

“Sistema de bicicletas públicas complementario al SIT (Sistema Integrado de Transporte) de la ciudad de Medellín para recorrer distancias cortas entre puntos clave de la ciudad.”

AUTORES

FELIPE GUTIERREZ GONZALEZ

LINA MARCELA LOPEZ MONTOYA

JOSE AUGUSTO OCAMPO AGUDELO

UNIVERSIDAD EAFIT

ECUELA DE INGENIERIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO

MEDELLIN

2010

“Sistema de bicicletas públicas complementario al SIT (Sistema Integrado de Transporte) de la ciudad de Medellín para recorrer distancias cortas entre puntos clave de la ciudad.”

AUTORES

FELIPE GUTIERREZ GONZALEZ

LINA MARCELA LOPEZ MONTOYA

JOSE AUGUSTO OCAMPO AGUDELO

PROYECTO DE GRADO

Asesor

SANTIAGO CORREA VÉLEZ

Docente, Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD EAFIT

ECUELA DE INGENIERIAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE DISEÑO DE PRODUCTO

MEDELLIN

2010

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 2010

Dedicado a:

Dedicamos este proyecto a nuestras familias, amigos, a quienes nos han apoyado durante el desarrollo de éste proyecto y a quienes sueñan con un Medellín mejor.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que participaron en el logro de este proyecto, para ellas nuestros agradecimientos por sus comentarios y sus inquietudes que de una u otra manera aportaron al desarrollo del proyecto.

Las siguientes personas fueron fundamentales para lograr alcanzar las metas propuestas:

Santiago Correa Vélez, PhD. Profesor e investigador del departamento de Ingeniería de Diseño de la Universidad EAFIT y asesor del proyecto, por habernos guiado durante todo el desarrollo del proyecto y por su buen nivel de exigencia.

Elizabeth Rendón Vélez, estudiante de Doctorado en la Facultad de Diseño Industrial de la Universidad Técnica de Delft (Holanda), por sus valiosos aportes al proyecto y por sus recomendaciones en el momento oportuno.

Marcela Velásquez Montoya, M.Sc., Ingeniera de Diseño de Producto, por creer desde un principio en el proyecto, por su disponibilidad y por su acompañamiento continuo.

Las familias de cada uno de los integrantes del grupo, por su apoyo incondicional, consejos y entendimiento.

A los trabajadores de los Talleres de soldadura, máquinas, modelos y de diseño de la Universidad EAFIT, por su colaboración en la construcción de los prototipos.

A los usuarios directos quienes participaron en las pruebas de usuario, por su tiempo, curiosidad e interés hacia el proyecto.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1:	2
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	2
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	6
2. ALCANCE GENERAL DEL PROYECTO	7
CAPITULO 2: METODOLOGÍA DEL PROYECTO ETAPAS DEL PROYECTO	8
1.1 ANÁLISIS.....	12
1.2 GENERACIÓN.....	14
1.3 DETALLE	18
1.4 EVALUACIÓN	19
CAPITULO 3: ETAPA 1	21
ANÁLISIS: ENTENDIENDO EL USUARIO Y EL CONTEXTO	21
1. TRABAJO DE CAMPO	21
1.1 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	21
2. CONTEXT MAPPING	24
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	24
2.2 ETAPAS	25

2.2.2	Sensibilización:	25
2.2.3	Sesión generativa:	26
2.2.4	Análisis:.....	27
2.2.5	Comunicación:	28
3.	RESULTADOS ETAPA 1	29
3.1	DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE USUARIO MEDIANTE LA HERRAMIENTA “PERSONAS”.....	29
3.2	REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA	33
3.2.1	REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO.....	33
3.2.2	REQUERIMIENTOS PARA EL CONTEXTO	34
CAPITULO 4:	ETAPA 2.	35
	GENERACIÓN: DESARROLLANDO EL CONCEPTO	35
1.	ESTADO DEL ARTE	35
1.1	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	35
2.	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO (PDS)	38
3.	SÍNTESIS FORMAL.....	41
3.1	BOARDS	41
4.	CONCEPCIÓN DE LAS IDEAS	43
4.1	SINTESIS FUNCIONAL: De la caja negra a los esquemas geométricos.....	44
4.2	MATRIZ MORFOLÓGICA: De la matriz morfológica	47
4.3	GERENACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS: De la lluvia de ideas al concepto final	
	51	
5.	RESULTADOS ETAPA 2	57

5.1	CONCEPTO FINAL DEL SISTEMA	57
CAPÍTULO 5: ETAPA 3.		58
DETALLE: MEJORANDO EL CONCEPTO		58
1.	SÍNTESIS DIMENSIONAL.....	58
1.1	ERGONOMÍA	58
1.2	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	61
1.3	ANÁLISIS GEOMÉTRICO.....	63
2.	SÍNTESIS ESTRUCTURAL.....	66
2.1	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MARCO	66
2.2	ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA DIRECCIÓN	69
3.	ENSAMBLE Y MANUFACTURA	69
3.1	MANUFACTURA.....	75
4.	DISEÑO GRÁFICO	76
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	77
5.1	DISEÑO DEL PROGRAMA	78
5.2	DISEÑO DE HARDWARE	82
6.	MATERIALIZACIÓN DEL PRODUCTO	85
7.	RESULTADO ETAPA 3	87
7.1	MODELACIÓN 3D FINAL DEL PRODUCTO.....	87
7.2	PLANOS DE TALLER Y DE ENSAMBLE.....	88
CAPITULO 6: ETAPA 4.		89
EVALUACIÓN: EVALUANDO EL PRODUCTO		89
1.	DESCRIPCIÓN.....	89

1.1	ESTRATEGIA GENERAL DE LA EVALUACIÓN (UE1) (OVERALL EVALUATION STRATEGY):.....	90
1.2	PLANIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN (UE2) (EVALUATION PLANNING):	91
1.3	USER TRIALS	93
1.3.1	Planeación	94
1.3.2	Preparación del material	95
1.3.3	Realización de las pruebas.....	95
1.3.4	Análisis de los datos.....	96
1.3.5	Implicaciones	101
2.	RESULTADOS.....	105
2.1	CAMBIO SEGÚN LA RETROALIMENTACIÓN DEL USUARIO	105
CAPITULO 7: INTERVINIENDO LA CIUDAD		106
1.	ETAPAS.....	107
1.1	ANÁLISIS: Conociendo la ciudad	107
1.2	GENERACIÓN: Determinación de puntos clave	111
1.3	DETALLE: Integrando el sistema	114
1.4	EVALUACIÓN: Evaluando la integración del sistema.....	120
2.	RESULTADOS CAPITULO 7.....	122
2.1	MAPA CON LA PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE BICI-K AL SIT.	122
CAPITULO 8: FINALIZACIÓN DEL PROYECTO.....		124
1.	CONCLUSIONES.....	124
2.	RECOMENDACIONES	125
3.	BIBIOGRAFÍA.....	129

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Usuarios del sistema Bici-k	32
Tabla 2. Resumen del PDS para la estación.....	39
Tabla 3. Resumen del PDS para la bicicleta.....	40
Tabla 4. Explicación de los "BOARDS"	42
Tabla 5. Clasificación de los componentes.....	48
Tabla 6. Portadores de función definitivos de la bicicleta	49
Tabla 7. Portadores de función de la estación	50
Tabla 8. Resultados del análisis de la geometría del punto de acopio	65
Tabla 9. Descripción de componentes especiales de bici-k	74
Tabla 10. Procesos de manufactura	75
Tabla 11. Costos totales del sistema	86
Tabla 12. Estrategia general de la evaluación	90
Tabla 13. Planificación de la evaluación.....	92
Tabla 14. Pruebas de usuario	95
Tabla 15. Puntajes obtenidos de la prueba de usabilidad	99
Tabla 16. Problemas encontrados.....	100
Tabla 17. Resumen de la evaluación del producto	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases del proyecto de bicicletas públicas, responsables y alcance.....	7
Figura 2. Metodología del proyecto de grado.....	9
Figura 3. Marco metodológico del diseño del concepto.....	10
Figura 4. Marco metodológico de la contextualización del producto que cumple con el objetivo 6.	11
Figura 5. Algunas fotografías tomadas durante el trabajo de campo.....	22
Figura 6. Los cinco pasos de “Contextmapping”	25
Figura 7. Mapas mentales acerca del transporte público en la ciudad de Medellín	25
Figura 8. Material de sensibilización y un ejemplo de resultado de la primera pregunta del folleto.....	26
Figura 9. Actividades de la sesión generativa.....	27
Figura 10. Material producido en “Contextmapping”: Cartillas, collages y grabaciones.....	27
Figura 11. Infográfico de la experiencia de movilidad en bicicleta.	29
Figura 12. Determinación de las prioridades de los perfiles	31
Figura 13. Imágenes de bicicletas representativas tanto privadas como públicas.....	36
Figura 14. Desglose del sistema Bici-K.....	43
Figura 15. Proceso de diseño para las partes identificadas en el desglose del sistema.	43
Figura 16. Esquema geométrico de la bicicleta.....	46
Figura 17. Esquema geométrico de la estación.....	47
Figura 18. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto de la bicicleta.	51

Figura 19. Pasos seguidos para generar el concepto del punto de acopio	53
Figura 20. Pasos seguidos para generar el concepto de la estación central.....	54
Figura 21. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto del mecanismo de bloqueo.	55
Figura 22. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto del mecanismo de la interfaz.....	55
Figura 23. Concepto final del sistema Bici-k.....	57
Figura 24. Datos generales de antropometría	59
Figura 25. Datos de ergonomía de la bicicleta y posición de manejo	60
Figura 26. Ergonomía del punto de acopio	60
Figura 27. Ergonomía de la estación central	61
Figura 28. Modelo 3D y dimensionamiento del sistema.....	61
Figura 29. Distancia “a” del marco con respecto al suelo.	63
Figura 30. Modelo virtual de prueba para la geometría del marco de bici-K	64
Figura 31. Imágenes tomadas del análisis geométrico por obstáculos.....	64
Figura 32. Distancia del perfil principal estudiada y punto crítico	65
Figura 33. Geometría inicial del concepto final.....	66
Figura 34. Estructura final del marco.	67
Figura 35. Punto máximo de ubicación del sillín.	67
Figura 36. Esfuerzos del marco sometido a una carga de 1470 N.	68
Figura 37. Esfuerzos de la dirección, sometida a una fuerza de 441 N.....	69

Figura 38. Partes a las cuales se les propone un ensamble que les brinde seguridad.	70
Figura 39. Detalle ensamble trasero de la bicicleta	70
Figura 40. Detalle ensamble transmisión de la bicicleta	71
Figura 41. Detalle ensamble de la tija.	71
Figura 42. Detalle ensamble de la dirección a la bicicleta.....	72
Figura 43. Detalle ensamble de la rueda delantera a la bicicleta	72
Figura 44. Sistema de bloqueo de la bicicleta y el punto de acopio	73
Figura 45. Descripción de componentes especiales de bici-k	73
Figura 46. Sistema de identidad gráfica de bici-k.....	76
Figura 47. Versión 1 de programa de control de la estación	77
Figura 48. Definición de entradas y salidas	78
Figura 49. División de procesos y relación de estos con las entradas y salidas	79
Figura 50. Diagramas de estado de las máquinas de estado finito que intervienen en el programa	80
Figura 51. Segunda versión del programa de control de la estación	81
Figura 52. Pantallas que intervienen el programa	82
Figura 53. Diseño esquemático del circuito	83
Figura 54. Cálculos de resistencia base	84
Figura 55. Diseño de circuito impreso	84
Figura 56. Algunas de las imágenes de construcción del prototipo.....	85
Figura 57. Modelación 3D final de sistema	87

Figura 58. Metodología seguida para la evaluación del producto.....	89
Figura 59. Aparte de las grabaciones la prueba de usabilidad de la estación.	96
Figura 60. Fotografías de algunos de los usuarios en la prueba de usabilidad bicicleta	96
Figura 61. Algunos de los participantes sobrepasando los obstáculos durante la prueba..	97
Figura 62. Participante haciendo uso del prototipo de la bicicleta durante las pruebas	98
Figura 63. Adición de malla y extensión del manubrio	105
Figura 64. Proceso seguido para la contextualización del sistema en la ciudad.....	106
Figura 65. Vista satelital de la ciudad de Medellín.....	108
Figura 66. Esquema de la topografía de la ciudad	108
Figura 67. Cobertura del Sistema Integrado de Transporte – Líneas Metro y Metroplús .	109
Figura 68. Mapa del Plan de Ciclorutas para Medellín.....	110
Figura 69. Red de transporte público y su relación con la red de ciclorutas propuesta....	111
Figura 70. Puntos clave de la ciudad cercanos a la red de ciclorutas	112
Figura 71. Localización empresas medianas y grandes en la ciudad de Medellín agrupadas por clústeres.	113
Figura 72. Localización de micro y pequeñas empresas agrupadas por clústeres.....	113
Figura 73. Propuesta de estaciones de Bici-k alrededor de la red de ciclorutas	114
Figura 74. Puntos intermodales o nodos intermodales	116
Figura 75. Tipos de intermodalidad que se presentan.....	117
Figura 76. Áreas de influencia del sistema Bici-k	118

Figura 77. Cobertura total del sistema, al integrarse al SIT en el área de influencia principal.	118
Figura 78. Cobertura de la bicicleta para un radio de dos kilómetros	119
Figura 79. Ejemplos de la integración del sistema bici-k en la ciudad.	120
Figura 80. Esquema general de la propuesta de integración al SIT.	123

INTRODUCCIÓN

En el presente documento se encuentra la recopilación del proceso de diseño para el proyecto de grado “sistema de bicicletas públicas complementario al SIT (Sistema Integrado de Transporte) de la ciudad de Medellín para recorrer distancias cortas entre puntos clave de la ciudad”.

Actualmente el proyecto es liderado por uno de los concejales de la ciudad quien considera viable la implementación del sistema. El proyecto responde a la identificación de la necesidad de brindar a la ciudadanía una alternativa de transporte diferente a las que brinda el sistema público (bus, taxi, Metro, entre otros) que les permita transportarse de una manera más eficiente y más responsable (transporte sin emisiones de CO₂) con el ambiente.

En la primera parte del documento se encuentra el capítulo 1 con las generalidades del proyecto; el capítulo 2 con la metodología general del proyecto y las teorías que se tomaron como base para desarrollarlo; los capítulos 3, 4, 5 y 6 que describen las fases de análisis, generación, detalle y evaluación respectivamente en las cuales se basa el proceso de diseño del concepto de la bicicleta; el capítulo 7 con la contextualización del producto en la ciudad de Medellín y el capítulo 8 contiene recomendaciones y conclusiones para la fase de implementación del sistema de bicicletas públicas en la ciudad.

CAPITULO 1:

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La movilidad vial es un factor determinante de la calidad de vida de los ciudadanos. Medellín, una ciudad moderna y en crecimiento demanda un servicio en cuanto a transporte ágil, confortable y seguro. “Una mejor movilidad es determinante en la competitividad de la ciudad.” (Alcaldía de Medellín, 2008).

A pesar de ser una ciudad que cuenta con sistemas de transporte integrados como el Metro, el Metro cable y próximamente Metro Plus, el caos en el tránsito es una de las quejas más comunes de la ciudadanía en Medellín.

El crecimiento del parque automotor en la ciudad, en especial, el de uso privado, es insostenible en el mediano y largo plazo ya que demanda altos presupuestos para el mantenimiento y el crecimiento de la malla vial. (Medellín Cómo Vamos, 2007). Ésta última, es ineficiente para la ciudad, pues Medellín por su conformación geográfica y espacial posee condiciones que limitan su expansión y crecimiento (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007-2). Por ello la administración ha venido buscando soluciones de movilidad que limiten el uso del vehículo privado como la medida del pico y placa, día sin carro, así como la potenciación y expansión del transporte público.

El Plan de Desarrollo 2008 – 2011 (Alcaldía de Medellín, 2008) de la ciudad, afirma que la densidad vehicular se ha aumentado en cerca de un 45% en los últimos cinco años. En ésta, se evidencia una relación desigual entre el ritmo del crecimiento del parque automotor y el crecimiento de la malla vial, lo que ha incidido considerablemente en el

deterioro de la calidad del aire, siendo éste el principal responsable, con un 66%, de los aportes a la contaminación del aire generados en la ciudad (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007-b). Sumado a esto la topografía del Valle de Aburrá no permite la buena dispersión de los gases contaminantes, ocasionando un deterioro del medio ambiente, afectando la calidad de vida de los ciudadanos, elevando la incidencia de enfermedades broncopulmonares y afecciones cardiacas.

Además de gran parte de la contaminación; el parque automotor es el responsable de los atropellos a peatones, el cual representa el 49% de los accidentes de tránsito en la ciudad y afecta especialmente a la población infantil (Gutiérrez, 2009).

La Región Metropolitana del Valle de Aburrá produce diariamente 4'829.366 viajes de los cuales el modo más utilizado es caminata con el 29,4%, seguido del bus con el 29.3%, el transporte particular con el 17,1%, el taxi con el 11,3% y el Metro con 7,8%. En Medellín, cerca de 950.000 personas viajan diariamente caminando. El 20% de los viajes son realizados en menos de 10 minutos, mientras que el 80% restante, corresponde a viajes entre 10 y 30 minutos, que pudieron haberse realizado en transporte público. La falta de cobertura del sistema de transporte es una de las razones (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007a).

Los problemas y conflictos generados por el aumento del parque automotor y la falta de cobertura de los sistemas públicos, han justificado el desarrollo de sistemas alternativos de transporte. Se necesitan sistemas de transporte que sean sostenibles, que permitan reducir costos de movilización y mantenimiento, reduzcan la utilización de automotores individuales, y en consecuencia, contribuyan a la salud de los habitantes de la ciudad.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Medellín no es la única ciudad con dificultades en la movilidad y contaminación, dicha problemática se extiende alrededor del mundo con efectos globales entre los que se destacan el calentamiento global y destrucción de la capa de ozono.

Grandes estudios por organizaciones internacionales como EcoMobility, ratifican que es necesario cambiar el comportamiento actual de la movilidad en las ciudades. Estas organizaciones, afirman que esto solo se puede lograr mediante medios no-convencionales, que integrados con otros modos proveen una solución mucho más efectiva para los problemas que enfrenta el mundo respecto al transporte (EcoMobility, 2009).

La intermodalidad es la cualidad de un desplazamiento de un punto a otro haciendo uso de distintos y sucesivos modos de transporte (Herrera, 2004), que se basa en un sistema jerarquizado de redes y nodos. Algunas de sus ventajas son el ahorro energético, sostenibilidad, accesibilidad, eficiencia y eficacia (Jordi, 2004). La bicicleta es considerada como un sistema complementario y/o alternativo que se integra con otros modos de transporte lo que permite la realización de viajes multimodales.

Las bicicletas públicas¹ más conocidas como “Bike Share Systems”² se han constituido como un sistema alternativo no convencional de transporte con gran éxito en diferentes ciudades del mundo, como Paris, Barcelona, Bruselas, Copenhagen, Washington D.C, Rio de Janeiro, Ciudad de México entre otras, por su impacto directo sobre el medio ambiente, disminución del ruido, aumento de la accesibilidad y la salud de las personas.

Los beneficios de un sistema público de movilidad alternativo impactan positivamente al medio ambiente, porque son silenciosos y no contaminan, en distancias cortas y medias menores de 3 Kilómetros la bicicleta es el vehículo más rápido en la ciudad, su mantenimiento es sencillo, económico, promueve el civismo y permite a su vez el ejercicio

¹ Se tomó el término pública en su acepción coloquial, entendiéndose como un bien al que todos los ciudadanos pueden acceder, como lo es “el transporte público”

² Información acerca de estos sistemas puede ser encontrada en http://en.wikipedia.org/wiki/bicycle_sharing_system

físico y por tanto la reducción de las enfermedades cardiovasculares y de la contaminación medioambiental que produce la mayoría de las enfermedades respiratorias. (Gutiérrez, 2009)

Una bicicleta ocupa menos del 60% del espacio requerido para circular por un automóvil familiar, y el 90% menos de espacio para un bus de 45 pasajeros (Instituto de Desarrollo Urbano, 1999).

Finalmente el sistema de transporte alternativo se justifica para la ciudad porque satisface los objetivos estratégicos propuestos por el Plan Maestro de Movilidad (Área Metropolitana del Valle de Aburrá ,2007a) de la ciudad de Medellín:

El sistema por su novedad e impacto social promueve una imagen positiva de la ciudad en el ámbito internacional.

Apoya el desarrollo social, la integración social, contribuye con la calidad de vida y salud de la población.

Es un sistema de bajo costo, eficiente, equitativo, sostenible ambientalmente y utiliza racionalmente los recursos.

Sistema de transporte del Valle de Aburrá es rápido, confiable y de calidad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema de movilidad alternativo urbano (comprendido por bicicleta, estación de alquiler y estación de anclaje), integrado al SIT, libre de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, mediante la implementación de metodologías de

diseño, que permita al usuario transportarse entre puntos clave de la ciudad (Estaciones de metro y Metroplús, parques, centros históricos y artes, entre otros).

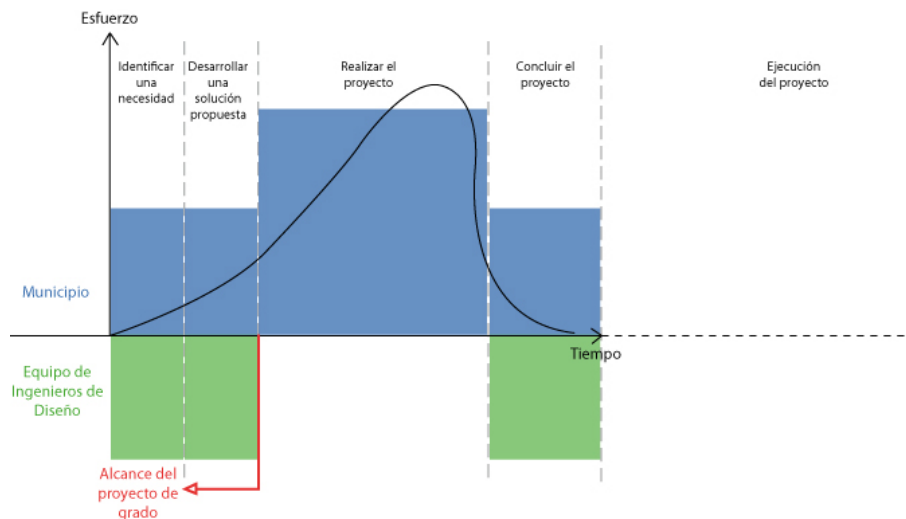
1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar aspectos importantes del usuario y contexto mediante el uso de métodos de diseño que permitan establecer criterios importantes para el desarrollo del producto.
- Desarrollar los conceptos de la bicicleta y la estación basados en las metodologías de diseño (Ulrich&Eppinger, Pahl&Beitz, entre otras) con el fin de fundamentar la toma de decisiones sin omitir aspectos importantes en el desarrollo del producto y en la documentación del proceso.
- Detallar el concepto final de la bicicleta y la estación mediante el análisis funcional y dimensional que permita hacer viable la materialización del producto.
- Construir un modelo funcional del vehículo y la estación del sistema, mediante procesos de manufactura existentes en el medio local, que puedan ser utilizados en las pruebas de usuario y validación del proyecto.
- Evaluar el producto mediante la realización de pruebas de usuario, con el fin de establecer parámetros de la interacción usuario-producto que puedan ser usados como base para las recomendaciones y conclusiones del proyecto.
- Proponer la integración del producto en la ciudad mediante búsqueda de puntos clave y la opinión de expertos. El resultado es la realización de un mapa con la infraestructura física (posibles rutas, ubicación de estaciones en puntos clave) inicial del sistema en el contexto de uso.

2. ALCANCE GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto de bicicletas públicas es un proyecto de ciudad, el cual involucra diferentes aspectos que deben ser planeados, desarrollados e implementados por varios equipos de trabajo (ver figura 1). El proyecto de grado es el desarrollo de la solución propuesta a la necesidad identificada (ver introducción, antecedentes y justificación del proyecto), y el alcance de éste es la entrega de los prototipos de la bicicleta y la estación como un resultado del cumplimiento de los objetivos propuestos en el numeral 1.3.2.

Figura 1. Fases del proyecto de bicicletas públicas, responsables y alcance.



Fuente: Elaboración propia

Debido a que no es objetivo del proyecto de grado abarcar las fases posteriores a la entrega de la solución propuesta (realizar el proyecto de bicicletas públicas (producción), concluir el proyecto y ejecución del proyecto), dichas fases no se explican en el presente documento, pero la realización de éstas, está totalmente ligada al proyecto de grado, por tanto en el numeral 1 del capítulo 8 se establecen la lista de las recomendaciones y conclusiones pertinentes para continuar con las etapas posteriores a la entrega de la solución propuesta.

CAPITULO 2: METODOLOGÍA DEL PROYECTO ETAPAS DEL PROYECTO

Es común en las metodologías de diseño de producto (Ulrich & Eppinger, Pahl & Beitz Cross y Poulson, Ashby y Richardson) hablar del análisis, la generación, el detalle y la evaluación del concepto. Debido a que estos cuatro elementos presentan de una manera clara y detallada un conjunto de métodos de desarrollo de productos, se toman como base para el marco metodológico usado para el desarrollo del proyecto de grado (ver figura 2), el cual comprende:

1. El desarrollo del diseño de la bicicleta para el contexto de Medellín y el ciudadano de la misma, con cuatro metas a cumplir: i) el entendimiento del usuario y el contexto, ii) el desarrollo del concepto, iii) el mejoramiento de éste y iv) la evaluación final del producto con el usuario basados en los objetivos 1, 2, 3 y 5 del proyecto de grado;
2. La intervención de la ciudad con el sistema, con cuatro metas a cumplir: i) el conocimiento de la ciudad, ii) la determinación de puntos clave en la ciudad, iii) implementación del sistema en la ciudad y iv) la evaluación de los puntos de implementación del sistema basados en el objetivo 6 del proyecto de grado.

A pesar que estos dos puntos centrales se desarrollan siguiendo las mismas etapas del marco metodológico general (análisis, generación, detalle y evaluación), las técnicas y métodos para cumplir el objetivo final (el producto y la intervención de ciudad), son diferentes para cada uno (Ver figura 2). En la figura 3 se encuentra el marco metodológico seguido para el desarrollo del diseño, es decir la metodología aplicada al producto y en la figura 4 se encuentra el marco metodológico seguido para el desarrollo de la contextualización del producto, es decir, la metodología aplicada a la intervención de ciudad.

Cada marco consta de cuatro etapas básicas ya mencionadas: i) análisis, ii) generación, iii) detalle y iv) evaluación. Cada una de éstas requiere el uso de métodos (herramientas) para llevar a cabo cada uno de los objetivos que garantizan el resultado final

Figura 2. Metodología del proyecto de grado

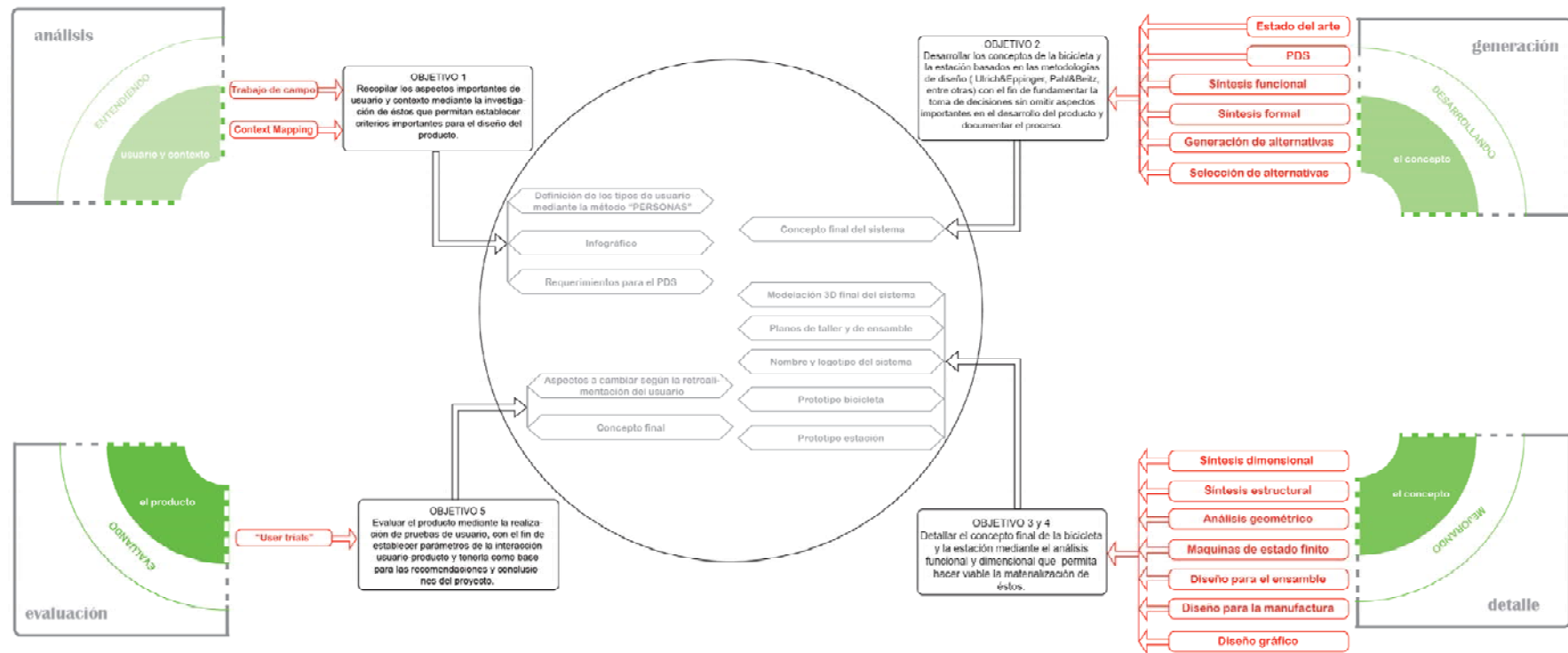


Fuente: Elaboración propia

PARA EL PRODUCTO: El desarrollo de las etapas para el diseño de la bicicleta y de la estación, se presenta en los capítulos 3, 4, 5 y 6.

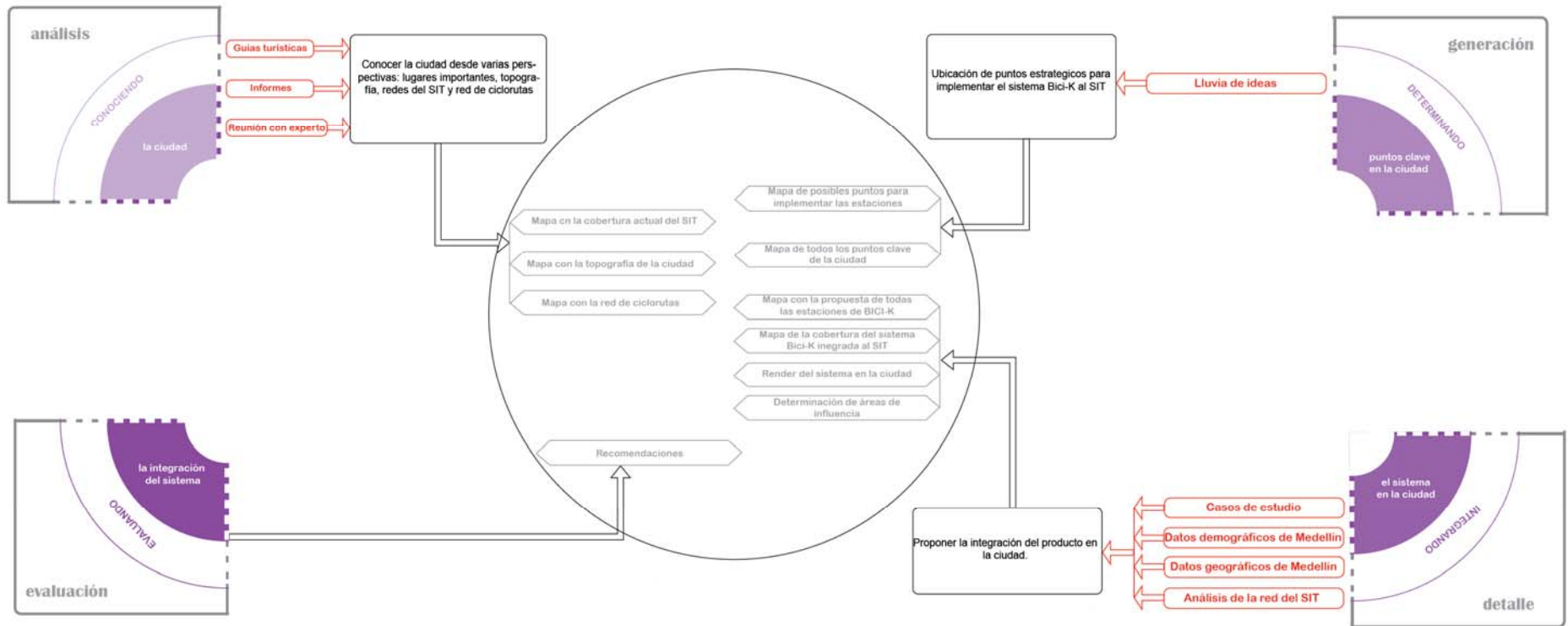
PARA LA INTERVENCIÓN DE CIUDAD: El desarrollo de las etapas para contextualizar el producto en la ciudad, se presenta en el capítulo 7.

