

ARQUITECTURA DE LA PLATAFORMA TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTIDAS PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN.



Cristian Camilo Arcos Gómez
María Claudia Quisoboni

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Popayán, 2017.

ARQUITECTURA DE LA PLATAFORMA TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE BICICLETAS COMPARTIDAS PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN.



Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Cristian Camilo Arcos Gómez
María Claudia Quisoboni

Director: Ing. Mary Cristina Carrascal.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Popayán, 2017.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darnos el tiempo, las oportunidades y las personas correctas dentro de este proyecto.

Gracias a el pequeño pero más fuerte motor de nuestras vidas Gael, el ángel y luz de nuestros caminos.

Gracias infinitas a nuestras familias por su apoyo y amor incondicional.

Gracias a nuestra directora de tesis por su paciencia, alegría y gran contribución para hacer de esta idea un gran proyecto.

Gracias inmensas a Ecociclo y su gerente Tony Clark por creer en nosotros y por su importante respaldo y aporte.

Gracias al Doctor Roberto Lopez. Secretario de Tránsito de Popayán por confiar y apoyar el despliegue de este proyecto en la ciudad.

Gracias a la Mesa de la Bicicleta de Popayán, a los biciusuarios y los colectivos externos que con sus opiniones y sugerencias nos permitieron construir un mejor proyecto.

Gracias a nuestros amigos fuente de ánimo constante.

María y Camilo.



CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE IMPLEMENTACIÓN ...	9
1.1. POPAYÁN COMO CIUDAD.	9
1.2 MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE POPAYÁN.	11
1.3 LA BICICLETA DENTRO DE LA CIUDAD.	14
1.4 REQUERIMIENTOS IDENTIFICADOS PARA LA ZONA DE IMPLEMENTACIÓN.	19
1.4.1 <i>Requerimientos de Implementación del sistema</i>	19
1.4.2. <i>Comportamiento detallado del sistema.</i>	22
CAPÍTULO II. DISEÑO DEL SISTEMA	25
2.1 DIAGRAMAS DEL SISTEMA.	25
2.1.1 <i>Casos de Uso.</i>	25
2.1.2 <i>Diagrama General de Clases de Análisis.</i>	38
2.1.3 <i>Diagramado Caso de Uso.</i>	39
2.1.4. <i>Diagrama de Despliegue.</i>	44
2.2 MODELO GENERAL DEL SISTEMA	46
2.2.1 <i>Módulo de Servidor.</i>	47
2.2.2 <i>Módulo ISP.</i>	48
2.2.3 <i>Módulo de Conexión.</i>	48
2.2.4 <i>Módulo de Control.</i>	48
2.2.5 <i>Módulo de Anclaje</i>	49
2.2.6 <i>Módulo de Alimentación.</i>	49
2.2.7 <i>Módulo de Seguridad</i>	50
CAPÍTULO III. TECNOLOGÍAS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	51
3.1 TECNOLOGÍAS ESCOGIDAS PARA EL SISTEMA.	51
3.1.1 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Servidor.</i>	51
3.1.2 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo ISP.</i>	52
3.1.3 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Conexión.</i>	54
3.1.4 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Control.</i>	57
3.1.5 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Anclaje</i>	67
3.1.6 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Alimentación.</i>	79
3.1.7 <i>Tecnologías evaluadas para el Módulo de Seguridad.</i>	81
3.2 CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACIÓN DEL SBC.	81
3.2.1 <i>Consideraciones de Tipo Electrónico.</i>	82
3.2.2. <i>Consideraciones de Software:</i>	83
CAPITULO IV. DESARROLLO Y PRUEBAS	89



4.1 MONTAJE ELECTRÓNICO:	90
4.2. PLATAFORMA WEB.	94
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	101
CONCLUSIONES.	101
TRABAJOS FUTUROS	103
BIBLIOGRAFÍA	104

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. División de Popayán en comunas (Fuente Plan de Maestro de Movilidad- Alcaldía de Popayán).</i>	10
<i>Figura 2. Distribución Vial de la Ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán).</i>	12
<i>Figura 3. Ciclorutas actuales en la ciudad de Popayán. Fuente Steer Davies Gleave con base en Google Earth.</i>	15
<i>Figura 4. Tipo de Terreno por predio en la ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán)</i>	17
<i>Figura 5. Centros atractivos en la ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán)</i>	18
<i>Figura 6. Modelo General de Caso de Uso del SBC (Fuente Propia).</i>	27
<i>Figura 7. Diagrama de Clases del Sistema (Fuente Propia).</i>	39
<i>Figura 8. Diagrama de Secuencias Visualizar Estaciones (Fuente Propia).</i>	40
<i>Figura 9. Diagrama de Secuencias Registrar Datos (Fuente Propia).</i>	40
<i>Figura 10. Diagrama de Caso de Uso Utilizar Bicicleta (Fuente Propia).</i>	41
<i>Figura 11. Diagrama de Secuencia Gestionar Cuenta (Fuente Propia).</i>	41
<i>Figura 12. Diagrama de Secuencia Gestionar Estaciones (Fuente Propia).</i>	42
<i>Figura 13. Diagrama de Secuencias Gestionar Bicicletas (Fuente Propia).</i>	42
<i>Figura 14. Diagrama de Secuencia Gestionar Usuarios (Fuente Propia).</i>	43
<i>Figura 15. Diagrama de Secuencia Obtener Información (Fuente Propia).</i>	43
<i>Figura 16. Diagrama de Secuencia Gestionar Operadores (Fuente Propia).</i>	44
<i>Figura 17. Diagrama de Despliegue General del SBC.</i>	45
<i>Figura 18. Esquema Macro del SBC.</i>	46
<i>Figura 19. Esquema General del Sistema (Fuente propia).</i>	47
<i>Figura 20. Esquema del Módulo de Control del Sistema (Fuente Propia).</i>	48
<i>Figura 21. Diagrama de una red Wi-Fi (Fuente Tecnología y Servicios para la Sociedad de la Información -José Casar).</i>	56
<i>Figura 22. Esquema General de una Placa de Arduino (Fuente: Sitio web oficial de Arduino).</i>	58
<i>Figura 23. Placa de Arduino Mega (Fuente Documentación Abierta Arduino).</i>	61
<i>Figura 24. Circuito General de un Optoacoplador (Fuente Documentación Abierta de Arduino-Prometec)</i>	64
<i>Figura 25. Modulo de Relé del SBC (Fuente Documentación Arduino Prometec)</i>	65



Figura 26. Modulo CC3000. (Fuente DataSheet Texas Instruments)	66
Figura 27. Módulo de botones momentánea KY004. (Fuente Libro de descripción de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino-Keyes Robot)	69
Figura 28. Modulo Sensor Arduino KY-025. (Fuente Libro de descripción de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino-Keyes Robot).....	70
Figura 29. Ejemplo de una Aplicación con RFDI. (Fuente: Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia-Intermec)	71
Figura 30. Módulo RFID RC522 (Fuente Página Oficial Arduino)	77
Figura 31. Cerradura Convencional.	78
Figura 32. Sistema Mecánico.	78
Figura 33. Sistema Electrónico	79
Figura 34. Ciclo de Actividades de la ISO13407.	85
Figura 35. Principales métodos de diseño centrado en el usuario (Según Morville).....	86
Figura 36. Estación Inicial de Ecociclo.	89
Figura 37. Consola básica de Conexión. (Fuente propia).....	90
Figura 38. Montaje de acople de Modulo CC300. (Fuente Propia).	91
Figura 39. Configuración de Ip Fija para Arduino dentro del Router. (Fuente Pagina Oficial Tp-Link)....	92
Figura 40. Interfaz de Control de dispositivos mediante Modulo CC3000. (Fuente Propia).....	92
Figura 41. Conexión Solenoide-Cerradura Mecánica. (Fuente Propia).	93
Figura 42. Montaje Final de Prueba. Ecociclo (Fuente Propia).	94
Figura 43. Pruebas de Plataforma Web del SBC. (Fuente propia)	95
Figura 44. Interfaz de Inicio del SBC.	96
Figura 45. Interfaz de Inicio de Sesión del SBC.....	96
Figura 46. Interfaz para Despacho de bicicletas del SBC.....	97
Figura 47. Ventana Final de Confirmación de Préstamo del SBC.....	97
Figura 48. Esquema del Bicitrato Popayán 2016. (Fuente Informe de Bicitrato Mesa de la Bicicleta) ..	98
Figura 49. Interfaz de Inicio Sistema Bicipp. (Fuente Propia).	99
Figura 50. Interfaz de Registro de Usuarios Sistema Bicipp (Fuente Propia).	100
Figura 51. Interfaz de Inicio de Sesión Sistema Bicipp (Fuente Propia).....	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción Caso de Uso Registrar Datos (Fuente Propia).....	29
Tabla 2. Descripción General Caso de Uso Visualizar Estaciones (Fuente Propia).	30
Tabla 3. Descripción Caso de Uso Iniciar Sesión (Fuente Propia).....	31
Tabla 4. Descripción Caso de Uso Utilizar Estación (Fuente Propia).....	32
Tabla 5. Descripción Caso de Uso Gestionar Cuenta.	33
Tabla 6. Descripción Caso de Uso Gestionar Estaciones.....	34
Tabla 7. Descripción Caso de Uso Gestionar Bicicletas (Fuente Propia).	36
Tabla 8. Descripción Caso de Uso Gestionar Usuario (Fuente Propia).	36
Tabla 9. Descripción Caso de Uso Obtener Reporte (Fuente Propia).	37
Tabla 10. Descripción Caso de Uso Gestionar Operadores (Fuente Propia).....	38



Tabla 11. Comparativa de Tecnologías de Conexión (Fuente Propia)..... 55
Tabla 12. Familia de Estándares IEEE 802.11 (Tecnología y Servicios para la Sociedad de la Información -José Casar). 57
Tabla 13. Comparativa de Tecnologías de Control (Fuente Propia)..... 59
Tabla 14. Comparativa de Tarjetas Arduino (Fuente Página Oficial de Arduino) 60
Tabla 15. Comparación Tipos de Cerraduras. 62
Tabla 16. Comparativa de Wifi Shields para Arduino Mega (Fuente: Sitio Web CNXSoft). 66
Tabla 17. Comparativa de los Sistemas de Identificación analizados. 75
Tabla 18. Comparación Tecnología RFDI Pasiva y Activa. (Fuente Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia-Intermec)..... 76
Tabla 19. Alimentación de la estación del SBC. 80

LISTA DE ACRÓNIMOS

TICS	Tecnologías de Información y Comunicación.
DERBI	Dispositivos de estacionamiento y retención de bicicletas.
TCP/IP	Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet
SETP	Sistema Estratégico De Transporte Público
VPS	Virtual Private Server
RTB	Red Telefónica Básica
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
PAN	Redes de Área Personal
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
WEP	Wired Equivalent Privacy
WPA	Wi-Fi Protected Access
RFDI	Identificador de Radio Frecuencia
SBC	Sistema de Bicicletas Compartidas
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
MVC	Modelo Vista Controlador
ISP	Proveedor de Servicios de Internet
CSMA	Acceso Múltiple con Escucha de Portadora
CSMA/CD	Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones
RTC	Red Telefónica Conmutada
PAN	Redes de Área Local
Wi-Fi	Wireless Fidelity
LMDS	Sistema de Distribución Local Multipunto
GPRS	Servicio General de Paquetes Vía Radio
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo



FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FDD	Duplexacion por Division de Frecuencia
CDMA	Acceso Multiple por Division deCodigo
PSK	Desplazamiento de Fase
OFDM	Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales
QoS	Calidad de Servicio
PCB	Placa de Circuito Impreso
ICSP	Programacion Serial en Circuito
USB	Bus Serial Universal
RS232	Estandar Recomendado 232
PWM	Modulacion por Ancho de Pulso
RAM	Memoria de Acceso Aleatoria
SRAM	Memoria Estatica de Acceso Aleatorio
EEPROM	ROM Programable y Borrable Eléctricamente
GND	Punto de Tierra
TCP/UDP	Protocolo de Control de Transmision/ Protocolo de Datagramas de Usuario
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
IOT	Internet de las Cosas
SPI	Interfaz de Perifericos Serie
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
IRQ	Solicitud de Interrupcion
TKIP	Protocolo Integral de Clave Temporal
AES	Estandar de Encriptacion Avanzado
FCC	Operador Global de Infraestructura y Servicio
NFC	Comunicacion de Campo Cercano
OCR	Reconocimiento Optico de Caracteres
MICR	Reconocimiento de Caracteres por Tinta Magnetica
NiMH	Niquel, Metal e Hidruro
AA	Bateria Alcalinas
CC	Corriente Continua
CA	Corriente Alterna
ISO	Organización Internacional de Normalización
IEC	Comisión Electrotécnica Internaciona
NEMA	Asociacion Nacional de Fabricantes Electricos
DCU	Diseño Centrado en el Usuario
IP	Protocolo de Internet
WAN	Red de Area Amplia
LAN	Red de Area Local
Bicipp	Bicicletas Publicas para Popayan



INTRODUCCIÓN

El ambiente urbano de hoy ya no es el mismo, las numerosas revoluciones tecnológicas han cambiado cada uno de los entornos que circulan alrededor de la urbe. La creciente globalización ha transformado nuestra forma de vivir e interactuar con el medio, esencialmente en temas de movilidad, ya que se han generado nuevas formas de transporte que junto a esta revolución de las TICs, buscan satisfacer las necesidades de los actuales estilos de vida. La gran cantidad de herramientas tecnológicas con las que se cuenta actualmente y el gran flujo de información que corre a través de la red, han creado procesos de movilidad mucho más contemporáneos y han establecido una nueva estructura urbana influenciada fuertemente por la tecnología [1].

La aldea moderna está cruzando las fronteras físicas construyéndose bajo una misma red de información. Es necesario, crear mayores opciones de movilidad que integren la tecnología ya existente (gran parte de ella ya masificada en las ciudades) y aporten diseños que disminuyan el caos de las actuales vías [2]. Una de las opciones que está tomando mayor fuerza ofreciendo grandes beneficios, es el uso de la bicicleta como medio de transporte, ya que genera un impacto positivo a nivel social, ambiental, cultural y económico. La bicicleta se presenta entonces, como una solución a los crecientes problemas de tráfico de las ciudades, ya que se ha demostrado que la construcción de nuevas infraestructuras no es una respuesta verdadera, pues la fluidez que puede dar en un momento determinado se anula al pasar del tiempo cuando las nuevas vías retoman rápidamente la congestión inicial. Por esta razón se ha tomado la iniciativa de potenciar y adoptar soluciones alternativas para cubrir las actuales necesidades de la movilidad urbana: En muchas ciudades con índices de congestión significativos la bicicleta ha demostrado ser uno de los medios de locomoción más rápidos y eficaces para ciertos desplazamientos [3]. Además, la reciente irrupción en el mercado de una tecnología capaz de proporcionar un nuevo servicio para los ciudadanos, ha determinado el deseo de empresas e instituciones gubernamentales para implementar sistemas de autoservicio de elementos de transporte (en este caso bicicletas) alternativos al transporte privado y complementario con el transporte público.

