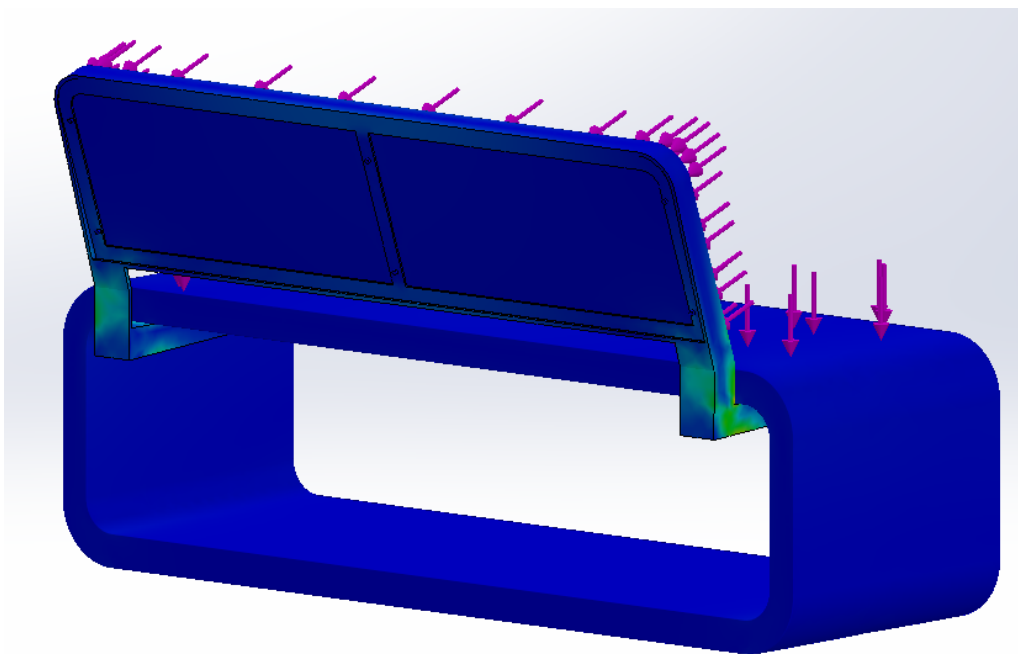
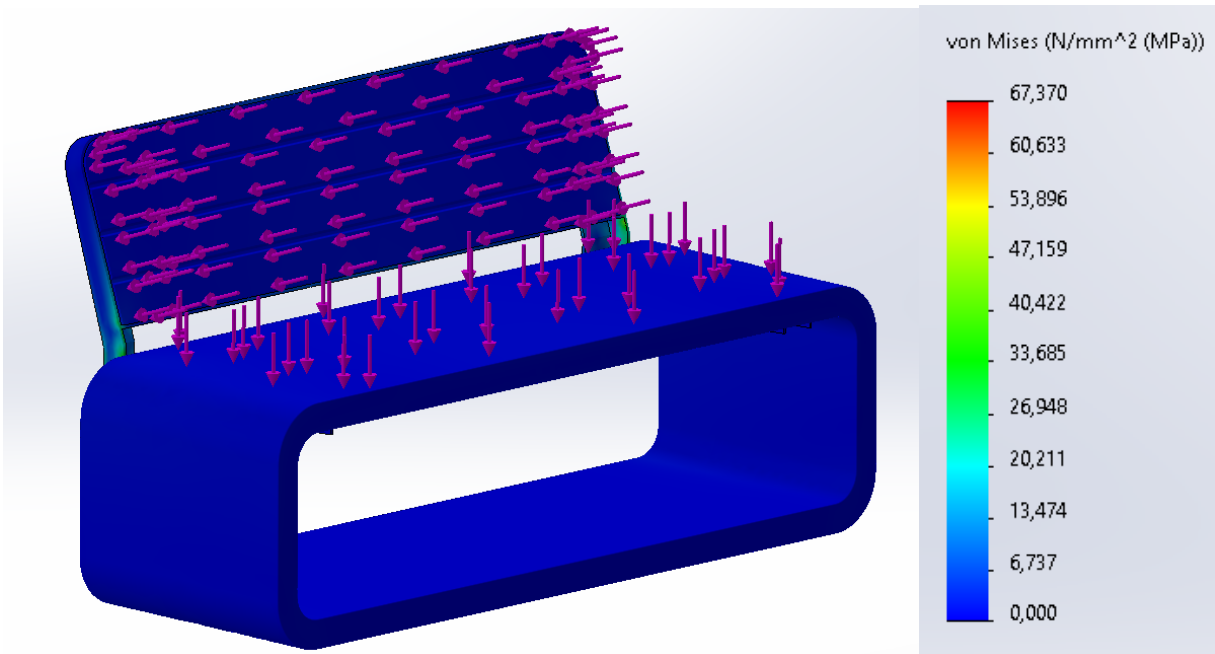
Apéndices