Figura 3. Marco metodológico del diseño del concepto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Marco metodológico de la contextualización del producto que cumple con el objetivo 6.



Fuente: Elaboración propia

En la siguiente sección se detallan cada una de las etapas y las herramientas seleccionadas.

1.1 ANÁLISIS

PARA EL PRODUCTO: El objetivo de esta etapa es aclarar el problema de diseño y obtener un espacio de investigación lo suficientemente fructífero para la obtención de unos requerimientos y criterios de diseño apropiados. En esta etapa se obtiene una base de conocimientos sólidos (acerca del usuario y el contexto) que ayudan a que la generación de alternativas tenga una base fundamental para desarrollar un diseño que se ajuste a las necesidades del cliente y al contexto para el cual fue diseñado. La idea central de esta etapa es estudiar y observar al usuario en el ambiente de uso del producto (Ulrich & Eppinger, 2004), creando así el compromiso de diseñar el producto con la premisa de satisfacer las necesidades del cliente.

Para desarrollar ésta etapa, se utilizan las siguientes herramientas metodológicas:

- **Trabajo de campo:** Es el conjunto de actividades que se hacen para observar al usuario utilizando un producto específico. Se realiza con el fin de identificar detalles importantes sobre las necesidades del cliente (Ulrich & Eppinger, 2004). En esta actividad, además de observar al usuario utilizando la bicicleta en el contexto de uso, también se da una interacción directa con él por medio de una corta conversación.

- **Contextmapping** (Sleeswijk Visser et al., 2005): es un procedimiento para conducir una investigación de contexto con los usuarios. El objetivo es informar e inspirar al equipo de diseño respecto a los aspectos que rodean la interacción entre el producto y el usuario. La finalidad es asegurar un buen acople entre el producto y su contexto de uso. Contextmapping conlleva 5 fases, i) preparación, ii) sensibilización, iii) sesión de grupo, iv) análisis y v) comunicación.

Dentro de la metodología se utilizan las siguientes técnicas:

- Mapas mentales (Buzan & Buzan, 2000): Se realizan tres mapas mentales en los cuales se plasma lo que cada integrante del proyecto entiende por “movilidad pública en la ciudad de Medellín”.
- Infográfico (Van der Lugt, 2005): Resume de forma gráfica y textual un tema específico. Se realiza para presentar el resultado de la sesión de ContextMapping, con el fin de informar al equipo de diseño acerca de las características más importantes de lo que significa el transporte público en la ciudad de Medellín.
- Personas: Una “Persona” (Cooper, 1995) es una descripción textual en una página de un usuario típico. Este usuario típico es una mezcla de elementos proveniente de muchos usuarios que comparten en común roles de trabajo, aspectos demográficos y necesidades. A la persona se le da un nombre realístico, una foto expresiva que muestre la naturaleza de estos usuarios y una descripción textual. Los usuarios de Bici-K se representan usando esta técnica, la cual enmarca quienes son ellos, un poco de su entorno y sus metas. Esto resume sus tareas y sus roles primarios.

PARA LA INTERVENCIÓN DE CIUDAD: El objetivo de esta etapa es conocer los puntos clave de la ciudad de Medellín que deben ser tenidos en cuenta para la implementación del sistema de bicicletas públicas. Se utilizan las siguientes herramientas:

- **Guías turísticas:** Se identifican los puntos importantes de la ciudad basados en las guías “Medellín atractivos turísticos” (Alcaldía de Medellín), “Medellín ¡el centro vive! y google maps.
- **Informes:** “Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana” (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007a).
- **Reunión con expertos:** Se consulta a una de las personas encargadas de la propuesta del plan maestro de ciclorutas de la ciudad.

1.2 GENERACIÓN

PARA EL PRODUCTO: El objetivo de esta etapa es establecer una descripción aproximada de la tecnología, principios de funcionamiento y forma (Ulrich & Eppinger, 2004) que tendrá el concepto de la estación y el diseño de la bicicleta. El sistema de bicicletas públicas está compuesto por punto de acopio, estación central y bicicleta. Por lo tanto, estos tres elementos se toman por separado para generar las ideas iniciales y, a medida que se filtran las ideas, se van convirtiendo en un concepto total. En esta generación de alternativas es fundamental tener en cuenta las especificaciones de diseño para que los conceptos que se generen sean el resultado de las necesidades del cliente, de los requerimientos del contexto y de todo lo demás que rodea al producto.

Para desarrollar esta etapa, se utilizan las siguientes herramientas metodológicas:

- **Estado del arte.** Análisis de las diferentes formas en las cuales se ha resuelto un problema específico. El Objetivo es identificar o evaluar oportunidades para innovar y establecer las metas que debe cumplir el producto para competir eficazmente (Baxter, 1999). Debido a que el sistema de bicicletas públicas se compone de estación, punto de acopio y bicicleta, el estado del arte comprende tanto la bicicleta privada como sistemas de bicicletas públicas.
- **PDS (Especificaciones de Diseño de Producto).** Es un documento dinámico (Pugh, 1991), que define los requerimientos que debe cumplir el producto. Este documento cambia a la par de los cambios que se hagan al producto y es de vital importancia para dejar definido detalladamente el diseño final.

Debido a que un establecimiento a priori de todos los requerimientos posibles del producto desde el inicio del proyecto puede ser un fracaso y ocasionar retrasos (Pahl & Beitz, 2007), se establecen tres niveles del PDS. El primero establece una lista de requisitos provisionales (especificaciones objetivo), las cuales se establecen con base a

los antecedentes del proyecto y a lo que se desea que el producto cumpla. En este primer PDS se define si el requerimiento es demanda o deseo (Pahl & Beitz, 2007), y además de esto, se organizan dentro una categoría de elementos (Pugh, 1991); el segundo nivel, establece los valores objetivo ideales y marginalmente aceptables para dichos requisitos (Ulrich & Eppinger, 2004), es decir aparecen la métrica, el valor y la importancia definidos; y el tercero, define las especificaciones finales del producto (Ulrich & Eppinger, 2004) basados en el concepto final, viabilidad y pruebas de usuario.

▪ **Síntesis funcional.** Es una guía por medio de la cual se definen las funciones esenciales que debe satisfacer el producto o el sistema a diseñar (Cross, 2002). Para el desarrollo de la síntesis funcional se utilizan los siguientes métodos:

- Caja negra: Se utiliza para definir qué debe lograr el producto (Cross, 2002), es decir, la función principal de éste. Debido a que la conversión del conjunto de entradas en un conjunto de salidas es una tarea compleja dentro de la “caja negra”, se hace una descomposición de tareas o funciones secundarias por medio de tres pasos propuestos en la arquitectura del producto.
- Arquitectura del producto (Ulrich & Eppinger, 2004): Los pasos que se llevan a cabo para realizar la arquitectura del producto son: i) Crear la estructura funcional, que representa el entendimiento que se tiene de los elementos que constituyen el producto, ii) Agrupar las diferentes funciones de la estructura en componentes. Esto se hace teniendo en cuenta dos factores, primero, la integración y precisión geométrica y, segundo, los elementos que comparten una función, iii) Crear un diagrama geométrico, lo cual ayuda a considerar si es factible la disposición geométrica entre los componentes y, al mismo tiempo, ayuda a resolver las relaciones de dimensión básicas entre los componentes.
- Matriz morfológica: Este diagrama se construye teniendo en cuenta la división por componentes y las funciones que éstas cumplen. Este método presenta la gama completa de elementos, componentes o soluciones secundarias que pueden combinarse para formar una solución (Cross, 2002). Se construyen dos matrices: i)

para definir qué tipo de portadores son los que mejor pueden desempeñar las funciones de la bicicleta para este tipo de sistemas y ii) para definir los portadores de función de los componentes de la estación.

▪ **Síntesis formal.** Dentro del diseño de conceptos, es importante establecer una forma visual que haga que el producto se vea apto para su uso. El sistema Bici-K debe inspirar formalmente, seguridad, estabilidad y sentido de pertenencia para sus usuarios. Con el fin de garantizar estos atributos en la bicicleta, se realiza la síntesis formal del producto. Dentro de ésta se utilizan los siguientes métodos:

○ “Boards”: es un ejercicio visual que ayuda a establecer la forma y el estilo del producto (Baxter, 1999). Se realizan cuatro “boards” o collages: i) usuario, ii) emoción: Simpleza urbana, iii) contexto: Medellín urbana y arquitectónica y iv) referente formal: Parque Explora, para inspirar al equipo de diseño en la fase de generación de alternativas.

▪ **Generación de alternativas.** Es el momento en el cual se proponen las primeras alternativas de producto con base en toda la información obtenida previamente. El método para desarrollar estas primeras alternativas es la lluvia de ideas (Cross, 2002), de las cuales se realizan tres sesiones en las que se generan diferentes propuestas de soluciones para el rediseño del concepto de la bicicleta y el diseño de la estación.

▪ **Selección de conceptos.** Una vez obtenidas las primeras ideas, se realiza el proceso de evaluación de los conceptos teniendo en cuenta las necesidades del usuario y algunos de los criterios planteados en el nivel dos del PDS. La selección de conceptos se realiza con base en los siguientes métodos:

Para las partes del producto que no influyen de manera radical en costos de manufactura, que no son medibles dentro de los requerimientos expuestos por el cliente o que no sean de gran influencia formal y funcional para el diseño se utiliza:

- Intuición (Ulrich & Eppinger, 2004): el concepto es elegido por la sensación que provoca. No se requiere criterios explícitos o equilibrios. El concepto simplemente parece el mejor.

Para la parte de la tecnología de la interfaz se utiliza:

- Pros y contras (Ulrich & Eppinger, 2004): El equipo lista las fortalezas y debilidades de cada concepto y hace una selección con base en la opinión del grupo (Ulrich & Eppinger, 2004). Además de esto, se realiza una reunión con expertos en el tema para tener bases más confiables para la selección final.

Para la interfaz se utiliza:

- Prototipo y pruebas (Ulrich & Eppinger, 2004): se hicieron pruebas de los conceptos y, con base en los resultados y en las recomendaciones que se les hace a cada uno de éstos, se hace la selección final. (Ulrich & Eppinger, 2004)

Para las partes que influyen altamente en costos, que son medibles dentro de los requerimientos técnicos y expuestos por el cliente, y que son de gran influencia formal y funcional para el diseño se utiliza:

- Matrices de decisión (Ulrich & Eppinger, 2004): i) Matriz de visualización (Pugh, 1991): es un filtro visual que se le hace a las alternativas generadas en la lluvia de ideas. De ésta, se seleccionan los conceptos (basados en requerimientos del PDS) que deben continuar, los que se deben desechar y los que se deben mejorar. Con base en esta selección se desarrollan nuevos conceptos, que pasan a ser evaluados en la siguiente matriz, ii) Matriz de puntuación (Ulrich & Eppinger, 2004): evalúa de forma numérica los conceptos, dándole peso a los criterios del PDS elegidos para evaluar los conceptos. Es el último filtro de las ideas y su resultado muestra los conceptos que tienen las mejores características para ser implementados como solución del problema específico.

PARA LA INTERVENCIÓN DE CIUDAD: El objetivo de esta etapa es generar las primeras ideas de los lugares en los cuales deben ir implementadas las estaciones de Bici-K.

- **Lluvia de ideas:** se hace una intervención al mapa generado con base en la información obtenida en la etapa de análisis. Sobre éste se ubican las primeras estaciones de las bicicletas.

1.3 DETALLE

PARA EL PRODUCTO: Esta es la fase del proceso de diseño en la cual los arreglos, formas, dimensiones y acabados de todas las partes son finalmente establecidos (Palh & Beitz, 2007). El resultado de la etapa de detalle son todas las especificaciones e información necesaria para la viabilidad de producción del producto, es decir, planos, materiales, procesos de producción y estimación de costos finales del producto.

Las herramientas utilizadas son:

- **Síntesis dimensional:** Definición de las medidas del marco de la bicicleta.
- **Síntesis estructural:** Análisis estático de la bicicleta y la dirección.
- **Análisis geométrico:** Simulación de la geometría de la bicicleta frente a las condiciones de la vía (reductores de velocidad, andenes, obstáculos, entre otros).
- **Máquinas de estado finito:** es una técnica de programación que sirve para generar de manera lógica cada una de las acciones que debe tomar una máquina según el estímulo que esta pueda recibir. Los pasos que propone son: i) reconocer y entender un problema con sus respectivas entradas, salidas y los procesos que las intervienen ii) identificar la independencia de cada uno de estos procesos para definir la cantidad de máquinas de estado de la aplicación iii) representar las máquinas por medio de los diagramas de estado de transición y iv) Traducir los diagramas a la programación. (Murillo. 2010). Esta metodología se lleva a cabo para diseñar y desarrollar el programa de control necesario para el sistema.

- **Ensamble y manufactura:** Se desarrollan las tablas de procesos y costos de ensamble (Ulrich & Eppinger, 2004) y las de Procesos y costos de manufactura. Éstas, con el fin de dar un valor aproximado de los costos de producción del sistema.
- **Diseño gráfico:** ayuda a representar gráficamente la información que un producto desea comunicar. Se realiza el proceso del diseño del logo y la propuesta de colores para el sistema Bici-k.

PARA LA INTERVENCIÓN DE CIUDAD: El objetivo de esa etapa es proponer el número final de estaciones de Bici-K en la ciudad, además de una integración visual del sistema en la ciudad. Para esto, se analizan factores como los rangos máximos de recorridos de la persona entre estaciones, la cercanía de las estaciones a puntos clave de la ciudad identificados anteriormente y la exigencia de la ubicación de éstas de manera que se integren al SIT. El desarrollo de esta etapa se basa en las siguientes fuentes de información:

- **Casos de estudio:** Dos estudios sirvieron como guía para el desarrollo de ésta etapa. El primero es un caso de estudio que analiza la implementación de un sistema de transporte, diseñado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para la ciudad de San Francisco (Frem, 2008), y el segundo es el estudio de viabilidad de un concepto de bicicletas públicas para la ciudad de Filadelfia (Delaware Valley Regional Planning Commission, 2010).
- **Datos demográficos de Medellín:** Se hace una caracterización de la ciudad de Medellín desde el punto de vista económico, cultural, académico y poblacional.
- **Datos geográficos de Medellín:** Se hace una caracterización del suelo, topografía y ubicación geográfica.
- **Análisis de la red del SIT:** Se hace un estudio de la red actual del SIT y del plan maestro de ciclorutas.

1.4 EVALUACIÓN

PARA EL PRODUCTO: El objetivo de la evaluación obtener la retroalimentación del usuario acerca del producto. El énfasis es en la evaluación de la funcionalidad del producto y el grado de correspondencia entre las capacidades del producto y las necesidades de los usuarios. Para evaluar el producto, se utilizan las herramientas propuestas por la metodología “USERfit” (Poulson, Ashby & Richardson. 1996), en la etapa de “Evaluación de usabilidad”. Esta etapa tiene como objetivo global describir las situaciones comunes cuando el usuario hace uso del producto y medir el desempeño del producto ante estas situaciones. Las herramientas propuestas para esta etapa ayudan a planificar las pruebas, a resumir los resultados de estas pruebas y a registrar cualquier acción necesaria en forma de modificaciones de diseño. Las tres herramientas propuestas son respectivamente: i) estrategia global de las pruebas, en la cual se establecen los objetivos de las pruebas y el tipo de evaluación, ii) planeación de las pruebas, en la cual se establecen los criterios del PDS sujetos a ser evaluados con pruebas y con base a éstos, se realiza el protocolo de pruebas y iii) resumen de la evaluación de las pruebas. La primera y segunda herramienta comprenden la planeación de la evaluación y la tercera herramienta resume todo el proceso de evaluación, los resultados que se obtienen en éste y los correctivos o mejoras necesarias que se le deban hacer al producto (Poulson et al., 1996).

Para “la evaluación de usabilidad” relacionada con los atributos formales y funcionales del producto, se utiliza la técnica de “Pruebas de usuario” propuesta por (Poulson et. al, 1996), la cual consta de 5 pasos: i) planeación de la prueba ii) preparación del material para la prueba, iii) realización la prueba, iv) análisis de los datos y v) implicaciones.

Para “la evaluación de usabilidad” relacionada con la interfaz de la estación, se utiliza la herramienta SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996).

PARA LA INTERVENCIÓN DE CIUDAD: esta etapa no está comprendida en el proyecto de grado. Se propone para un futuro trabajo.

CAPITULO 3: ETAPA 1

ANÁLISIS: ENTENDIENDO EL USUARIO Y EL CONTEXTO

1. TRABAJO DE CAMPO

Bici-K es un sistema que propone un transporte alternativo para los ciudadanos de Medellín. El trabajo de campo fue la herramienta que permitió el primer contacto con el usuario y el contexto. En la siguiente sección se describen los resultados obtenidos del trabajo de campo presente en el ANEXO 1. Se realizó un recorrido por la ciudad en el cual se observaron diferentes tipos de usuario haciendo uso de la bicicleta en el contexto (ver figura 5).

1.1 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A pesar de que el recorrido se hizo por varios sectores de la ciudad, el contacto directo con el usuario se dio en el sector de Laureles, en cercanías a la Universidad Pontificia Bolivariana. Se realizó una corta conversación con ellos siguiendo un formato base de 6 preguntas (ver ANEXO 1), con las cuales, más que encontrar datos estadísticos, se buscaba encontrar diferentes tipos de experiencias y percepciones hacia la movilidad en bicicleta.

Figura 5. Algunas fotografías tomadas durante el trabajo de campo



Fuente: Elaboración propia

El recorrido se hizo durante 5 horas y se habló con un total de 12 personas. Los aspectos más relevantes encontrados en las charlas con los usuarios son:

Estudiantes: jóvenes con edades promedio entre 18 y 24 años se encontró que éstos son los que más se movilizan en bicicleta. Dentro de los principales motivos para usar este medio de transporte se encuentran: i) el costo, ii) por placer (posibilidad de hacer deporte), iii) la rapidez para llegar a sus lugares de destino y iv) por ser un medio de transporte amigable con el ambiente. El uso de la bicicleta por parte de los estudiantes no está estratificado, pues en la observación que se hizo, se encontraban jóvenes desde los estratos más bajos hasta los más altos.

Joven empleado: Este tipo de usuario puede estar entre los 25 y 30 años, normalmente con buena condición física, y que aún no han alcanzado puestos de alto nivel dentro de las empresas, haciendo que su nivel adquisitivo no sea muy alto. Ellos ven en la bicicleta el mejor medio de transporte para movilizarse en distancias cortas y encuentran la mayor restricción en la baja cobertura de las ciclorutas.

Adulto: El adulto entre los 30 y 45 encuentra en la bicicleta un medio de transporte útil y práctico para desplazarse en la ciudad, a pesar de los peligros que representa los carros. Expresa que otra ventaja de usar éste sistema de movilidad es mantener un estilo de vida activo y saludable.

Trabajador: Este tipo de usuario son personas de estrato bajo, con niveles mínimos de educación. Normalmente usan la bicicleta como medio de transporte para desplazarse hasta el trabajo o como el medio de transporte del trabajo como tal. El principal motivo para usar la bicicleta es economizar el pago de pasajes en transporte público. Encuentran en la bicicleta un medio de transporte eficiente y práctico, pues no ocupa gran espacio y además es rápido. Generalmente estas personas comienzan sus labores desde muy temprano y tienen muy buen estado físico.

En general, se puede concluir del trabajo de campo que:

La bicicleta es un medio de transporte práctico, rápido, eficaz y de bajo costo. Además de ayudar a la preservación del medio ambiente, ayuda a las personas a mantener su estado físico.

El atributo de rapidez de la bicicleta, radica en que la alta densidad vehicular, ha hecho que el transporte público y privado se vuelva ineficiente para desplazamientos cortos.

Las personas que recorren las ciclorutas usan la bicicleta como medio de transporte y no como medio recreativo, pues todos expresaron que en el momento, se estaban movilizand para llegar a su lugar de destino y no para hacer deporte.

Las falencias que se encontraron acerca del contexto de uso de la bicicleta son:

La poca cobertura actual de las ciclo rutas.

El irrespeto que se tiene al ciclista por parte del parque automotor y del peatón que utiliza las ciclo rutas como andenes. Expresan la importancia de un sistema en la bicicleta por medio del cual ellos puedan indicar que están en la vía.

Las quejas encontradas en relación con la bicicleta son:

La constante pinchadura de las llantas y su pérdida de presión.

Funcionamiento irregular de los cambios y los frenos.

El sillín como poco confortable.

Contacto con la ropa y la cadena.

Finalmente, la apreciación general de la idea de implementar un sistema de bicicletas públicas fue muy buena. Les preocupa el factor robo y cultural de la ciudad. Insisten en que culturalizar al ciudadano acerca de estos tipos de sistemas es algo sumamente importante que se debe hacer antes de implementar el sistema en la ciudad.

2. CONTEXT MAPPING

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Se llevaron a cabo los cinco pasos mostrados en la Figura 6, iniciando con la preparación del estudio y finalizando con la comunicación de los resultados entre los integrantes del equipo de diseño. La buena planeación y definición de objetivos en las primeras etapas permite que los resultados obtenidos en las etapas posteriores sean una información fructífera, útil e inspiradores para los diseñadores.

Figura 6. Los cinco pasos de “Contextmapping”

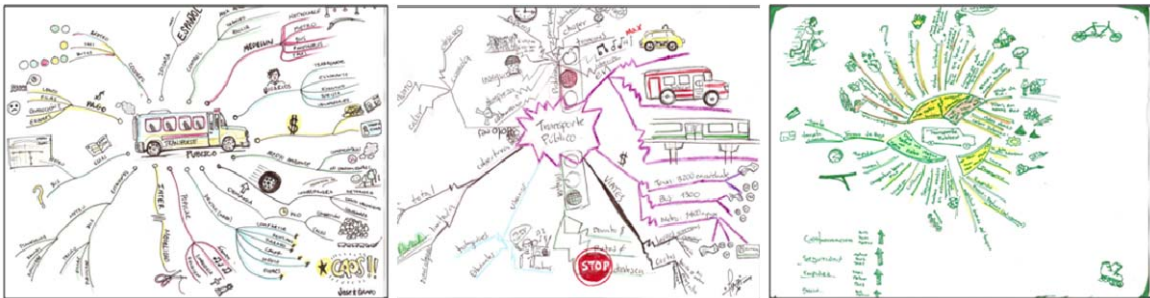


Fuente: Elaboración propia

2.2 ETAPAS

2.2.1 Preparación: Antes de iniciar el estudio, cada integrante del equipo de diseño realizó un mapa mental (ver figura 7), como ejercicio de sensibilización acerca del transporte público en la ciudad de Medellín.

Figura 7. Mapas mentales acerca del transporte público en la ciudad de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Posterior a éste, se diseñaron todos los recursos necesarios para el estudio (ver apéndice A del ANEXO 2), y se definió el grupo de usuarios objetivo para el estudio. Jóvenes estudiantes o trabajadores con edades entre los 20 y 45 años que usan su bicicleta regularmente para movilizarse en la ciudad. En total se seleccionaron 6 participantes.

2.2.2 Sensibilización: La herramienta de sensibilización seleccionada fue un folleto (ver figura 8), que contiene actividades y preguntas relacionadas con el tema de movilidad por la ciudad. Esto hace que la persona esté pensando continuamente acerca

del tema de movilidad pública y optimiza el uso del tiempo antes de la sesión generativa.

Figura 8. Material de sensibilización y un ejemplo de resultado de la primera pregunta del folleto.



Fuente: Elaboración propia

Una semana antes de realizar la sesión generativa, se recibieron las cartillas. La figura 8 muestra un ejemplo de una página del folleto, completada por uno de los participantes.

El resultado de la sensibilización es un participante conciente acerca del tema de movilidad pública en la ciudad, es decir, el contexto y situaciones que rodean al producto. El tema de las bicicleta se abarca en la sesión generativa.

2.2.3 Sesión generativa: La sesión generativa se basa en el “hacer” y el “decir” (ver figura 9). Para “hacer”, se les pidió a los participantes que elaboraran un collage. Para esto, se le entregó a los participante un conjunto de imágenes (ver numeral 2.3 del ANEXO 2), las cuales utilizaron para expresar sus visiones, pensamientos, sentimientos e ideas acerca de la experiencia de montar en bicicleta. Para el “decir”, cada participante explicó su collage (ver Apéndice B del ANEXO 2).

Figura 9. Actividades de la sesión generativa



Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Análisis: La información recolectada es cualitativa (ver figura 10). Consiste en grabaciones y collages creados por los participantes que contienen un gran número de anécdotas e historias alrededor del tema.

Figura 10. Material producido en “Contextmapping”: Cartillas, collages y grabaciones.



Fuente: Elaboración propia

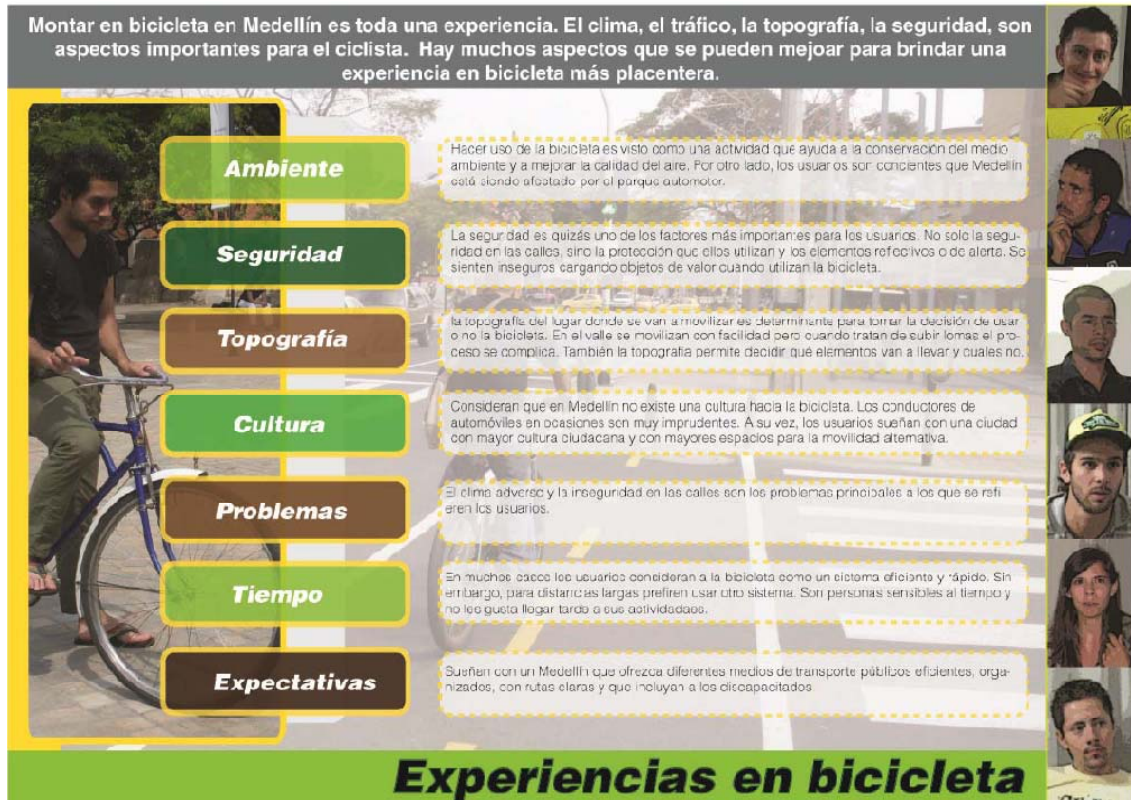
Después del análisis (ver Apéndice A del ANEXO 2) del material obtenido (ver figura 10), se determinaron siete grandes temas recurrentes en los participantes.

- Medio ambiente: Hacer uso de la bicicleta es visto como una actividad que ayuda a la conservación del medio ambiente y a mejorar la calidad del aire. Por otro lado, los usuarios son conscientes que la calidad del aire de Medellín está siendo afectado por el parque automotor, principalmente los buses y los taxis.

- Seguridad: La seguridad es quizás uno de los factores más importantes para los usuarios. No sólo la seguridad en las calles, sino la protección que ellos utilizan y los elementos reflectivos o de alerta. Se sienten inseguros cargando objetos de valor cuando utilizan la bicicleta y en la noche.
- Topografía: la topografía del lugar donde se van a movilizar es determinante para tomar la decisión de usar o no la bicicleta. En el valle se movilizan con facilidad, especialmente para distancias cortas, pero cuando tratan de subir lomas el proceso se complica. También la topografía permite decidir qué elementos van a llevar y cuáles no.
- Cultura: Consideran que en Medellín no existe una cultura hacia el uso de la bicicleta. Los conductores de automóviles en ocasiones son muy imprudentes. A su vez, los participantes sueñan con una ciudad con mayor cultura ciudadana y con mayores espacios para la movilidad alternativa.
- Problemas: El clima adverso y la inseguridad en las calles son temas recurrentes por los participantes. Evitan usar sus bicicletas cuando hay mucho tráfico, pues se torna un poco inseguro.
- Tiempo: En muchos casos los usuarios consideran a la bicicleta como un sistema eficiente y rápido. Sin embargo, para distancias largas prefieren usar otro sistema. Son personas sensibles al tiempo y no les gusta llegar tarde a sus actividades.
- Expectativas: Los participantes sueñan con un Medellín que ofrezca diferentes medios de transporte públicos eficientes, organizados, con rutas claras y que incluyan por ejemplo a los discapacitados. Además esperan que la cultura hacia el uso de la bicicleta se extienda en la ciudad.

2.2.5 Comunicación: Para comunicar los resultados del análisis de “Contextmapping” se realizó un infográfico (ver figura 11).

Figura 11. Infográfico de la experiencia de movilidad en bicicleta.



Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS ETAPA 1

En la siguiente sección se muestra el resultado de la etapa 1: “Entendiendo el usuario y el contexto”

3.1 DEFINICIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE USUARIO MEDIANTE LA HERRAMIENTA “PERSONAS”.

El sistema bici-k es un proyecto de ciudad, que busca mejorar la movilidad de los habitantes de la ciudad de Medellín, pero, ¿Cuáles de estos habitantes realmente harán o podrán hacer uso de bici-k?

Bici-k en sí mismo posee unas características que limitan a cierto grupo de la población objetivo. El sistema podrá ser usado siempre y cuando los ciudadanos:

- Estén en capacidad (física) de hacer uso de la bicicleta.
- Sepan por lo menos leer y entender la información suministrada.
- Sean mayores de edad que puedan responder por sus actos.

Para crear “Personas”, se llevaron a cabo tres pasos fundamentales:

- **Identificación de los perfiles:** Los perfiles son basados en la información obtenida del análisis del trabajo de campo y son los siguientes:
 - Estudiantes
 - Jóvenes empleados
 - Adultos
 - Trabajadores
- **Prioridad de los perfiles:** Se priorizaron los perfiles según su nivel de importancia e incidencia en el sistema bici-k. Para esto se analizaron datos provenientes de fuentes primarias (análisis de contexto) y secundarias (Plan Maestro de Movilidad, entre otros).