La bicicleta ya es una tendencia real de movilidad, ha tenido mejoras técnicas que la han convertido en un vehículo moderno, cómodo y eficaz. Además de no contaminar y ser silenciosa, económica, discreta y accesible a todos los miembros de la familia, la bicicleta resulta más rápida que el auto en trayectos urbanos de corta distancia. Por ejemplo, si se habla de ciudades intermedias, existen estudios que demuestran que es posible alcanzar un nivel de utilización de este medio del 20 al 25% con poblaciones entre 50.000 y 500.000 habitantes. Incluso, actualmente las ciudades más eficaces, en países como Dinamarca y Holanda alcanzan índices de utilización de la bicicleta superior al 40% [4].



Estos procesos no han sido ajenos a esta ciudad, considerando a Popayán como una ciudad intermedia y tomando los resultados del primer Informe acerca de la calidad ambiental de las zonas urbanas del país, donde Popayán se ubica bajo el rango de Muy Baja, superada solo por Tumaco y Pasto [5], es importante que tanto las instituciones como la comunidad busquen desarrollar proyectos que ayuden al medio ambiente. Bajo este contexto, actualmente se está tratando de generar espacios públicos que piensen en los peatones y los ciclistas como actores fundamentales hacia una movilidad más sostenible, [6] se han creado incluso, movimientos para promover su uso y establecer un pensamiento más crítico hacia este medio de transporte como parte de un estilo de vida que genere un impacto local, entre estos se puede citar el colectivo ciudadano Vamos en Bici Popayán [7]

Dentro del contexto particular de la ciudad blanca se pueden identificar varios problemas, como calles estrechas e inadecuadas para soportar alto tráfico de autos, una demanda representativa de movilidad fluida especialmente para viajes cortos, la ausencia de un control de tráfico real que evite el parqueo inadecuado de carros y una gran necesidad de ampliar los espacios locales para otros medios de transporte [8]. Estos factores han estancado la movilidad de la ciudad y han aumentado el caos vial, es por ello que la Alcaldía Municipal diseñó el Sistema Estratégico de Transporte Público (SETP), que hoy se encuentra en su fase inicial. Este plan de transformación vial ha incluido la construcción de ciclo-vías, creando una malla que contiene varios tramos convergentes en sitios estratégicos, buscando conectar estas con las ya existentes, para formar una red ciclo-vial lo suficientemente densa para mover a gran parte de la población urbana [9]

Si bien la bicicleta representa una opción válida como parte de la movilidad de esta ciudad, es preciso pensar en la movilidad como un servicio al flujo vial, es aquí donde las TICs pueden albergar este medio de transporte bajo un sistema organizado de bicicletas públicas compartidas. Estos Sistemas de Bicicletas Compartidas nacieron a mediados del 2004 y en tan solo una década, ya hay más de 500 ciudades de 50 países con algún sistema público de bicicleta compartida y no sólo en capitales europeas, donde nació la idea. En Norteamérica pueden encontrarse 21 sistemas, mientras que el número más elevado de bicicletas compartidas se encuentra en China, donde ascienden a 370.000, siendo una tendencia que va en aumento en estas tres regiones [2].

Estos sistemas han surgido para quedarse y cambiar la idea de movilidad como servicio que puede adquirirse con tan solo un clic. El objetivo de este tipo de sistemas automatizado es permitir a un ciudadano obtener por sí mismo un vehículo de transporte (en este caso una bicicleta) en una estación, utilizar el elemento de transporte durante un tiempo determinado y finalmente facilitarle su devolución en la misma o en otra estación. Este servicio debe sustentarse en un modelo flexible de gestión que garantice su correcto funcionamiento y se ajuste siempre a los requerimientos actuales y futuros [3].

Este proyecto nace entonces desde la necesidad de implementar un medio alternativo de transporte en la ciudad de Popayán, se quiere desde el campo tecnológico integrar estaciones, bicicletas, y usuarios en una plataforma web totalmente amigable e inteligente



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

que pueda consolidarse como un sistema de fácil manejo. Este sistema debe partir desde un prototipo semilla que invite a la comunidad en general a creer en este medio como un factor importante para la movilidad urbana del futuro, su diseño en esencia, estaría basado en las características propias de la ciudad de Popayán, además estaría pensado bajo un esquema modular por estaciones, con soporte para implementaciones futuras de crecimiento e interconexión. Este factor de particularidad se propone dado que la mayoría de estos sistemas requieren grandes inversiones de capital y son generalmente importados sin atender adecuadamente todas las necesidades reales de la zona de implementación, que en muchos casos se constituye posteriormente en una posible causa de fracaso [10].

La estructura de este trabajo está diseñada en cinco capítulos. El primer capítulo presenta la caracterización de todos los factores de la ciudad de Popayán influyentes en el diseño de la plataforma que se desea construir. El segundo capítulo, está dedicado al modelamiento del sistema. El tercer capítulo, plantea las posibles tecnologías que podrían ser utilizadas en el sistema y su diseño. El cuarto capítulo contiene la fase pruebas y verificación del sistema. Y finalmente el quinto capítulo contiene las principales conclusiones obtenidas y una serie de recomendaciones y propuestas para futuros trabajos.



CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE IMPLEMENTACIÓN

Para implementar exitosamente este tipo de sistemas se debe reconocer primero el entorno inmediato donde se inscribe geográficamente, lo cual escenifica una plataforma de conceptos propios. A continuación, se describen todos los aspectos de la ciudad de Popayán, que se consideran son importantes, dado que afectan o influyen en el diseño e implementación de este proyecto.

1.1. Popayán como ciudad.

Popayán está ubicado al suroeste del país, entre la sierra montañosa del oeste y la cordillera central de Colombia al este. Esta ubicación le permite gozar de vistas espectaculares y de una biodiversidad increíble en los alrededores. Es la capital del Departamento del Cauca y fue fundada el 13 de enero de 1537 por Sebastián de Belalcázar, aunque es hasta el 15 de agosto de 1537 cuando se logra su total conquista y se decide conservar su nombre indígena de “Popayán” [11].

Después de 1550 se estableció un sistema político que se tradujo en la instauración de una sociedad colonial basada en la explotación del oro cuya posesión trajo consigo un enorme poder económico y político para las familias aquí establecidas. El auge minero y comercial, así como la posterior llegada de familias españolas de linaje hicieron de Popayán una ciudad muy importante en el Virreinato de la Nueva Granada, ellos con sus riquezas crearon haciendas, construyeron grandes casonas y dotaron a la ciudad de enormes templos con imágenes traídas de España, dejando una importante riqueza arquitectónica [11].

Popayán compitió con ciudades como Cartagena, Bogotá y Tunja en el número de nobles titulados domiciliados en ellas, además el casco antiguo o centro histórico de Popayán es considerado uno de los más bellos y mejores conservados de Colombia y América Latina. Las calles que fueron empedradas en sus inicios en el centro histórico, fueron asfaltadas casi en su totalidad en 1937. La ciudad ha logrado conservar su escala urbana y la armonía de su carácter colonial durante más de cuatro siglos, atractivo que seduce a numerosos visitantes nacionales y extranjeros. Las hermosas casonas que por varios siglos ocuparon las familias más destacadas de la ciudad, hoy han sido rehabilitadas en su mayoría para diferentes usos. Existe igualmente una impresionante profusión de templos coloniales lo que recuerda el papel protagónico de la Iglesia católica en la formación de la ciudad a lo largo de su historia [11].

Actualmente la ciudad cuenta con 277.441 habitantes, con una distribución de población 86% urbana y 14% rural, [12]. Su extensión territorial es de 512 km², su altitud media es de 1.760 metros sobre el nivel del mar, su precipitación media anual es de 1.941 mm, su



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

temperatura promedio es de 18/20 °C siendo un clima templado, aunque el pasado año debido al fenómeno del calentamiento global alcanzó los 36°C el 28 de septiembre [13]. En el 2005, la Unesco designó a la ciudad de Popayán como la primera ciudad de la gastronomía por su variedad y significado para el patrimonio intangible de los colombianos [14]. La cocina caucana fue seleccionada por mantener sus métodos tradicionales de preparación a través de la tradición oral [15]. El 28 de septiembre de 2009 las Procesiones de Semana Santa de Popayán fueron declaradas por la UNESCO como Obra Maestra del Patrimonio Oral e Inmaterial de la Humanidad. Es conocida también como la «Ciudad Blanca», «Ciudad Fecunda», «Ciudad Procera» y «Ciudad Universitaria».

La ciudad se encuentra actualmente dividida en 296 barrios agrupados en 9 comunas en el sector urbano, 75 veredas agrupadas en 23 corregimientos y 2 resguardos indígenas en el sector rural, que se pueden evidenciar claramente por convención de colores en la Figura 1. El área metropolitana de Popayán está conformada por la ciudad de Popayán y los municipios de El Tambo, Timbío, Cajibío y Piendamó, que representan una población total de 439.257 personas [16].

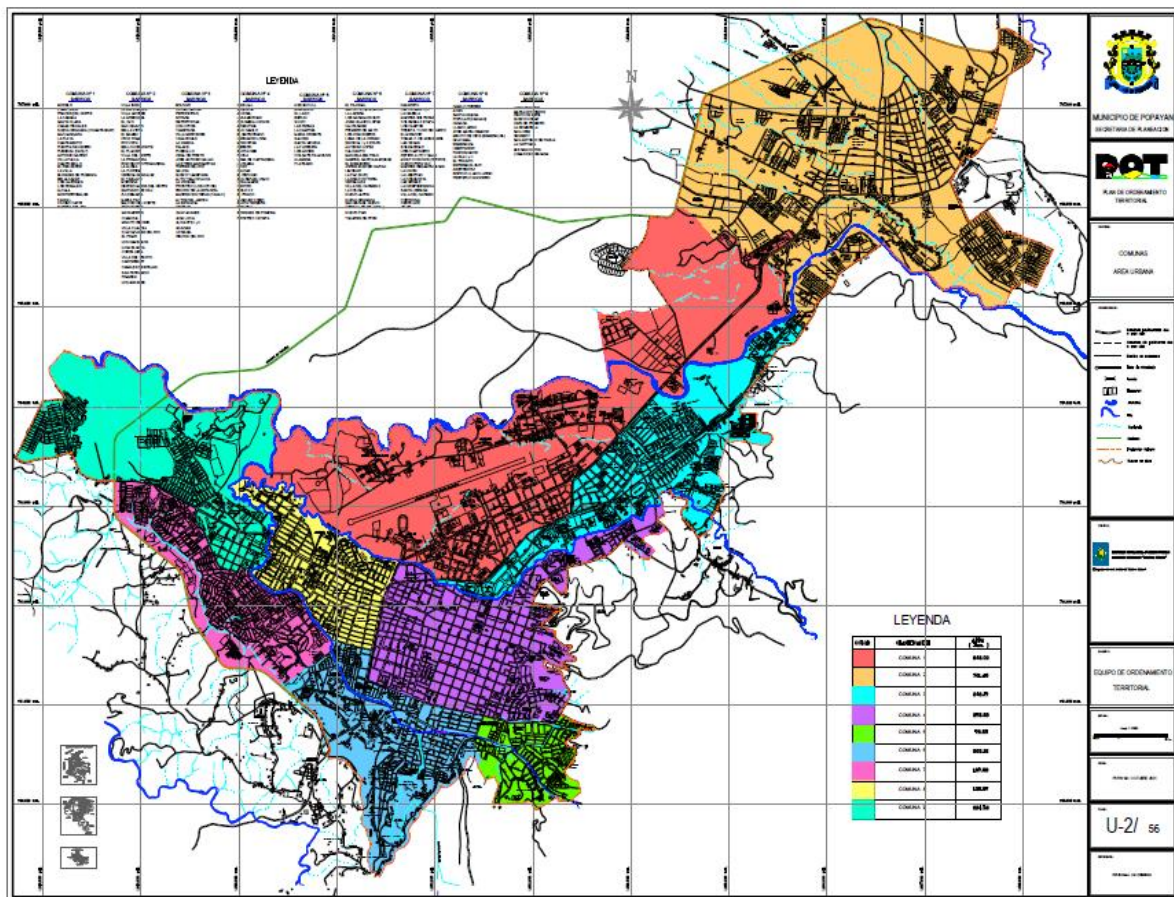


Figura 1. División de Popayán en comunas (Fuente Plan de Maestro de Movilidad- Alcaldía de Popayán).



Es importante resaltar que aun Popayán puede considerarse como una ciudad centralizada donde la mayoría de sus instituciones gubernamentales, económicas y comerciales se encuentran en el Centro Histórico, que cuenta con aproximadamente 236 Manzanas convirtiéndose en uno de los centros Coloniales más grandes del país y América [16]

1.2 Movilidad en la Ciudad de Popayán.

Popayán nació como una ciudad principalmente colonial presentando un crecimiento en cuadrículas, que se extienden en orden centralizado desde el centro histórico de la ciudad, pero con el terremoto de 1983 y otros de menor intensidad ocurridos en los años siguientes se afectó gran parte de su estructura, fomentando junto al fenómeno del desplazamiento forzado que experimentó el país en el tiempo crudo de su guerra contra los grupos armados ilegales, procesos de reconstrucción y nuevos barrios que dejaron un crecimiento caótico y desordenado. Fue entonces hasta la administración de 1991-1993 del Ing. Víctor José Gómez, que se empezó a construir un plan urbano que buscaba responder a este crecimiento, convirtiéndose en la base de los futuros procesos de desarrollo urbano. Durante la siguiente administración de Luis Fernando Velasco se buscó construir los denominados anillos viales pero las obras se vieron frenadas debido a la crisis financiera en la que entró el municipio [17]

Las siguientes administraciones se dedicaron a realizar obras de mínimo impacto y solo hasta ahora, debido a las políticas de mejora y modernización del gobierno nacional junto al interés privado (nacional y extranjera), se ha empezado a replantear la situación demográfica y vial de Popayán, construyendo un plan de movilidad enfocado en el desarrollo de la ciudad que ha logrado crear desde el 2009 un Sistema Estratégico De Transporte Público (SETP), que es financiado por la administración local, el gobierno nacional y el sector privado como parte del Plan de Desarrollo Nacional [17]

Este sistema de transporte, es la mayor apuesta de la administración local para dar una solución verdadera y duradera a los numerosos problemas de movilidad y espacio público que hoy la afectan. Es evidente que la ciudad presenta varios problemas entre ellos: la gran congestión de vehículos en especial en las horas pico, el creciente fenómeno del mototaxismo, como confluencia del desempleo y la búsqueda de un transporte mucho más ágil y oportuno, el mal ordenamiento de la ciudad, el problema de la inadecuada valorización de algunas zonas bajo intereses privados, la poca infraestructura vial para el ingreso a varias zonas de la ciudad y la falta de movilidad fluida en las zonas de mayor área comercial, por ejemplo, la ciudad solo cuenta con vías importantes hacia el norte (Carrera 9 y 6) que finalmente se unen a la altura del Tablazo y que genera varias franjas de embotellamiento, como se puede verificar en la Figura 2, evidenciando que las vías existentes no están en la capacidad de absorber el número de vehículos privados y públicos, lo que está frenando el desarrollo de la ciudad y afectando el bienestar de sus habitantes [9].