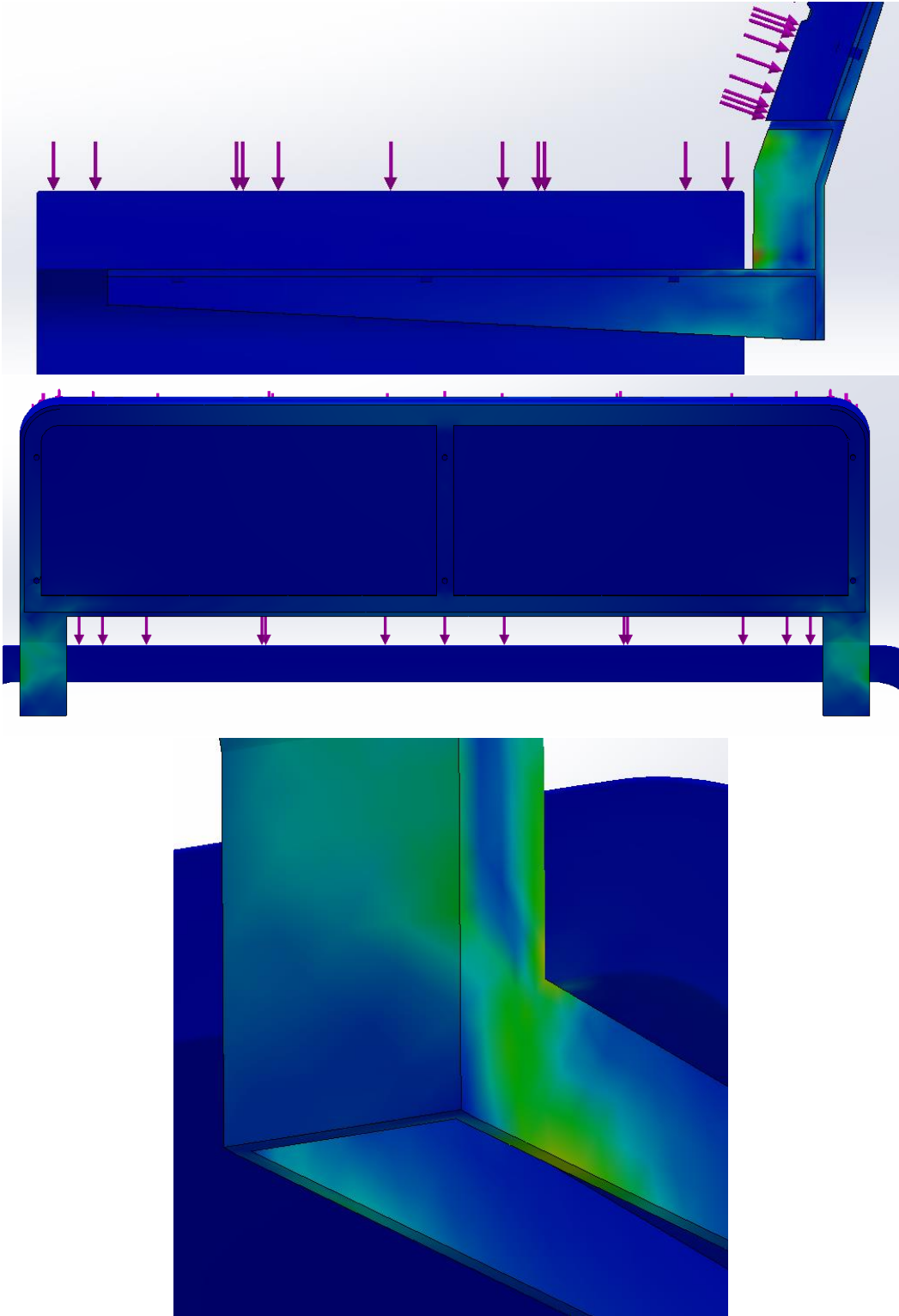
Apéndice A. Entrevista al empresario y al arquitecto.