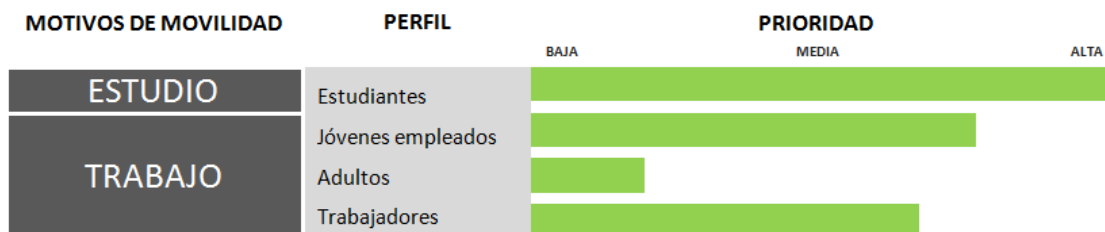
En Medellín, cerca de 950.000 personas diariamente viajan en modo caminata por la ciudad, de los cuales cerca de 500.000 lo hacen por motivo de educación mientras que 300.000 lo hacen por motivo de trabajo. El 20% de los viajes son realizados en menos de 10 minutos, mientras que el 80% restante corresponde a viajes que pudieron haberse realizado en transporte público. Una de las razones de haber optado por caminar pudo ser por falta de cobertura del sistema de transporte. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007a).

Bici-k buscará complementar el sistema de transporte público para ese 80% (que cumplan con lo especificado anteriormente) de los caminantes que se desplazan entre 10 y 30 minutos a pie, priorizando a los que lo hacen por motivo de estudios seguido de los que lo hacen por motivo de trabajo.

El usuario objetivo de mayor prioridad para el sistema bici-k es entonces el estudiante. Federico Gutiérrez, concejal de Medellín, lo ratificó en una de las sesiones que se tuvo con el equipo de diseño en las primeras etapas del proyecto. Él proponía una expansión gradual del sistema, en el cual la etapa inicial se ubique en las Universidades y estaciones del SIT cercanas a ellas.

Teniendo en cuenta la etapa 1 (análisis), el filtro de la población y la estrategia general para incursionar en la ciudad propuesta por Gutiérrez (2009), se logró priorizar los perfiles identificados (ver figura 12).

Figura 12. Determinación de las prioridades de los perfiles







Fuente: Elaboración propia

El orden de prioridades de cada perfil es el siguiente: Estudiantes, seguido de jóvenes empleados, trabajadores y adultos.

- **Escribir las personas:** A cada perfil se le asignó un nombre realista, edad, ocupación y una foto representativa del perfil. Se describió a la persona desde el punto de vista demográfico (edad, ocupación) y psicográfico (preferencias, sueños, expectativas). El resultado de Personas se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Usuarios del sistema Bici-k

PERSONA 1		
	Nombre	Alejandro Jaramillo
	Edad	21
	ocupación	Estudiante de Ingeniería Civil
	prioridad	Alta
	<p>Alejandro Jaramillo es un joven universitario de 21 años y está cursando tercer semestre, es de estrato medio y actualmente vive con su familia. Para llegar a la universidad normalmente utiliza transporte público (bus) y en algunas ocasiones su papa es quien lo lleva a la universidad o le presta el carro.</p> <p>Alejandro espera graduarse en pocos años para poder montar su propio negocio y tener el dinero para comprarse una moto. Además le gusta mucho salir con sus amigos y hacer deporte, normalmente juega futbol dos veces a la semana</p>	
PERSONA 2		
	Nombre	Catalina Gil
	Edad	25
	ocupación	Ejecutiva de ventas
	prioridad	media alta
	<p>Catalina Gil es una joven de 25 años recién graduada que trabaja desde hace un año en una empresa privada donde desempeña un cargo administrativo, en un horario de 7:30a.m a 5:30p.m y normalmente se moviliza en metro para llegar al trabajo, pero espera poder ahorrar para comprarse su propio carro. Todavía vive con sus papas pero desea irse a vivir sola en algunos años, debido a que siempre se ha considerado una persona muy independiente. Catalina se considera a si misma como amante de la tecnología y la música</p>	
PERSONA 3		
	Nombre	Jesús Alberto rodriguez
	Edad	37
	ocupación	Trabajador público
	prioridad	media -alta
	<p>Jesús es un trabajador público de 36 años de estrato bajo que lleva 4 años reparando el cableado eléctrico de la ciudad, su horario de trabajo está dado por el turno que le corresponda, pero puede ser de 6am a 2pm, de 2pm a 10 pm ó de 10pm a 2am. Normalmente va a su trabajo en bicicleta y en ocasiones, especialmente cuando está lloviendo lo hace en bus. Jesús vive con su familia, esposa y dos hijos de 6 y 14 años respectivamente. Desearía poder tener más tiempo para compartir con sus hijos ya que solo los puede ver cuando está en el turno de 6am a 2pm debido a que en los otros turnos el está descansando para poder trabajar en la noche o sus hijos están en el colegio. Jesús todos los viernes después de terminar la jornada sale con sus compañeros de trabajo a tomarse unas cervezas.</p>	
PERSONA 4		
	Nombre	María Adelaida Restrepo
	Edad	40
	ocupación	Gerente
	prioridad	baja
	<p>María es una mujer trabajadora de 40 años. Vive con su esposo y un hijo de 10 años. Normalmente se moviliza en carro, pero ahora con el pico y placa ha tenido problemas para movilizarse ya que le queda muy complicado cuadrar sus horarios con los del pico y placa. Lo que más disfruta María es el tiempo que pasa con su familia, especialmente los fines de semana que almuerzan por fuera de la casa y salen a pasear. María tiene como costumbre madrugar al gimnasio donde diariamente hace una hora de deporte para mantenerse en forma y cuidada su figura.</p>	

Fuente: Elaboración propia

3.2 REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA

Después de analizar la información obtenida en el trabajo de campo y en el estudio de “contextmapping”, se identificaron los siguientes requerimientos para el sistema.

3.2.1 REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

- Sistema de iluminación que permita identificar al ciclista en la noche.
- La relación de velocidades debe ser adecuada para las pendientes que se puedan encontrar en la parte plana de la vía.
- Sistema por medio del cual los ciclistas puedan avisarle al peatón que van en la cicloruta.
- Llantas que no se pinchen fácilmente.
- Los cambios deben funcionar bien.
- Los frenos deben funcionar bien.
- El sillín debe ser cómodo.
- Sistema que separe la cadena de la ropa de la persona.
- La bicicleta es de buen desempeño.
- Compartimiento para cargar las pertenencias.

3.2.2 REQUERIMIENTOS PARA EL CONTEXTO

- Aumentar la cobertura de las ciclorutas con el fin de que las bicicletas no compartan la vía con el parque automotor.
- Implementar campañas que incentiven el respeto por parte del parque automotor hacia los ciclistas.
- Señalización óptima de las ciclorutas.

CAPITULO 4: ETAPA 2.

GENERACIÓN: DESARROLLANDO EL CONCEPTO

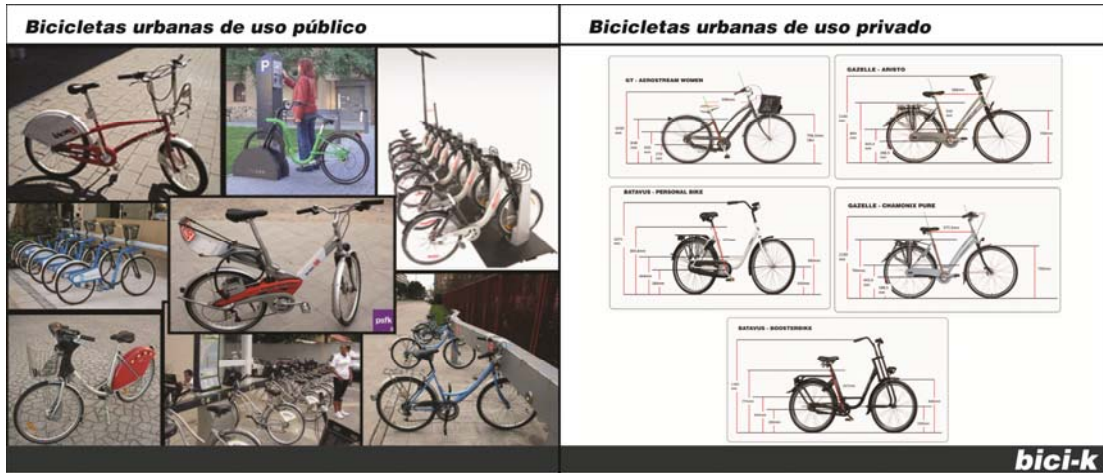
1. ESTADO DEL ARTE

El estado del arte permite que el equipo de diseño tenga una fuente de información acerca de las bicicletas públicas y privadas de uso urbano. En la siguiente sección se describen los resultados obtenidos del análisis del estado del arte presente en el apéndice C del ANEXO 3.

1.1 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Con el estado del arte, se conocieron y compararon las bicicletas públicas más representativas en el mundo (incluyendo las existentes en Latinoamérica) y a su vez se analizaron las bicicletas privadas de uso urbano (ver figura 13). Se encontraron cualidades en común que pueden llegar a ser claves en el desarrollo de un sistema de bicicleta pública para la ciudad de Medellín.

Figura 13. Imágenes de bicicletas representativas tanto privadas como públicas.



Fuente: Elaboración propia

De análisis se logró extraer lo siguiente:

- **Peso:** Las bicicletas públicas se caracterizan por ser robustas y en ocasiones pesadas con el fin de dar mayor estabilidad, resistencia, durabilidad al uso y al abuso y dificultar el robo de las mismas.
- **Diferenciación:** Por lo general estas bicicletas tienen una forma y color característico, para que se identifiquen fácilmente por los usuarios, al mismo tiempo que se disminuye la probabilidad de robo.
- **Mantenimiento:** Los cambios, frenos, luces, anclaje y transmisión suelen ser aspectos claves ya que son piezas que requieren de mantenimiento constante. De no ser así podría fallar con gran facilidad y convertirse en una fuente de accidentes, ya que estos sistemas afectan la seguridad y confiabilidad para el usuario.
- **Tecnología:** La última generación de sistemas de bicicleta pública se ha caracterizado por la implementación de sistemas altamente tecnológicos donde las TIC (Tecnologías de información y comunicación) han tomado un papel fundamental para el control y monitoreo de los sistemas. Además, se caracterizan

por el uso de energías alternativas sostenibles para la alimentación de las estaciones.

- **Instalación del sistema:** las estaciones son fáciles de instalar, reparar y expandir, todo esto bajo un concepto de estación modular que no requiere de una gran infraestructura para su instalación.
- **Ergonomía:** El diseño del marco para busca la facilidad de ingreso al vehículo, y garantizar una postura recta para evitar la fatiga de las personas que no están acostumbradas a viajar en bicicleta.
- **Adopción de tecnologías:** Algunos sistemas de bicicleta pública han adoptado tecnologías y componentes que se han desarrollado para las bicicletas privadas debido a su durabilidad, bajo mantenimiento y alta eficiencia, como lo son los cambios y dinamo de manzana o buje.
- **Almacenamiento de carga:** Se encontró que es muy común que la bicicleta tenga una canasta en la parte frontal.
- **Ajuste del sillín:** Un factor crítico en cuanto la eficiencia del sistema, es la velocidad con la que se pueda acomodar el sillín, por lo que en algunas bicicletas públicas se ha hecho uso de escalas o medidas en la tija, o dispositivos más sofisticados como lo son las tijas hidráulicas.
- **Parqueo de la bicicleta:** Es de suma importancia garantizar que las bicicletas solo tengan una forma de ser encajadas en la estación, pues de no ser así, los usuarios tienen la posibilidad de anclar la bicicleta de forma incorrecta.
- **Elementos de seguridad:** Los elementos de seguridad para el usuario son imprescindibles en todos los sistemas de bicicleta pública como lo son el timbre, las luces delantera y trasera.
- **Mantenimiento:** Las llantas representan otro reto para las empresas que manejan las bicicletas debido a que éstas constantemente pierden presión o suelen pincharse.

- **Sistemas de transmisión:** Algunas bicicletas públicas utilizan transmisión por cadena, y para proteger la ropa de los usuarios se usan guarda cadenas, pero, algunos pocos sistemas utilizan cardán que es más pesado y costoso pero más limpio y requiere de menos mantenimiento.
- **Sistema de cambios:** La mayoría de las bicicletas suelen tener cambios de tres velocidades y en pocas ocasiones de siete con el fin de darle más comodidad al usuario, además de limitar la velocidad de las bicicletas para evitar accidentes. Por lo general no usan sistema de cambios de plato sino que suelen ser o de pacha con tensor o mediante cambios de manzana.
- **Accesorios:** La gran mayoría de bicicletas públicas, tienen como accesorio una guaya de seguridad y pata para que el usuario pueda asegurar la bicicleta en el momento que requiera bajarse de ésta por un corto tiempo.

2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PRODUCTO (PDS)

El PDS es el documento que resume todo lo que Bici-K debe cumplir desde el punto de vista funcional y formal. Debido a que Bici-k es un sistema que se compone varios productos, no es recomendable tratar de definir los requerimientos finales desde el inicio del proyecto. La construcción del PDS fue un ejercicio dinámico a través de todas las etapas del proyecto y su proceso de elaboración se llevó a cabo en tres niveles.

El primer nivel del PDS (ver Apéndice A del ANEXO 4), comprende las especificaciones objetivo, las cuales se establecieron con base a los antecedentes y la justificación del proyecto.

El segundo nivel del PDS (ver Apéndice B del ANEXO 4), se hizo con base en los resultados de la etapa del análisis, con base en el análisis del estado del arte y en los cambios hechos a las especificaciones objetivo del primer nivel del PDS. Se añaden además, requerimientos con base en la consulta de las normas técnicas de las bicicletas (NTC 2054,

NTC 3637, NTC 3661). En esta parte aparece la primera división del sistema, es decir, se construye el PDS para la bicicleta y para la estación por separado, además se definen los requerimientos que deben ser evaluados en pruebas de usuario (ver capítulo 6).

Finalmente, el último nivel del PDS (ver Apéndice C del ANEXO 4) se construye con base en los resultados obtenidos en la etapa de detalle y de evaluación, además de las actualizaciones de los requerimientos del segundo nivel del PDS. Es en este documento donde se listan los requerimientos finales del sistema (bicicleta y estación).

Las tablas 2 y 3 resumen algunas de las especificaciones de diseño.

Tabla 2. Resumen del PDS para la estación

Clasificación	Necesidad	Métrica	valor	Unidad	D/d
USO		La usabilidad de la estación es aceptable	> 80	SUS score	D
DESEMPEÑO	La estación debe ser resistente	Los materiales de la estación son resistentes a la corrosión			d
	Se puede informar que la bicicleta está en mal estado	Cantidad de dispositivo en la estación para que el usuario señale que la bicicleta esta en mal estado	1		d
	La bicicleta es fácil de sacar y de poner en la estación		Si		d
	Proceso de préstamo del vehículo es rápido		si		d
SEGURIDAD	Que la bicicleta se auto-bloquee si el usuario decide no usarla	Tiempo de acceso a la bicicleta desde la apertura del mecanismo de bloqueo	30	segundos	d
	Las salientes deben ser seguras	Radio de las prominencias	>=10	mm	D
	La información del usuario debe quedar registrada	Forma de pago para alquiler de bicicleta	Tarjeta		d
	El proceso de alquiler se hace tanto de noche como de día	Radio máximo de distancia entre la estación y el alumbrado público	1 a 4	m	D
DISEÑO	Los usuarios se detienen antes de ingresar la bicicleta a la estación		si		d
	El vehículo posee espacio para poner publicidad	Área min para publicidad en la estación	Si	cm ²	d
	La interfaz usuario producto es acorde a la cultura del contexto		si		D
ERGONOMÍA	La estación tiene acceso para mantenimiento	Cantidad de puertas de acceso	>=1		d
	La pantalla está ubicada a la altura adecuada	Altura hasta el centro de la pantalla respecto al suelo	1350	mm	D
	El lector de tarjetas se encuentra a la altura adecuada	Altura hasta el centro de del lector de tarjetas respecto al suelo	1240	mm	D
	La superficie para apoyar objetos se encuentra a una altura adecuada	Altura de la superficie para apoyar objetos	900	mm	d

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Resumen del PDS para la bicicleta

Clasificación	Métrica	valor	Unidad	D/d
ASPECTOS LEGALES O ESPECIFICADOS POR EL CLIENTE	La bicicleta tiene claxon (alerta sonora)			
	Ancho total del manubrio	650	mm	D
	Cantidad de reflectores frontal	1		D
	Cantidad de elementos protectores de cadena	1		D
	Longitud del largo máxima de la bicicleta	1810	mm	D
	Longitud del ancho máximo de la bicicleta	650	mm	D
	Longitud del alto máximo de la bicicleta desde la parte superior del sillín con respecto al suelo	980	mm	D
	Máximo diámetro nominal rueda	26	pulgadas	D
	Peso de la bicicleta	23	Kg	D
	Capacidad máxima de carga	30	Kg	D
	cantidad de cambios de velocidad	3		d
DISEÑO	Volumen de carga	14400	cm ³	
	Longitud de la altura de la caja central con respecto al suelo	290	mm	d
	Área min para publicidad en la bicicleta	26	cm ²	d
	La bicicleta se puede usar en la infraestructura vial de la ciudad de Medellín.	Si		D
	El sistema(estación y bicicleta) es atractivo para el usuario	Si		D
	El diseño parte de un referente formal representativo de la ciudad	Si		d
	Longitud de la biela	170	mm	D
	Longitud del tubo del asiento (seat tube length)	410	mm	D
	Ángulo del asiento con respecto a la horizontal	70	grados	d
Altura del manubrio con respecto al suelo	1030	mm	D	
PARTES ESTÁNDAR	La bicicleta es de producción local	Si		d
	Existen proveedores en Medellín de las partes estándar	Si		D
	Diámetro estándar del manubrio según la norma ISO	7/8	pulgada	D
	Los procesos de ensamble son diferentes a la bicicleta tradicional	Si		d
	El diseño del manubrio no le sirve a una bicicleta estándar	Si		d
	El diseño del compartimiento de carga no le sirve a una bicicleta estándar	Si		d
	Rango de estaturas para la cual fue diseñada la bicicleta	1,49 a 1,89	m	D
	Cantidad de mantenimiento preventivo en un año(según experto)	6		D
	Elementos de sujeción tipo A, B y C	Si		d
	Llantas a prueba de pinchadura	Si		d

Fuente: Elaboración propia

3. SÍNTESIS FORMAL

3.1 BOARDS

Los “boards” (ver tabla 4) se realizaron con la intención de tener una herramienta visual para la etapa de generación del concepto. El conjunto de estas imágenes resume de forma visual el usuario y el contexto. “simpleza urbana” es la emoción que rige el diseño de Bici-k, haciendo necesaria la recolección de imágenes que inspiren estos atributos. El conjunto de imágenes que componen los “boards” provienen del trabajo de campo y búsqueda en internet.

Tabla 4. Explicación de los “BOARDS”

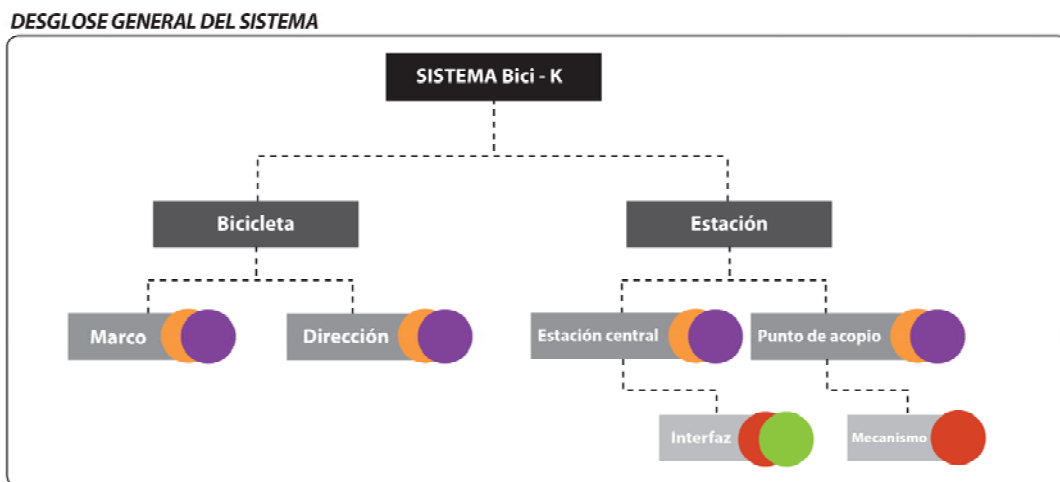
BOARD	DESCRIPCIÓN
	<p>USUARIO: Imágenes de los usuarios objetivo tomadas durante el trabajo de campo realizado en la ciudad. Se observan diferentes estilos de vida, edades, profesiones, estratos sociales, sexos, pero con algo en común: Usan las bicicletas para movilizarse por la ciudad.</p>
	<p>MEDELLÍN URBANO: Medellín urbano hace referencia a los productos que se encuentran presentes en las áreas urbanas y que son de uso público. Bici-K debe estar en sintonía con el diseño urbano propuesto por la ciudad, desde sus formas, colores y materiales.</p>
	<p>SIMPLEZA+URBANA: La emoción que se desea plasmar con el producto es simpleza. Dicha simpleza esta muy ligada al uso y a las formas enmarcadas en un contexto urbano. Las imágenes seleccionadas hacen referencia a una arquitectura urbana simple y moderna.</p>
	<p>MEDELLÍN / ARQUITECTURA: Como se había mencionado anteriormente, el diseño de Bici-K está en sintonía con el contexto donde se va a ser usado el producto. Se utilizaron imágenes representativas de la arquitectura de la ciudad.</p>
	<p>REFERENTE FORMAL: El “Parque Explora” se eligió como referente formal. Una edificación que no solo es emblemática para Medellín, sino que representa un diseño simple, urbano, público, moderno y tecnológico; muy acorde con el diseño de Bici-K.</p>

Fuente: Elaboración propia

4. CONCEPCIÓN DE LAS IDEAS

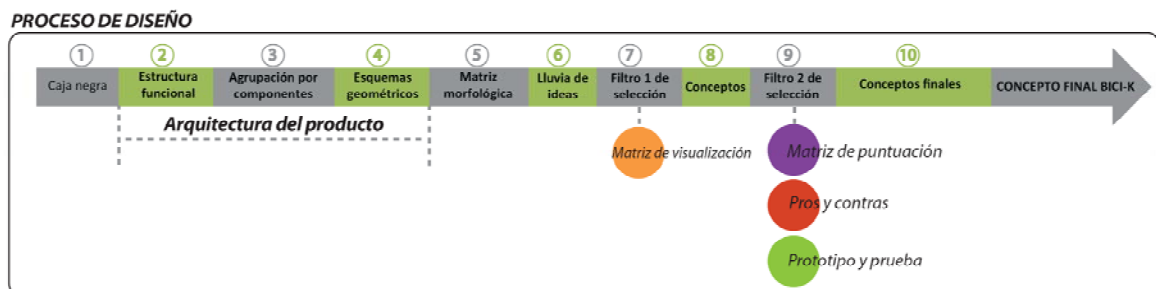
El nivel de detalle de la solución (producto) a un problema (necesidad), se puede definir de acuerdo a las funciones esenciales que debe realizar el producto (Cross, 2002). Para hacer más entendibles las funciones esenciales de Bici-k se decide hacer un desglose del sistema (ver figura 14), en el que se identifican la estación y la bicicleta como los dos productos determinantes del sistema.

Figura 14. Desglose del sistema Bici-K



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Proceso de diseño para las partes identificadas en el desglose del sistema.



Fuente: Elaboración propia

La figura 14 muestra el desglose del sistema y la figura 15, propone los pasos a seguir para el proceso de diseño de las partes identificadas.

Se decidió que los subsistemas principales del proyecto (bicicleta y estación) se desarrollaran a través de los 10 pasos propuestos en la figura 14, pues su diseño se rige con base en todas las necesidades de usuario, de contexto, de forma y de funcionalidad. Además son los elementos que desde el diseño formal pueden hacer que Bici-K se perciba como un sistema seguro, estable y ecológico. Para estos dos (con sus respectivos componentes) se realizó: i) la síntesis funcional (desde el paso 1 al 4), ii) la matriz morfológica (paso 5) y iii) la generación de conceptos (del paso 6 al 10). Los círculos propuestos en la figura 14 y 15 están relacionados de forma intencional, para explicar los filtros de selección por los cuales pasaron los componentes para ser seleccionados.

4.1 SINTESIS FUNCIONAL: De la caja negra a los esquemas geométricos

- **Caja negra**

Al hablar del sistema Bici-K como un todo, es difícil definir una función global para éste, pues se compone de varios productos. Lo primero que se hizo para empezar a definir las funciones esenciales fue dividir el sistema en sus dos productos principales: i) Bicicleta y ii) estación. Para cada uno de éstos se realizó la caja negra (ver numerales 1.1 y 2.1 del Apéndice A del ANEXO 5), el resultado de ésta es la definición de las frases que describen a los productos principales del sistema:

- La bicicleta pública transporta al usuario de manera ágil y ecológica.
- La estación almacena la bicicleta de forma segura.

- **Estructura funcional**

Una vez definidas las funciones principales, se utilizó la herramienta de la estructura funcional (ver numerales 1.2 y 2.2 del apéndice A del ANEXO 5), para dividir la función principal en subfunciones y así clarificar cuáles son las subfunciones que debe garantizar el producto. Esto se hizo con el fin de tener un esquema general del entendimiento del sistema. Debido a que desde un principio la bicicleta se definió como el producto a proponer, la estructura funcional de ésta se hace con base en una bicicleta tradicional. En cambio, la estructura funcional de la estación, se hace sin tener

como base ningún sistema, pues lo único definida en esta era qué función (almacenar) debía cumplir más no cómo la cumpliría.

- **Agrupación por componentes**

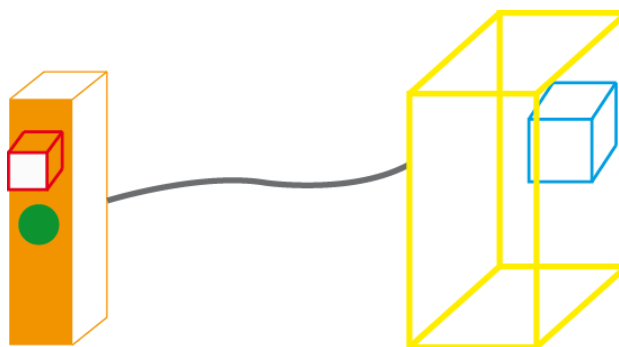
Teniendo las subfunciones definidas, se identificó cuales de estas podían pertenecer a un mismo componente o ensamble con el fin de definir los subsistemas principales de cada producto. En los numerales 1.3 y 2.3 del Apéndice A del ANEXO 5, se encuentra la agrupación por componentes de cada producto.

Los dos esquemas de las estructuras funcionales, con su respectiva agrupación por componentes, son el mapa de lo que el equipo del proyecto desea que Bici-K cumpla desde el punto de vista funcional. Este mapa fue la herramienta de consulta y la base para los siguientes pasos del proceso de diseño. El resultado de la caja negra, la estructura funcional y la agrupación por componentes, se resume en la propuesta de los esquemas geométricos para cada producto.

- **Esquemas geométricos**

Debido a que se tiene definida la bicicleta como el producto que da solución al problema de la movilidad, la realización de los esquemas geométricos se hace como un ejercicio visual en el cual se toma una bicicleta tradicional como base y sólo se cambian las configuraciones del compartimiento de carga, las luces, los controles (accionador) de frenos, los frenos y el variador de velocidad. Se hicieron 21 configuraciones (ver numerales 1.4 del Apéndice A del ANEXO 5) diferentes con base en las partes que se debían variar, finalmente se escogió el esquema geométrico mostrado en la figura 16. Este esquema, define la posición del compartimiento de carga en la parte delantera debido a que las personas manifiestan que prefieren tener sus pertenencias en un lugar visible para ellas.

Figura 17. Esquema geométrico de la estación



Fuente: Elaboración propia

Teniendo los esquemas geométricos de los dos productos, el siguiente paso a tomar se basó en la respuesta a: ¿Qué elementos pueden cumplir con las funciones establecidas?

4.2 MATRIZ MORFOLÓGICA: De la matriz morfológica

La herramienta en la cual se plasman los componentes con su respectiva función y los posibles portadores de estas funciones es la matriz morfológica. A cada componente identificado en las estructuras funcionales tanto de la bicicleta como de la estación, se le hizo una matriz con las posibles partes que pueden cumplir la función específica del componente (ver numeral 3 del Apéndice A del ANEXO 5). Las tablas 4 y 5 muestran las partes finales de la bicicleta y de la estación respectivamente, las cuales cumplen la función esencial de cada componente identificado en la estructura funcional.

Es en este momento del proceso de diseño donde se hizo la división y clasificación de cada uno de los componentes, es decir, se tomó la decisión de cuáles componentes no se intervienen en un proceso de diseño (partes estándar) y cuáles pasan a hacer parte del proceso planteado en la figura 15.

Se decide entonces que los portadores de función de la estructura (chasis), el viraje (dirección), transporte de equipaje (compartimiento de carga), el componente 6 de la tabla 5 (punto de acopio) y el componente la carcasa para el componente 2 (CPU) de la tabla 5, sean desarrollados mediante un proceso de diseño. Se escogen estos por

su alta incidencia directa en la percepción global de lo que el sistema Bici-K representa. Se debe hacer hincapie en que el sistema Bici-K no esta proponiendo un nuevo mecanismo, ni una nueva forma de transmitir el movimiento en una bicicleta, no, lo que Bici-K propone es un sistema de movilidad integrado a la ciudad, que desde el punto de vista estético y formal brinden una nueva posibilidad de transporte para el ciudadano. Por tanto se definen: i) los componentes que no tienen incidencia en la percepción global de lo que Bici-K representa, estos se clasifican con el número 1 y 2 en la tabla 5, ii) los componentes que tienen influencia directa en la percepción funcional y formal de lo que Bici-K representa, estos se clasifican con el número 3 en la tabla 5 y iii) las partes que deben ser ensambladas de forma diferente o que deben tener un sistema de seguridad que dificulte el acceso a éstas, se clasifican con el número 3 en la tabla 5.












Tabla 5. Clasificación de los componentes

1	Componentes estándar, la selección se hace antes de pasar a la generación de conceptos (ver figura 14). La herramienta de selección fue la matriz de puntuación. (ver numeral 8 del ANEXO 5)
2	Componentes estándar, la selección se hace antes de pasar a la generación de conceptos (ver figura 14). La selección se hizo con base en la intuición.
3	Subsistemas sujetos a un proceso de diseño, estos pasan a por los pasos 6 a 10 de la generación de conceptos (ver figura 14) Las herramientas de selección son las matrices de visualización y puntuación.(ver numeral)
4	Componentes a los cuales se les debe diseñar un sistema de ensamble diferente al tradicional o algún tipo de sistema que dificulte el acceso a éstos. Estos pasan por los pasos 8 a 10 de la generación de conceptos y su selección se hace en base a la intuición.

Fuente: Elaboración propia

Los componentes tipo 3 no aparecen definidos en esta matriz (ver tabla 6), pues son subsistemas que le dan una diferenciación a la bicicleta y por tanto están sujetos a un proceso de diseño que se generan en los pasos 6 al 10 del proceso de diseño (ver figura 14). Además, para el subsistema de marcha, se definen tres posibles portadores de función, pues los tres cumplen satisfactoriamente con los criterios de selección establecidos para éstos en la matriz de puntuación (ver numeral 8 del ANEXO 5). Por tanto, el diseño del marco debe permitir el ensamble de estos tres tipos de transmisión (ver numeral 3 del capítulo 5).






Tabla 6. Portadores de función definitivos de la bicicleta

	SUBSISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	PORTADOR DE FUNCIÓN
1	Estructura	Chasis	Integrar los diferentes componentes de la bicicleta	
2	Viraje	Dirección	Tranformar la F.H(fuerza humana) en energía mecánica rotacional.	
3	Marcha	Transmisión	Conducir la energía mecánica rotacional	
		Biela	Aumentar la F.H y transformarla en energía mecánica rotacional	
4	Rodaje	Rueda trasera y delantera	Integrar la llanta con la dirección	
5	Cambios de velocidad	Variador de ventaja mecánica	Regular la energía mecánica rotacional	
		Accionador de variador	Transformar la F.H en energía mecánica rotacional	
6	Freno	Accionador de freno	Aumentar la F.H y transformarla en energía mecánica	
		Sistema de frenado	Transformar la energía mecánica en Fuerza de fricción	
7	Asiento	Asiento	Almacenar usuario	
8	Transporte de equipaje	Compartimiento	Almacenar los objetos del usuario	
9	Iluminación	Generador e.e	Transformar energía mecánica rotacional en energía eléctrica	
		Luz Roja Luz blanca	Transformar la energía mecánica en Fuerza de fricción	
10	Protección	Guardabarros	Almacenar polvo, agua y suciedad	

Fuente: Elaboración propia

La clasificación propuesta en la tabla 3, aplica de igual manera para los componentes de la estación (ver tabla 7).