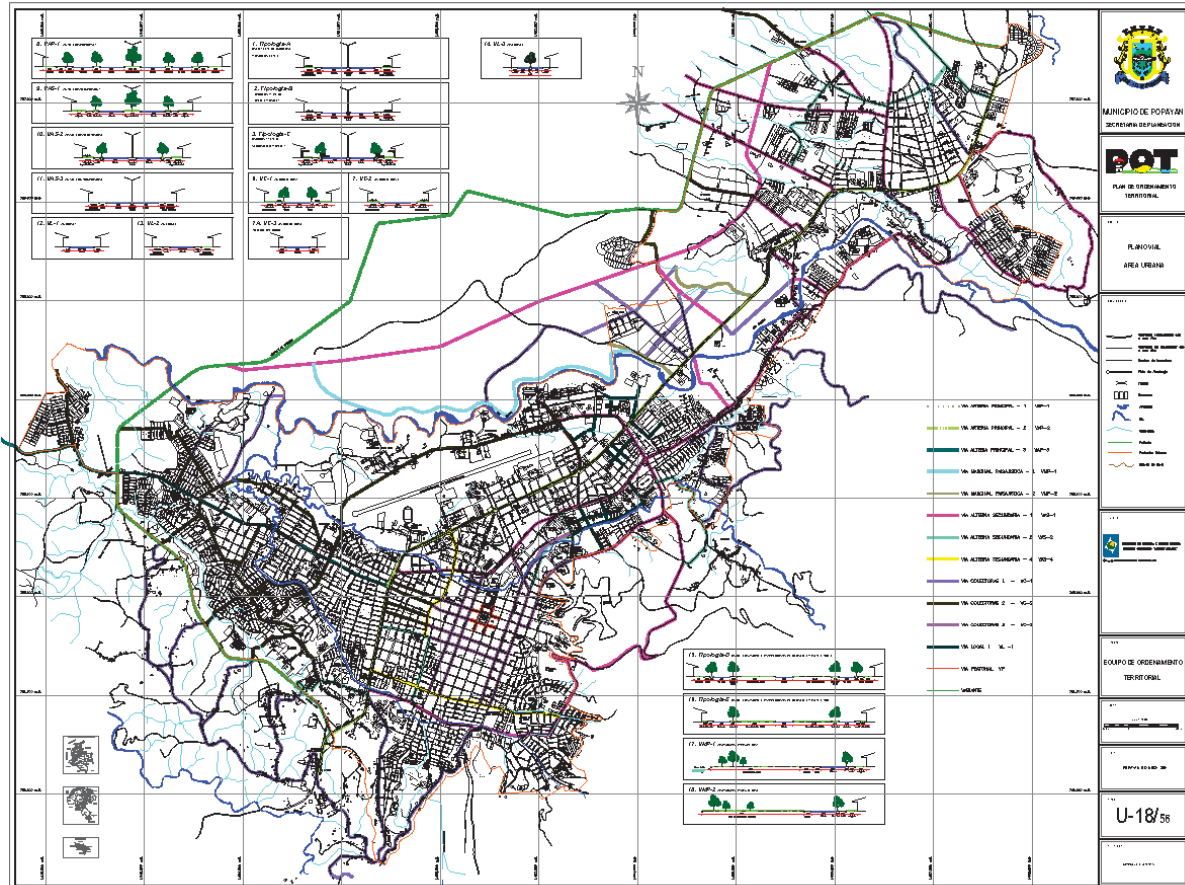


Figura 2. Distribución Vial de la Ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán).

También es importante resaltar que el sector que presta el servicio de transporte público actual tiene varios inconvenientes. Presentan una gran desorganización en la expedición de licencias de operación, además un porcentaje superior al 35% de los automotores ya cumplieron su tiempo límite de operación y la falta de una regulación real de la prestación del servicio que estos ofrecen. Incluso ha sido este sector privado de empresas quienes han participado políticamente como representantes del Consejo Municipal, adecuando a su conveniencia particular leyes y recursos que deberían ser guiados al interés público real de movilidad. Resultando un sistema de transporte poco operativo, con altas tarifas y rutas ineficientes, cuya sobreoferta es cercana al 60%. Además, el esquema institucional que opera en el transporte urbano no es el mejor, pues está segmentado, es decir, el servicio está en manos de tres agentes (las empresas afiliadoras, los propietarios de los vehículos y los conductores) quienes tienen intereses particulares y diferentes, lo que genera un detrimento en la calidad del servicio que se le presta al usuario. A esto se le incorporan los sistemas de transporte ilegales, que cada vez toman más fuerza en la ciudad (mototaxis) los cuales por su condición, no ofrecen ningún tipo de garantía de seguridad para el usuario, ni tarifas reguladas [18]

Entre los colectivos, buses y busetones presentes en la ciudad, forman 47 rutas autorizadas con un parque automotor de 663 vehículos. Estos vehículos, en promedio, transportan por



día 101.604 pasajeros [19]. Solo el 49% de las rutas de transporte público colectivo tienen una ocupación del 100% en las horas pico. Este sistema tiene un alto grado de superposición, cada ruta tiene en promedio una frecuencia de despacho de tres minutos y un recorrido de 45 kilómetros, que es un porcentaje alto cuando se compara con el promedio nacional, que está en 20 kilómetros [20]. Finalmente, la tarifa de este modo ha crecido a una tasa promedio de 8,3% anual, en términos reales, en los últimos dos años.

Buscando solucionar todos estos problemas actuales de movilidad, Popayán ya se encuentra haciendo parte del programa de ciudades amables, dentro del cual se viene desarrollando el SETP, bajo la dirección de la empresa Movilidad Futura S.A.S, que ha realizado varios arreglos y adecuaciones en avenidas y troncales principales por donde funcionará el sistema, también se pretende contar con una nueva flota mucho más moderna, incluyendo ascensor para discapacitados, sistema audiovisual, etc. Estos nuevos buses serán de 36 pasajeros máximo y 24 pasajeros mínimo para cubrir rutas de menor demanda, el modo de pago podrá ser por medio de tarjeta inteligente, aunque en un principio con fines de adaptación del sistema se hará pago mixto, es decir, por medio de tarjeta inteligente y en efectivo [18]

Este nuevo Sistema de Transporte Público busca atender la jerarquía actual de movilidad donde se prioriza al peatón y al ciclista construyendo dentro de sus obras puentes peatonales como la solución principal para la protección del peatón y la reducción de la accidentalidad, los cruces tipo cebrá con prioridad al peatón, corredores integrados con reductores de velocidad, cruces semafóricos, entre otras alternativas. En el caso del modo bicicleta, se plantea la construcción de 19 Km de ciclorutas. Inicialmente se construirá una cicloruta que permitirá a los usuarios de las bicicletas trasladarse de manera segura del norte al centro de la ciudad y del oriente al centro, conectando las zonas de mayor actividad económica de la ciudad como el centro y La Esmeralda. Se busca igualmente, favorecer a la población de menores ingresos mejorando sus condiciones de vida en la medida que brindará la posibilidad de desplazarse a los dos principales centros de actividad económica de la ciudad de manera segura y a bajo costo. Esto, sin contar con el impacto positivo sobre la población que utiliza bicicleta con fines deportivos [9]

Sin embargo, el plan que se viene desarrollando, no contempla en sí un sistema público de bicicletas como tal que busque cumplir con las nuevas exigencias que imponen las ciudades modernas y coloque a Popayán dentro de la tendencia global de movilidad sostenible [17]

Dentro de esta tendencia hacia un transporte más sostenible en la ciudad se han realizado algunos estudios que han llegado incluso a instaurar oficialmente mediante actas locales la urgencia de alternativas diferentes que fomenten y presten servicios de transportes mucho más ecológicos. Entre ellas el Acta Nro. 89 del 6 de Julio de 2013, que presenta un estudio realizado a la población estudiantil de las facultades del centro histórico de la ciudad, analizando la necesidad de implementar un Sistema De Bicicletas Compartidas (SBC), de la cual se obtuvo que más del 88% de los encuestados, no solo ven dicha necesidad también la utilizarían para sus desplazamientos cortos mientras permanecen ligados al



desarrollo académico de sus facultades. Así mismo se detalla que la población que reside en las comunas 4,5 y 6 serían los mejores candidatos a utilizar el sistema con mayor frecuencia dada su cercanía a la zona centro e igualmente el mayor impacto de beneficio de construcción del sistema se vería en los estudiantes de estratos 1,2 y 3 que representan el 85% de la población total estudiada, generando un importante mercado del servicio en cuestión. Dichos estudios permitieron concluir que el programa de movilidad de la ciudad debe incluir este tipo de sistemas como un modo de transporte alternativo y sustentable. Igualmente se expone que el gobierno local debe facilitar recursos y espacios para que este nuevo tipo de transporte fluya en la ciudad y se mantenga en el tiempo. También, es necesario adquirir un compromiso real para fomentar la cultura ciudadana que se requiere y el cumplimiento de las normas que protegen al ciclista y al peatón.

1.3 La Bicicleta dentro de la ciudad.

La infraestructura actual de Popayán para el transporte en bicicleta es muy limitada. Según los registros encontrados en el levantamiento vial, la ciudad solo cuenta con aproximadamente 8.7 kilómetros de infraestructura ciclista. Los tramos de cicloruta existentes están sobre las siguientes vías [21].

- Calle 5 entre la carrera 18 y la carrera 23
- Carrera 2 entre calle 15N y calle 25N
- Carrera 6, entre calle 15 N y Pisojé calle 58N.
- Calle 25 N, entre carreras 6 y 9.

Estas ciclorutas se pueden observar en la Figura 3.



Figura 3. Ciclorutas actuales en la ciudad de Popayán. Fuente Steer Davies Gleave con base en Google Earth.

-Cicloruta de la Calle 5:

La cicloruta de la calle 5 tiene una longitud de 550 metros, comenzando en la carrera 18 hasta la carrera 23. El ancho de la ciclorruta es de 1.60 metros. El pavimento es asfáltico y se encuentra en buen estado sin embargo terminando la ciclorruta cerca de la carrera 23 existe un tramo de 20 metros que no se encuentra en buen estado. No cuenta con señalización horizontal ni vertical, y con frecuencia es invadida por vehículos, vendedores ambulantes y personas. [9]

-Cicloruta de la Calle 25N

La cicloruta de la calle 25 N es la más corta de las existentes en la ciudad, esta mide aproximadamente 350 metros y va desde la carrera 6 hasta la carrera 9. El ancho de la ciclorruta es 1 metro. El estado del pavimento es bueno y cuenta con señalización horizontal. [9]



-Cicloruta de la Carrera 2.

La cicloruta de la carrera 2 comienza en la sede Tulcán de la Universidad del Cauca (Calle 15 N) y termina 250 metros antes de la salida al Huila (Calle 25N). Su longitud es aproximadamente 760 metros y mide 1.6 metros de ancho. El pavimento se encuentra en buen estado y tiene señalización horizontal y vertical en excelente estado. Esta cicloruta cuenta con mobiliario urbano, iluminación propia y andenes con señalización para personas invidentes.

-Cicloruta de la Carrera 2.

La cicloruta de la carrera 2 comienza en la sede Tulcán de la Universidad del Cauca (Calle 15 N) y termina 250 metros antes de la salida al Huila (Calle 25N). Su longitud es aproximadamente 760 metros y mide 1.6 metros de ancho. El pavimento se encuentra en buen estado y tiene señalización horizontal y vertical en excelente estado. Esta cicloruta cuenta con mobiliario urbano, iluminación propia y andenes con señalización para personas invidentes.

Se puede concluir entonces que la ciudad necesita mayor infraestructura para los ciclistas y adecuar las áreas que se encuentran en mal estado, bajo este lineamiento, se requiere encontrar las zonas que tiene mayor potencial ciclista para empezar desde estos sectores a fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte, dichas zonas están identificadas generalmente por las siguientes características [21]:

- ✓ Zonas cuya topografía se preste para ser transitadas en bicicleta, correspondientes a zonas planas o de muy bajas pendientes.
- ✓ Zonas que se encuentren localizadas a una distancia prudente de lugares concurridos para ser recorridos en bicicleta.

Se debe determinar entonces cuáles son las zonas dentro de la ciudad, ubicadas en terrenos aptos para ser transitados en bicicleta. Se ha evidenciado que zonas en terrenos empinados o inclinados son zonas menos propensas de ser transitadas en bicicleta como modo de transporte cotidiano, por el contrario, son zonas en las que los ciclistas que usan este modo a manera deportiva las prefieren para ejercitarse. Y sumado a esto localizar los centros con mayor demanda de viajes, y determinar cuáles de las zonas que cumplan con las dos características mencionadas en los pasos 1 y 2, se encuentran localizadas a una distancia que sea apta de ser recorrida en bicicleta de forma cotidiana. Se ha encontrado en diferentes estudios, en la literatura y en la evidencia de encuestas de movilidad, que una distancia promedio es entre 5 y 8 kilómetros [21].

El análisis del terreno de la ciudad se basa en la información asociada a la investigación predial de la cartografía municipal. Dicha cartografía contiene un atributo para cada predio en el que se identifica si el predio está localizado en terreno plano, inclinado o empinado. Haciendo uso de herramientas de sistemas de información geográfica, se cruzaron los

archivos de secciones urbanas y de predios, de tal manera que mediante un análisis espacial, se determinó el terreno prevaleciente de la sección urbana, tomándolo como el tipo de terreno para la sección urbana, el que corresponde al de la mayoría de predios que la componen. La Figura 4, muestra el tipo de terreno por predio en la ciudad de Popayán siguiendo el análisis antes descrito. La figura evidencia que la mayor parte del terreno en el que se localiza la zona urbana del municipio es plana y que en las periferias se localizan algunos predios en terrenos ondulados y en menor proporción empinado. Convirtiendo a la ciudad de Popayán en una zona ampliamente apta para el uso de la bicicleta.

Como se observa en la Figura 4, las zonas en las que se presentan mayores inclinaciones corresponden a la periferia sur, correspondiente a la comuna 5 y 6, y en la periferia oriental, correspondiente a las comunas 3 y 4.