- ¿Cuál es la misión y visión de Arteconcreto?
- Describa en detalle la problemática que se presenta
- Describa en términos generales la línea universal y su sistema de unión
- ¿Por qué de todos los mobiliarios de concreto que cuentan con una estructura metálica a la vista, selecciono la banca con espaldar universal?
- ¿Cuál es el proceso de fabricación de la banca con espaldar universal?
- ¿Este problema se presenta en otros mobiliarios de concreto con estructura metálica o esta es la excepción?
- ¿Esta problemática se presenta solo en envíos a otras ciudades o también en envíos locales?
- ¿Usan el mismo sistema de unión para todos los mobiliarios con estructura metálica?
- ¿Cómo es el proceso de Embalaje del mobiliario?

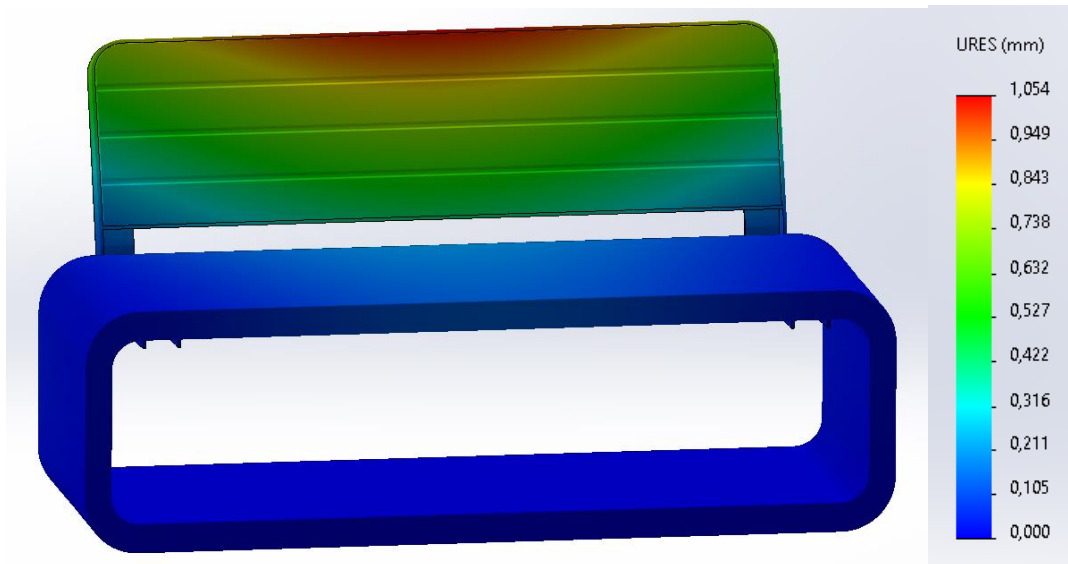
Apéndice B. Análisis estático del mobiliario actual.

Resultados de tensión (Carga de 1000 N en la base y 300 N en el espaldar)