Tabla 7. Portadores de función de la estación

	COMPONENTE	FUNCIÓN	PORTADOR DE FUNCIÓN
1	Componente 1	Integrar la fuerza humana con la información de on/off	
2	Componente 2	Permitir el paso de la energía eléctrica	
3	Componente 3	Conducir la energía eléctrica	
4	Componente4	Permitir el paso de la energía eléctrica posterior a la tarjeta	
5	Componente 5	Transformar la energía eléctrica en energía mecánica	
6	Componente 6	Almacenar la bicicleta	

Fuente: Elaboración propia

La matriz morfológica se utilizó entonces para responder a la pregunta planteada previamente: ¿qué elementos pueden cumplir con las funciones establecidas?.

La siguiente sección describe el proceso para generar los componentes clasificados como tipo 3 y 4 en la tabla 5.

4.3 GERENACIÓN Y SELECCIÓN DE CONCEPTOS: De la lluvia de ideas al concepto final

Una vez definidos los elementos finales que tendrá la bicicleta, se realizaron los pasos 6 a 10 del proceso de diseño (lluvia de ideas, filtro 1 de selección, conceptos, filtro 2 de selección, conceptos finales) (ver gráfica 14).

Para la lluvia de ideas (paso 6), se realizaron cuatro sesiones: i) chasis (marco), dirección y compartimiento de carga, ii) componente que almacena la bicicleta (punto de acopio), iii) mecanismo de bloqueo de la bicicleta y iv) la carcasa de la CPU (Estación central). Las propuestas de ensamble o de sistema de seguridad para los componentes que lo requieren (ver tabla 3) se desarrollan en la etapa de detalle (ver numeral 3 del capítulo 5).

- **BICICLETA: Marco – Dirección y compartimiento de carga**

El proceso para generar el concepto de la bicicleta pasa por los 5 pasos mostrados en la figura 18. En la sesión de lluvia de ideas se generaron 25 ideas (ver numeral 1.1 del Apéndice B del ANEXO 5), debido a que en esta primera sesión no se restringen las propuestas, las ideas generadas son diversas y pueden presentar características de todo tipo. Por esto es pertinente que pasen por un proceso de selección en el cual se establecen los criterios con los cuales se evalúan las ideas que pasarán a la etapa de conceptos.

Figura 18. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto de la bicicleta.



Fuente: Elaboración propia

Para la selección del marco es fundamental tener en cuenta: i) que su forma sea diferente a los marcos existentes en el mercado local y ii) que el marco pueda ser utilizado tanto para hombres como mujeres. De estos dos aspectos globales, se seleccionaron los criterios del PDS que aplican para evaluar estos aspectos y con éstos se construyó la matriz de visualización (ver numeral 1.1 del Apéndice C del ANEXO 5). Ésta se utilizó como el filtro visual a las primeras ideas, su resultado mostró sobre que ideas se podían generar los conceptos posteriores. Dentro de las características en común que se encontraron en las ideas seleccionadas en la matriz de visualización se encuentran:

- ✓ Las formas geométricas acordes con el referente del parque explora (ver tabla 2 de los “BOARDS”)
- ✓ El manejo de diferentes tamaños de tubería.
- ✓ La canasta integrada al manubrio.

Luego de este primer filtro se realizó la matriz de puntuación (ver numeral 2.1 del Apéndice C del ANEXO 5), en la cual se le dan pesos a los criterios de evaluación establecidos en la matriz de visualización. Luego cada concepto es evaluado numéricamente dependiendo de su cumplimiento con cada uno de los requerimientos. Finalmente, el concepto que obtenga mayor puntuación es escogido como el concepto final. A éste se le hacen mejoras o posibles combinaciones y, se deja definido desde el punto de vista formal y parcialmente funcional para pasar al diseño de detalle. La propuesta que cumple de mejor manera los requerimientos escogidos para su evaluación, y que además se percibe visualmente como segura, estable y estéticamente acorde con el referente y el contexto de ciudad se muestra al final de este capítulo (ver figura 23).

Este proceso se aplicó de igual manera para el punto de acopio y la estación central.

- **Punto de acopio**

Se llevó a cabo el proceso descrito en la figura 19. Los pasos son iguales a los del proceso de la bicicleta. Se generaron 7 iniciales (ver numeral 2.2.1 del Apéndice B del

ANEXO 5), de éstas, se filtraron las ideas (ver numeral 1.3 del Apéndice C del ANEXO 5) y posteriormente se desarrollaron cuatro conceptos (ver numeral 2.2 del Apéndice C del ANEXO 5)

Figura 19. Pasos seguidos para generar el concepto del punto de acopio



Fuente: Elaboración propia

Para la selección del punto de acopio (ver numeral 2.3 del Apéndice C del ANEXO 5) es fundamental tener en cuenta: i) que su forma sea de fácil manufactura y ii) que las formas sean acordes al contexto de uso.

Dentro de las características que se encontraron en común, en las ideas seleccionadas en la matriz de visualización están:

- ✓ Formas geométricas simples.
- ✓ Bases laterales con forma diagonal que generan mayor estabilidad visual.

La propuesta que cumple de mejor manera los requerimientos escogidos para su evaluación, y que además se percibe visualmente como segura, estable y estéticamente acorde con el referente y el contexto de ciudad se muestra al final de este capítulo (ver figura 23).

- **Estación central:**

Se llevó a cabo el proceso descrito en la figura 20. Los pasos son iguales a los del proceso de la bicicleta y del punto de acopio.

Igual que el punto de acopio, para la selección de la estación central, es fundamental tener en cuenta: i) que su forma sea de fácil manufactura y ii) que las formas sean acordes al contexto de uso. Las formas geométricas simples predominaron en todos los conceptos.

Figura 20. Pasos seguidos para generar el concepto de la estación central



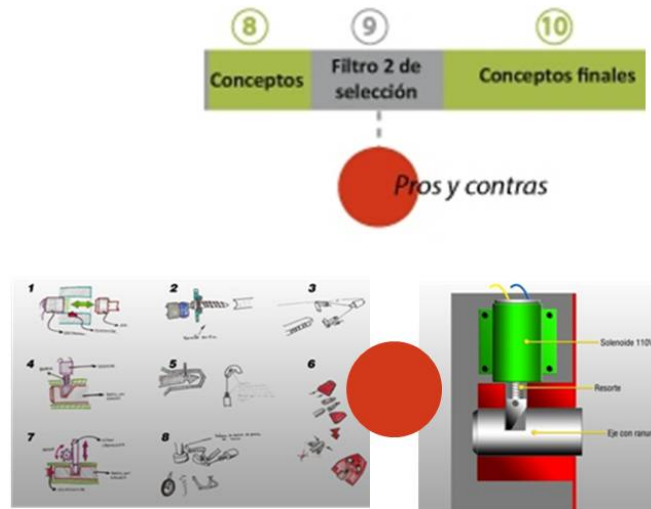
Fuente: Elaboración propia

La selección del concepto se basa en de la matriz de visualización (ver numeral 1.2 del Apéndice C del ANEXO 5) y de puntuación (ver numeral 2.2 del Apéndice C del ANEXO 5).

- **Mecanismo de bloqueo:**

Debido a que este no tiene ninguna influencia en la percepción formal del producto, se decidió proponer ocho conceptos (sin sesión de lluvia de ideas) que pasan directamente a selección. El desarrollo de los conceptos se hace con base en el conocimiento del equipo, en lo estudiado en el estado del arte y en una reunión con expertos en la cual se generó conocimiento acerca de la tecnología para controlar este tipo de sistemas. Su selección se hace con base en pros y contra (ver numeral 3 del Apéndice C del ANEXO 5) y consulta con expertos. La figura 21 muestra los pasos seguidos para generar el concepto del mecanismo.

Figura 21. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto del mecanismo de bloqueo.



Fuente: Elaboración propia

- **Interfaz:**

Para el diseño de ésta (ver figura 22), es fundamental tener en cuenta lo que propone Bangor et al. (2009) como una interfaz exitosa: i) interacción efectiva entre el usuarios y el producto, es decir, que el usuario pueda completar la tarea, ii) interacción eficiente entre el usuario y el producto, es decir el usuario completa el proceso sin esfuerzo y iii) interacción satisfactoria entre el usuario y producto, es decir, el usuario se siente cómodo al desempeñar la tarea.

Además se estableció una lista de la información que debe tener la interfaz:

- ✓ Informar estado de la tarjeta: Activa o inactiva.
- ✓ Saldo (en días) restante para alquiler de la bicicleta.
- ✓ Número del acopio de la bicicleta a alquilar.
- ✓ Hora.

Figura 22. Detalle de la figura 14. Pasos seguidos para generar y seleccionar el concepto del mecanismo de la interfaz



Fuente: Elaboración propia

Los conceptos iniciales (ver numeral 2.1.2 del Apéndice B del ANEXO 5) proponen tipos de tecnología a implementar para la interfaz. La selección final de la pantalla LCD como tecnología para la interfaz se basó en que ésta permite implementar diferentes tipos de colores, de configuración de la información, mejorando la usabilidad de la estación frente a los demás conceptos.

El desarrollo de los sistemas de ensamble o de seguridad definidos para los componentes clasificados como tipo 4 (ver tabla 3), se realiza en la etapa 3 del capítulo 5 del proyecto.

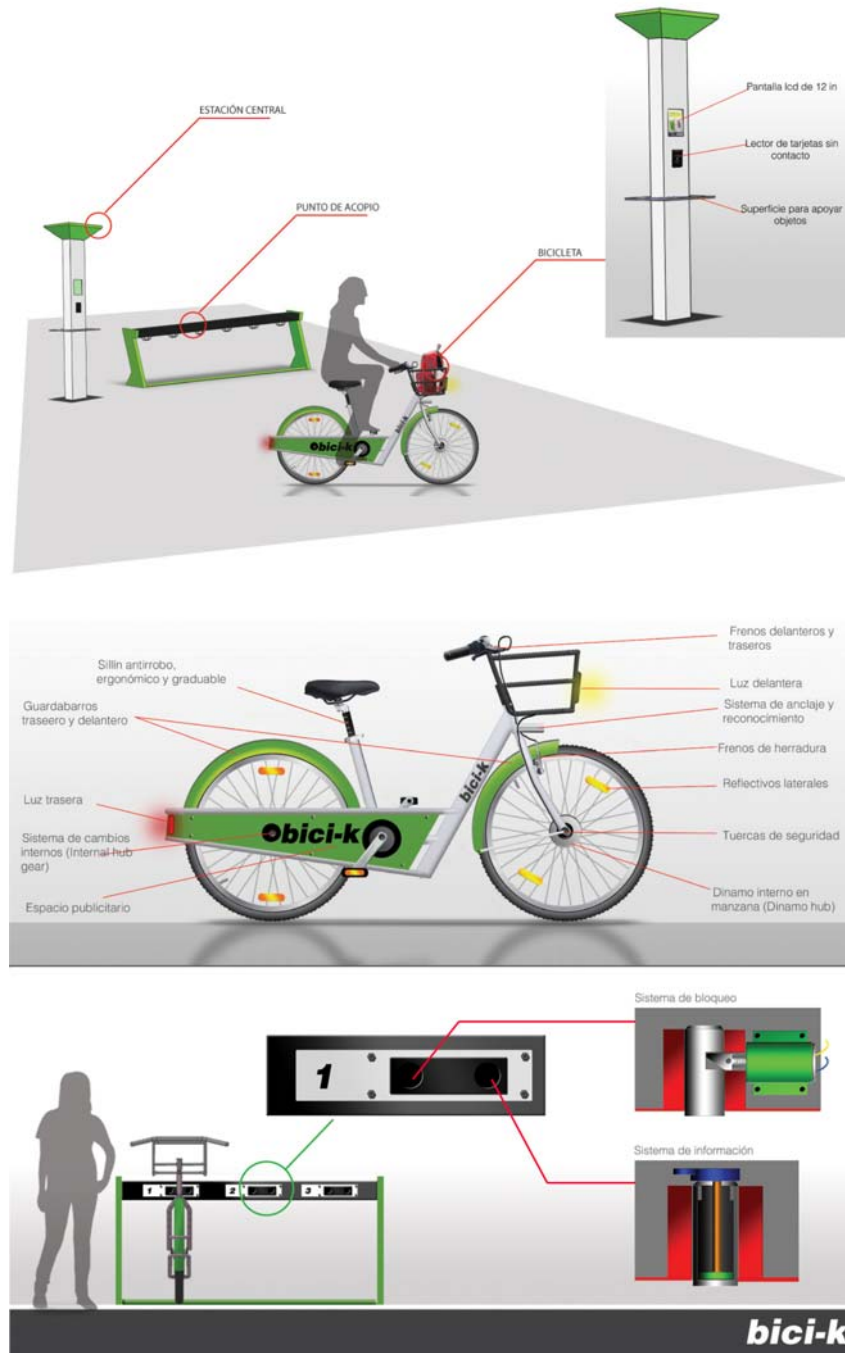
Después de este proceso, se presenta el resultado de la etapa 2: “Desarrollando el concepto”.

5. RESULTADOS ETAPA 2

5.1 CONCEPTO FINAL DEL SISTEMA

Figura 23. Concepto final del sistema Bici-k

Sistema general



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5: ETAPA 3.

DETALLE: MEJORANDO EL CONCEPTO

1. SÍNTESIS DIMENSIONAL

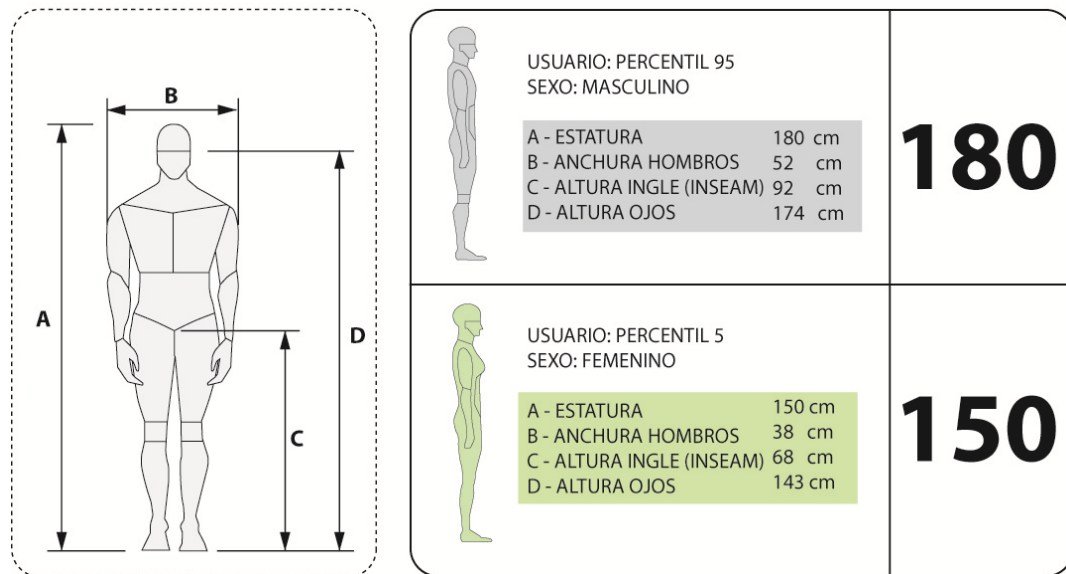
1.1 ERGONOMÍA

Desde el punto de vista dimensional, el sistema bici-k tendrá que ser diseñado para que el máximo de los usuarios objetivo puedan hacer uso del sistema de una manera cómoda y segura. Para ello se analizaron los datos provenientes de un estudio sobre la evolución de estatura en Colombia (Meisel y Vega, 2004) y en especial de los habitantes de antioquia. Según el estudio, la altura promedio de las mujeres y los hombres del departamento de Antioquia es de 160 y 172 centímetros respectivamente, datos muy similares a la altura promedio general de los colombianos (158 y 170).

Dichas alturas fueron una referencia base, mas no determinantes para el dimensionamiento del sistema. Pheasant (2003) y Panero & Zelnik (2004), consideran que es un error diseñar para el usuario promedio y pensar que la satisfacción de éste garantizará la satisfacción de los demás usuarios. Panero propone entonces, ajustarse al percentil 5° y al 95° para servir a la mayor proporción de personas.

Se eligió el perfil femenino del percentil 5° (mujer de 1.50 metros de altura) y el masculino para el 95° (hombre de 1.80 metros de altura) para el análisis de ergonomía. Con ambos percentiles, se estaría garantizando que un rango de personas con estatura entre los 1.50 y los 1.80 metros podrán hacer uso del producto.

Figura 24. Datos generales de antropometría



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Panero y Zelnik (2004).

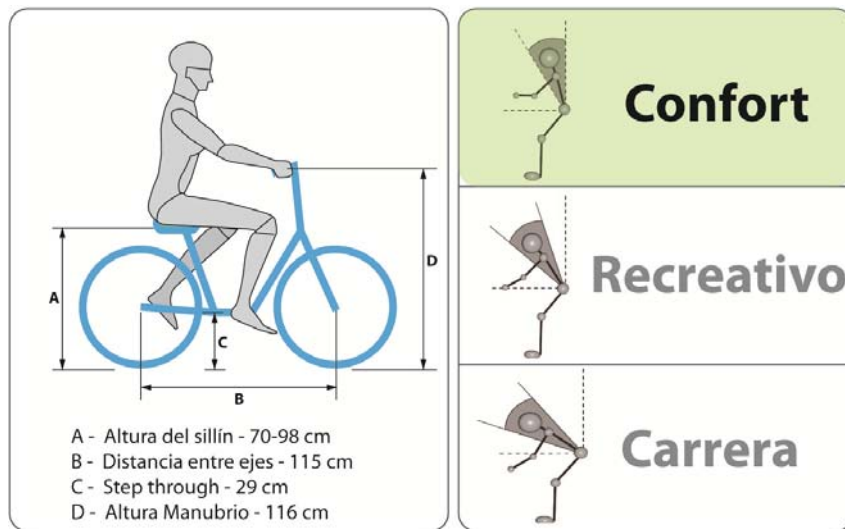
- **Ergonomía de la bicicleta**

Las dimensiones de la bicicleta fueron determinadas con base en el análisis que se realizó del estado del arte, búsqueda en internet³, catálogos, libros, y de la consulta con un experto en la materia.

La posición que asume el usuario al usar una bicicleta urbana es la más confortable comparada con las demás posiciones que se toman con bicicletas recreativas o de carrera. Se determinaron las dimensiones más importantes, como a la altura del sillín, la distancia entre los ejes y altura del manubrio y la altura del “step through” (ver figura 25).

³ The bicycle forest. http://www.bikeforest.com/CAD/saddle_dimensions.php

Figura 25. Datos de ergonomía de la bicicleta y posición de manejo

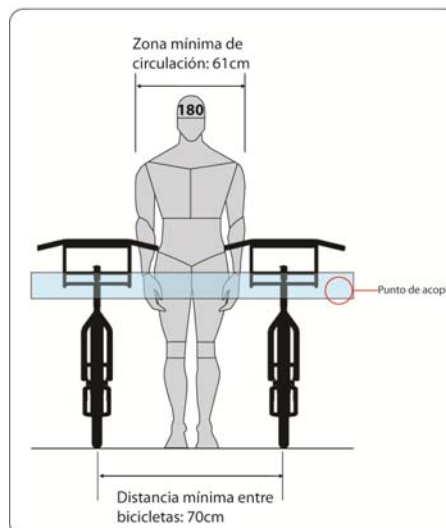


Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Panero y Zelnik (2004).

- **Ergonomía del punto de acopio**

El punto de acopio debe garantizar que los usuarios puedan acceder fácilmente a tomar la bicicleta, para ello se tuvo en cuenta la zona mínima de circulación y a ésta se le adicionó 10 unidades más para que sea más cómodo para el percentil 95. La ergonomía del punto de acopio se muestra en la figura 26.

Figura 26. Ergonomía del punto de acopio

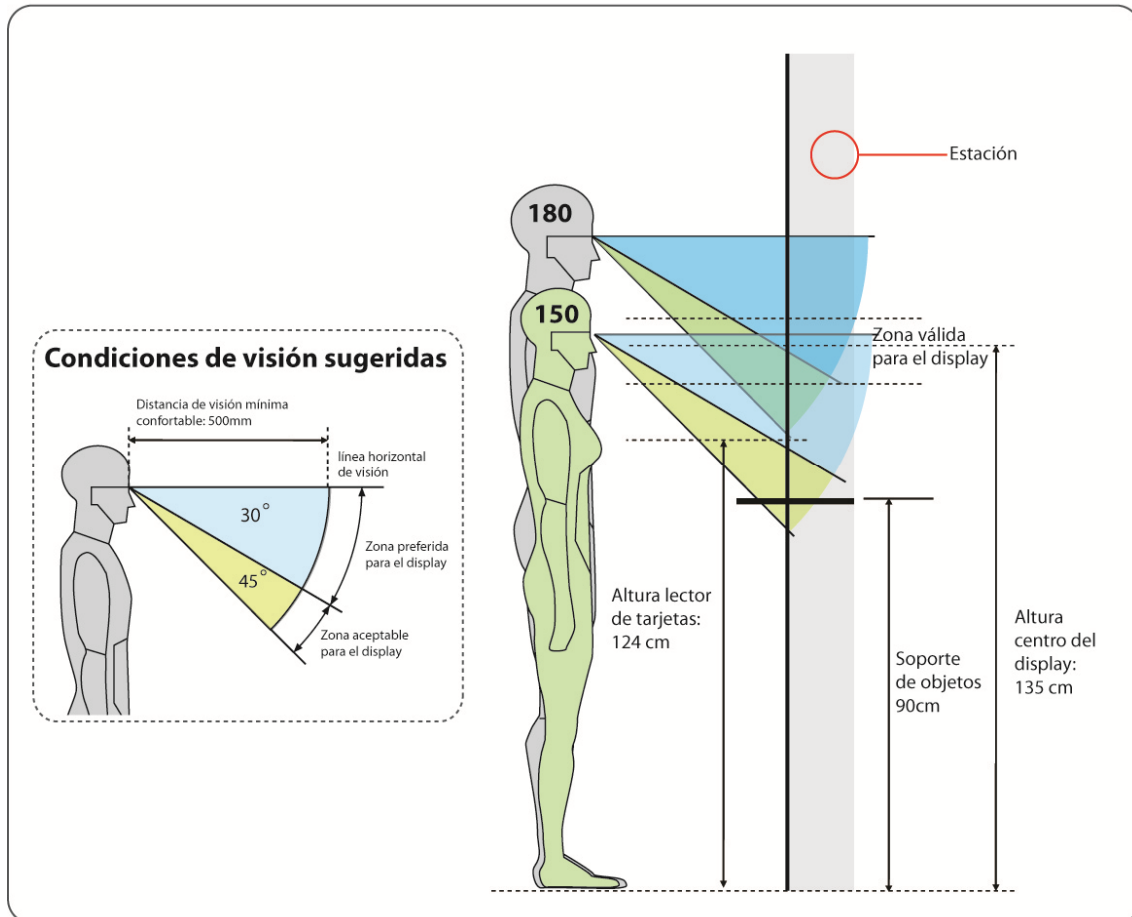


Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Pheasant (2003) y Panero & Zelnik (2004)

- **Ergonomía de la estación central**

Al cruzar los ángulos de visión del percentil 5 con el 95, se determinó una altura válida para ubicar la pantalla, dando como resultado 135 centímetros. De igual manera se determinó la altura del lector de tarjetas y del soporte de objetos (ver figura 27).

Figura 27. Ergonomía de la estación central



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Pheasant (2003) y Panero & Zelnik (2004)

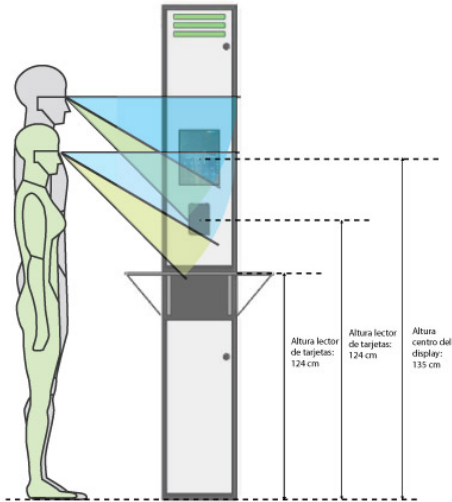
1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Con base en el estudio de ergonomía se procedió a modelar virtualmente la bicicleta y la estación (ver figura 28). Los modelos 3D creados permiten visualizar de manera realista el producto antes de ser construido y servirán para análisis posteriores.

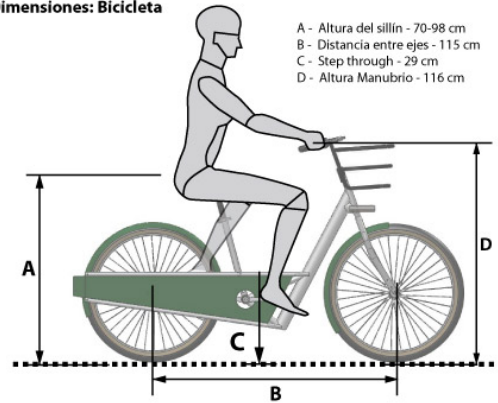
Figura 28. Modelo 3D y dimensionamiento del sistema

Modelación 3D + Ergonomía

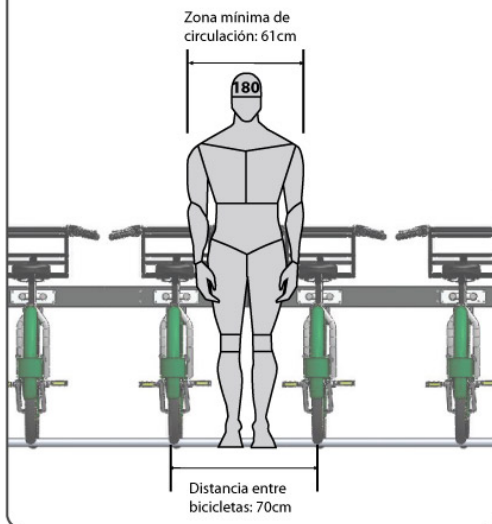
Dimensiones: Estación Central



Dimensiones: Bicicleta



Dimensiones: Punto de acopio



Modelación 3D



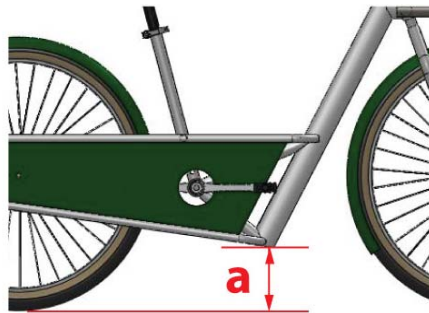
Fuente: Elaboración propia

1.3 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Bici-k es una bicicleta pública que será usada sobre la infraestructura vial de la ciudad de Medellín, esto quiere decir que su diseño debe tener en cuenta ciertos obstáculos que ésta presenta; como lo son los andenes, resaltos, pendientes, entre otros elementos. Desde el punto de vista geométrico, la bicicleta debe estar en la capacidad de sobrepasar dichos obstáculos para garantizar no solo la seguridad de quienes hacen uso de bici-k sino la durabilidad de los componentes.

El punto más crítico de la geometría del marco es la parte baja ilustrada en la figura 29.

Figura 29. Distancia “a” del marco con respecto al suelo.



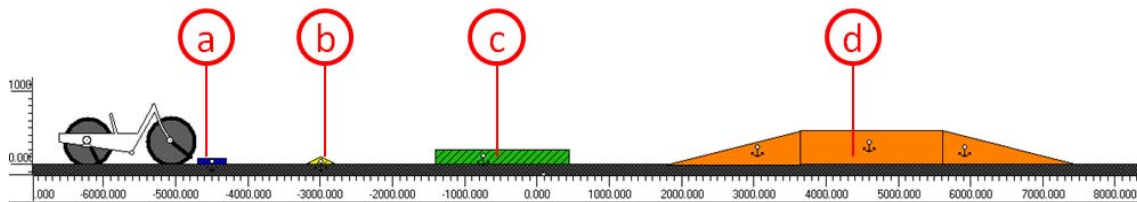
Fuente: Elaboración propia

Para determinar que efectivamente la geometría de Bici-k lograba sobrepasar dichos obstáculos se realizó una simulación virtual en el software Working Model. Los obstáculos que se estudiaron son los siguientes (ver figura 30):

- **Resalto portátil (a):** Utilizado comúnmente en operativos policiales, en zonas escolares a las horas de salida de los estudiantes o en cualquier otra circunstancia en la que se requiera la reducción de los vehículos de forma temporal. Según el Manual de Señalización Vial (Ministerio de Transporte de la República de Colombia, 2004), éste dispositivo tiene una dimensión mínima de 400mm de ancho y una altura no mayor a 8cm.
- **Resalto permanente (b):** Reductor de velocidad de tráfico. Su altura es de de 100mm, y una dimensión mínima de 400mm de ancho.
- **Andén (c):** Con una altura de 200mm.

- **Pendiente empinada (d):** Pendiente de 25 por ciento, es decir, 14 grados de inclinación. 5 veces más que la recomendada por los manuales de diseño de ciclorutas (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1999).

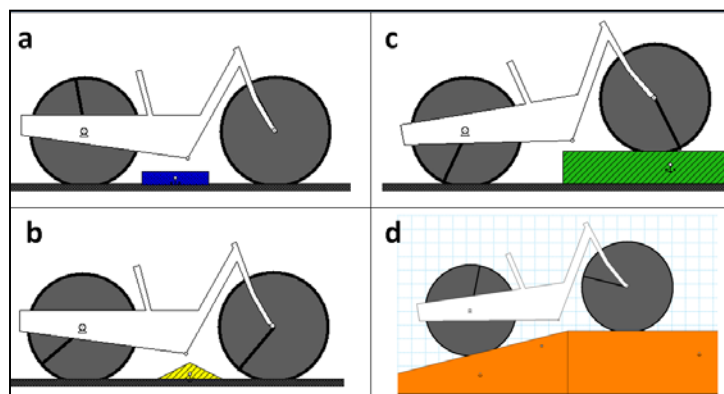
Figura 30. Modelo virtual de prueba para la geometría del marco de bici-K



Fuente: Elaboración propia

Una vez realizada la simulación, se determinó que ninguno de los obstáculos interfiere con la geometría del marco, la figura 31 resume los resultados de la simulación para cada uno de los elementos propuestos.

Figura 31. Imágenes tomadas del análisis geométrico por obstáculos



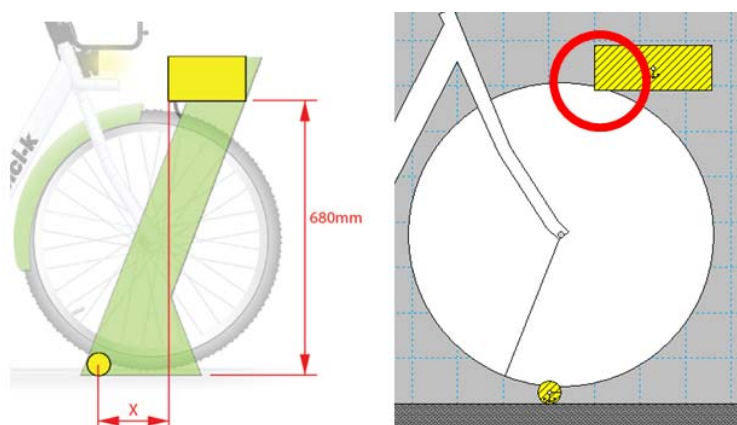
Fuente: Elaboración propia

Con la prueba de la geometría del marco se puede suponer que la bicicleta se desempeñará satisfactoriamente dentro de la infraestructura vial de la ciudad de Medellín. Una prueba de producto sobre estos obstáculos validará los resultados obtenidos.

1.3.1 Análisis de la geometría del punto de acopio

Una medida crítica para el acceso de las bicicletas al punto de acopio es la distancia que hay entre el resalto preventivo y el perfil principal, representada en la figura 32 como “X”.

Figura 32. Distancia del perfil principal estudiada y punto crítico



Fuente: Elaboración propia

Para cierta medida de “X” (ver tabla 8), la bicicleta no podrá ingresar al punto de acopio al presentarse una obstrucción en la rueda delantera. Mediante una simulación virtual, se estudiaron diferentes distancias con el fin de determinar la distancia mínima y la más segura para el acceso de la bicicleta.