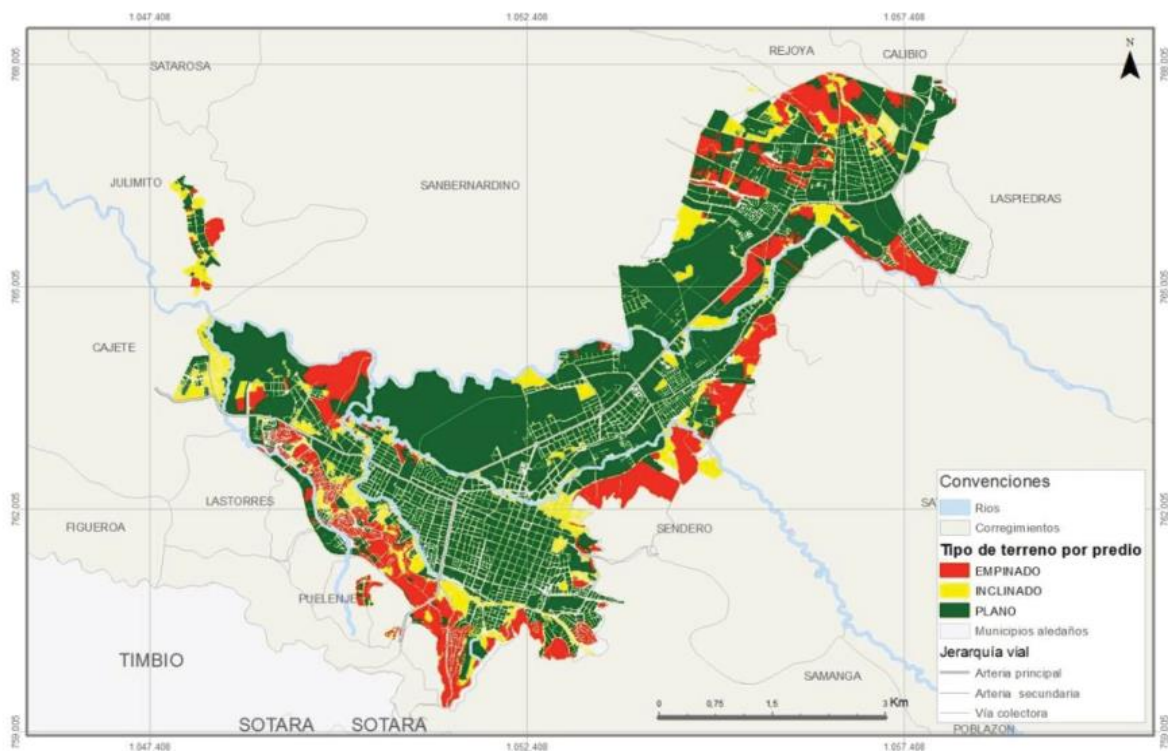


Figura 4. Tipo de Terreno por predio en la ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán)

En cuanto a los centros con mayor potenciales viajes de ciclistas. Se utilizó la capa geográfica de Centros “Atractivos” suministrada por el equipo de Movilidad Futura. Dentro de esta capa se encuentran los centros localizados dentro de la zona urbana del municipio que corresponden a las siguientes categorías:

- Centros recreativos y deportivos
- Parques
- Clínicas - Hospitales
- Colegios y Universidades
- Centro Comerciales y Galerías

- Iglesias
- Institucional
- Terminal de Transporte
- Turístico

La localización de dichos centros atractivos se presenta en la Figura 5.

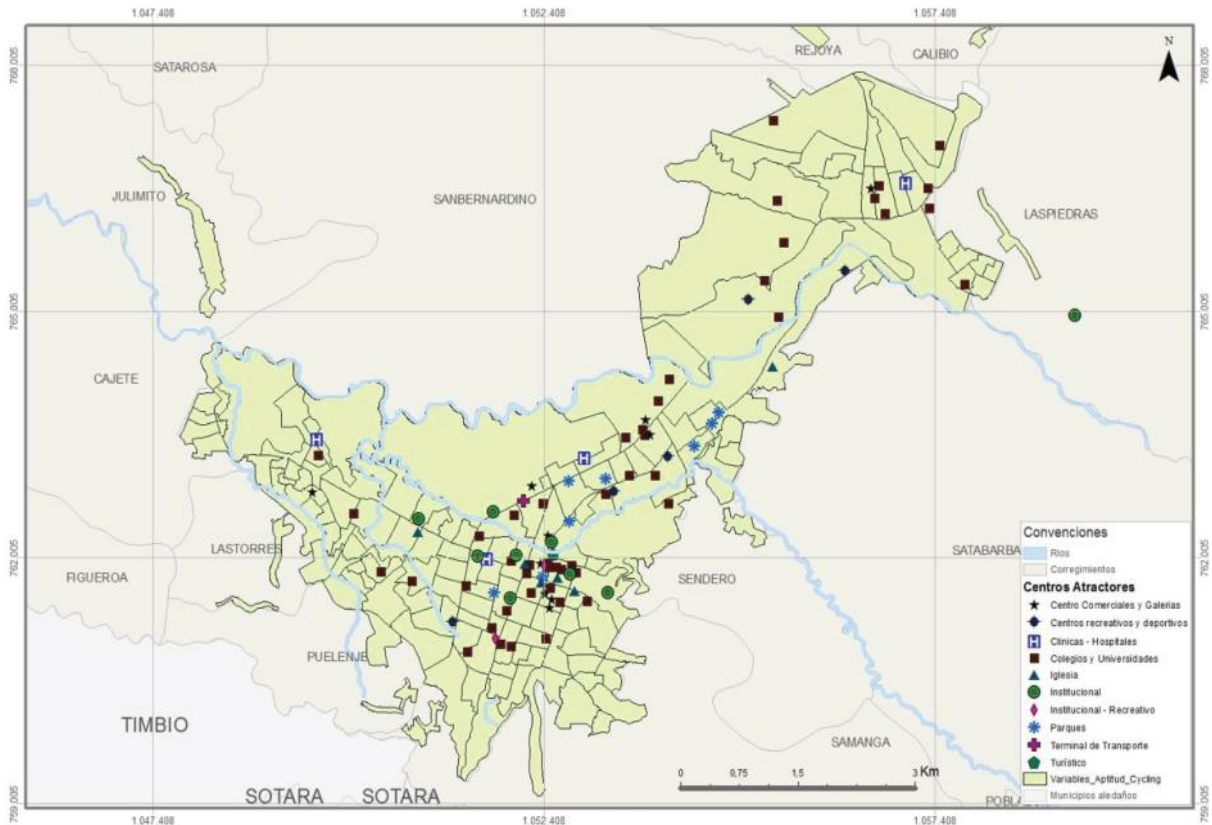


Figura 5. Centros atractivos en la ciudad de Popayán. (Fuente Plan Maestro de Movilidad – Alcaldía de Popayán)

Del anterior análisis se puede concluir que toda la zona urbana plana de la ciudad es factible de ser recorrida en bicicleta, pues las mayores distancias se presentan entre el extremo norte de la comuna 1 y el extremo sur de la comuna 6, y corresponden a cerca de 8 kilómetros. De esta manera, se considera que las zonas de Popayán del sector urbano en terreno plano, se encuentran todas a distancias aptas de ser recorridas en bicicleta, ya que tienen centros atractivos de viajes localizados a menos de 8 kilómetros. Este hecho refleja una oportunidad importante para tener un sistema de transporte más sostenible dentro de la ciudad, en el que la bicicleta sea usada por una proporción importante de la población, además si consideramos la población susceptible a usar este medio entre las edades de 10 a 50 años, se encuentra que cerca de la mitad de los habitantes de la zona urbana (52%) son ciclistas potenciales [9].



1.4 Requerimientos identificados para la zona de implementación.

En general el desarrollo de proyectos que requiere algún tipo de transformación viene cargado de una implícita resistencia por parte de los potenciales “consumidores”, y la implementación de un sistema de bicicletas bajo un esquema de uso compartido no es la excepción, más cuando está previsto que se requiere un cambio radical en la percepción sobre el transporte o la propiedad misma del vehículo. No obstante, este cambio sólo se puede dar hasta que las imágenes de satisfacción en el mercado no estén relacionadas directamente con la posesión física del producto. De tal manera, que es casi previsible encontrar que los servicios ofrecidos bajo la idea de uso compartido tendrán un camino difícil en la mente del consumidor, sin embargo, la percepción del uso de la bicicleta en Popayán ya tiene un terreno ganado en los biciusuarios ya establecidos y en los participantes activos de la Mesa de la Bicicleta de la ciudad. Un SBC exitoso exige también, un trabajo de sensibilización muy consistente, que involucre a todos los posibles usuarios directos e indirectos, permitiendo establecer un grupo de abonados que pueden ser beneficiados en el futuro con programas y preferencias ocasionales [22].

El aspecto más importante entonces, en el proceso de implementación de un sistema de este tipo es reconocer, entender y comprender el contexto cultural en el cual se desarrollará. El escenario de desarrollo presenta características particulares tanto sociales, económicas, culturales y ambientales, que establecen finalmente una correlación entre sí, esencial para el desarrollo del proyecto [22]. Bajo este lineamiento y atendiendo, todas las características expuestas en la anterior sección, es posible formular una serie de requerimientos generales para la ejecución total del sistema de bicicletas públicas dentro de la ciudad y otros de carácter más específicos guiados al comportamiento del sistema y su interacción con el usuario. Todos estos requerimientos nacen de la necesidad de conocer la perspectiva de relación con el sistema y la apreciación de lo público dentro de la ciudad, es aquí donde se hace útil el desarrollo de una prueba piloto o una fase cero, que permita conocer la percepción de los posibles y potenciales usuarios del servicio en ejercicio y en un escenario real de uso obteniendo información mucho más objetiva de su funcionamiento además de socializar la idea en la comunidad, buscando que esta entienda y comprenda el objetivo y los impactos de la implantación de un SBC.

1.4.1 Requerimientos de Implementación del sistema

- Como se expuso en la sección 1.3, gran parte del potencial ciclista de la ciudad se concentra en el centro histórico, las construcciones localizadas en esta área son casonas antiguas que aún conservan gran parte de su estructura inicial, estas estructuras poseen en su mayoría paredes gruesas en comparación con las construcciones convencionales del resto de la ciudad, esto implica que el tipo de enlace de comunicación que requiere el sistema debe ser lo suficientemente potente para traspasar estas barreras.



- Atendiendo el concepto de patrimonio nacional que ostenta los predios localizados dentro del centro histórico y la reglamentación que protege estas áreas de modificaciones y variaciones, es necesario que las estaciones sean de ensamblaje sencillo, cuyos soportes puedan ser fácilmente anclados. Igualmente deben ser portables, para que puedan ser reubicadas según insumos (participación ciudadana, demanda) o necesidades (obras, eventos). Esta portabilidad a su vez agrega seguridad, ya que la mayoría de la actividad económica y comercial de la ciudad es desarrollada a lo largo del día y no a altas horas de la noche, lo que facilitaría guardar las estaciones al final del día, en los sitios donde sea necesario.
- Las estaciones del SBC tendrán como determinantes conceptuales para su diseño, una instalación no invasiva en el espacio público, liviana y fácil de retirar e instalar, sin que esto último vaya en detrimento de la protección de las bicicletas contra robos, hurto y daños durante su permanencia en el lugar, esto siguiendo el lineamiento de protección del centro histórico de la ciudad, que no permite dañar la estructura existente en esta área. Este factor también implica que todas las conexiones requeridas por el sistema deben establecerse a través de tecnologías inalámbricas, ya que estas exigen menores complicaciones infraestructurales que las tecnologías cableadas.
- La alimentación de energía requerida por los componentes electrónicos del sistema debe ser abastecida en su totalidad por energías auto sostenibles, evitando disponer de redes de energía eléctrica.
- Se hace necesario que las estaciones de bicicletas estén en zonas visibles al público para facilitar su acceso y prestar un servicio oportuno, por ello el diseño debe considerar todas las condiciones climáticas que presenta el exterior.
- Considerando que hay una masa importante de habitantes dentro de la ciudad que es ajena a este tipo de sistemas, es importante que la plataforma web se realice bajo un diseño orientado al usuario, presentando menús explicativos e interfaces de interacción sencilla que muestren la situación actual de la estación, haciendo a su vez, mucho más factible la masificación de su uso en la ciudad.
- El diseño mecánico de las bicicletas debe considerar aspectos de seguridad y ergonomía para diferentes usuarios. En el primer aspecto, se debe considerar el diseño general de la bicicleta, el material de composición, el marco, la altura, los componentes de manejo entre otros. Las bicicletas: deben ser livianas, cómodas, adaptables al usuario promedio (talla, peso). Además, deben contar con características particulares que permitan minimizar el vandalismo y el robo, tener un diseño específico y exclusivo no solamente en su marco sino en las partes que la componen, para evitar su comercialización. También deben atender la topografía de la ciudad y las distancias promedios que se recorran, para definir por ejemplo el número de cambios de la bicicleta y controlar la velocidad del usuario. Finalmente



se deben agregar los componentes externos como luces y reflectantes, cubre cadenas, guardabarros delantero y trasero. Igualmente es necesario disponer de una cantidad adicional de bicicletas en bodega, listas para su uso y como respaldo para cubrir la demanda de operación en caso de sobreoferta o daño.

- Las bicicletas deben distribuirse en lugares estratégicos de la ciudad, posterior a su préstamo, estas se dejan en diferentes destinos, por lo tanto, el SBC debe contar con un subsistema de balance de carga o flota, que permita redistribuir las bicicletas periódicamente a los lugares de mayor demanda, por personal del operador.
- Las estaciones de bicicletas deben ser automáticas, en comunicación constante con el centro de operación. Lo que infiere la implementación de un sistema de anclaje automático que hace necesario contemplar en las bicicletas la pieza que le permitirá dicha inserción a la estación.
- El esquema de operación de la bicicleta debe incluir el mantenimiento de las mismas. Debe haber un monitoreo constante de sus condiciones mecánicas para evitar problemas de seguridad o insatisfacción con los usuarios. El mantenimiento de las bicicletas debe obedecer a un protocolo de escenario preventivo y uno reactivo. El escenario preventivo involucra operaciones diarias de inspección y operaciones de revisión, ajuste y reparación en el centro de mantenimiento. Puede incluirse un *check list* de la revisión de las bicicletas en las estaciones con parámetros como estado general de funcionamiento, presión de inflado de las llantas, condición de limpieza entre otros y de este modo evitar que cualquier bicicleta que no se encuentre apta para operación continúe circulando. También debe hacerse un mantenimiento periódico a las estaciones para comprobar su estado general de funcionamiento y las condiciones del sistema electrónico instalado en ellas. El escenario reactivo partirá desde la plataforma web del sistema dándole al usuario la opción de reportar daños o inconformidades en tiempo real al centro de control del SBC permitiéndole tomar las medidas necesarias para reparar los daños reportados [23]
- El SBC contará con un centro multipropósito de atención al usuario, control y seguimiento de operación, localizado en un lugar central, visible y de ubicación permanente. Este centro tendrá toda la información y servicios disponibles para el usuario. Así mismo, contará con equipos de comunicación y cómputo para realizar un monitoreo activo al sistema, al igual que la administración y acopio de los vehículos que harán la distribución y balance de flota.
- El proyecto debe contar obviamente con un sistema electrónico de registro de la entrega y devolución de bicicletas, comunicable en tiempo real al centro de control. Este sistema permitirá a los usuarios retirar la bicicleta y hacer su respectiva devolución y el registro de esta operación en un tiempo mínimo.