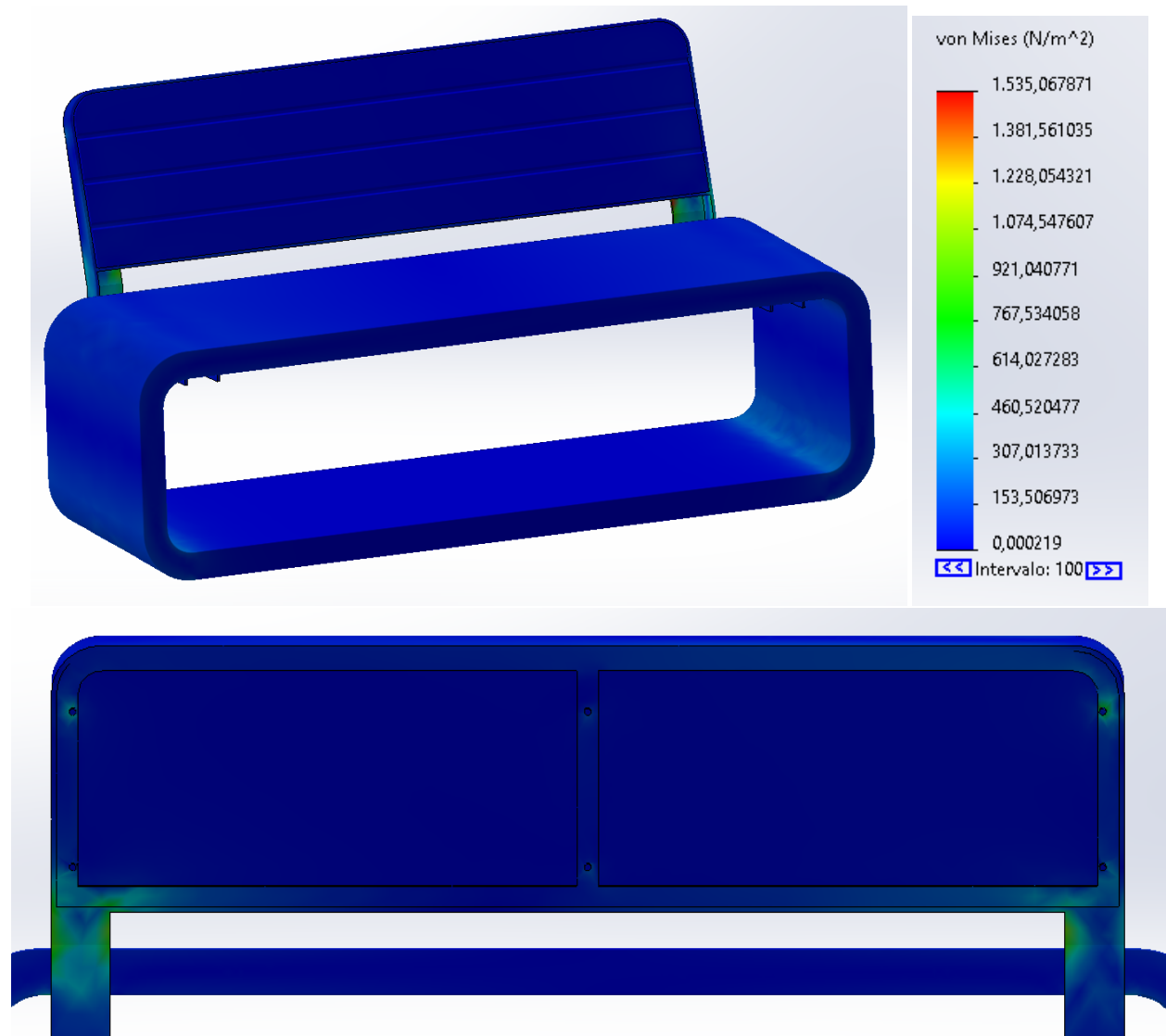


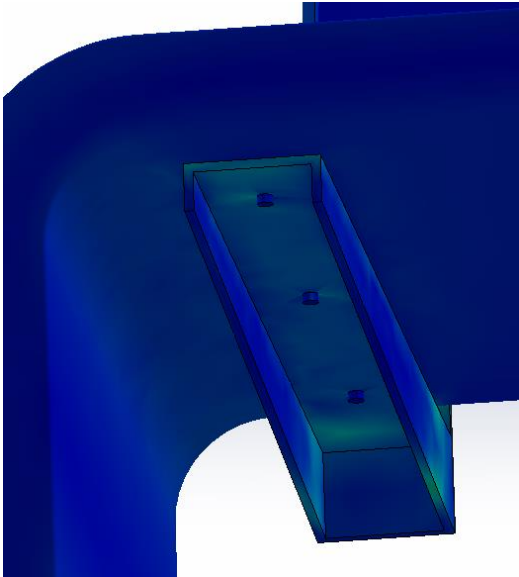
Apéndice C. Análisis estático, resultados de desplazamiento.



Apéndice D. Análisis de dinámica Lineal del mobiliario actual.

Resultados de tensión (Excitación de la base Seleccionada, A lo largo de la superficie en contacto con el suelo Dir.2, Desplazamiento de 5 metros)





Apéndice F. Video fragmento de la prueba de verificación.

Acceso al video: <https://www.youtube.com/shorts/t2c16CvRgXA>