- **Resultados**

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Resultados del análisis de la geometría del punto de acopio

Distancia X (mm)	Obstrucción	Consideraciones
100	Si	La bicicleta no logra entrar al punto de acopio
150	Si	Entrada forzosa de la llanta
200	No	Distancia mínima para que no golpee la llanta con el perfil.
250	No	Hay posibilidades de choque entre el perfil y la llanta cuando ésta rebota en el resalto preventivo.
300	No	Aunque exista un pequeño rebote entre la llanta y el resalto preventivo, no hay choque entre la llanta y el perfil principal. La distancia es segura

Fuente: Elaboración propia

La distancia mínima encontrada fue con un “X” igual a 200 milímetros, pero se opta por tomar la distancia de 300 milímetros. Esto con el fin de evitar posibles golpes con el perfil superior del punto de acopio al presentarse un rebote de la llanta con el resalto preventivo.

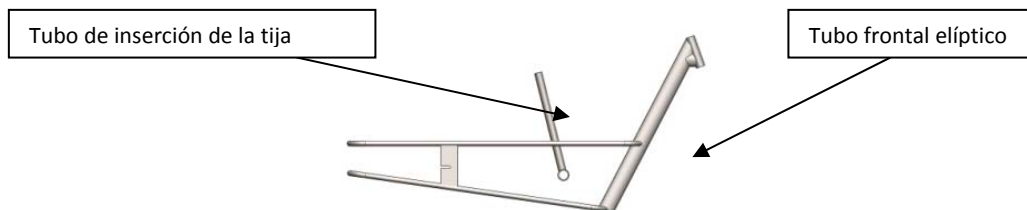
2. SÍNTESIS ESTRUCTURAL

A partir del concepto final se desarrolla el análisis estructural para el marco y la dirección

2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO DEL MARCO

Éste análisis se hace con el fin de determinar la forma más confiable de conectar el tubo de inserción de la tija con el tubo frontal elíptico (ver figura 33) para asegurar que la bicicleta resista el peso del usuario con un factor de seguridad de 1,5.

Figura 33. Geometría inicial del concepto final



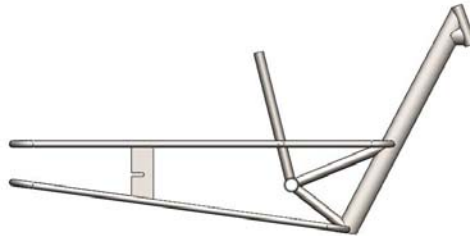
Fuente: Elaboración propia

Se decide realizar la conexión mediante dos tubos, uno sometido a flexión y el otro a compresión. Se plantean dos configuraciones diferentes de estos tubos (ver numeral 1 del ANEXO 6).

Después de realizar tres análisis a las dos configuraciones, se observó que los cambios en los esfuerzos no eran significativos entre las dos estructuras (2 a 5 Mpa). Por lo tanto, hacer la elección de una de las configuraciones de la estructura basada en los esfuerzos que presentan, no era una decisión acertada. Se decide continuar con la configuración 2 (ver figura 34), pues debido a su estructura triangular, conecta el tubo

de inserción de la tija con el tubo central elíptico en dos puntos, brindado así mayor estabilidad al marco.

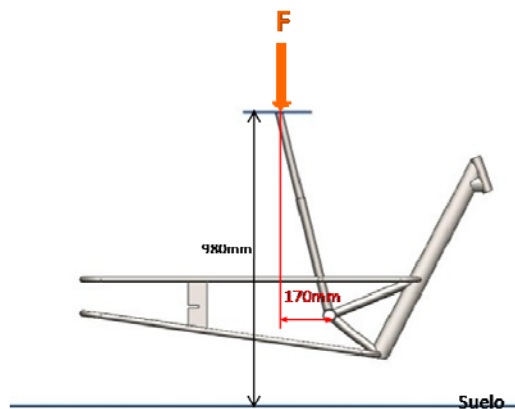
Figura 34. Estructura final del marco.



Fuente: Elaboración propia

Para este modelo final (ver figura 34), se realizó un análisis con 3 tallas de mallado diferentes (de 10mm, 5mm y 3mm respectivamente).

Figura 35. Punto máximo de ubicación del sillín.

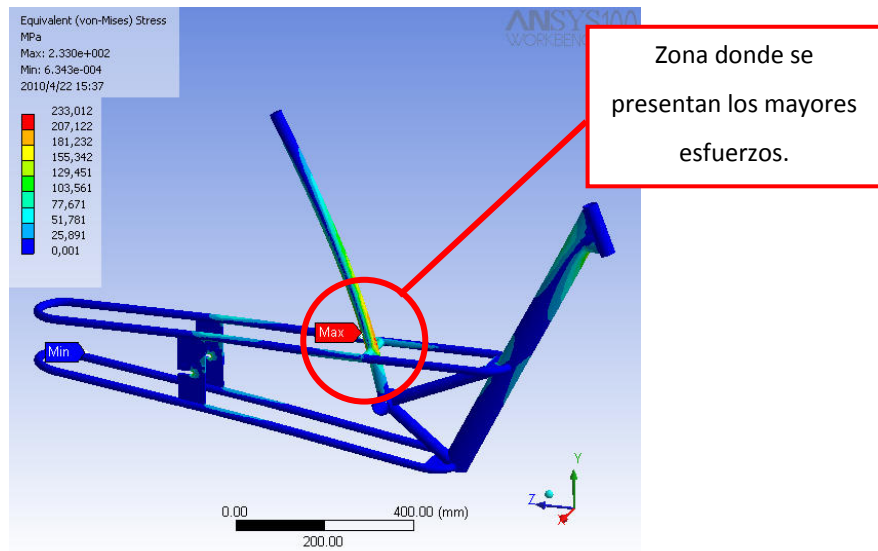


Fuente: Elaboración propia

Se aplicó la fuerza en el punto donde el momento con respecto a la caja del pedalier es máximo (punto máximo de ubicación del sillín). Para cada malla, los resultados de los esfuerzos son de de 233.012 MPa, 241.363 MPa y 242.315 MPa respectivamnete. Estos resultados muestran un aumento en los esfuerzos no mayor al 3,9%. Aunque no se llegó a una convergencia (debido a la capacidad de cómputo), los cambios en los esfuerzos son aceptables dentro del rango normal en que deben cambiar éstos entre

un mallado y otro. El modelo final soporta una carga de 100kg en el mayor brazo de momento con un factor de seguridad de 1,5.

Figura 36. Esfuerzos del marco sometido a una carga de 1470 N.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 36, se observa que los esfuerzos mayores se concentran en la zona donde el tubo de inserción de la tija conecta con la estructura. Esto es acorde con los resultados que se esperaban antes de realizar el análisis, pues esta zona es la primera que reacciona a dichos esfuerzos. Es curioso ver que los tubos que forman el triángulo con el tubo elíptico están mostrando esfuerzos de casi 0 MPa, esto puede indicar que para el análisis estático, estos tubos no están reaccionando a la fuerza. Esta estructura triangular le puede dar más estabilidad al marco en un análisis dinámico. El proceso total del análisis estático del marco se encuentra en el ANEXO 6.

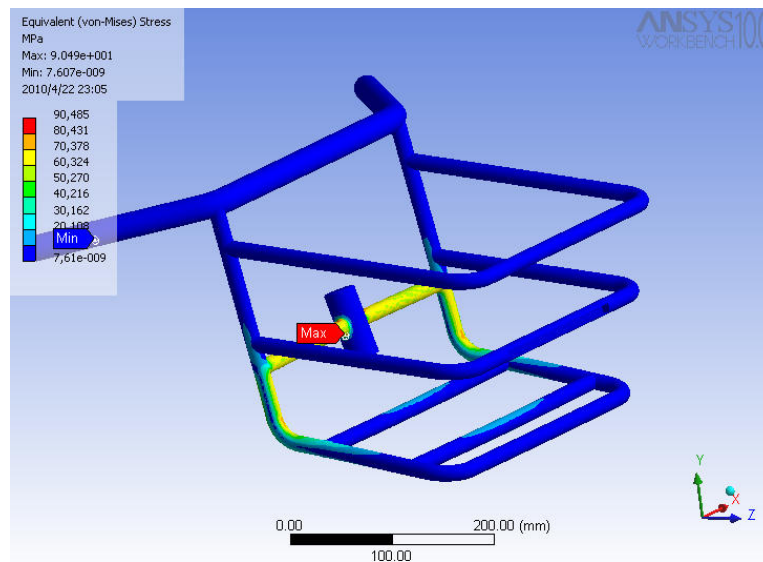
El resultado del análisis muestra que el marco no presenta esfuerzos mayores a 250 MPa (resistencia del acero estructural), por tanto, desde el punto de vista estático, el diseño del marco es viable para ser implementado en la bicicleta.

2.2 ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA DIRECCIÓN

El análisis de la dirección se hace con el fin de comprobar virtualmente si el compartimiento de carga soporta el peso establecido en el PDS (30Kg).

El esfuerzo máximo que se presenta es de 91 MPa (ver figura 37). Los cuales tienen incluido el factor seguridad de 1,5 (la masa de 30kg se multiplicó por la gravedad y este resultado, se multiplicó por 1,5), lo cual quiere decir que el compartimiento de carga soporta los 30 Kg con un factor de seguridad de 4 aproximadamente.

Figura 37. Esfuerzos de la dirección, sometida a una fuerza de 441 N.



Fuente: Elaboración propia

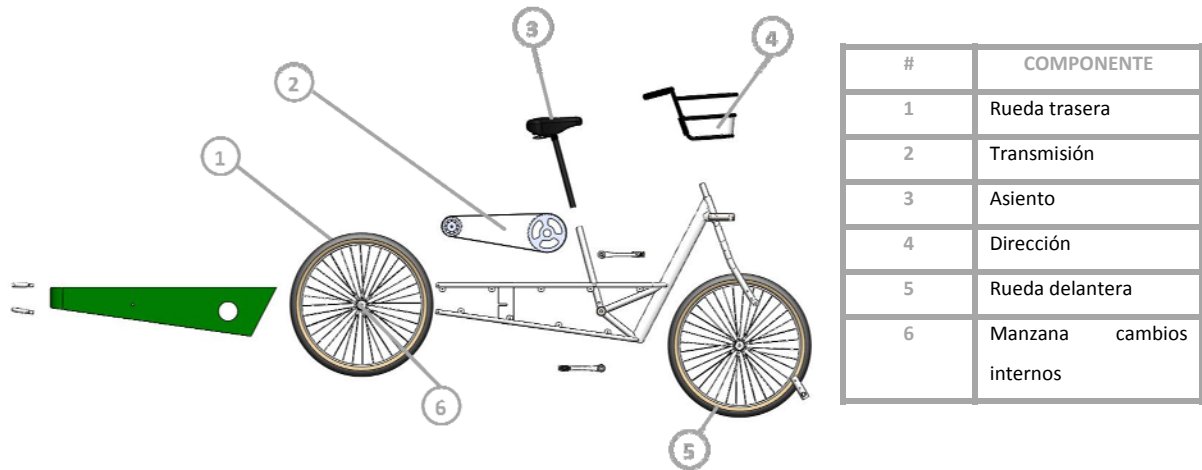
El resultado del análisis muestra que el compartimiento de carga no presenta esfuerzos mayores a 250 MPa (resistencia del acero estructural), por tanto, desde el punto de vista estático, el diseño de la estructura del compartimiento de carga es viable para ser implementado en la bicicleta.

3. ENSAMBLE Y MANUFACTURA

En esta sección de ensamble y manufactura, el equipo de diseño se centra especialmente en la seguridad del sistema de movilidad. En la figura 38, se muestran

los componentes a los cuales se les debe diseñar un proceso de ensamble diferente a los tradicionales o un sistema de seguridad antirrobo que dificulte el acceso a éstos.

Figura 38. Partes a las cuales se les propone un ensamble que les brinde seguridad.

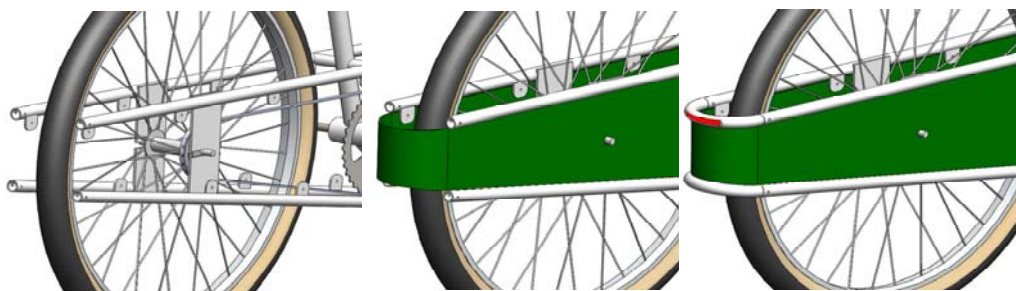


Fuente: Elaboración propia

- **Rueda trasera:** la finalidad es que el desensamble de esta sea un proceso de varios pasos y que el acceso a ésta sea más limitado que el de una bicicleta tradicional.

La figura 39 muestra el ensamble en la parte posterior de la bicicleta. Este asegura la rueda trasera, la manzana de cambios interna y la transmisión.

Figura 39. Detalle ensamble trasero de la bicicleta

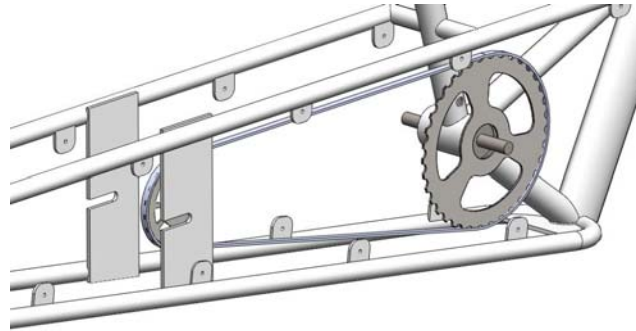


Fuente: Elaboración propia

- **Transmisión:** Debido a que en la matriz de puntuación de las partes estándar (ver numeral 4 del Apéndice A del ANEXO 5), el resultado de los tres sistemas de

transmisión evaluados fue similar (los tres cumplen de manera satisfactoria con los requerimientos), se decide que el diseño del marco debe ser viable para ensamblarle cualquiera de los tres sistemas (cadena, correa y cardán). La geometría del marco propuesto (ver figura 40), es viable para cualquiera de los sistemas de transmisión.

Figura 40. Detalle ensamble transmisión de la bicicleta



Fuente: Elaboración propia

- **Asiento:** El sistema de seguridad del asiento (ver figura 41) es una guaya que conecta la parte inferior de la tija con un remache en la parte inferior del tubo de inserción de la tija. La guaya permite que el mayor desplazamiento del sillín se haga hasta el tope establecido en el PDS, haciendo que el usuario no tenga acceso a visualizar la guaya.

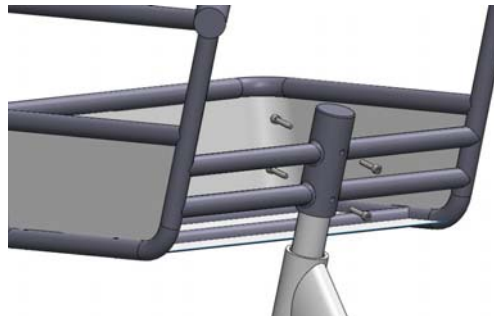
Figura 41. Detalle ensamble de la tija.



Fuente: Elaboración propia

- **Dirección:** se ensambla directamente al tenedor. El sistema de seguridad (aunque no es anti robo), radica en que la dirección no le sirve a un tenedor estándar (ver figura 42).

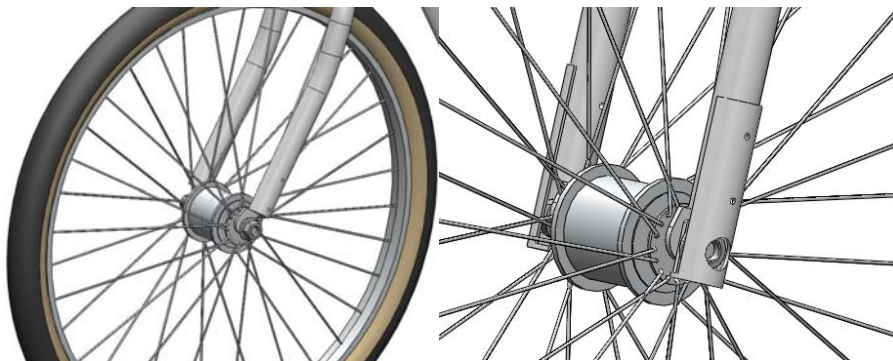
Figura 42. Detalle ensamble de la dirección a la bicicleta



Fuente: Elaboración propia

- **Rueda delantera:** El sistema de seguridad consiste en una uña fijada por remaches, la cual permite sólo una forma de acceso a la tuerca de seguridad del sistema (ver figura 43).

Figura 43. Detalle ensamble de la rueda delantera a la bicicleta



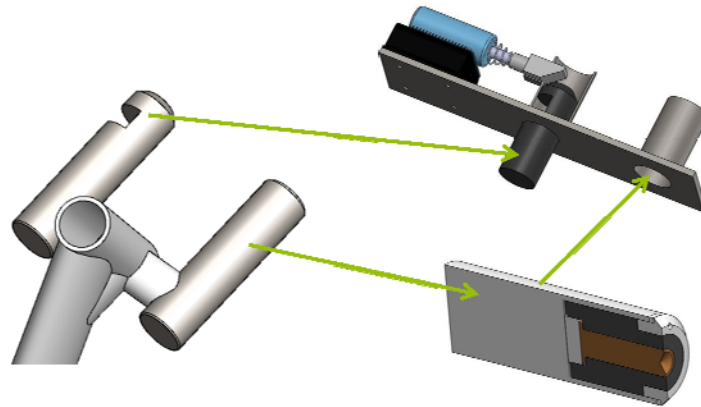
Fuente: Elaboración propia

Este sistema, además de proteger el acceso a la rueda delantera, sirve de sistema de seguridad para el dinamo de manzana.

Además de los ensambles anteriores descritos para la bicicleta, se presenta el ensamble de la bicicleta total al punto de acopio.

- **Mecanismo de bloqueo para anclar la bicicleta en el punto de acopio:** la figura 44 muestra el detalle del concepto desarrollado para el mecanismo de bloqueo en la generación de conceptos.

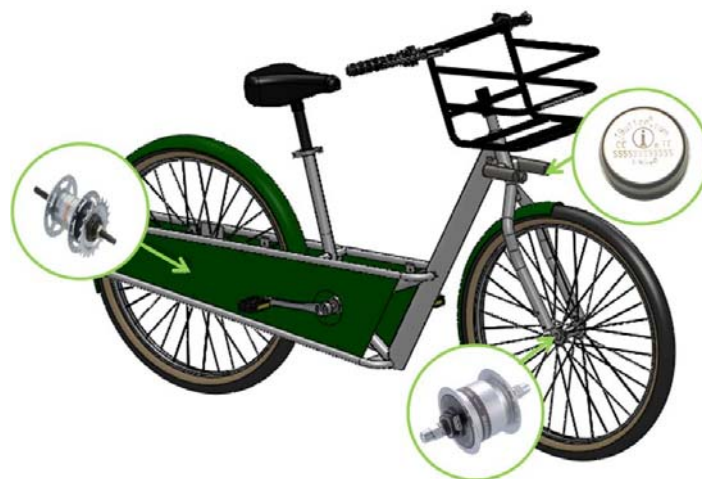
Figura 44. Sistema de bloqueo de la bicicleta y el punto de acopio



Fuente: Elaboración propia

Bici-k cuenta con una serie de componentes especiales (por la función que cumplen y por no ser comerciales en el mercado local) que hacen que la bicicleta sea más segura, práctica y eficiente. La figura 45 muestra estos componentes.

Figura 45. Descripción de componentes especiales de bici-k



Fuente: Elaboración propia




Tabla 9. Descripción de componentes especiales de bici-k

Componentes especiales	
<p>lbutton DS1990A</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un soporte de datos robusto, que sirve como un número de registro electrónico para la identificación automática. Los datos se transfieren en serie a través del protocolo 1-Wire, que sólo requiere un cable de datos único y un retorno a tierra. Cada DS1990A tiene un número único de registro garantizado de 64-bit que permite la trazabilidad absoluta. El paquete durable de acero inoxidable es altamente resistente a los peligros medioambientales como la suciedad, la humedad y golpes • Se caracteriza por su bajo costo
<p>Dinamo de buje</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere baterías • Menor resistencia al rodamiento • Peso ligero • Cableado con enchufes • Sellado al contacto, refuerza la resistencia al agua • Compacto • De 2,4 y 3 vatios de potencia de salida • 6 voltios de salida
<p>Cambio interno de manzana -3 velocidades</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • La acción del cambio de marchas es independiente del pedaleo. Se puede cambiar de marcha en cualquier momento • Suaviza la acción del cambio mientras se pedalea • La robustez de los planetarios garantizan años de funcionamiento sin problemas

Fuente: Elaboración propia

3.1 MANUFACTURA

Tabla 10. Procesos de manufactura

Pieza	Proceso	Foto
<p>Bicicleta</p>	<p>Para la construcción de la bicicleta se contó con la ayuda de marcos Doble A, una empresa dedicada a la construcción de marcos de bicicleta. El proceso inicia con la impresión de una vista lateral de la modelación de la bicicleta en escala 1:1, para poder ubicar los tubos cortados encima de este y unirlos mediante puntos de soldadura, teniendo como guía el croquis de la impresión. Una vez soldados todos los tubos del marco se lleva a una mesa de alineación, donde se garantiza que estos queden en la posición y ángulo correcto para poder aplicar el cordón de soldadura a todas las juntas.</p> <p>Este proceso solo realiza por primera vez para hacer el prototipo, pues una vez se desee producir este tipo de marco, se realiza un molde con base al prototipo para acomodar los tubos de maneja ágil y adecuada para soldar, y evitar de esta manera tener que llevar el marco al proceso de alineación</p>	
<p>Punto de acopio</p>	<p>El punto de acopio se fabricó mediante dos técnicas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El perfil central se fabricó en madera MDF con el fin de hacer más fácil y económica la construcción del prototipo, cumpliendo con todos los requerimientos necesarios para que funcionara como si fuera de acero, para garantizar, la confiabilidad de las pruebas de usuario. • Las bases se fabricaron en lámina metálica debido a la necesidad de dar mayor estructura al punto de acopio. Para la fabricación de estas se hizo una plantilla a escala 1:1 (con la forma de las bases) que se le entregó a un operario que se encargó de cortar la lámina con la ayuda de la plantilla siguiendo la forma requerida, finalmente se dobló y soldó una sección de lámina con la que se hizo el contorno de las bases • El sobresalto se unió a las bases por medio de tornillos internos, para evitar que estos afectaran la estética del punto de acopio. Se hizo de esta manera y no soldado para poder tener la facilidad de transportar y almacenar el prototipo. 	
<p>Estación central</p>	<p>Debido a que la estación, solo se necesitaría que fuera en acero en el momento de la implementación y requiera estar a la intemperie en un ambiente público donde la seguridad para los componentes internos es primordial, además de no requerir de ningún tipo de estructura, se hizo completamente en madera MDF, pero garantizado dar un acabado igual al que podría tener la estación en acero, para darle al usuario la misma sensación que de uso.</p> <p>Para la construcción se utilizaron los planos con las medidas básicas para cortar y pegar la madera a las distancias adecuadas</p>	

Fuente: Elaboración propia

4. DISEÑO GRÁFICO

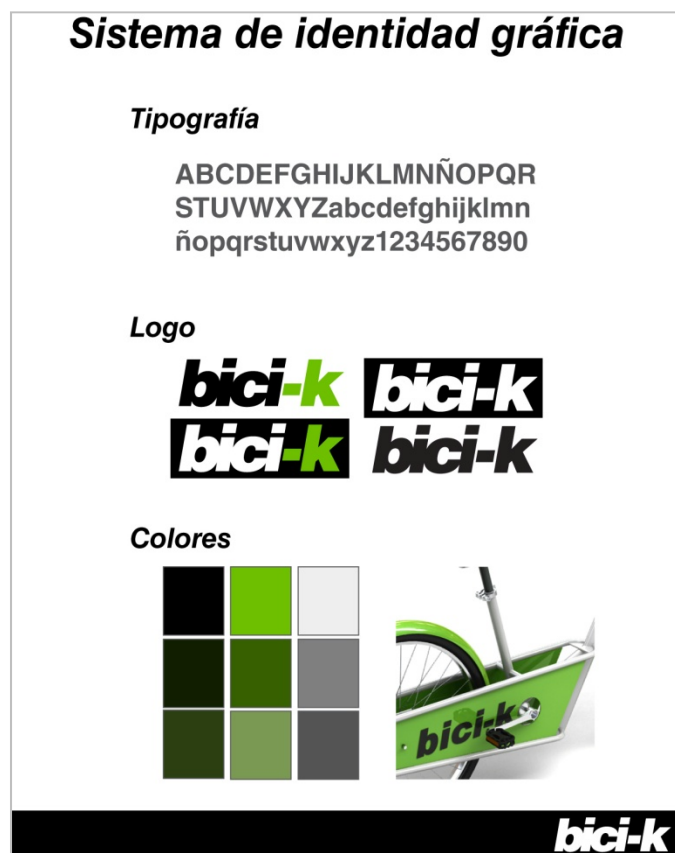
El nombre del proyecto surge después de haber realizado una lluvia de ideas por parte de los integrantes del equipo. Bici-k se pronuncia como “bici-ca” y es la combinación de bicicleta “Bici” y de los atributos públi-ca, tecnológi-ca, ecológi-ca y cívi-ca. Es un nombre corto, fácil de recordar y de relacionar con el sistema.

Los colores fueron seleccionados para comunicar el aspecto ecológico o amigable con el medio ambiente. En cuanto a la tipografía se buscó que fuera legible y que a su vez tuviera relación con el lenguaje formal del producto.

- **Sistema de identidad gráfica**

El resultado del diseño gráfico culminó con la definición del sistema de identidad gráfica compuesto por la tipografía, el logo definitivo y los colores (Ver figura X).

Figura 46. Sistema de identidad gráfica de bici-k



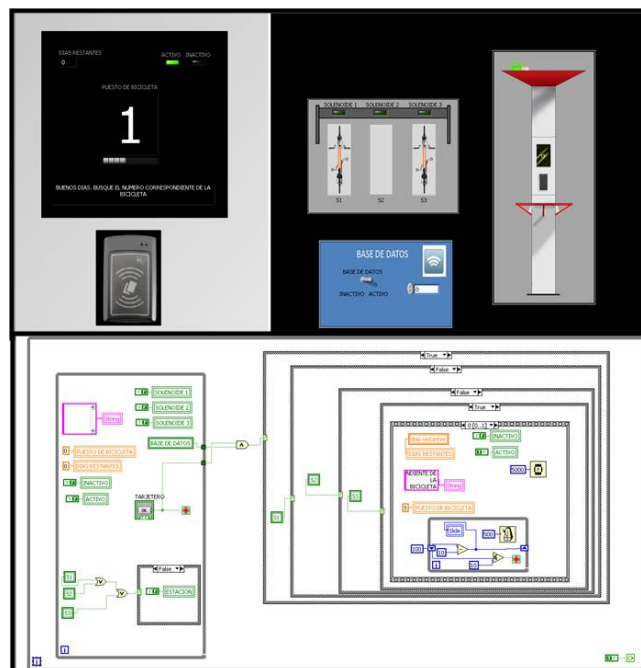
Fuente: Elaboración propia

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para diseñar el programa de control del sistema de la estación, fue necesario desarrollar dos versiones.

- **Versión 1:** Para diseñar la versión 1 del programa, no se siguió ninguna metodología específica ni estructura clara para el diseño del programa. Esto hizo el programa no tuviera la robustez (confiabilidad de funcionamiento) esperada. Dentro de los problemas que presentó se encuentra el de repetición de acciones sin que se activara la señal para ordenar dichas acciones. Debido a esto, se realiza una nueva versión, en la cual se corrigen los errores presentados en la versión 1. La figura 47 muestra la primera versión del programa de control de la estación

Figura 47. Versión 1 de programa de control de la estación



Fuente: elaboración propia

- **Versión 2:** Para asegurar una robustez del sistema de control, en esta segunda versión se utilizó el método de máquinas de estado finito. Además de la

confiabilidad que este brinda, también permite realizar varias acciones al mismo tiempo, para Bici-K en específico, se debe activar el sistema de bloqueo de la bicicleta y mostrar al mismo tiempo la información en la pantalla de la estación. Por último el diseño del control basado en esta técnica garantiza alta seguridad en cuanto a fallos que puedan presentarse. En la siguiente sección se explica el proceso llevado a cabo para diseñar la versión 2 y definitiva del programa.

5.1 DISEÑO DEL PROGRAMA

El método propone que para la generación de máquinas de estado finito se debe identificar y entender de manera muy clara un problema definido con sus respectivas entradas y salidas, como se observa en la figura 48 (donde las acciones que se encuentran en azul representan entradas y salidas virtuales dentro del programa), y los que se encuentran en negro representan las físicas (fuera del programa), las cuales representan los sensores y actuadores que se encuentran en la estación.

Figura 48. Definición de entradas y salidas

entradas	salidas
•Sensor 1	•Solenoides 1
•Sensor 2	•Solenoides 2
•Sensor 3	•Solenoides 3
•Lector de tarjetas	•Bombillos rojo y verde
•Base de datos	•Pantalla 0
•Días restantes de suscripción	•Pantalla 2
	•Pantalla 3
	•Proceso fallido
	•Proceso exitoso
	•No hay bicicletas
	•Barra deslizable
	•Puesto de bicicleta
	•Días de suscripción
	•mensaje

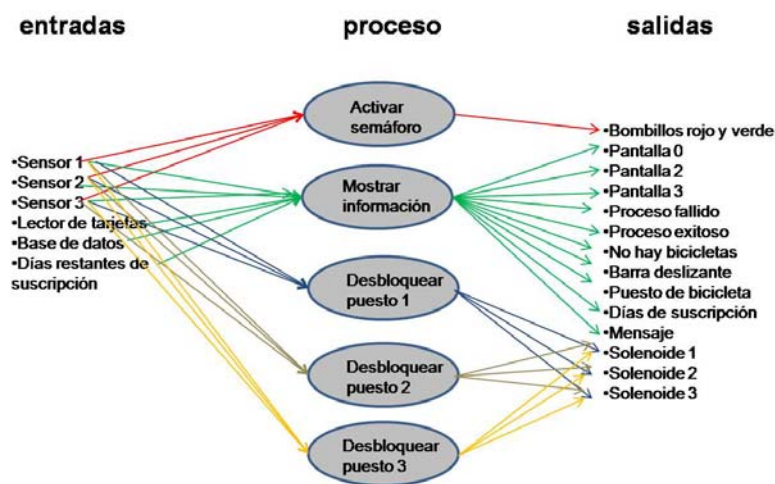
Fuente: elaboración propia

Los sistemas de control reciben un número de estímulos (entradas) provenientes de sensores que producen acciones (salidas) mediante un proceso (que se ve definido por las acciones a tomar dentro del programa). La correcta identificación de estos procesos establece el número de máquinas de estado finito que pueda tener el problema, pues

estos se determinan por la independencia de dichos procesos dentro de la aplicación en general.