- El sistema debe disponer de un ciclo taller de mantenimiento con un tamaño y localización adecuados para obtener los estándares mínimos de funcionamiento de la totalidad de las bicicletas y estaciones del sistema. Este ciclo taller deberá contar con los elementos necesarios para cumplir con su cometido, el de garantizar el flujo permanente de bicicletas en las mejores condiciones, para ello debe contar con mecánicos expertos y capacitados para el trabajo a realizar.
- El SBC debe contar con personal técnico para realizar el mantenimiento de la plataforma computacional con el fin de proveer toda la información en tiempo real sin errores ni fallas, cuando sea necesario, por ejemplo en escenarios de desbalance o cierre tempestivo por circunstancias sociales.
- El sistema debe contar con un seguro de uso por parte de los usuarios, este valor que es asumido directamente por el abonado le brinda al sistema, dado que trabaja bajo un esquema compartido, seguridad y sostenibilidad en caso de daños causados por el usuario.

1.4.2. Comportamiento detallado del sistema.

- El sistema debe contener una fase de registro de usuarios, que posibilita el buen uso de las bicicletas, dado que cada usuario previa inscripción y aceptación del mismo dentro del sistema, retira la bicicleta de la estación y se hace responsable de ella hasta su respectiva devolución al sistema.
- El SBC tendrá una fase de filtro de usuarios, que brindará seguridad y respaldo al sistema en caso de pérdida o daños. La materialización del registro de usuario se hará una vez se verifique que el usuario cumple con el perfil establecido, esto implica autenticidad en la información básica entregada, así como una buena trayectoria previa en cuanto a utilización responsable de bienes y servicios. La inscripción implica también, por parte del usuario la aceptación de las condiciones de uso del sistema (susceptibles de ser cambiadas por el operador).
- La operación de préstamo y devolución de bicicletas debe ser capturada de forma automática por la plataforma web del sistema y visualizarse en tiempo real en el centro de control.
- El Sistema de control deberá siempre, durante todas las horas de operación, tener un registro en línea de los usuarios inscritos y con vigencia, de las bicicletas disponibles en cada una de las estaciones, de los puntos de anclaje disponibles para devolución de bicicletas en cada estación y de las operaciones de préstamo y devolución.
- Desde el centro de control se puede establecer en tiempo real la identidad del usuario y cual bicicleta está ocupando, el punto donde la tomó y en cual la dejó, con



el fin de desarrollar un proceso de trazabilidad y medir la densidad de los viajes, cuyos datos servirán para establecer la regularidad de los usuarios y su comportamiento, en cuanto a viajes y desplazamientos. Igualmente se puede gestionar la demanda, proyectando la ampliación del sistema en función de la cantidad de usuarios inscritos y establecer protocolos de mantenimiento preventivo y reactivo con esta información. Esta gestión de demanda también debe realizar una relación entre tipos de usuarios, edades y sitios que visitan, para conocimiento de clientes y publicidad [23].

- El sistema debe identificar, monitorizar y gestionar cada una de las bicicletas, así como los usuarios y las estaciones que componen todo el SBC.
- El software y hardware del sistema deben permitir un fácil escalamiento para ampliaciones futuras a otros sectores de la ciudad o implementaciones particulares.
- Los sistemas de bicicleta concebidas bajo el concepto de uso compartido se proyectan como una opción sostenible dentro de la movilidad urbana, su efectividad (impacto) depende de la rotación en el uso de las bicicletas que conforman la flota. Es por ello que estos sistemas deben definir un tiempo límite de uso para los usuarios. De acuerdo a las experiencias conocidas de otros SBC los periodos de tiempo de préstamo en promedio se acercan a la media hora (30 minutos) lo cual permite un desplazamiento promedio de 7 km, esto garantizaría su rotación y mayor impacto con 8 usos bici/día [23]. No obstante, el usuario podría utilizar la bicicleta durante un tiempo mayor, pero igual debe realizar el proceso de devolución antes de los 30 minutos destinados para ello.
- La plataforma web del sistema contendrá información general del sistema y de interés público alrededor de los movimientos de bicicleta en la ciudad, como por ejemplo: *links* de conexión a los diferentes programas y eventos de movilidad en la ciudad que tengan relación con el tema de la bicicleta urbana, mapa de las estaciones y las condiciones del momento en cuanto cobertura y oferta de cada una, mapa con rutas sugeridas en la zona de operación, medidas de seguridad, obligatorias y recomendadas, inscripción, condiciones y tiempos de procesamiento, sistema en línea de solicitud y reglamento de uso del sistema e información de contacto.
- Debe contar con un administrador que maneje el control del sistema, realice los respectivos análisis de demanda y administre todos los archivos de los parámetros de uso del usuario, para utilizar dicha información en implementaciones futuras.
- La plataforma del sistema debe ser adaptable a la financiación ya sea pública o privada, haciendo posible la configuración de parámetros de cobro como tiempo de uso máximo, factor de recaudación y número límite de viajes realizados por el usuario.



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

- El sistema debe tener una arquitectura flexible que le permita adaptarse al SETP, cuando se requiera.
- El SBC debe definir áreas de cobertura limitadas por la seguridad y las condiciones del terreno.
- Las interfaces de usuario contenidas en la plataforma web del sistema deben ser diseñadas en orientación al usuario, aportando buenos parámetros de usabilidad, interacción, seguridad y control.



CAPÍTULO II. DISEÑO DEL SISTEMA

Con los requerimientos levantados en el capítulo anterior se inicia la descripción del comportamiento del sistema, construyendo los diagramas de uso, de clase y los actores involucrados que generan la base de la gestión y operación del mismo. Posteriormente se plantea el modelo general del sistema y los elementos software y hardware que harán parte de él.

2.1 Diagramas del sistema.

2.1.1 Casos de Uso.

Todo sistema de software ofrece a su entorno una serie de servicios. Un caso de uso es una forma de expresar cómo alguien o algo externo a un sistema lo usa. Este alguien o algo pueden ser los usuarios, el administrador u otros sistemas de hardware y software. Realizar un modelo de casos de uso del proyecto permite describir y definir al sistema desde el punto de vista de aquél que lo va a usar, y no desde el punto de vista del que lo va a construir, validando fácilmente el cumplimiento real de los requerimientos del mismo [24]

Ahora bien, es claro bajo este contexto que un caso de uso debe ser iniciado por un actor, a partir de ese momento, ese actor, junto con otros actores, intercambian datos o control con el sistema, participando de ese caso de uso. Un actor no es más que una clase de rol, mientras que un usuario es una persona que, cuando usa el sistema, asume dicho rol. De esta forma, un usuario puede acceder al sistema como distintos actores [24]. Dentro de este sistema en particular se definen los siguientes actores:

-Usuario: Identifica a las personas que pueden navegar por la plataforma web del sistema pero no son abonados del mismo, este perfil se crea para limitar el alcance que posee quien navega en la página solamente para conocer el sistema o se registra en ella con el fin de convertirse en abonado, lo cual no implica que necesariamente vaya a serlo, pues debe ser aprobado después de pasar los filtros de aceptación que ha definido el sistema y ser activado bajo el perfil de biciusuario.

-Biciusuario: Bajo este actor se encuentran todos los abonados del sistema que han sido activados por el operador bajo este rol después de validar su registro y son agregados a la base de datos permitiéndoles acceder al servicio de préstamo de bicicletas y beneficios adicionales.

-Operador del Sistema: Describe a las personas que gestionarán y vigilarán los biciusuarios, las estaciones y las bicicletas con el fin de mantener la buena operación del sistema y prevenir daños en él.



-Administrador: Es el rol más relevante jerárquicamente, está activo para gestionar cualquier otro actor dentro del sistema y asumir con él todos los casos de uso que son afectados por este. Es quien finalmente toma las decisiones importantes para el buen desarrollo del sistema y asume la gerencia activa guiado por la correcta gestión y análisis de la información entregada por este.

En la Figura 6 se expone el modelo de caso de usos general del SBC.



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

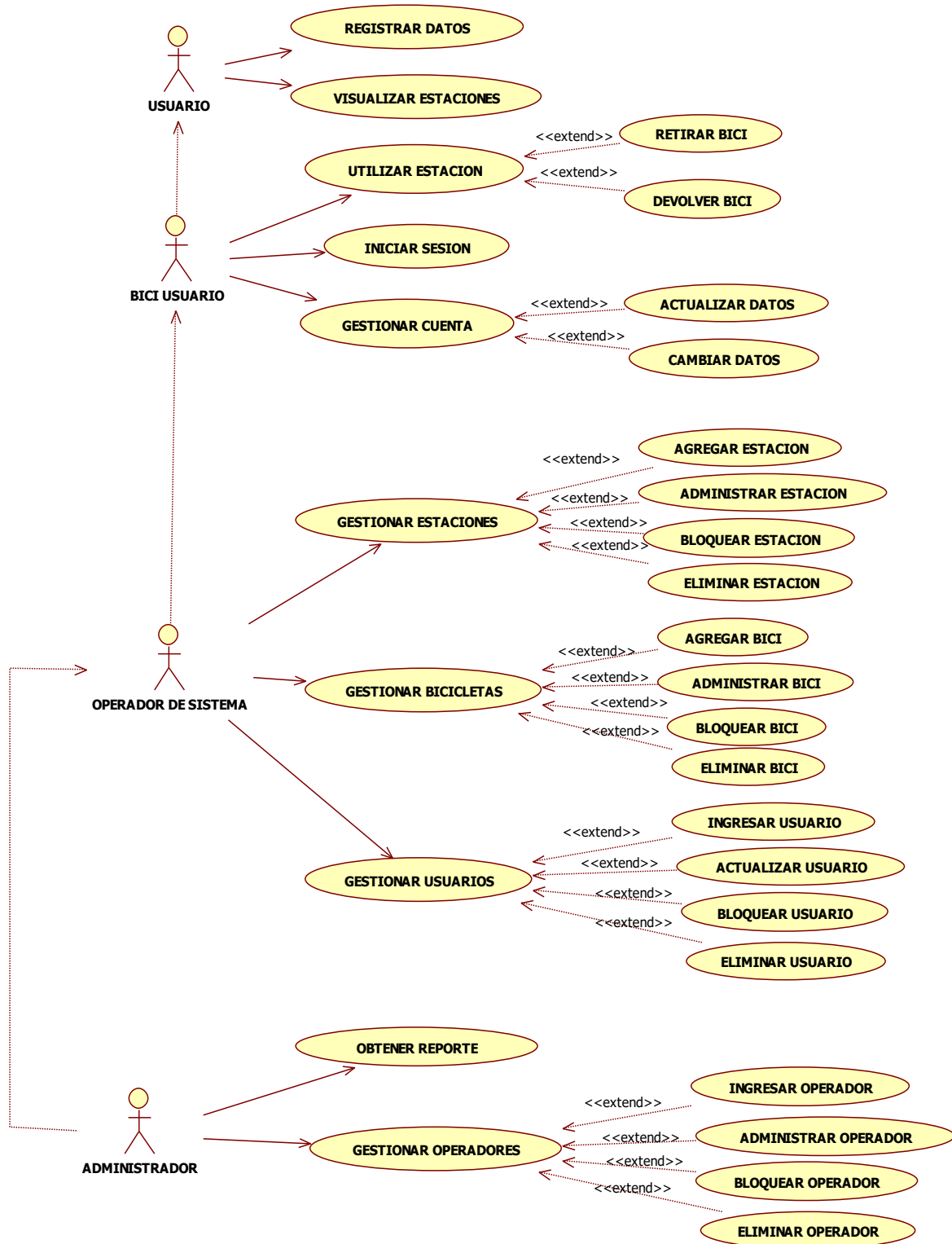


Figura 6. Modelo General de Caso de Uso del SBC (Fuente Propia)



2.1.1.1 Descripción Casos de Uso

Desde la tabla 1 hasta la tabla 10 se realiza una descripción de alto nivel de cada caso de uso del sistema.

2.1.1.1.1 Caso de Uso Registrar Datos.

Caso de Uso	Registrar Datos
Actores	Todos los actores del sistema
Propósito	Permitir a las personas entregar sus datos al sistema para convertirse en abonados del mismo.
Resumen	La plataforma web del sistema permite a cualquier visitante registrar sus datos mediante un formulario en línea, con el fin de poder convertirse en un abonado del sistema. Bajo este registro el usuario crea su propio <i>Login</i> y <i>Password</i> , que será su futura identificación ante el sistema una vez sea aceptado por este.
Tipo	Primario
Referencias Cruzadas	Caso de Uso: Iniciar Sesión
Precondiciones	
Ninguna	
Flujo Principal	
	<ol style="list-style-type: none">1. Inicialmente el actor debe acceder a la aplicación web del sistema.2. Ubicado en la interfaz de inicio deberá ingresar a la opción Registro.3. Bajo esta opción se le desplegará al actor un formulario que debe ser diligenciado correctamente y con datos completamente reales, entre los espacios a llenar el actor deberá crear un <i>Login</i> y <i>Password</i> que lo identificarán ante el sistema en caso de ser validado.4. Una vez diligenciado el formulario, el actor deberá seleccionar el botón Registro para enviar el formulario hacia la base de datos del sistema. (E1). Si desea cancelar la operación debe seleccionar el botón salir, subflujo S1: Volver al Inicio.5. La base de datos recibirá la información y le enviará al actor un correo de confirmación de registro a la dirección electrónica que dicho actor haya llenado en el formulario. (E2)6. El actor confirmará o negará el registro a través del enlace enviado vía correo.7. La base de datos archivará o eliminará, según sea el caso, la información dada por el usuario para su posterior validación.
Subflujos	
	<u>S1: Volver al Inicio.</u> -El sistema despliega la interfaz de inicio de la plataforma web.
Flujos de Excepción	



E1: No es posible enviar el formulario.

- El sistema despliega un mensaje de indicándole al usuario el espacio en el formulario que no ha sido llenado o esta incorrecto.
- El usuario aceptará la recomendación y si desea continuar su registro realizará las correcciones sugeridas y enviará nuevamente el formulario. Si por el contrario el usuario desiste de su registro da *click* en el botón Salir, subflujo S1: Volver al Inicio.

E2: No es posible confirmar el registro

- El link de activación enviado vía correo no funciona, el usuario deberá ingresar a la plataforma del sistema y dar click en la opción reenviar activación.
- El usuario no reconoce la acción de activación y la rechaza por tanto el sistema elimina el registro.

Tabla 1. Descripción Caso de Uso Registrar Datos (Fuente Propia).

2.1.1.1.2 Caso de Uso Visualizar Estaciones.

Caso de Uso	Visualizar Estaciones
Actores	Todos los actores del sistema
Propósito	Permitir al usuario conocer el estado y disponibilidad de las estaciones
Resume	Cualquier visitante de la plataforma web puede navegar por las diferentes estaciones del sistema, ver su ubicación y disposición, pero no puede hacer uso de su servicio. Igualmente podrá ver las condiciones de uso, las recomendaciones y publicidad que sean agregadas al sistema.
Tipo	Secundario.
Referencias Cruzadas	Caso de Uso. Utilizar Estación
Precondiciones	
Ninguna	
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inicialmente el actor debe acceder a la aplicación web del sistema. 2. Una vez dentro de la aplicación, el deberá ingresar a la pestaña ver estado de las estaciones. 3. En la interfaz del estado de las estaciones, se le mostrará al actor la ubicación actual de las estaciones operando en el sistema. 4. El usuario deberá seleccionar con un <i>click</i> la estación, de la cual desea obtener información. 5. Hecha la selección, la aplicación le mostrará al actor una gráfica física de las estaciones y las bicicletas disponibles en ella. 6. Finalizada la visualización el usuario selecciona el botón salir, subflujo S1 volver a la pestaña de estado de estaciones.
Subflujo	
S1: Volver a la pestaña de estado de estaciones.	