Al dividir los procesos en máquinas de estado finito independientes, permite que el programa pueda ejecutar varias acciones al mismo tiempo, de forma que los procesos que intervienen en el programa se dividieron en: mostrar información (pantalla), desbloquear puesto 1 (solenoides 1), desbloquear puesto 2 (solenoides 2), desbloquear puesto 3 (solenoides 3) y activar semáforo. A cada uno de estos procesos se les identificó la relación que tuvieran con las entradas y salidas que los afectara de forma independiente (ver figura 49)

Figura 49. División de procesos y relación de estos con las entradas y salidas



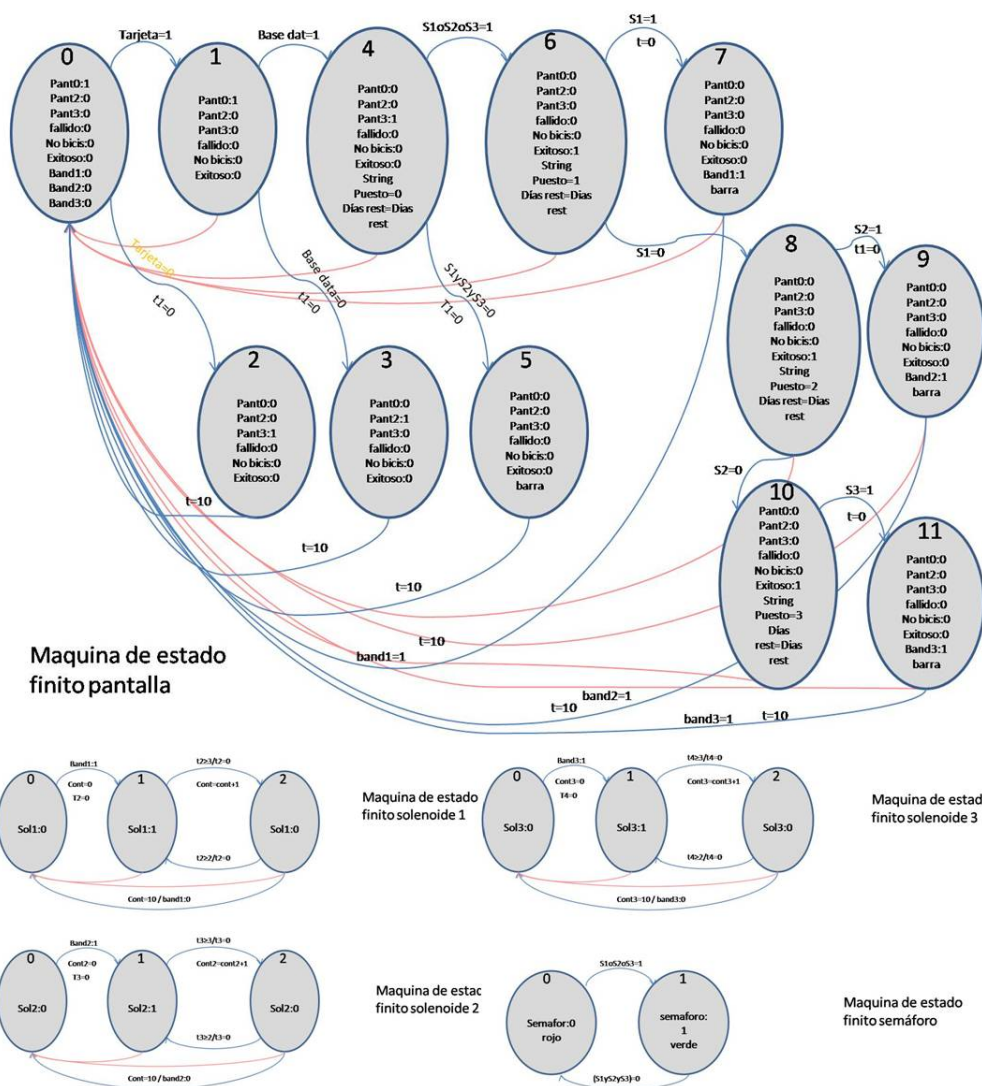
Fuente: elaboración propia

Los estados representan todas las posibles soluciones o acciones a tomar dentro de cada una de las máquinas de estado que se encuentran dentro del mismo problema. Cuando la aplicación corre los estados cambian de un tiempo a otro para dar rumbo al programa. (Wagner. Ruedi. Wagner. Wolstenholme. 2006)

Estas máquinas son representadas por un diagrama de estado de transición (ver figura x). Estos diagramas usan dos elementos:

- El círculo para denotar el estado: en este se define la actividad a realizar o el estado de las salidas
- El arco o flecha transición: encima de este se denota la condición para generar la transición de un estado a otro, el cual se encarga de dar inicio o fin a una actividad

Figura 50. Diagramas de estado de las máquinas de estado finito que intervienen en el programa

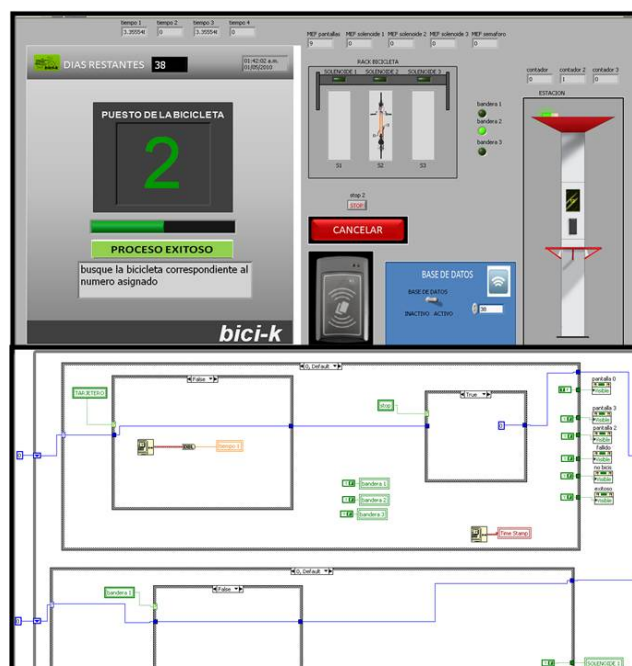


Fuente: elaboración propia

Una vez el funcionamiento de la máquina este bien definido dentro de dichos diagramas se procede a llevarlos a la programación (ver figura 50). Para la implementación de estas máquinas de estado finito, Murillo (2010) sugiere que es necesario precisar varios puntos:

- Las variables incluidas dentro de los círculos son variables de salida (actuadores), las cuales tienen también su valor lógico asociado.
- Las variables que están acompañando las flechas que unen los estados son variables de entrada (sensores) que provocan los cambios de estado.
- Las flechas que unen los estados (círculos) son los cambios de estado, pertenecen a los estados de donde salen.
- Los números incluidos dentro de los estados (círculos) son la numeración de los estados.
- Cuando existe más de un cambio de estado (estados 1 y 2), debe establecerse la prioridad que está determinada por la flecha que va a los estados más internos (números bajos) y en orden de prioridad hasta las que van a los estados más externos (números altos)

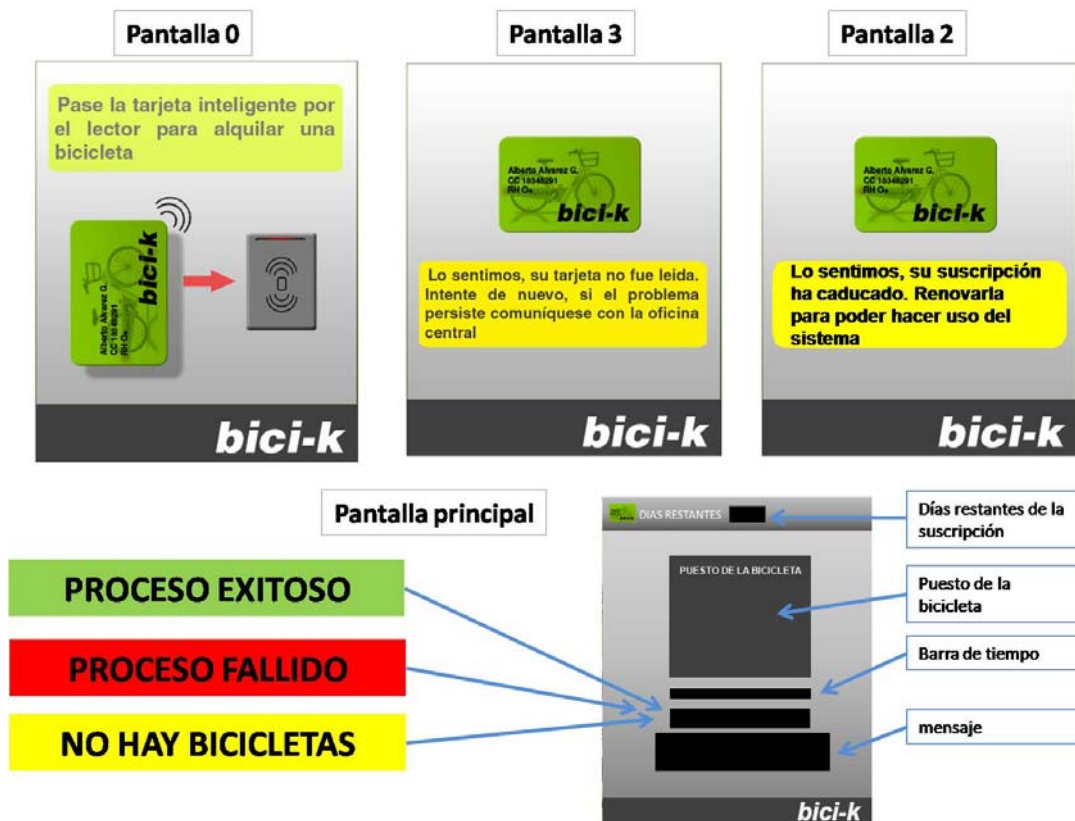
Figura 51. Segunda versión del programa de control de la estación



Fuente: elaboración propia

El programa cuenta con 4 pantallazos (ver figura 52) con el fin de hacer la interacción con el usuario mucho más amigable. La pantalla principal cuenta con la información necesaria para que el usuario haga uso del sistema, la cual esta dividida en: puesto de la bicicleta, días restantes de suscripción, barra de mensajes y barra deslizante para informar el tiempo que la pantalla permanecerá mostrando la información.

Figura 52. Pantallas que intervienen el programa



Fuente: elaboración propia

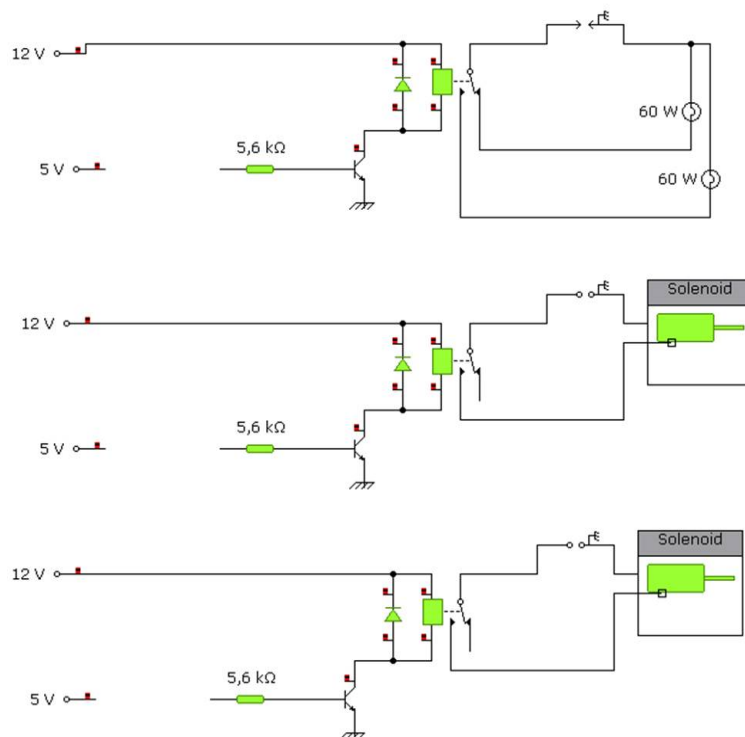
5.2 DISEÑO DE HARDWARE

Para poder activar los bombillos del semáforo indicador y los solenoides para desbloquear las bicicletas, es necesario diseñar un circuito electrónico que se conecte a la tarjeta de adquisición de datos NI6009, debido a que estos elementos funcionan a

110 voltios, lo que hace imposible que se puedan conectar directamente a la tarjeta de adquisición de datos.

El principio de dicho circuito se basa en llevar la señal de la tarjeta de adquisición de datos a un relé que se encarga de accionar la señal de 110 voltios lo que permite activar o desactivar los elementos eléctricos de la estación.

Figura 53. Diseño esquemático del circuito



Fuente: elaboración propia

En la figura 53 se puede observar el diseño esquemático del circuito, donde se seleccionaron los componentes que puedan funcionar de manera adecuada según lo requerido. En este caso se usaron relés de 12 voltios que soporten una corriente de hasta 10 amperios a 110 voltios, pues el solenoide puede consumir hasta 4 amperios, por lo que es conveniente dejar un margen de seguridad amplio para evitar el calentamiento de los componentes electrónicos, alargando su vida útil. Además se adiciono un diodo 1n4001 con el fin de proteger el transistor y darle más seguridad al circuito. Una vez hecho esto se seleccionó el transistor, que se encarga de darle la

corriente necesaria al relé para que se active, en este caso un transistor npn 2N2222 es suficiente para cumplir dicha función. Posteriormente se puede calcular la resistencia de base del transistor para que este funcione adecuadamente, dando como resultado una resistencia de 5,6k (ver figura 54).

Figura 54. Cálculos de resistencia base

Calculo de resistencia de base del transistor 2N2222, para activar un relé de 12v

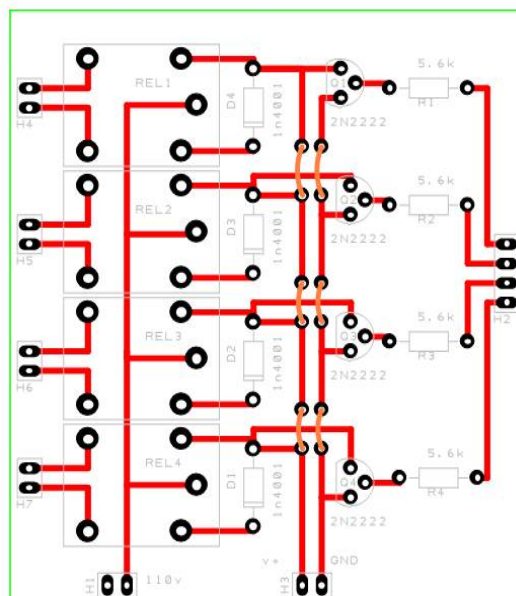
$I_c=0,090A$ ---corriente de colector relé
 β teorico= 200 ---transistor 2N2222
 β real= 200/5
 β real=40
 β real= I_c/β
 $I_\beta=0,090A/40$
 $I_\beta=2,25*10^{-3} A$
 $I_\beta=0,00225A$

Resistencia de base= R_B
 $R_B= v_B-0,7/ I_\beta$
 $R_B= 12v-0,7/0,00225$
 $R_B= 5022,22\Omega$
 $R_B=5,6k$

Fuente: elaboración propia

Después se procedió al diseño del circuito en el software (Crocodile technology 6.10) para su posterior impresión y ensamble (ver figura 55)

Figura 55. Diseño de circuito impreso



Fuente: elaboración propia

6. MATERIALIZACIÓN DEL PRODUCTO

Figura 56. Algunas de las imágenes de construcción del prototipo

Materialización del sistema



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Costos totales del sistema

MANUFACTURA		Horas	\$/hora	TOTAL
Horas taller		3	22000	66000
ENSAMBLE		2	3600	7200
Manufactura		1	66000	66000
		100	50000	5000000
		500	50000	25000000
Ensamble		1	7200	7200
		100	3600	360000
		500	3600	1800000
VALOR TOTAL ESTACION				
1	\$	2.062.791,00		
100	\$	197.407.500,00		
500	\$	987.570.500,00		
CANTIDAD	MARCO + DIRECCIÓN			
PROTOTIPO	\$	200.947,70		
100	\$	11.988.569,53		
500	\$	58.624.829,53		
VALOR TOTAL BICICLETA				
Cantidad		1	100	500
CON INTERNAL HUB		\$ 689.413,70	\$ 56.656.869,53	\$ 281.966.329,53
CAMBIOS NORMALES		\$ 546.496,70	\$ 42.365.169,53	\$ 210.507.829,53
SOLO PACHA TRASERA		\$ 534.846,70	\$ 41.200.169,53	\$ 204.682.829,53

La tabla 11 muestra los costos aproximados del sistema según la cantidad de bicicletas y sus configuraciones deseadas. No se tuvo en cuenta los costos de almacenamiento y de instalación.

Debido a los costos de la bicicleta y la estación, se recomienda que la publicidad sea un elemento clave dentro de la financiación del sistema.

7. RESULTADO ETAPA 3

7.1 MODELACIÓN 3D FINAL DEL PRODUCTO

Figura 57. Modelación 3D final de sistema



Fuente: Elaboración propia

7.2 PLANOS DE TALLER Y DE ENSAMBLE

Los planos de taller, de sub ensambles y de ensambles se encuentran en el ANEXO 13.

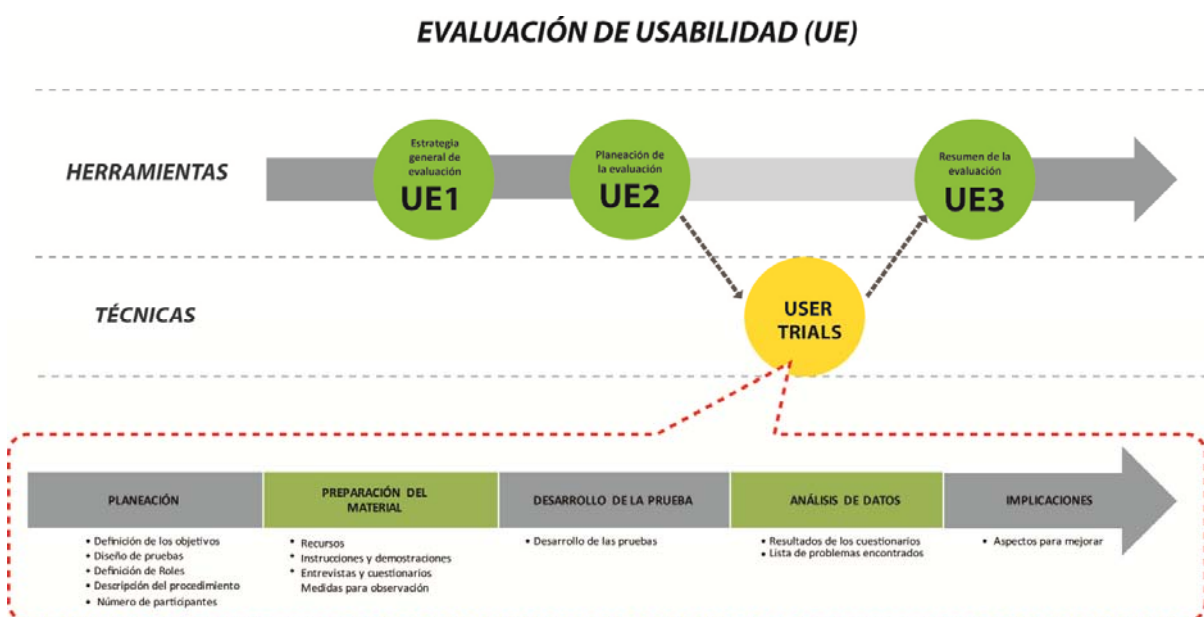
CAPITULO 6: ETAPA 4.

EVALUACIÓN: EVALUANDO EL PRODUCTO

1. DESCRIPCIÓN

La evaluación de Bici-K por parte del usuario real, es la etapa final de la metodología llevada a cabo para desarrollar el producto. La presente sección valida el sistema como un todo. Los resultados son de vital importancia para mejorar el concepto del sistema o para ratificar que Bici-K es un producto que cumple de manera satisfactoria con los requerimientos de usuario y contexto. Para la evaluación del producto, se utilizan las tres herramientas propuestas en la etapa de “evaluación de usabilidad” de la metodología “USERfit”: i) Estrategia general de la evaluación, ii) planeación de la evaluación y iii) resumen de la evaluación. La técnica concreta utilizada para las pruebas de usabilidad, definida en la estrategia general de evaluación, es la técnica de “Pruebas de usuario” propuesta por (Poulson D, Ashby M y Richardson S, 1996) (Figura 57).

Figura 58. Metodología seguida para la evaluación del producto.



Fuente: Elaboración propia

A continuación se explican las tres herramientas propuestas para la evaluación de usabilidad y la técnica utilizada en concreto para esta evaluación:

1.1 ESTRATEGIA GENERAL DE LA EVALUACIÓN (UE1) (OVERALL EVALUATION STRATEGY):

En la estrategia general de evaluación se listaron los propósitos generales de la evaluación de acuerdo a lo que se deseaba observar, a lo que se deseaba cumplir y a la información que se necesitaba obtener del producto. También se decidió la técnica de evaluación a usar (“Pruebas de usuario”) y se detallaron aspectos importantes de la misma. Toda esta información se enmarca en el formato UE1 (Ver tabla 12).

Tabla 12. Estrategia general de la evaluación



Producto: Sistema en General

Evaluación de usabilidad (UE1)

Estrategia general de evaluación

PROPÓSITO	TIPO DE EVALUACIÓN	DETALLES DEL PLAN
EVALUACIÓN DE LA PERCEPCIÓN FORMAL DEL USUARIO HACIA EL SISTEMA	USER TRIALS	La idea es mostrarle a 8 usuarios potenciales imágenes del sistema propuesto y de esta manera determinar cómo ellos lo perciben.
EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DEL USUARIO CON EL PRODUCTO		Se pretende que 8 usuarios potenciales usen el producto durante una sesión experimental de 1 hora de duración, con el fin de evaluar la aceptación del producto por parte del usuario en relación con la ergonomía y el contexto de uso.
EVALUACIÓN DE LA INTERFAZ DE LA ESTACIÓN		8 usuarios potenciales interactúan con la estación durante una sesión experimental de 15 minutos de duración y se determina el nivel de usabilidad mediante la escala SUS.
EVALUACIÓN DE LA INTERACCIÓN DEL USUARIO CON LA ESTACIÓN		Entre 4 y 6 usuarios potenciales utilizan la bicicleta y el punto de acopio, y se evalúa si ellos están en la capacidad de acceder a la bicicleta de manera eficiente e intuitiva.

Fuente: Elaboración propia

1.2 PLANIFICACIÓN DE LA EVALUACIÓN (UE2) (EVALUATION PLANNING):

Haciendo uso de la herramienta de Planificación de la Evaluación, se resumió el plan de evaluación del producto, en donde fueron listadas las metas de usabilidad que éste debía satisfacer, junto con las actividades específicas asociadas a dichas metas. El procedimiento de pruebas y los criterios de medición fueron también especificados. Toda esta información se enmarca en el formato UE2 (Ver tabla 13).

Tabla 13. Planificación de la evaluación



Producto: Bicicleta

Evaluación de usabilidad (UE2)

Planeación de la evaluación

CARACTERÍSTICA DESEADA (PDS)	METAS DE USABILIDAD	ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN	CRITERIO PASA/FALLA
Los vehículos son fáciles de identificar	En comparación con otras bicicletas, los usuarios identifican a Bici-K como diferente a las demás.	El usuario observa una ficha con diferentes imágenes de bicicletas y se le pide que identifique la más diferente	Preguntas cerradas que indagan los motivos por los cuales realizaron la selección.	El 85 % de los usuarios o más, encuentran a Bici-k como diferente.
El sistema (estación y bicicleta) es atractivo para el ciudadano de Medellín	Buena percepción del usuario por el sistema.	El usuario observa una presentación (explicada por integrante de prueba) y video general del sistema.	Formato de preguntas con escala Likert y diferencial semántico.	Buenos comentarios acerca del sistema.
La bicicleta se puede usar en la infraestructura vial de la ciudad de Medellín.	Desempeño óptimo de la bicicleta cuando el usuario la opera.	El usuario utiliza la bicicleta para hacer un recorrido específico , opera la bicicleta desde el principio del recorrido hasta el final de éste.	Formato de preguntas con escala Likert. Grabación de la prueba.	No hubo problemas al pasar los obstáculos del recorrido.
El sillín es cómodo.	El usuario siente que el sillín es adecuado para montar en Bici-K.			Se encuentra una tendencia clara a definir el sillín como cómodo.
El manubrio es cómodo.	El usuario siente que el manubrio es adecuado para montar en Bici-K.			Se encuentra una tendencia clara a definir el sillín como cómodo.
La bicicleta es cómoda.	El usuario siente que Bici-K es una bicicleta cómoda.			Se encuentra una tendencia clara a definir el sillín como cómodo.
El acceso a la bicicleta es fácil.	El usuario se monta en la bicicleta sin alzar el pie más arriba del nivel de rodilla.			Pares antónimos de adjetivos , pregunta cerrada. Grabación de la prueba.
La posición del manillar es adecuada para el fin de uso de la bicicleta.	La posición del cuerpo para montar Bici-K es derecha.	Se toma una foto lateral del usuario manejando Bici-K, para verificar el ángulo de la posición de la espalda con respecto al suelo.	Pregunta cerrada. Fotografía y Grabación de la prueba.	El 85 % de los usuarios o más, no inclinan su columna mientras montan en Bici-K

CARACTERÍSTICA DESEADA (PDS)	METAS DE USABILIDAD	ACTIVIDAD	PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN	CRITERIO PASA/FALLA
La usabilidad de la estación es aceptable	Los usuarios identifican las siguientes situaciones: 1. si pueden utilizar Bici-k, 2. si tienen su tarjeta vencida, 3. si no hay bicicletas en el sistema y 4. si la tarjeta no es leída por el lector.	Los usuarios se ubican en la estación central para realizar los diferentes pasos de alquiler de la bicicleta.	Prueba de usabilidad SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996). Grabación de la prueba.	Usabilidad promedio superior al 80%
Proceso de préstamo del vehículo es rápido.	N/A Definido por tiempo.			
La interfaz usuario producto es fácil para el ciudadano de Medellín	Los usuarios aprenden de manera fácil a alquilar la bicicleta.			
El producto es de fácil anclaje a la estación.	Cuando el usuario introduce la bicicleta en el acopio, el proceso de bloqueo es automático.	Los usuarios dan un recorrido en Bici-k, se les pide que al final del recorrido se dirijan a parquear la bicicleta en el punto de acopio.	Escala de Likert. Grabación de la prueba.	Los usuarios no requieren ayuda para bloquear la estación
La bicicleta es fácil de sacar y de poner en la estación	N/A			Los usuarios no requieren ayuda para acceder a la bicicleta.
Los usuarios se detienen antes de ingresar la bicicleta a la estación	Los usuarios se bajan de Bici-K antes de anclarla en la estación.			Pregunta cerrada. Grabación de la prueba.

Fuente: Elaboración propia

1.3 USER TRIALS

La técnica utilizada para la evaluación de cada uno de los propósitos listados en la estrategia general de evaluación, es la técnica “Pruebas de usuario”. En las “Pruebas de usuario” el producto es evaluado por los usuarios “reales” usando el producto en

un entorno relativamente controlado o completamente experimental. En esta técnica: i) se planificó en detalle las pruebas de usuario definiendo objetivos, diseños de pruebas, roles, procedimientos y número de participantes. ii) se preparó el material para las pruebas, entre ellos recursos necesarios, cuestionarios, instrucciones y demostraciones. Esta técnica se llevo a cabo por medio del cumplimiento de 5 pasos: planeación, preparación del material, realización de las pruebas, análisis de los datos e implicaciones.

1.3.1 Planeación

▪ Definición de los objetivos de las pruebas de usuario

En general, con las pruebas de usuario se pretende cumplir con el quinto objetivo específico del proyecto de grado (Ver numeral 1.3.2).

○ Para la bicicleta:

- 1.** Evaluar la percepción formal del ciudadano de Medellín frente al sistema público de bicicletas.
- 2.** Evaluar la aceptación del producto por parte del usuario relacionado con la ergonomía y en el contexto.

○ Para la estación:

- 3.** Evaluar dos factores fundamentales para el sistema, primero: que las personas estén en la capacidad de alquilar la bicicleta de una forma ágil y satisfactoria; segundo: que el proceso de alquiler sea de fácil aprendizaje.
- 4.** Evaluar que el usuario esté en la capacidad de acceder a la bicicleta de manera eficiente e intuitiva.

▪ Diseño de las pruebas

Teniendo como base los objetivos planteados anteriormente, se diseñaron ocho pruebas de usuario descritas en el protocolo de pruebas (ver ANEXO 7). Las pruebas se plantearon para ser realizadas al mismo grupo de usuarios en una sola sesión. Además

se asignaron los roles a los encargados de las pruebas para tener un manejo eficiente del tiempo y de los recursos. La siguiente tabla lista las pruebas que se realizaron.

Tabla 14. Pruebas de usuario

PRUEBA #	NOMBRE	PARTICIPANTES
1	Diferenciación de Bici-K	8
2	Percepción general del sistema	8
3	Usabilidad de la bicicleta	8
4	Acceso a la bicicleta	8
5	Posición de manejo	8
6	Usabilidad de la estación	8
7	Percepción general del punto de acopio	8
8	Aparcamiento de la bicicleta	8

Fuente: Elaboración propia

Para ver en detalle la descripción de los procedimientos, la justificación del número de participantes y el criterio de selección de éstos, ver el ANEXO 7

1.3.2 Preparación del material

Se establecieron: i) los recursos, ii) las instrucciones y demostraciones, iii) las entrevistas y cuestionarios y iv) Medidas para observación.

1.3.3 Realización de las pruebas

Las pruebas fueron realizadas el día 11 de abril del 2010 en la unidad residencial Vegas del Poblado en la ciudad de Medellín. Asistieron los ocho participantes citados compuestos por tres mujeres y cuatro hombres.

Las figuras 59 y 60 recopilan algunas de las imágenes obtenidas durante las pruebas tanto de la estación como de la bicicleta.

Figura 59. Aparte de las grabaciones la prueba de usabilidad de la estación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Fotografías de algunos de los usuarios en la prueba de usabilidad bicicleta



Fuente: Elaboración propia

1.3.4 Análisis de los datos

- Resultados de los cuestionarios

Para ver la tabulación completa de los resultados remitirse al ANEXO 10.

- **Resultados de la prueba 1 – Diferenciación de bici-k**

Entre las seis imágenes disponibles, los ocho participantes marcaron a bici-k como diferente. Todos consideraron que la identificación fue fácil y las razones principales fueron por su forma y por los componentes que posee diferentes a las demás.

- **Resultados de la prueba 2 – Percepción general del sistema**

A todos los participantes les gustaría que el sistema bici-k (como un todo) sea implementado en la ciudad. La mayoría de ellos encontró al sistema atractivo y novedoso, y a su vez les gustaría utilizar el sistema.

La mayoría de los participantes consideraron a la bicicleta amigable con el medio ambiente, novedosa, atractiva, alegre, compacta y lenta. Desde el punto de vista formal se identificó medianamente clásica, tal vez, porque relacionan a las bicicletas con guardabarros largos y con tubo central bajo como antiguas.

- **Resultados de la prueba 3 – Prueba de usabilidad de la bicicleta**

El desempeño general de la bicicleta fue considerado en su mayoría como muy bueno, fácil de maniobrar (la bicicleta subió y bajó los obstáculos de manera satisfactoria). Ningún participante tuvo problemas al sobrepasar los policías acostados (ver figura 60).

Figura 61. Algunos de los participantes sobrepasando los obstáculos durante la prueba



Fuente: Elaboración propia

Respecto al sillín o asiento: En general el sillín fue considerado por la mayoría de los participantes como muy cómodo. La mayoría consideró la textura del sillín como antideslizante; la sensación cuando la usaban fue suave; la altura de éste fue adecuada y el ángulo de inclinación lo encontraron adecuado.

Respecto al manubrio: En general la apreciación del manubrio fue considerada como cómoda. La gran mayoría de los participantes describe los agarres como cómodos y antideslizantes. La altura del manubrio fue considerada por la mayoría como apropiada. Sintieron los agarres seguros, los frenos y cambios son accesibles.

Los pedales: En general, los participantes consideraron a los pedales como cómodos. Al hacer uso de la bicicleta encontraron el pedaleo cómodo, el pedal antideslizante y la sensación al pedalear como segura.

- **Resultados de la prueba 4 – Acceso a la bicicleta**

Todos los participantes encontraron que el proceso para acceder a la bicicleta era fácil y cómodo. La mayoría consideró al proceso como rápido, seguro y estable al montarse en la bicicleta.

- **Resultados de la prueba 5 – Posición de manejo**

En general los participantes tomaron una postura adecuada para usar la bicicleta, una posición de descanso con la espalda recta. La imagen # ilustra un ejemplo de la postura de un participante al usar el prototipo.

Figura 62. Participante haciendo uso del prototipo de la bicicleta durante las pruebas



Fuente: Elaboración propia

- **Resultados de la prueba 6 – Prueba de usabilidad de la estación**

El test de usabilidad SUS produce un solo número que representa la medida compuesta de la usabilidad general del sistema de estudio. Las calificaciones de los elementos individuales no son significativos por sí mismos (Brooke, 1996).