-El sistema despliega la pestaña de estado de estaciones.

Flujos de Excepción

Ninguno.

Tabla 2. Descripción General Caso de Uso Visualizar Estaciones (Fuente Propia).

2.1.1.1.3 Caso de Uso Iniciar Sesión.

Caso de Uso	Iniciar Sesión.
Actores	Biciusuario, Operador de Sistema, Administrador.
Propósito	Permitir a los actores acceder a los servicios que les brinda el sistema.
Resume	Los biciusuarios deben iniciar sesión para acceder a las opciones y servicios del SBC, una vez validados los datos que desde el rol de usuario envió al sistema, el actor establecerá un <i>Login</i> y un <i>Password</i> que lo identifica ante la aplicación web y le permite hacer uso de las estaciones.
Tipo	Primario
Referencias Cruzadas	Casos de uso: Administrar Cuenta.
Precondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> -El actor debe haber hecho el registro de sus datos. -El actor debe haber confirmado dicho registro. -El sistema debe haber validado la información entregada por el actor. -El Administrador debe haber habilitado ciertas acciones posibles para cada actor según sea el caso. 	
Flujo Principal	
<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor debe acceder a la plataforma web del sistema. 2. El sistema despliega la interfaz de inicio, desde aquí el actor debe seleccionar la opción Iniciar Sesión. 3. La plataforma le pedirá al actor su <i>Login</i> y su <i>Password</i> para acceder al sistema. (E1, E2) 4. El usuario una vez digite sus datos debe dar click en el botón Ingresar, si desea no acceder al sistema debe seleccionar el botón Salir, subflujo S1: Volver al inicio. 5. La plataforma validará estos datos a través de la base de datos del sistema y le dará acceso al actor según su rol dentro del mismo. 6. El sistema habilitará las opciones posibles para el actor que ha iniciado sesión. 	
Subflujo	
<u>S1: Volver al inicio.</u>	
-El sistema despliega la interfaz de inicio del sistema.	
Flujos de Excepción	
<u>E1: No es posible acceder al sistema.</u>	



- El sistema desplegará un mensaje acerca del error que impide acceder al sistema, error de *Login* o *Password*
 - El usuario aceptará el mensaje y si desea continuar realizará las correcciones sugeridas e iniciará sesión nuevamente. Si por el contrario el usuario desiste debe dar *click* en el botón Salir, subflujo S1: Volver al Inicio.
- E2: El usuario olvido su contraseña
- El usuario debe dirigirse a la opción disponible en el panel izquierdo de la interfaz de inicio, Olvidé mi contraseña.
 - El sistema enviará una nueva contraseña al correo asociado a dicho usuario.
 - El usuario podrá acceder al sistema con esta nueva contraseña.

Tabla 3.Descripción Caso de Uso Iniciar Sesión (Fuente Propia).

2.1.1.1.4 Caso de Uso Utilizar Estación.

Caso de Uso	Utilizar Estación.
Actores	Biciusuarios, Administrador, Operador de Estación.
Propósito	Permitir a los actores usar el servicio de préstamo de bicicletas del SBC.
Resume	Los biciusuarios hacen parte activa del sistema interactuando con los recursos disponibles para ellos en la plataforma web del sistema, dichos recursos les permiten acceder al pleno uso del servicio de préstamo de bicicletas en cualquier estación del sistema, una vez se han identificado ante este, pueden retirar o devolver una bicicleta.
Tipo	Primario
Referencias Cruzadas	Ninguna
Precondiciones	-El actor debe haber iniciado sesión en la plataforma web del sistema.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none">1. El actor debe dirigirse a la interfaz de usuario y seleccionar la opción Estado de Estaciones.2. Bajo esta opción se le desplegara al actor una interfaz física con el estado actual de las estaciones operando en el sistema.3. El actor debe seleccionar la estación que desea utilizar.4. El actor podrá visualizar el estado de la estación y su disponibilidad.5. El usuario puede o no tomar ese servicio de SBC, si desea hacerlo para retirar una bicicleta debe seleccionar la bicicleta que guste de acuerdo a la disponibilidad existente (E1) y si desea entregar una bicicleta debe anclar la bicicleta a los espacios vacíos dentro de la estación. (E2)



6. La aplicación le dará un tiempo límite para retirar la bicicleta seleccionada. Si se está entregando una bicicleta el sistema desplegara un mensaje que le confirmara la acción realizada. (E3)

7. Una vez hecho el retiro o entrega de la bicicleta la aplicación web del sistema volverá al inicio de la página, S1: Volver al Inicio, cerrando la sesión del actor automáticamente.

Subflujo

S1: Volver al Inicio.

-El sistema despliega la interfaz de inicio al sistema.

Flujos de Excepción

E1: La bicicleta seleccionada no es liberada de la estación.

-El sistema despliega un mensaje de error y anulará la operación.

-El sistema desplegar la interfaz de inicio de sistema para que el usuario repita nuevamente la operación.

- Si finalmente no es posible retirar la bicicleta el usuario debe acudir a un operador del sistema para recibir apoyo

E2: La bicicleta no puede ser anclada a la estación.

-El sistema desplegará un mensaje de error y anulará la operación.

-El sistema desplegará la interfaz de inicio, cerrándola sesión automáticamente.

- El actor tendrá la opción de repetir la operación si lo desea.

-Si finalmente no es posible anclar la bicicleta el usuario debe acudir a un operador del sistema para recibir apoyo.

E3: El usuario no retira la bicicleta en el tiempo estimado.

-El sistema arrojará un mensaje de error y anulará la operación.

-El Sistema despliega la interfaz de inicio del sistema, cerrando la sesión automáticamente.

-El actor tendrá la opción de repetir la operación si lo desea.

Tabla 4. Descripción Caso de Uso Utilizar Estación (Fuente Propia).

2.1.1.1.5 Caso de Uso Gestionar Cuenta.

Caso de Uso	Gestionar Cuenta
Actores	Biciusuario, Operador de Sistema, Administrador.
Propósito	Permitir al actor administrar sus cuentas dentro del sistema.
Resume	Los biciusuarios tienen la capacidad de gestionar sus cuentas propias, una vez son activados por el operador bajo este rol pueden ingresar a la plataforma y previa identificación pueden actualizar o cambiar los datos que han entregado previamente y que son susceptibles de hacerlo. Es importante resaltar que si el biciusuario decide hacer alguna modificación, estos



	nuevos datos entregados son nuevamente validados por el sistema y este puede aceptarlos o no, llegando incluso a suspender el rol de biciusuario, si lo considera necesario.
Tipo	Secundario
Referencias Cruzadas	Ninguna.
Precondiciones	
<ul style="list-style-type: none"> -El actor debe haber ingresado a la plataforma web del sistema. -El actor debe haber iniciado sesión en el sistema. 	
Flujo Principal	
<ol style="list-style-type: none"> 1. El actor una vez haya iniciado sesión dentro de la plataforma web, podrá dirigirse a la opción Actualizar Datos. 2. El sistema desplegará un formulario habilitando la edición de los datos que puedan ser cambiado o actualizados y bloqueará al usuario los que no, como su nombre completo y su identificación asociada. 3. El actor editará los campos que desea cambiar o actualizar. 4. Si el actor desea guardar los cambios debe dar <i>click</i> en el botón guardar. De lo contrario da <i>click</i> en cancelar, S1: volver al Inicio. 5. El sistema le enviara al actor un correo de confirmación de datos, al correo asociado. (E1). 6. El actor confirmará mediante el enlace los cambios realizados y quedará guardado su nuevo registro en la base de datos del sistema. 	
Subflujo.	
<u>S1: Volver a Inicio.</u>	
-El sistema desplegará la interfaz de inicio del usuario.	
Flujos de Excepción	
<u>E1: El correo de confirmación no es recibido</u>	
-El actor debe comunicarse al centro de control y pedir poyo.	
<u>E2: El enlace de confirmación no está habilitado</u>	
-El actor debe comunicarse al centro de control y pedir apoyo.	

Tabla 5. Descripción Caso de Uso Gestionar Cuenta.

2.1.1.1.6 Caso de Uso del Gestionar Estaciones.

Caso de Uso	Gestionar Estaciones
Actores	Operador de Sistema, Administrador
Propósito	Permitir al actor la administración de todos los componentes de la estación y su función dentro del SBC.
Resume	El actor tiene la capacidad de gestionar todas y cada una de las estaciones del SBC, según lo requiera una situación o condición dentro de este. Puede entonces,



	<p>agregar una estación cuando se necesario por implementaciones de crecimiento o casos especiales. Eliminar una estación, cuando esta se encuentre en una situación de sobre oferta, tenga daños que requieran transportarla hacia otro lugar o requiera mantenimiento por un tiempo prolongado. Bloquearla cuando exista algún desperfecto que le impida operar eficientemente y exija cierto tiempo de reparo, mantenimientos cortos o revisiones de rutina y finalmente puede administrar la estación para cambiar su identificación ante el sistema, agregar o quitar componentes según sea requerido.</p>
Tipo	Primario
Referencias Cruzadas	Caso de Uso: Gestionar Bicicletas.
Precondiciones	
<p>-El actor debe haber ingresado a la plataforma web del sistema. -El actor debe haber iniciado sesión en el sistema.</p>	
Flujo Principal	
<p>1. Una vez iniciada la sesión dentro de la plataforma web del sistema se habilitará en la interfaz de inicio la opción Gestionar Estaciones. 2. El sistema desplegará todas las estaciones del sistema y el actor deberá escoger la que desea gestionar. 3. El sistema desplegará las opciones susceptibles de ser cambiadas dentro de la estación escogida. (E1) 4. Al terminar los cambios realizados, el actor debe dar <i>click</i> en guardar o si desea descartar los cambios debe dar cancelar. Después de seleccionar el botón que desea el sistema regresará al inicio. S1: Volver al inicio</p>	
Subflujo.	
<u>S1: Volver al Inicio.</u>	
-El sistema despliega la interfaz de inicio del sistema.	
Flujos de Excepción	
<p>E1: La opción deseada no está habilitado. -El operador debe ponerse en contacto con el administrador del sistema, quien es la única persona facultada para darle o quitarle permisos.</p>	

Tabla 6. Descripción Caso de Uso Gestionar Estaciones.



2.1.1.1.7 Caso de Uso del Gestionar Bicicletas.

Caso de Uso	Gestionar Bicicletas
Actores	Operador de Sistema, Administrador.
Propósito	Permitir al actor gestionar todas las propiedades de las bicicletas que hacen parte del SBC.
Resume	El Operador de Sistema tiene la posibilidad de gestionar todas y cada una de las bicicletas suscritas al SBC. Puede agregar una bicicleta a una estación, por rotación de flota, crecimiento o reemplazo de vehículos. Bloquear una bicicleta en caso de daños que le impidan circular eficientemente, por indisponibilidad en la estación o por revisiones periódicas. Eliminarla de la estación por mantenimiento o retiro definitivo y además puede administrar la bicicleta para cambiar su identificación ante el sistema, agregarle, quitarle atributos.
Tipo	Secuencia.
Referencias Cruzadas	Caso de Uso: Gestionar Bicicletas.
Precondiciones	-El actor debe haber ingresado a la plataforma web del sistema. -El actor debe haber iniciado sesión en el sistema.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none">1. Una vez iniciado sesión dentro de la plataforma web del sistema, se habilitará en la interfaz de inicio la opción Gestionar Bicicletas.2. El sistema desplegará todas las estaciones del sistema y el actor deberá escoger la que desea para gestionar las bicicletas que hay en él.3. El sistema mostrará las bicicletas que hay en la estación escogida, el actor escogerá la bicicleta que quiere gestionar.4. El sistema desplegará las opciones susceptibles de ser cambiadas dentro de la bicicleta escogida. (E1)5. Al terminar los cambios realizados, el actor debe dar <i>click</i> en guardar o si desea descartar los debe dar cancelar. Después de seleccionar el botón que desea el sistema regresara al inicio., S1: Volver al inicio
Subflujo	<u>S1: Volver al inicio.</u> -El sistema desplegará la interfaz de inicio del sistema.
Flujos de Excepción	<u>E1: La opción deseada no está habilitado.</u>



-El operador debe ponerse en contacto con el administrador del sistema quien es la única persona facultada para darle o quitarle permisos.

Tabla 7.Descripción Caso de Uso Gestionar Bicicletas (Fuente Propia).

2.1.1.1.8 Caso de Uso del Gestionar Usuarios.

Caso de Uso	Gestionar Biciusuarios.
Actores	Operador de Sistema, Administrador.
Propósito	Permitir la gestión de todos los datos y acciones de los biciusuarios dentro del sistema.
Resume	El Operador de Sistema puede modificar la base de datos del sistema, de esta manera será posible ingresar, actualizar, eliminar y bloquear usuarios. El último caso se presenta cuando un usuario incumple alguna de las condiciones establecidas.
Tipo	Primario.
Referencias Cruzadas	Ninguna.
Precondiciones	
-El actor debe haber iniciado sesión dentro de la plataforma web del sistema.	
Flujo Principal	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Una vez iniciada la sesión dentro de la plataforma web del sistema, en el sistema se habilitará en la interfaz de inicio la opción Gestionar Bicicletas. 2. El sistema desplegará todas las estaciones del sistema y el actor deberá escoger la que desea para gestionar las bicicletas que hay en él. 3. El sistema mostrará las bicicletas que hay en la estación escogida, el actor escogerá la bicicleta que quiere gestionar. 4. El sistema desplegará las opciones susceptibles de ser cambiadas dentro de la bicicleta escogida. (E1) 5. Al terminar los cambios realizados, el actor debe dar <i>click</i> en guardar o si desea descartar los debe dar cancelar. Después de seleccionar el botón que desea el sistema regresara al inicio. S1: Volver al inicio 	
Subflujo	
<u>S1: Volver al inicio.</u> -El sistema desplegará la interfaz de inicio del sistema.	
Flujos de Excepción	
<u>E1: La opción deseada no está habilitado.</u> -El operador debe ponerse en contacto con el administrador del sistema quien es la única persona facultada para darle o quitarle permisos.	

Tabla 8.Descripción Caso de Uso Gestionar Usuario (Fuente Propia).