Los resultados de la prueba de usabilidad se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Puntajes obtenidos de la prueba de usabilidad

PARTICIPANTE	1	2	3	4	5	6	7	8	PROMEDIO
Puntaje SUS	95	70	97,5	70	82,5	90	97,5	92,5	86,9

Fuente: Elaboración propia

El menor puntaje obtenido de la prueba fue de 70 mientras que el mayor fue de 97,5, lo que permite resaltar que todos los puntajes estuvieron sobre el rango de usabilidad aceptable. El promedio de 86,9 indica que en general la usabilidad de la interfaz de la estación fue considerada como excelente.

Basados en Bangor et al. (2009) la medida de usabilidad revela que la interacción entre el usuario y el producto fue efectiva (el usuario pudo completar la tarea), eficiente (el usuario completó el proceso sin esfuerzo) y satisfactoria (el usuario se sintió cómodo al desempeñar la tarea).

- **Resultados de la prueba 7 – Percepción general del punto de acopio**

En general los participantes encontraron que el proceso de anclaje o bloqueo de la bicicleta con el punto de acopio fue fácil. El proceso de bloquear la bicicleta lo encontraron claro. El tamaño de los agujeros del punto de acopio lo encontraron adecuado. El proceso de acoplar y desacoplar la bicicleta fue fácil. La información suministrada fue suficiente para que ellos aprendieran a hacerlo.

- **Resultados de la prueba 8 – Aparcamiento de la bicicleta**

Todos los participantes se detuvieron antes de ubicar la bicicleta en el punto de acopio, lo que indica que el resalto preventivo es efectivo.

- **Lista de problemas encontrados**

Sumado al análisis de los cuestionarios y las anotaciones del equipo de diseño, se analizaron las grabaciones obtenidas para determinar problemas que durante la prueba fueron difíciles de identificar por parte del equipo o no fueron manifestadas en el cuestionario. La lista de los problemas encontrados se encuentra en la tabla 16.

Tabla 16. Problemas encontrados

# Problema	IMAGEN	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
1		Estación central	Las personas altas encontraron difícil la lectura de la parte superior de la pantalla debido al bisel de la madera. “No alcanzo a leer” fue el comentario común.
2		Manubrio	En curvas cerradas se observó que el pedaleo se dificulta al pasar muy cerca la rodilla del manubrio. Los participantes lo manifestaron verbalmente. “El manubrio está muy cerrado”
3		Estación central	Los participantes esperaban señales auditivas que les permitiera entender más la información suministrada.
4		Manubrio	La sensación del manubrio fue extraña la primera vez que lo usaron.
5		Compartimento de carga	Percepción del compartimento de carga como inseguro debido al espacio que había entre los tubos.
6		Estación central	Cuando aparece que el proceso ha fallado los participantes se confunden y lo ven poco claro.
7		Aparcamiento Bici-K	Cuando van a parquear la bicicleta, agarran el asiento para introducir la bicicleta al punto de acopio.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.5 Implicaciones

▪ Aspectos a mejorar

- Problema 1: Aumentar el bisel del lugar donde se ubica la pantalla. Es necesario aclarar que la estación real será realizada en lámina de calibre 1/16 pulgadas y tendrá la pantalla a ras con la superficie, de manera que el diseño original no tiene bisel. El bisel se hizo en el prototipo debido a que éste fue realizado en madera con un espesor 8 veces superior al de la lámina. El aspecto a mejorar sería entonces para el prototipo y no para el producto real.
- Problema 2: Desdoblar el manillar hasta que el largo total del manillar sea de 65cm.
- Problema 3: Estudiar una posible adición de señales auditivas (recomendación)
- Problema 4: No hay aspectos a mejorar pues las personas se acostumbraron eventualmente al tipo de manubrio.
- Problema 5: Adicionar una malla entre los tubos que permita proteger los elementos.
- Problema 6: Eliminar la información que no es necesaria para el proceso fallido (Cuando la suscripción al sistema ha caducado)
- Problema 7: Adicionar un componente extra a la bicicleta, es decir, un mango de agarre posterior.

1.4 Resumen de la Evaluación de Usabilidad (UE3) (Usability Evaluation Summary)

Esta herramienta fue usada después de haber realizado las pruebas. El UE3 sirvió para determinar en qué medida el producto había logrado satisfacer las metas de usabilidad propuestas. A su vez, se listaron las acciones necesarias que se deben tomar para mejorar la usabilidad del producto y para realizar las recomendaciones correspondientes. Dicha información se compiló en el formato UE3 (Ver tabla 17).

Tabla 17. Resumen de la evaluación del producto



Producto: Sistema en general

Evaluación de usabilidad (UE3)

Resumen de la evaluación

METAS DE USABILIDAD	SE LOGRÓ SATISFACER EL CRITERIO?	ACCIONES A TOMAR
En comparación con otras bicicletas, los usuarios identifican a Bici-K como diferente a las demás.	Si, el 100% de los usuarios identifica a Bici-K como diferente frente a otras bicicletas. De los cuales el 62,5% la identificó muy fácilmente y el otro 37,5% de manera fácil. Además indican que el factor determinante para esta diferenciación es la forma de la bicicleta.	NINGUNA
Percepción positiva del usuario hacia el sistema.	Tendencia marcada de gusto por el sistema. Los usuarios se muestran inquietos por factores como el robo y el mal uso que pueden deteriorar el sistema.	Realizar una campaña de sensibilización del sistema, para que la ciudadanía acepte la incursión de éste en la ciudad y lograr despertar un sentido de pertenencia similar a lo logrado por el metro de Medellín. El sistema debe estar ligado a una red de seguridad por parte de las entidades encargadas.
Desempeño óptimo de la bicicleta cuando el usuario la opera.	Se les dificulta la maniobrabilidad de la bicicleta en curvas cerradas. A pesar de esto, están de acuerdo en que el desempeño en general es muy bueno. Expresan que la dificultad radica en el manubrio.	Aumentar el ángulo de los manillares de la bicicleta.
El usuario siente que el sillín es adecuado para montar en Bici-K.	Comentarios positivos hacia el sillín ("es muy cómodo y suave"), ratifican los resultados estadísticos en los cuales se refleja que el usuario siente que el sillín es muy cómodo. Además comentan que los amortiguadores del sillín hace que se sienta muy cómodo incluso pasando por los resaltos.	NINGUNA

METAS DE USABILIDAD	SE LOGRÓ SATISFACER EL CRITERIO?	ACCIONES A TOMAR
El usuario siente que el manubrio es adecuado para montar en Bici-K.	“El manubrio es inestable para voltear en curvas muy cerradas”. “Puede que lo sienta raro para voltear en curvas porque es diferente a los que estoy acostumbrado”. Frases como éstas muestran que el manubrio no es fácil de maniobrar en curvas cerradas.	Aumentar el ángulo de los manillares de la bicicleta.
El usuario siente que Bici-K es una bicicleta cómoda.	La apreciación general de los usuarios es que Bici-K es cómoda. Insisten en el aspecto del manubrio como único a tener en cuenta a mejorar.	Aumentar el ángulo de los manillares de la bicicleta.
El usuario se monta en la bicicleta sin alzar el pie más arriba del nivel de rodilla.	Se logra satisfacer el criterio ya que todos encuentran muy fácil el acceso a la bicicleta.	NINGUNA
La posición del cuerpo para montar Bici-K es derecha.	Si, el 100% de los usuarios presenta una posición derecha de la columna cuando están montando en Bici-K	NINGUNA
Los usuarios identifican las siguientes situaciones: 1. si pueden utilizar Bici-k, 2. si tienen su tarjeta vencida, 3. si no hay bicicletas en el sistema y 4. si la tarjeta no es leída por el lector.	Si, ningún problema con esta parte.	NINGUNA

METAS DE USABILIDAD	SE LOGRÓ SATISFACER EL CRITERIO?	ACCIONES A TOMAR
Proceso de préstamo del vehículo es rápido.	En la prueba, el proceso de alquiler fue fluido y no se presentó ningún tipo de comentarios negativos hacia éste, además las instrucciones de alquiler se presentan en la pantalla de forma inmediata, haciendo que la información llegue al usuario rápidamente.	NINGUNA
Los usuarios aprenden de manera fácil a alquilar la bicicleta.	Si, ellos mismos lo ratifican después de hacer la prueba por segunda vez. Los resultados del test muestran que los usuarios no consideran que necesitan aprender muchas cosas para poder usar la estación. Algunos de los usuarios dicen que introducir sonidos en el proceso de alquiler puede ser un muy buen complemento a las instrucciones escritas. Además éste aspecto también lo ratifica un experto en el tema. La información suministrada en el proceso fallido – cuando la suscripción del usuario ha caducado- no es clara.	Se debe brindar una instrucción previa al usuario, acerca del proceso de alquiler de la bicicleta. Modificar visualmente la información del estado del proceso fallido. Eliminar la información que no es necesaria.
Cuando el usuario introduce la bicicleta en el acopio, el proceso de bloqueo es automático.	Sí, el usuario no tiene que accionar ningún dispositivo externo a la bicicleta para bloquearla.	NINGUNA
La bicicleta es fácil de sacar y de poner en la estación	A pesar de que no hubo queja alguna, el resultado puede ser un poco sesgado debido a que no hay otras bicicletas en la estación. De todas formas la distancia entre bicicletas es una medida establecida para que el acceso a la bicicleta sea fácil.	Realizar la prueba con otras bicicletas parqueadas en la estación.
Los usuarios se detienen antes de ingresar la bicicleta a la estación	Si, el 100% de los usuarios se detuvo antes de parquear la bicicleta en la estación.	NINGUNA

2. RESULTADOS

2.1 CAMBIO SEGÚN LA RETROALIMENTACIÓN DEL USUARIO

Los cambios realizados descritos en el formato UE3 de la evaluación de usabilidad se visualizan en la figura 63.

Figura 63. Adición de malla y extensión del manubrio



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 7: INTERVINIENDO LA CIUDAD

El objetivo del proceso de integración del sistema Bici-k en la ciudad, es proponer la ubicación estratégica de estaciones, con el fin de complementar la red de transporte público actual del SIT.

El estudio comprende un análisis de la ciudad desde diferentes perspectivas, que permiten justificar la selección de los puntos clave y ubicación de las estaciones, y a su vez demostrar la complementariedad del sistema Bici-k para el SIT.

Una gran cantidad de mapas serán mostrados en éste estudio, para verlos en más detalle favor remitirse el ANEXO 11.

- **Descripción del proceso de integración**

El proceso de integración de Bici-k en la ciudad responde al desarrollo de cuatro etapas descritas en la figura 62.

Figura 64. Proceso seguido para la contextualización del sistema en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

1. ETAPAS

1.1 ANÁLISIS: Conociendo la ciudad

- **Aspectos generales**

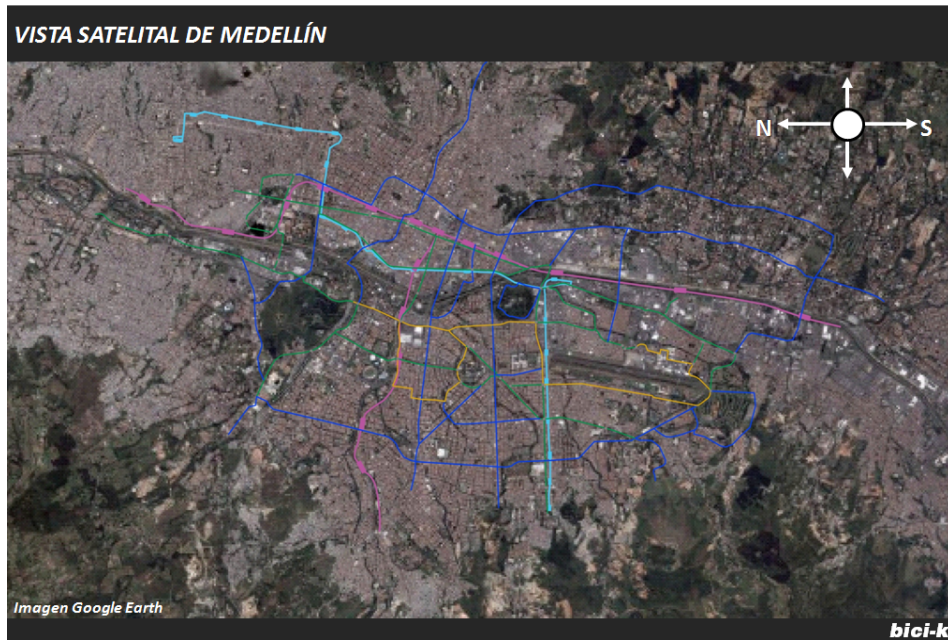
Medellín es la segunda ciudad más poblada de Colombia. Cuenta con una población de 2'249.073 habitantes en donde 1'197.971 son mujeres y 1'051.102 son hombres (Alcaldía de Medellín: www.medellin.gov.co). Desde el punto de vista económico, se destaca como uno de los principales centros financieros e industriales del país, responsable del 8% del PIB nacional y de un 25% de las exportaciones no tradicionales de Colombia. La actividad académica y científica es también significativa, es una ciudad universitaria que cuenta con más de 130.000 estudiantes en educación superior en alrededor de 35 instituciones entre públicas y privadas. También se destaca como uno de los principales centros culturales del país por sus eventos y ferias; por su riqueza arquitectónica; por sus museos, parques y bibliotecas.

- **Topografía**

La ciudad se encuentra encerrada en el centro geográfico del Valle de Aburrá. Cuenta con un área total de 380.64 km² de los cuales 105,02 km² son suelo urbano. El Valle de Aburrá tiene una forma alargada de norte a sur que mide 10 kilómetros y presenta un ensanchamiento en la mitad, donde se localiza la ciudad de Medellín (ver figura 65).

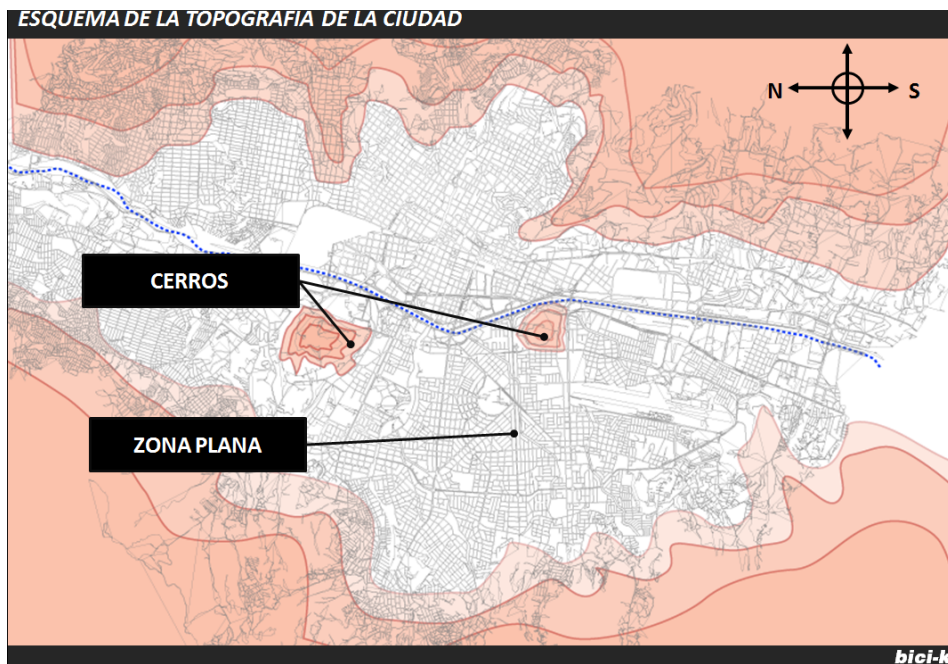
Topográficamente la ciudad es un plano inclinado que desciende desde los 1.800 a 1.500 metros de altura sobre el nivel del mar. Dentro del valle se destacan los cerros Nutibara y el Volador (ver figura 66).

Figura 65. Vista satelital de la ciudad de Medellín



Fuente: Elaboración propia. Fotografía de Google Earth.

Figura 66. Esquema de la topografía de la ciudad



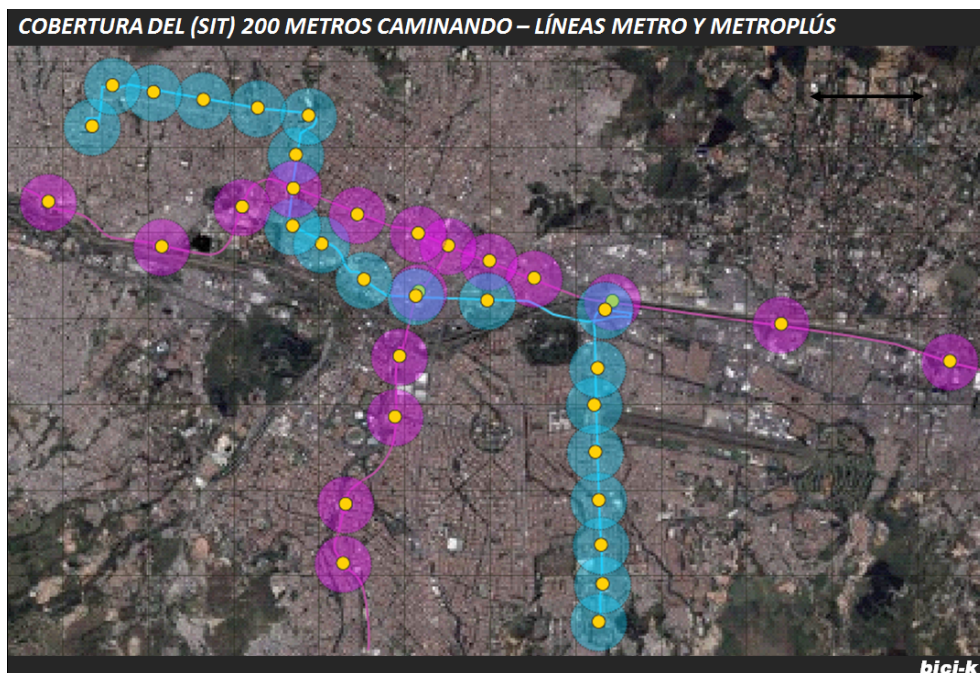
Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín

- **Red actual del SIT y cobertura**

Dentro del Plan Maestro de Movilidad para la Región Metropolitana (Área Metropolitana, 2007), el Sistema Integrado de Transporte del Valle de Aburrá se establece como el principal componente de movilidad de la ciudad de Medellín. Está conformado por el Metro como eje central, por el Metrocable y el Metroplús. Se estudió la cobertura de dichos sistemas para un radio de 200 metros ó 5 minutos caminando en cada estación (ver figura 67).

En Medellín cerca del 80% de las personas que se movilizan diariamente a pie, recorren distancias que les toma entre 10 y 30 minutos, viajes que pueden realizarse en transporte público (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2007). Al observar la figura 67, es evidente que la red del SIT no cubre ciertas áreas de la ciudad, lo que permite suponer que las personas caminan porque no encuentran un sistema que satisfaga sus necesidades, siendo éste un motivo para los sistemas complementarios.

Figura 67. Cobertura del Sistema Integrado de Transporte – Líneas Metro y Metroplús



Fuente: Elaboración propia

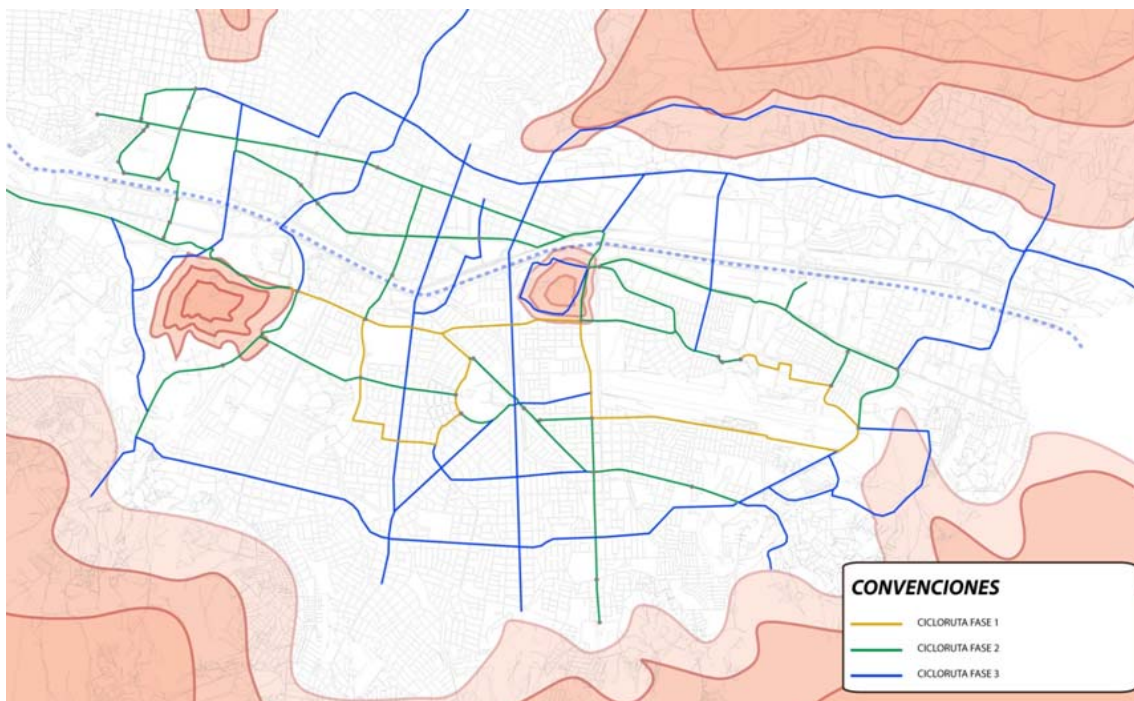
- **Red de Ciclorutas**

El Municipio de Medellín cuenta en la actualidad con un Plan de Ciclorutas. En 1999, se definió la red inicial y se adhirió en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), acogido como nuevo sistema de transporte no contaminante (Área Metropolitana, 2007).

En el año 2000, en el “Plan Maestro de Ciclorutas para Medellín”, se definió como proyecto de transporte ecológico para la ciudad. Dicho plan, propone tres fases de construcción de ciclorutas alrededor de la ciudad (ver figura 68) que en total suman 100 kilómetros, de los cuales 20 kilómetros se encuentran actualmente construidos.

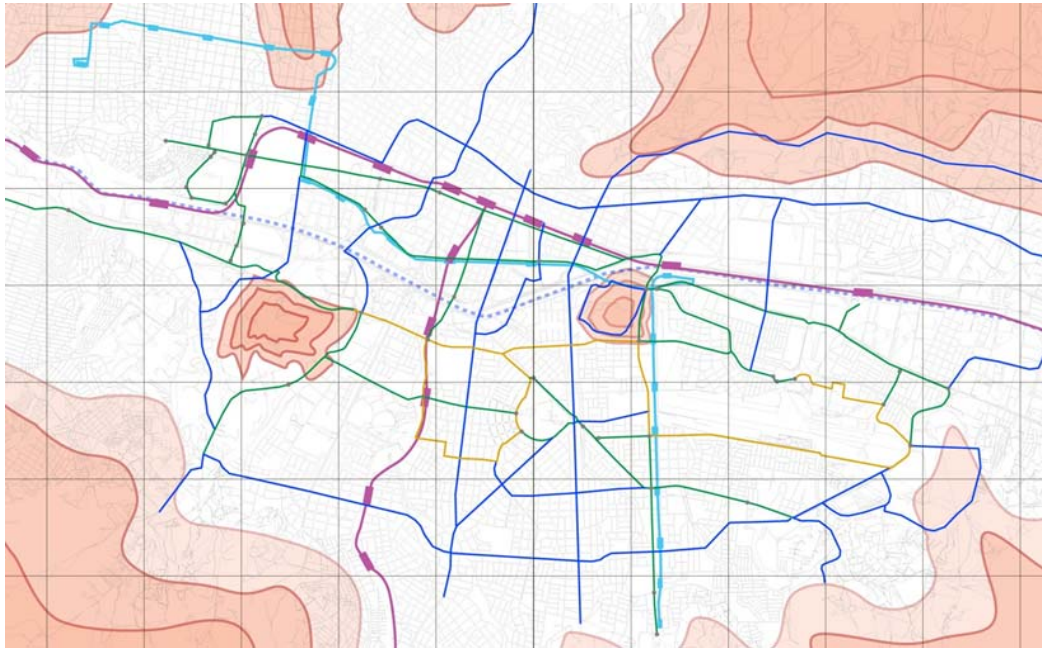
El Plan Maestro de Movilidad afirma que dicha red está diseñada para complementar al SIT como se muestra en la figura 69.

Figura 68. Mapa del Plan de Ciclorutas para Medellín



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín

Figura 69. Red de transporte público y su relación con la red de ciclorutas propuesta.



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín

La red de ciclorutas propuesta en el Plan Maestro de Movilidad, es el punto de partida para la determinación de las estaciones y puntos clave de la ciudad.

1.2 GENERACIÓN: Determinación de puntos clave

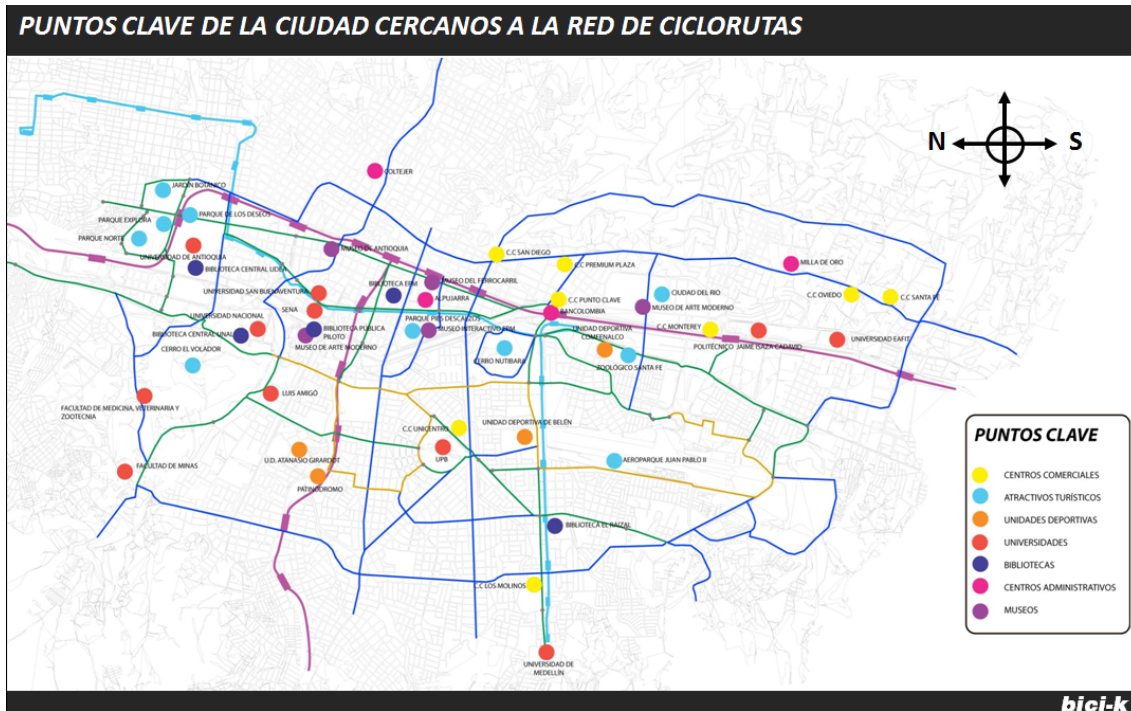
La propuesta de Bici-k en Medellín busca complementar los sistemas ya existentes en el SIT y reducir la distancia que los residentes deben viajar para usar modos alternativos de transporte. A su vez, se busca que las estaciones de Bici-k estén ubicadas en las intersecciones de puntos clave de la ciudad, tales como universidades; centros turísticos, comerciales y administrativos; museos, bibliotecas, unidades deportivas, entre otros.

- **Ubicación de puntos clave generales**

Partiendo de la red propuesta de ciclorutas para la ciudad de Medellín y haciendo uso de las guías turísticas disponibles, mapas, y consultando con expertos, se establecieron los puntos clave cercanos a la red (ver figuras 70). Los puntos encontrados se reúnen

en siete grandes grupos: Centros comerciales, atractivos turísticos, unidades deportivas, universidades, bibliotecas, centros administrativos y museos.

Figura 70. Puntos clave de la ciudad cercanos a la red de ciclorutas

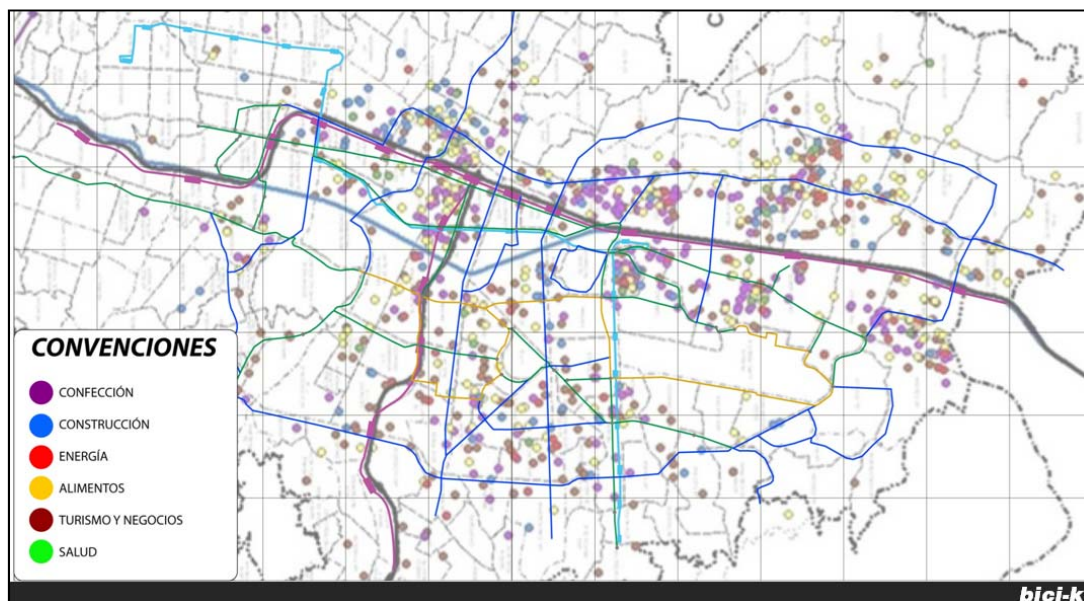


Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín.

- **Ubicación de centros industriales**

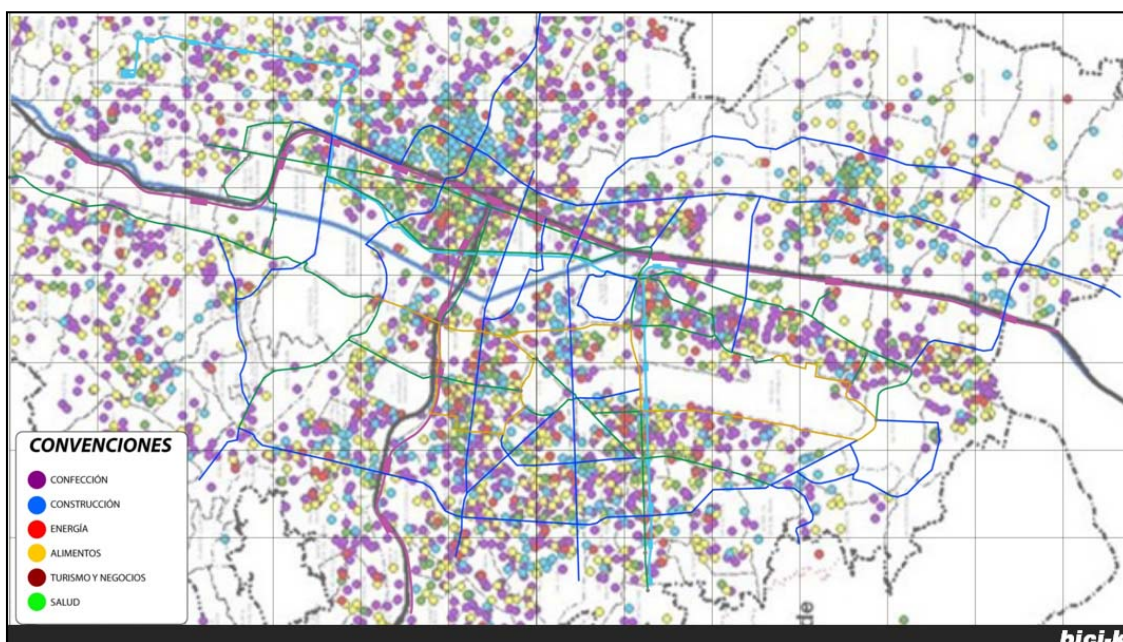
Se estudió la ubicación de las empresas de la ciudad. Según la cámara de comercio de Medellín, la ciudad cuenta con 58.925 empresas de las cuales 52.142 son micro, 5.127 son pequeñas, 1.257 son medianas y 399 son grandes. Las figuras 71 y 72 muestran la ubicación de dichas empresas a lo largo del valle agrupadas por clústeres.

Figura 71. Localización empresas medianas y grandes en la ciudad de Medellín agrupadas por clústeres.



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de: Dirección de Competitividad – Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia.

Figura 72. Localización de micro y pequeñas empresas agrupadas por clústeres.



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de: Dirección de Competitividad – Cámara de Comercio de Medellín para Antioquia

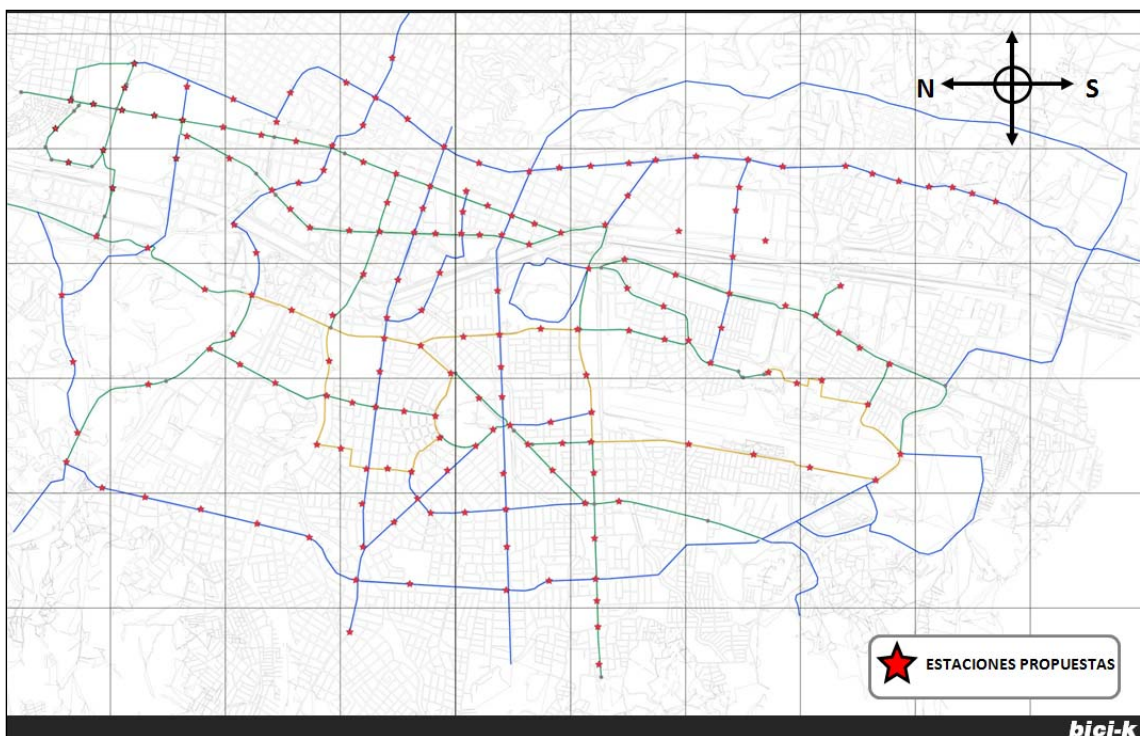
Al analizar la ubicación de las empresas se encontró que la mayor parte de ellas se localizaban principalmente en el valle, siendo un gran potencial para el sistema Bici-k.

1.3 DETALLE: Integrando el sistema

- **Propuesta de ubicación de estaciones de Bici-k**

En una conversación que se tuvo con Gabriel Díaz, quién hizo parte en la realización del Plan Maestro de Ciclorutas para la ciudad de Medellín y fue quién presentó dicho plan en la segunda conferencia Velomundial realizada en Holanda en el año 2000, se determinó que el sistema público de bicicletas debía en primera instancia abastecer y complementar al Metro.

Figura 73. Propuesta de estaciones de Bici-k alrededor de la red de ciclorutas



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín

Teniendo los puntos clave determinados y relacionados con la red de ciclorutas, se pasó a establecer la ubicación y el número de estaciones de Bici-k integradas al SIT. Los parámetros de selección fueron los siguientes:

- Mayor accesibilidad: Cada punto clave tiene al menos una estación. A su vez cada 300 metros, sobre la cicloruta habrá al menos una estación - de manera que una persona puede encontrar una estación de transporte tras caminar 5 minutos.
- Intermodalidad: Habrá al menos una estación de Bici-k en cada estación de Metroplús y Metro cercana a la cicloruta.

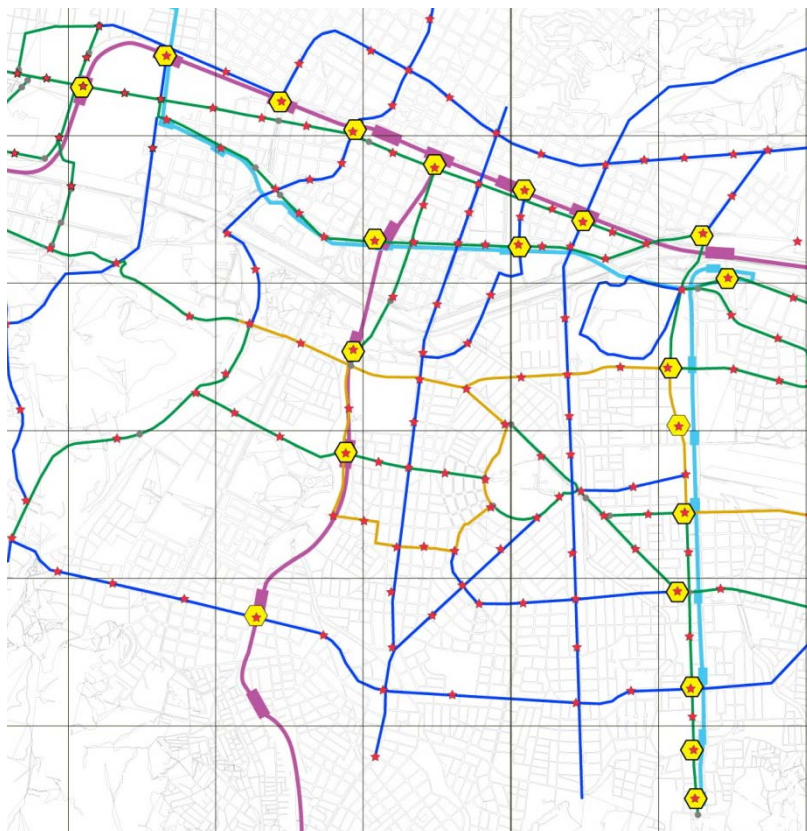
Teniendo en cuenta los parámetros para la ubicación de las estaciones, se procedió a situarlas en el mapa de la ciudad (ver figura 73). Un total de 181 estaciones fueron establecidas.

Si se tiene como base que en promedio cada estación tiene alrededor de 15 bicicletas, en total habrá 2.715 bicicletas disponibles para la ciudad.

- **Nodos intermodales**

Se determinaron los puntos o nodos intermodales (ver figura 74), es decir, lugares donde el ciudadano puede hacer cambio de un modo a otro de transporte (Metro, Bici-k, Metroplús) para desplazarse de un lugar a otro. Los tipos de intermodalidad que se presentan se muestran en la figura 75.

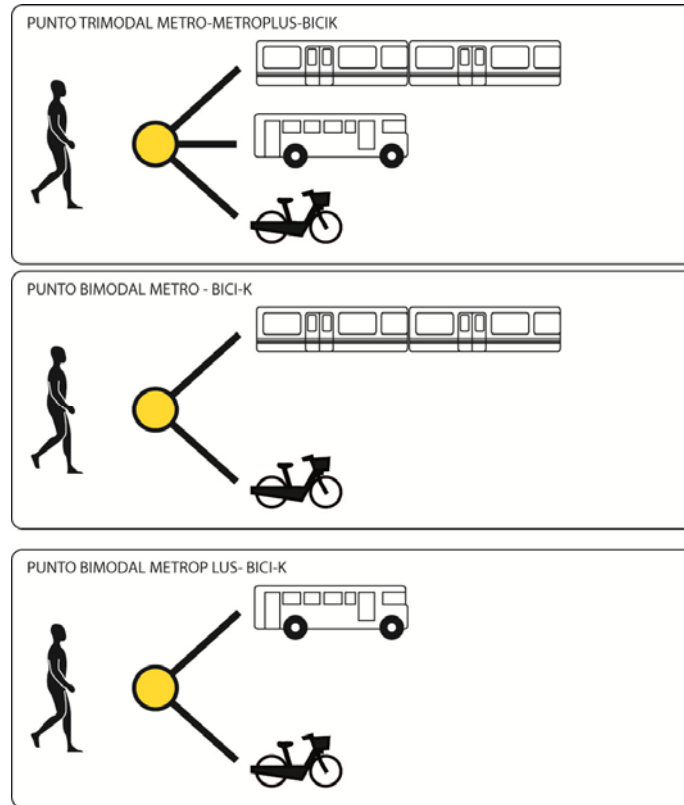
Figura 74. Puntos intermodales o nodos intermodales



Fuente: Elaboración propia. Información obtenida de la secretaría de transporte y tránsito de la ciudad de Medellín

En la mayoría de los casos se presentan nodos bimodales entre Bici-k y Metro ó entre Bici-K y Metroplús, aunque algunos son trimodales. Esto permite que los pasajeros tengan mayores opciones de transportarse de un lugar a otro y puedan elegir el medio que mejor satisfaga sus necesidades.

Figura 75. Tipos de intermodalidad que se presentan.



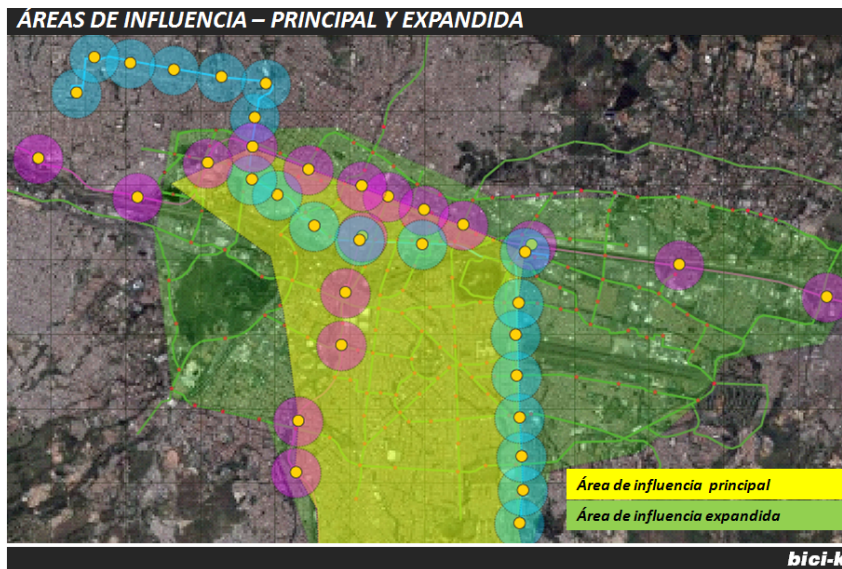
Fuente: Elaboración propia

- **Áreas de influencia**

Las áreas de influencia hacen referencia a las zonas en donde se piensa que el proyecto generará mayor impacto al integrarse al SIT. Se determinaron dos áreas de influencia, una principal y una expandida (ver figura 76).

El área de influencia principal puede ser leída como el área destinada para desarrollar la primera etapa del proyecto. Una vez el proyecto tenga éxito en ésta zona, se procederá a expandirlo hacia otras zonas de la ciudad.

Figura 76. Áreas de influencia del sistema Bici-k



Fuente: Elaboración propia

- **Cobertura del sistema**

Al relacionar la cobertura del SIT con la cobertura del sistema Bici-k, se encontró que la ubicación de las estaciones de Bici-k evidentemente complementan al sistema Metro y Metroplús. La cobertura total del SIT al implementar Bici-k aumentaría notablemente (ver figura 77)

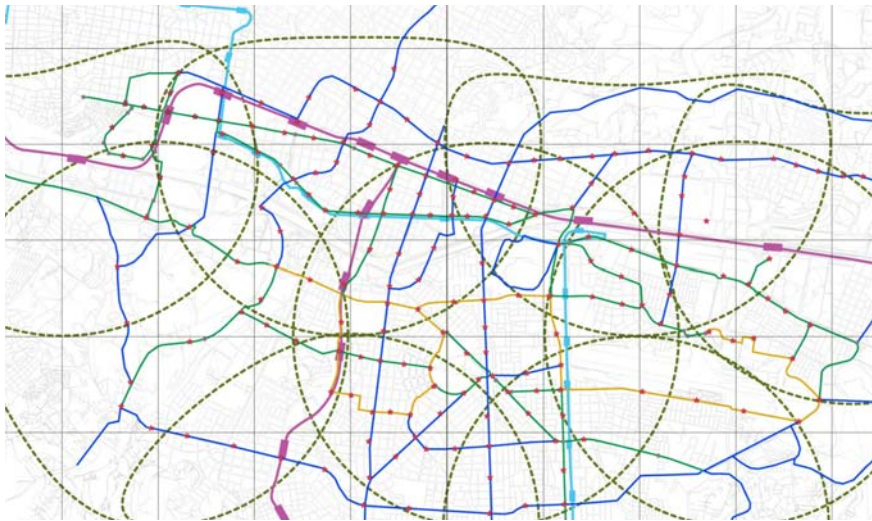
Figura 77. Cobertura total del sistema, al integrarse al SIT en el área de influencia principal.



Fuente: Elaboración propia

Además de visualizar la cobertura como sistema, se analizó la cobertura de la bicicleta en diferentes lugares de la ciudad. Para un radio de 2 kilómetros se pudo visualizar hasta qué puntos una persona se puede desplazar al hacer uso de bici-k y qué conectividad tiene con otros modos de transporte (ver figura 78).

Figura 78. Cobertura de la bicicleta para un radio de dos kilómetros



Fuente: Elaboración propia

- **Integración Visual del sistema en la ciudad**

Finalmente, se integró visualmente el concepto de Bici-k en algunos de los puntos clave de la ciudad, mediante el uso de un modelo 3D del sistema y de fotografías tomadas por el equipo de diseño. Algunas imágenes se muestran en la figura 79.

Esto permite que el producto sea visualizado en el contexto de uso sin necesidad de realizar grandes inversiones.

Figura 79. Ejemplos de la integración del sistema bici-k en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

1.4 EVALUACIÓN: Evaluando la integración del sistema

El proceso de evaluación del sistema no se encuentra dentro del alcance del proyecto debido a la complejidad de los estudios y de los costos que implicaría llevarlos a cabo. No obstante, se sugieren algunos pasos importantes deben seguirse para determinar que el sistema Bici-k efectivamente es viable para la ciudad de Medellín.

El resultado del proceso de “Contextualización del producto” debe tomarse como una referencia y no como un documento definitivo. Un análisis más riguroso y detallado deberá hacerse para determinar la viabilidad de la implementación del sistema en los puntos clave identificados.

- **Pasos a seguir**

- Estimación de la demanda del sistema Bici-K en los puntos de implementación clave establecidos, para determinar el número de estaciones y bicicletas necesarias.
- Prueba piloto en algunos de los puntos clave encontrados.

Conclusiones y recomendaciones

- **Conclusiones**

Al analizar la ciudad, su topografía, sus planes de desarrollo, sus lugares importantes; el equipo de diseño conoció más a fondo el contexto sobre el cual el sistema bici-k se desempeñará, lo que permitió determinar las zonas por las cuales el sistema es viable, es decir, zonas planas que puedan ser utilizadas para transportarse en bicicleta.

Se analizó la cobertura actual del SIT y se concluyó que es necesario un sistema complementario.

Se determinaron un total de 47 puntos clave estratégicos agrupados en universidades, museos, atractivos turísticos, centros comerciales, entre otros. A su vez se analizó la localización de las empresas en la ciudad por su importancia para el sistema, pues son lugares que reciben diariamente gran cantidad empleados que se desplazan en su mayoría en transporte público.

Se relacionó la localización de las empresas y puntos clave, con el plan de ciclorutas de Medellín y se encontró que las rutas actualmente construidas y diseñadas son adecuadas para que el sistema público de bicicletas Bici-k haga uso de ellas.

Se realizó una propuesta de ubicación de 181 estaciones alrededor de la red de ciclorutas teniendo en cuenta los objetivos de mejorar la accesibilidad de las personas, incrementar la intermodalidad en la ciudad. Cerca de 2.700 bicicletas fueron calculadas para complementar al SIT. La figura 80 resume la propuesta de integración de Bici-k.

Al integrar la cobertura del SIT con la cobertura del sistema Bici-k, se concluye que las bicicletas públicas son una alternativa muy interesante complementaria a la red actual del Metro y Metroplús.

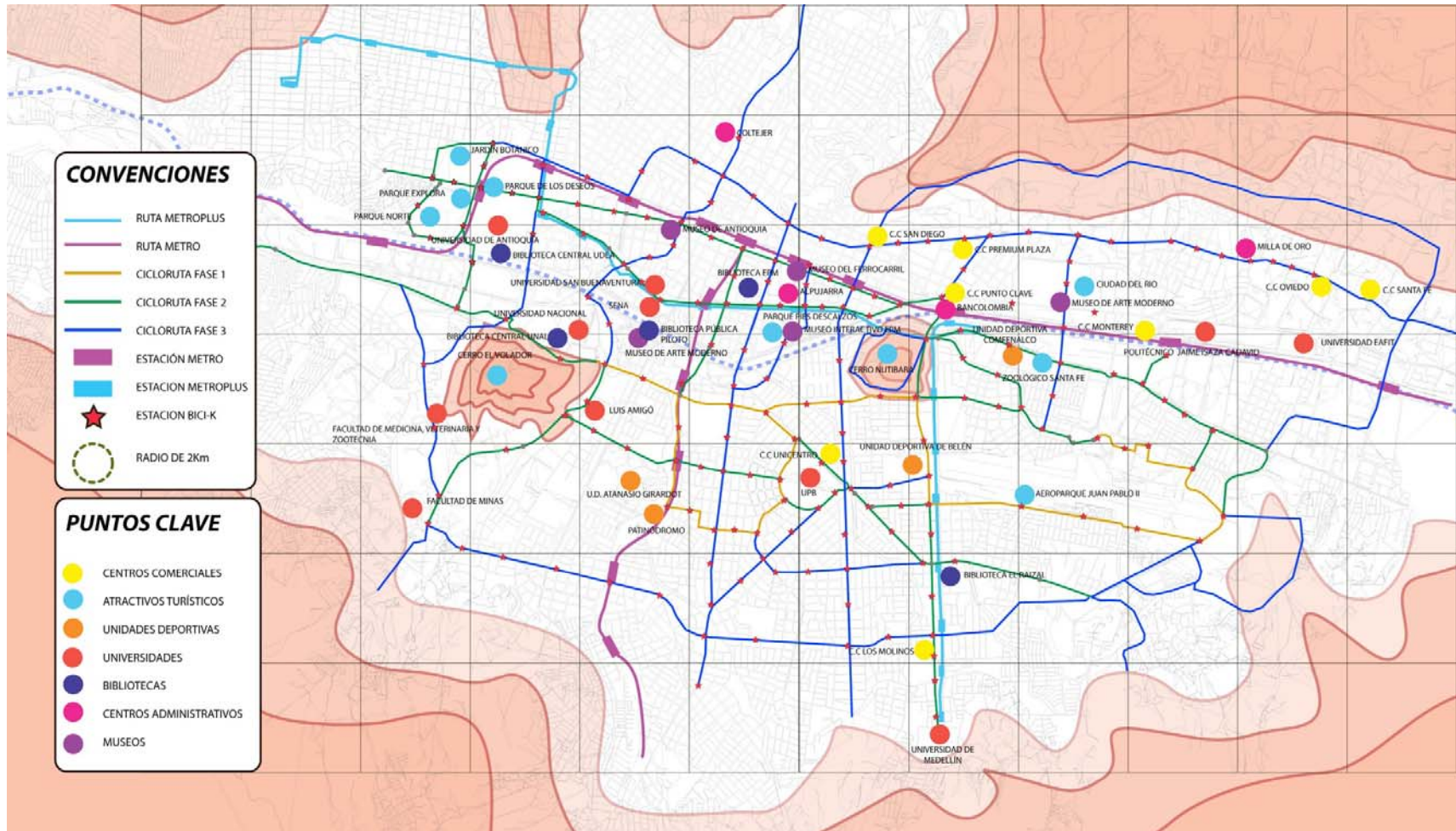
Por medio de modelos 3D, se integró visualmente el producto en el contexto, ubicándolo en algunos de los puntos clave de la ciudad previamente determinados, lo que permitió visualizar el sistema sin necesidad de realizar grandes inversiones en prototipos.

2. RESULTADOS CAPITULO 7

2.1 MAPA CON LA PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE BICI-K AL SIT.

En la figura 80 se encuentra el resultado del desarrollo de las cuatro etapas para la contextualización del producto.

Figura 80. Esquema general de la propuesta de integración al SIT.



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 8: FINALIZACIÓN DEL PROYECTO

1. CONCLUSIONES

- ✓ Con base en el uso de métodos de trabajo de campo y contextmapping, se conocieron las necesidades que rodean el producto en relación con el usuario y el contexto, estos aspectos se recopilaron, y con base en esto se lograron establecer 13 criterios importantes para el desarrollo del producto (ver numeral) en la etapa de análisis, ratificando así el cumplimiento del objetivo 1 del proyecto.
- ✓ De las metodologías propuestas por Ulrich & Eppinger, Pahl & Beitz, Cross y Baxter se escogieron los métodos para desarrollar la etapa 2 del proyecto, éstos fueron la base para que el equipo de diseño tomara decisiones conscientes que permitieron desarrollar los conceptos del sistema Bici-K sin omitir aspectos importantes, ratificando así el cumplimiento del objetivo específico 2.
- ✓ Para mejorar el concepto se llevaron a cabo los métodos propuestos en la etapa 3 del proyecto con base en los resultados del análisis funcional y dimensional, se detalló el concepto en su totalidad, dejando establecidas las variables necesarias para hacer viable la materialización del producto, con esto se cumple el objetivo específico 3.
- ✓ Se construyó un modelo funcional que cumple con lo establecido en las especificaciones de diseño de Bici-K, respecto a ergonomía, aspectos legales, seguridad, desempeño, entre otros. Éste fue de suma importancia para la realización de las pruebas de usuario y validación del producto.
- ✓ La realización de las pruebas de usuario permitió evaluar el producto en uso. Los resultados ratifican que Bici – K cumple de manera satisfactoria con los requerimientos de usuario y contexto. Además, fueron utilizados para realizar mejoras al diseño y para

recomendar aspectos que se deben tener en cuenta para implementar el sistema en la ciudad de Medellín.

- ✓ Para la integración del sistema Bici-K con el SIT se realizó un mapa con la propuesta de ubicación estratégica de estaciones y posibles rutas del sistema, teniendo en cuenta los puntos clave determinados en la etapa 4 del proyecto, el resultado evidenció el gran potencial que este tiene para complementar la red actual de transporte.
- ✓ Finalmente, después de ratificar que todos los objetivos específicos del proyecto se cumplieron, se puede concluir que Bici-K es el resultado de un proceso consciente por parte del equipo de diseño que está en la capacidad de ser implementado en una prueba piloto.

2. RECOMENDACIONES

2.1 A NIVEL DE DISEÑO

Estudiar la posibilidad y factibilidad de implementar un sistema que informe al operador de Bici-K en el momento en que una bicicleta presente daños. Este sistema debe permitir al usuario demandar dicha falla, la cual debe llegar a la central de las bicicletas o personal encargado.

Para validar los resultados de la resistencia del diseño de la estructura, se recomienda hacer pruebas experimentales.

Se recomienda el uso de elementos de ensamble de seguridad que requieren de herramientas especializadas para su remoción, con el fin de proteger las partes más importantes y vulnerables del sistema.

Explorar más a fondo las posibilidades que puede tener el uso del ibutton, para mejorar la trazabilidad de las bicicletas.

Estudiar la posibilidad de incluir al sistema la población que se encuentre excluida del uso de la bicicleta por su capacidad física, mediante la implementación de de motores eléctricos que den asistencia al pedaleo, o de vehículos de más de dos ruedas para aumentar la estabilidad.

Hacer una evaluación de sistemas que mitiguen o eviten la pinchadura o pérdida de presión de aire en las llanta.

Evaluar la posibilidad de implementar un sistema que proteja a las bicicletas del sol y el agua, con el fin evitar el desgaste excesivo, para extender la vida útil de las bicicletas y sus componentes.

2.2 A NIVEL DE SISTEMA

Implementar un portal web de soporte e información al usuario, que contenga estados actuales de las estaciones y disponibilidad de bicicletas.

Se recomienda q que en el caso que el sistema de bicicleta publica se implemente en la ciudad, debe haber una etapa de acompañamiento al usuario, mientras se asimila el uso de esta.

En la etapa inicial del proyecto debe haber un acompañamiento al usuario por parte de personal capacitado, mientras se asimila el uso de esta.

Antes de la implementación del sistema, se recomienda adelantar campañas de sensibilización y cultura no solo para el usuario de la bicicleta sino también a los demás involucrados en el contexto, como lo son conductores, motociclistas y peatones.

Se recomienda ampliar la cobertura de las ciclo vías, con el fin de que el usuario de la bicicleta pública no tenga que compartir la vía con los automotores.

Es recomendable ubicar las estaciones de Bici-K en sitios con iluminación pública con el fin de aumentar la seguridad tanto del sistema como de los usuarios.

Se debe plantear una estrategia para garantizar el mantenimiento preventivo periódico, con el fin de prolongar la vida útil de las estaciones, bicicletas y componentes.

El robo y el vandalismo de las bicicletas es un obstáculo para la puesta en marcha del sistema en la ciudad, si bien el robo puede mitigarse mediante el uso de tecnologías, es imposible evitarlo en su totalidad. Por lo que se recomienda garantizar que las pérdidas potenciales (robo) y reparaciones mayores (vandalismo) se incorporen en los estudios posteriores.

Para garantizar que la mayor parte de los ciudadanos tengan acceso al sistema, la fijación del precio debe ser un ejercicio en el que la inclusión social sea fundamental.

Se recomienda el uso de dispositivos de rastreo (GPS, entre otros) como medio de control y mitigación del robo y mal uso de las bicicletas.

Se recomienda fomentar o recomendar a los usuarios el uso de atuendos o equipos de seguridad adecuados, entre ellos el casco.

En el momento de inscripción del usuario a Bici-K, se recomienda que se haga una capacitación donde se de la instrucción necesaria para el uso del sistema y de las ciclo vía.

3. BIBIOGRAFÍA

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (1999) Guide for the Development of Bicycle Facilities. Washington D.C

Alcaldía de Medellín (2008). Proyecto Plan de Desarrollo 2008-2011. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2007 - 1). Formulación del Plan Maestro de Movilidad para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2007-2). Plan Integral de Desarrollo Metropolitano 2008-2020. Medellín.

Bangor, A., Kortun, P., Miller, J. (2009), Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4 (3) May 2009, pp.114-123.

Baxter, M (1995). *Product Design: Practical methods for the systematic development of new products*. London: Chapman & Hall

Brooke, J. (1996), SUS: A “quick and dirty” usability scale. En P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). London: Taylor & Francis.

Buzan ,T. & ,Buzan, B. (2000), *The mind map book*. Millenium Edition. London: BBC Worldwide Ltd.

California Department of Transportation (CALTRANS) (2009), *Highway Design Manual: Chapter 1000: Bikeway Planning and Design*. California: CALTRANS

Cooper, A. (1995). *About Face 1.0*. Foster City, CA: IDG Books Worldwide.

Corbin, J., Strauss, A. (1990), Grounded Theory research: Procedures, canons and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, Vol.13, No 1.

Cross, N (2000). Métodos de diseño: Estrategias para el diseño de productos. New York: Limusa Wiley.

DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. Journal of Public Transportation, Vol. 12, No. 4

Efroymsen, D & Rahman, M (2005). Transportation Policy for Poverty Reduction and Social Equity. WBB Trust. Bangladesh.

Frem, S (2008). San Francisco: Mobility On Demand Urban Implementation Case Study. En Mitchell, W.J. Mobility On Demand: Future of transportation in cities (pp 55 – 83). Massachusetts

Global Alliance for EcoMOBILITY (2009), Fact sheet 1.1 - What is EcoMobility?. Germany.

Gutiérrez, F.A.(2009) PROYECTO DE ACUERDO 189/09: Por medio del cual se reglamenta el Sistema de Transporte Público de Bicicleta en la ciudad de Medellín que hará parte del Sistema Integrado de Transporte. Medellín.

Kanis, H., & Ariz, H.J. (2000) How many participants: A simple means for concurrent monitoring. En Proceedings of the EIA 2000/HFES 2000 Congress. 6637-6640.

Herrera, R.J (2004). Reflexiones sobre intermodalidad de viajeros. Ministerio de Fomento de España.

Holtzblatt, k., Wendell, J.B. & Wood, S. (2005), Rapid contextual design: A How-to Guide to Key Techniques for User-Centered Design. Morgan Kaufmann, San Francisco.

Hungarian Young Greens (2009). Sustainable Mobility Guide for Municipalities. Hungary.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1994). Bicicletas: Ensamble tenedor NTC 3637. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). Clasificación y características esenciales de las bicicletas: NTC 3631. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2000). Material de transporte: bicicletas, requisitos de seguridad: NTC 2054. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Instituto de Desarrollo Urbano (1999), Plan maestro de ciclo rutas. Alcaldía Mayor de Bogotá.

Jordi, J.L (2004) La intermodalidad del transporte de personas. Ministerio de Fomento de España.

Lewis, J. R. (1994). Sample sizes for usability studies: Additional considerations. *Human Factors*, 36, 368–378.

Nielsen, J., & Landauer, T. (1993). A mathematical model of the finding of usability problems. *ACM Proceedings, Interchi 93*, Amsterdam.

Murillo, H.A. (2010). Guía de mecatrónica para diseñadores, máquinas de estado finito, parte 1. Universidad Eafit, Medellín.

Medellín Cómo Vamos –MCV– (2007). Informe de indicadores objetivo: Movilidad 2004 -2007. Medellín

Meisel, A. y Vega, M. (2004). La estatura de los Colombianos: un ensayo de antropometría histórica, 1910-2002. Documentos de trabajo sobre economía regional No 45. Banco de la República, Cartagena

Ministerio de Transporte de la República de Colombia (2004), Manual de Señalización Vial: Dispositivos para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia. Bogotá D.C

Pahl, G. & Beitz, W. (2007) *Engineering design: A systematic approach*, Third edition. Springer

Panero, J y Zelnik, M (2004). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Ediciones G. Gili, S.A. de C.V. Barcelona

Poulson, D., Ashby, M., Richardson, S. (eds.) (1996) *USERfit: A practical handbook on user-centred design for rehabilitation and assistive technology*. HUSAT research institute for the European Commission.

Pruitt, J.; Adlin, T. (2006) *The Persona Lifecycle: Keeping People in Mind Throughout Product Design*. Morgan Kaufmann. San Francisco, CA.

Restrepo, J. (2004) *Information Processing in Design*. Techne Press, (pp. 124-125). The Netherlands.

Sleeswijk Visser, F., Stappers, P.J, van der Lugt, R., Sanders, E.B.N. (2005) *Contextmapping: Experiences from Practice*, *Codesign*, 1, 119–49.

Shimano (2009), *Manual de soporte de Ventas 2010*, Japón: Shimano INC

Tullis, T., Albert, B. (2008) *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting Usability Metrics*, Morgan Kaufmann. 117-121

Ulrich, K. & Eppinger, S. (2004). *Diseño y desarrollo de productos: Enfoque multidisciplinario*. México: Mc Graw Hill.

Van der Lugt, R. (2004). *Visual communication for designers: Infographics and more*. In *Context and Conceptualization reader*, pp 97-115. Delft.

Virzi, R. (1992). *Refining the test phase of the usability evaluation: How many subjects is enough?* *Human Factors*, 34(4), 457–468.

Wagner, F., Ruedi, S., Wagner, T., Wolstenholme, P. (2006). *Modeling Software with Finite State Machines -A Practical Approach*, Taylor & Francis Group, LLC