2.1.1.1.9 Caso de Uso Obtener Reporte.

Caso de Uso	Obtener Reporte.
Actores	Administrador.
Propósito	Generarla información oportuna para el buen desarrollo del SBC.
Resume	El Administrador tiene la posibilidad de gestionar toda la información del SBC. Puede administrar esta información concerniente a trazabilidad, tiempos de uso, oferta y demanda del servicio entre otros para realizar su posterior análisis y con dicha información generar un reporte temporal que guie el desarrollo y crecimiento del SBC.
Tipo	Secundario
Referencias Cruzadas	Ninguna
Precondiciones	-El Administrador debe haber iniciado sesión dentro del sistema.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none">1. El Administrador debe seleccionar desde su interfaz principal la opción Reportes.2. El sistema desplegará la interfaz de Reportes, donde habilitará al administrador las opciones posibles de gestionar.3. El Administrador seleccionará las variables que desea graficar y el tiempo que desea hacerlo y dará <i>click</i> en graficar.4. El sistema desplegará las gráficas correspondientes.5. El Administrador una vez terminado su reporte cierra sesión dentro del sistema. S1: Volver al inicio.
Subflujo	<u>S1: Volver al inicio.</u> -El sistema desplegará la interfaz de inicio del sistema.
Flujos de Excepción	

Tabla 9. Descripción Caso de Uso Obtener Reporte (Fuente Propia).

2.1.1.1.10 Caso de Uso Gestionar Operadores.

Caso de Uso	Obtener Reporte.
Actores	Administrador.
Propósito	Permitir la gestión de todos los datos y acciones de los operadores dentro del sistema.
Resume	El Administrador tiene acceso a todos los recursos del sistema. Puede entre otras



	cosas, modificar la base de datos, de esta manera le será posible ingresar y administrar los permisos del operador, bloquearlo o eliminarlo del sistema, si este incumple alguna condición laboral de su contrato, falta a la ética de su profesión, atenta contra el SBC o termina su contratación con el sistema.
Tipo	Primario
Referencias Cruzadas	Ninguna
Precondiciones	
-El Administrador debe haber iniciado sesión dentro del sistema.	
Flujo Principal	
1. Una vez iniciado sesión dentro de la plataforma web del sistema, se habilitará en la interfaz de inicio la opción Gestionar Operadores. 2. El sistema desplegará todos los operadores del sistema y el actor deberá escoger la que desea gestionar. 3. El sistema mostrará los permisos propios del operador seleccionado, el administrador seleccionará los que desea cambiar. 4. Al terminar los cambios realizados, el actor debe dar <i>click</i> en guardar o si desea descartar los debe dar cancelar. Después de seleccionar el botón Regresar para retornar al inicio., S1: Volver al inicio	
Subflujo	
<u>S1: Volver al inicio.</u> -El sistema desplegará la interfaz de inicio del sistema.	
Flujos de Excepción	

Tabla 10. Descripción Caso de Uso Gestionar Operadores (Fuente Propia).

2.1.2 Diagrama General de Clases de Análisis.

En la Figura 7 se presenta el diagrama general de clases de análisis del sistema

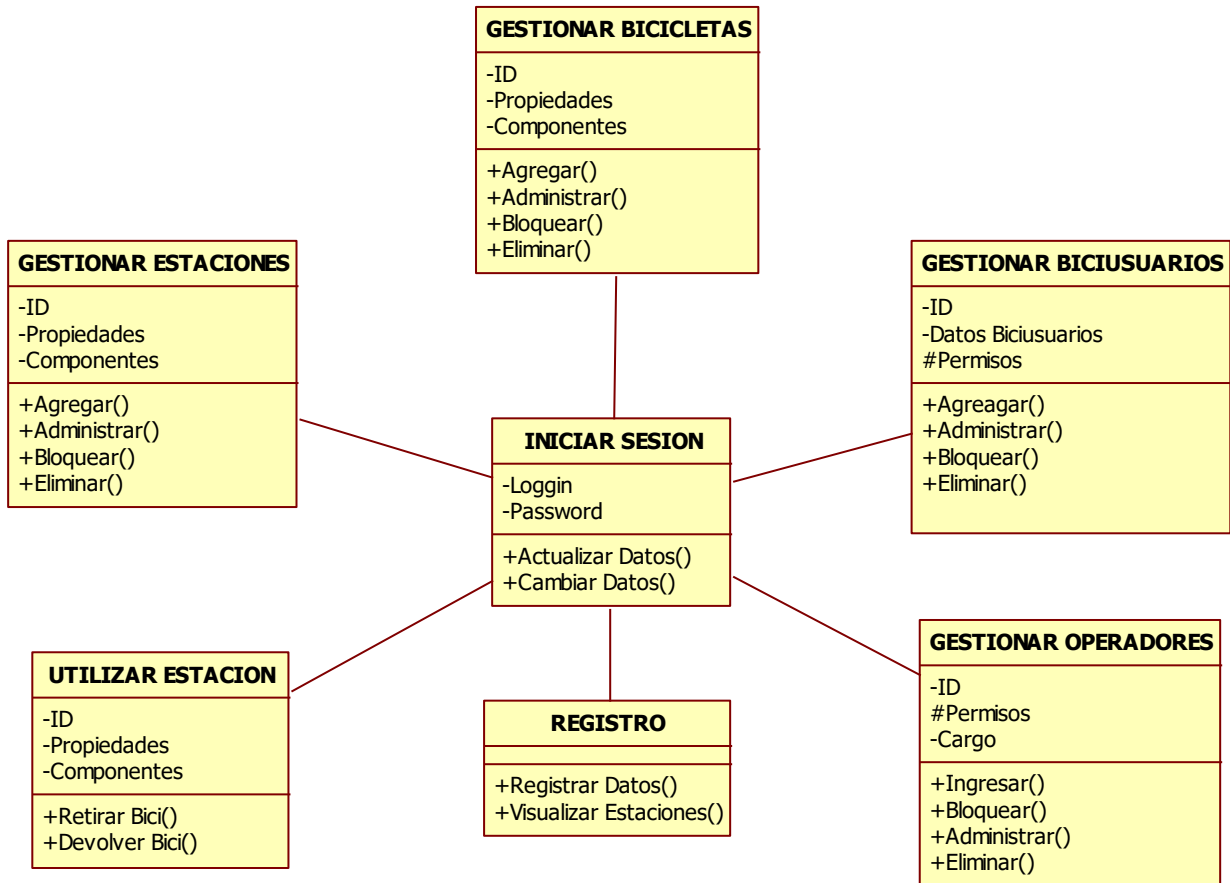


Figura 7. Diagrama de Clases del Sistema (Fuente Propia).

2.1.3 Diagramado Caso de Uso.

El diagrama de secuencias es un factor importante bajo un modelo dinámico como este, y muestra los cursos alternos que pueden tomar todos los casos de uso del sistema. Los diagramas de secuencias se componen esencialmente de cuatro elementos que son: el curso de acción, los objetos, los mensajes y los métodos (operaciones), su interacción permite especificar los métodos de las respectivas clases.

2.1.3.1 Caso de Uso: Visualizar Estaciones.

Todos los actores involucrados dentro del sistema están relacionados a este caso de uso, para usos prácticos, solo toma el rol del usuario para explicar los objetos y métodos relacionados con este a través de la figura 8.

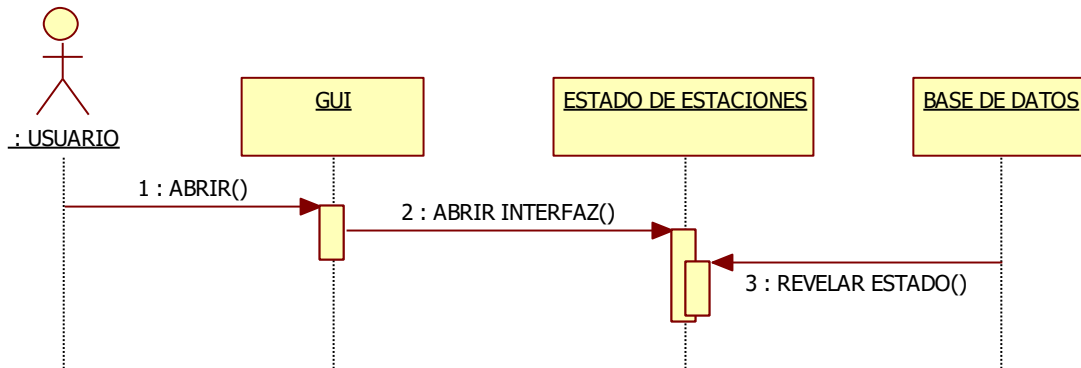


Figura 8. Diagrama de Secuencias Visualizar Estaciones (Fuente Propia).

2.1.3.2 Registrar Datos.

Todos los actores involucrados dentro del sistema están relacionados a este caso de uso, para usos prácticos, solo se toma el rol del usuario para explicar los objetos y métodos relacionados con este a través de la figura 9.

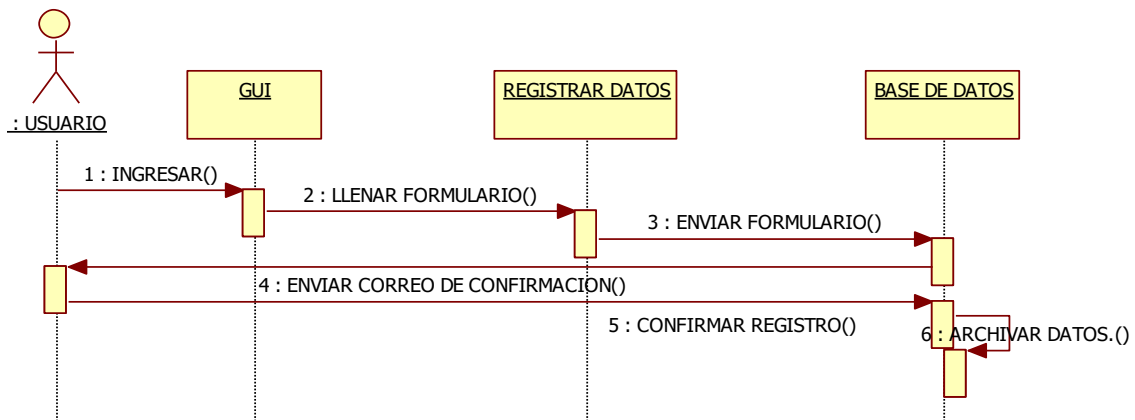


Figura 9. Diagrama de Secuencias Registrar Datos (Fuente Propia).

2.1.3.3 Utilizar Estación.

Para usos prácticos, se toma el rol del biciusuario para explicar los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 10.

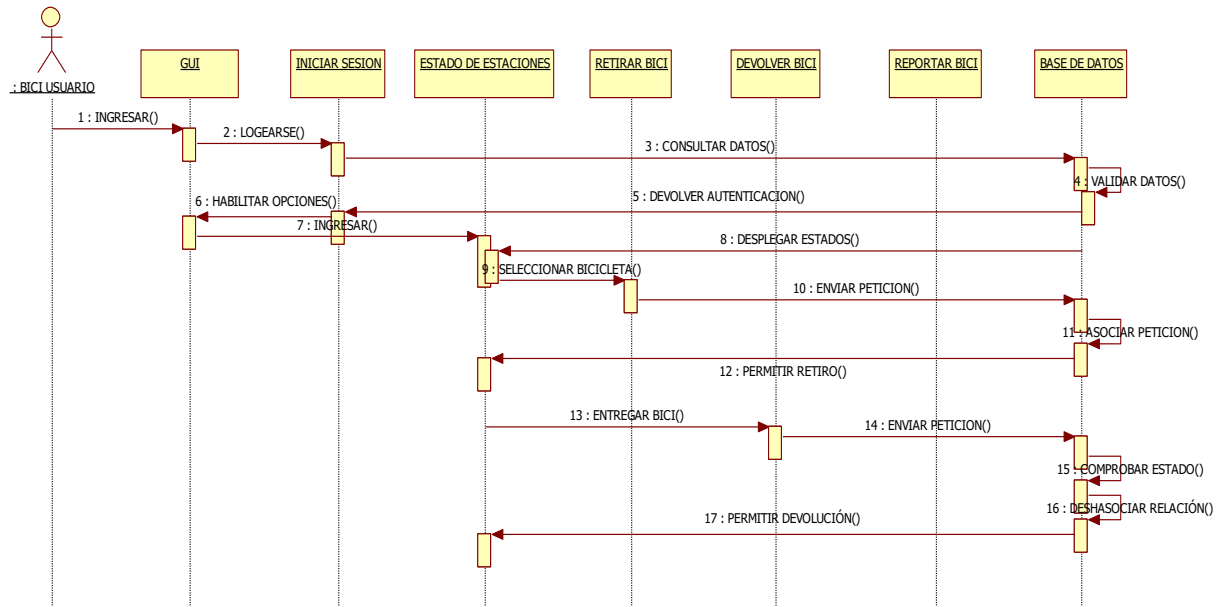


Figura 10. Diagrama de Caso de Uso Utilizar Bicicleta (Fuente Propia).

2.1.3.4 Gestionar Cuenta.

Para usos prácticos, se toma el rol del biciusuario para explicar los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 11.

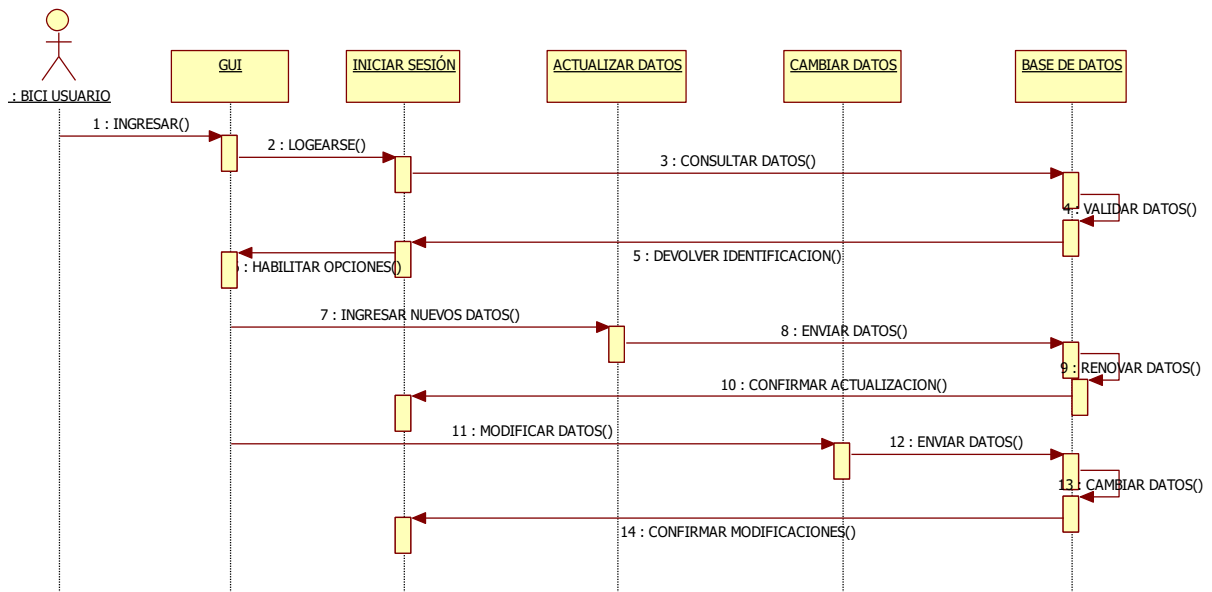


Figura 11. Diagrama de Secuencia Gestionar Cuenta (Fuente Propia).

2.1.3.5 Gestionar Estaciones.

A través del rol relacionado de operador de sistema se explica los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 12.

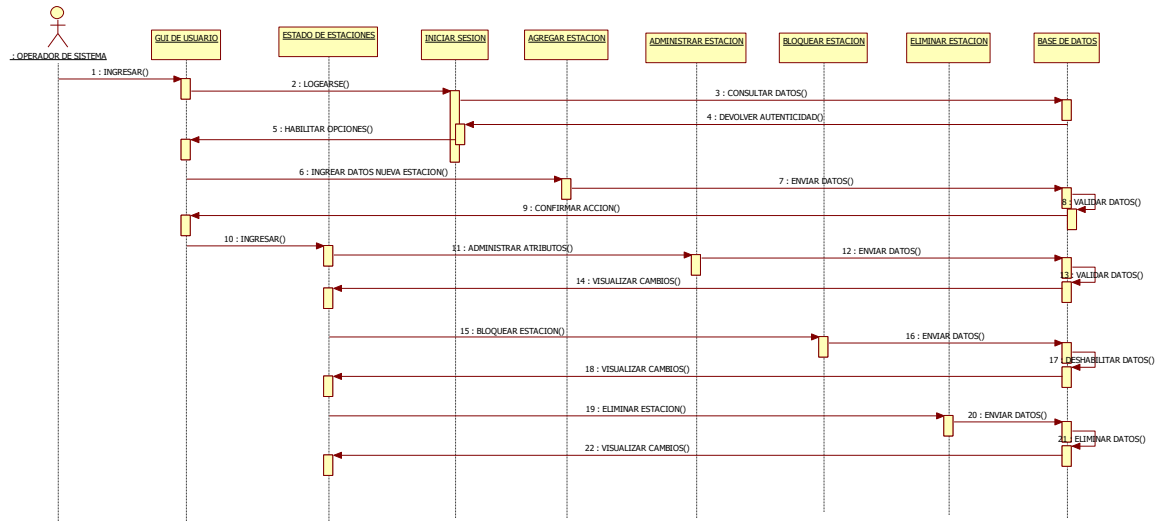


Figura 12. Diagrama de Secuencia Gestionar Estaciones (Fuente Propia).

2.1.3.6 Gestionar Bicicletas

A través del rol relacionado de operador de sistema se explica los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 13.

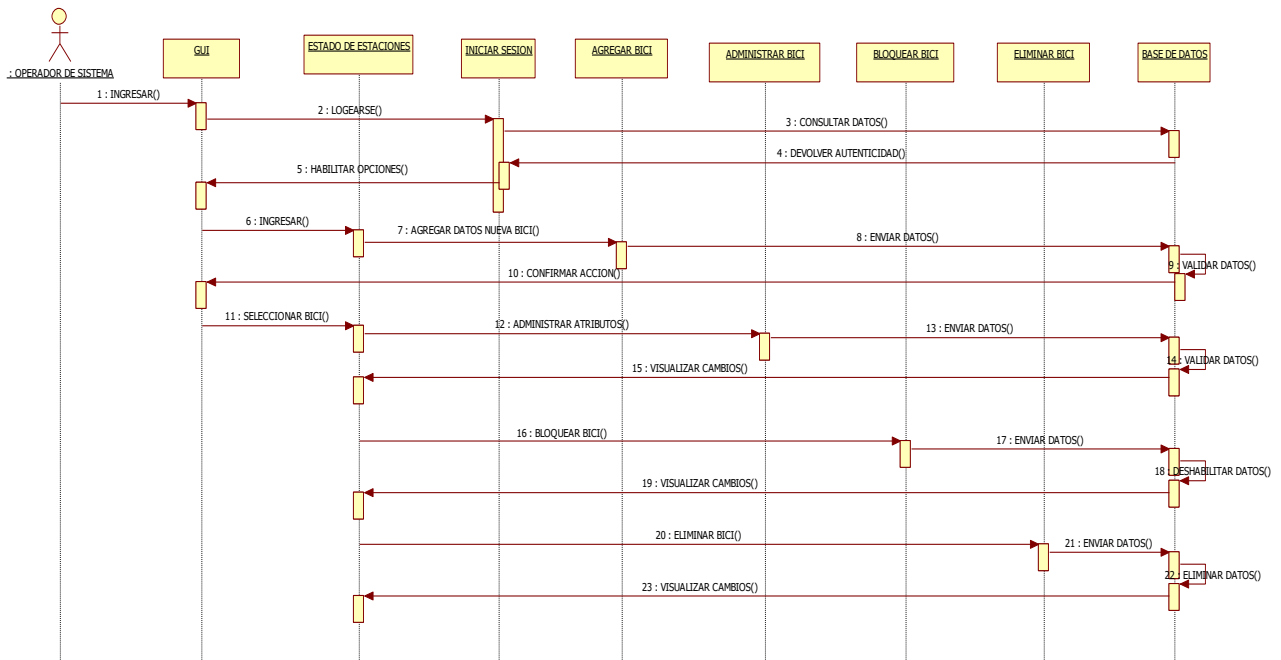


Figura 13. Diagrama de Secuencias Gestionar Bicicletas (Fuente Propia)

2.1.3.7 Gestionar Usuarios.

A través del rol relacionado de operador de sistema se explica los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 14.

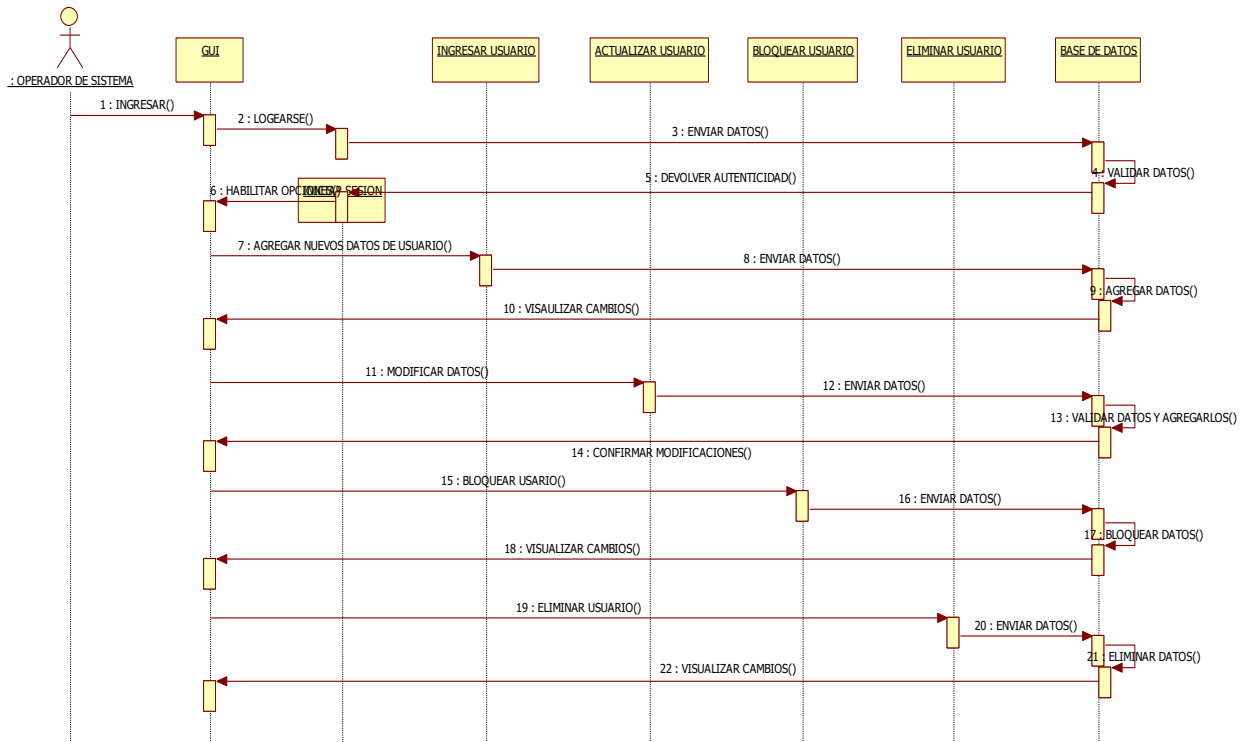


Figura 14. Diagrama de Secuencia Gestionar Usuarios (Fuente Propia).

2.1.3.8 Obtener Información.

A través del rol relacionado de analista de información se explica los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 15.

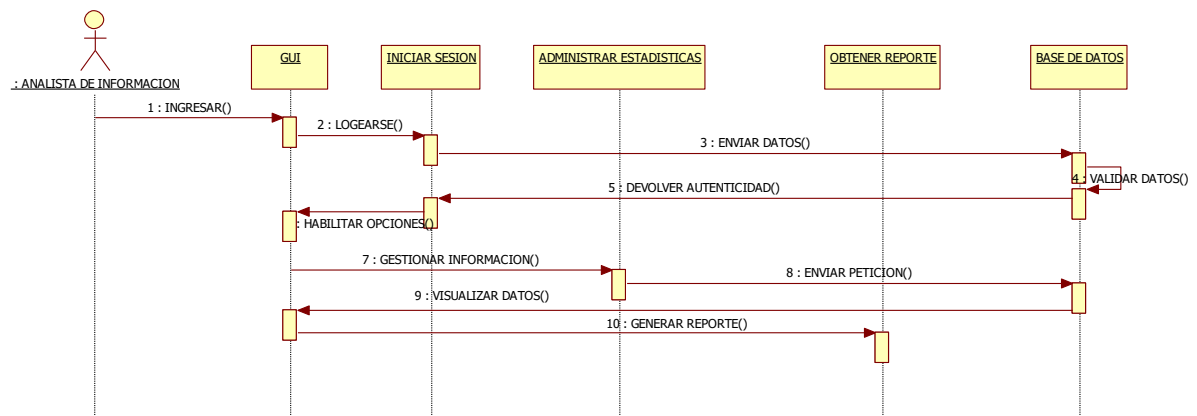


Figura 15. Diagrama de Secuencia Obtener Información (Fuente Propia).

2.1.3.9 Gestionar Operador.

A través del rol relacionado de administrador se explica los objetos y métodos relacionados con este caso a través de la figura 16.

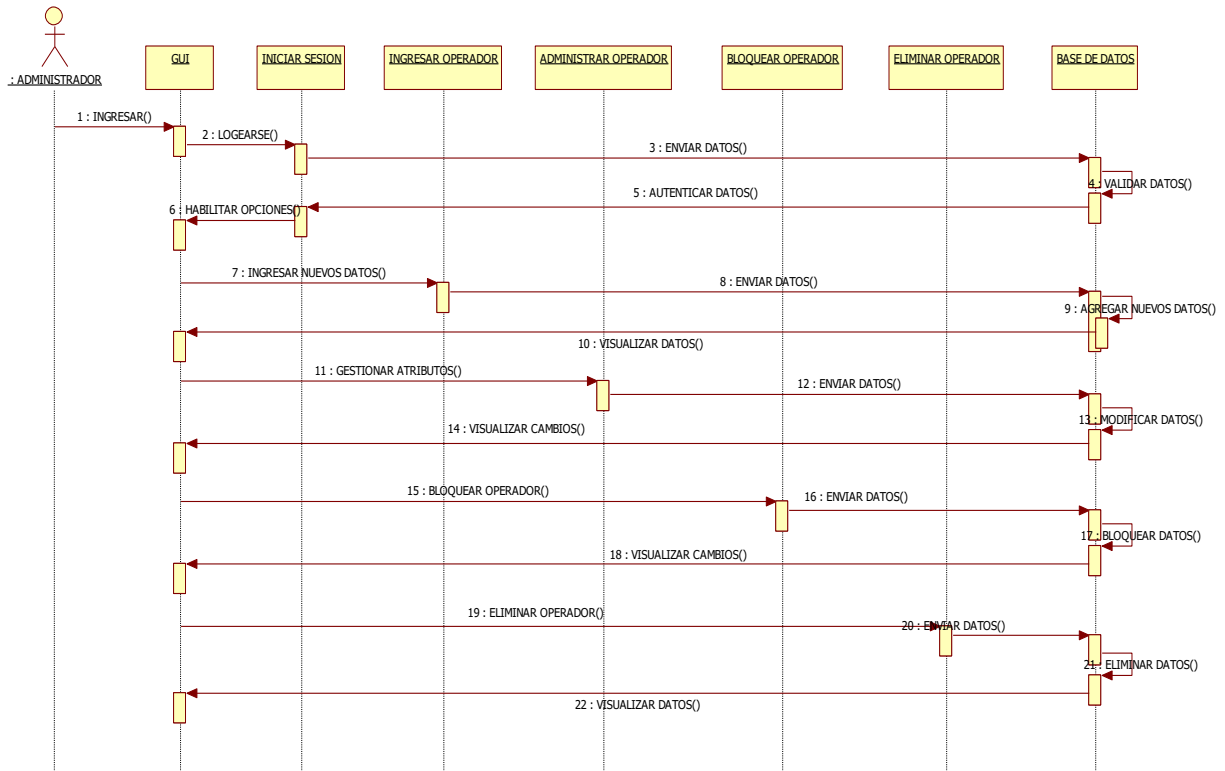


Figura 16. Diagrama de Secuencia Gestionar Operadores (Fuente Propia).

2.1.4. Diagrama de Despliegue.

Los diagramas de despliegue proveen la vista de implementación del sistema, presentan una descripción de la topología del sistema con la estructura de los elementos de hardware y el software que ejecuta cada uno de ellos. Los diagramas de despliegue representan a los nodos y sus relaciones. Estos diagramas muestran la configuración en funcionamiento del sistema incluyendo su software y su hardware, el diagrama de despliegue general del sistema se muestra en la Figura 17.

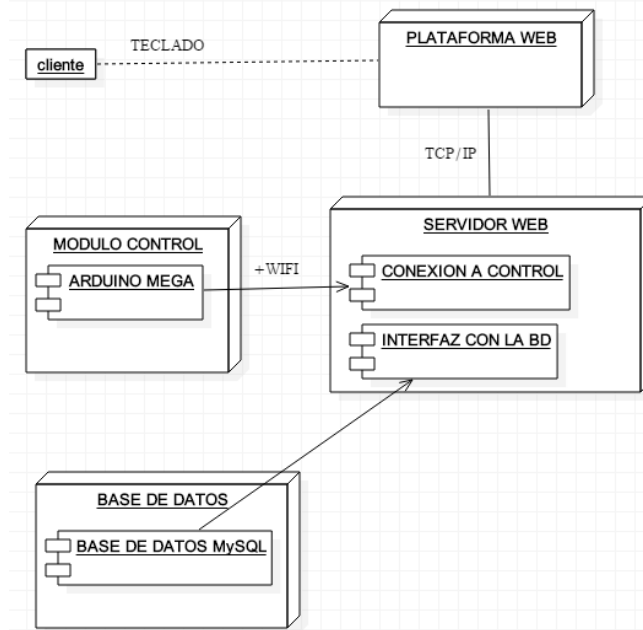


Figura 17. Diagrama de Despliegue General del SBC (Fuente propia).

Para crear el modelo general del sistema se propone crear como base para un SBC completamente funcional dentro de la ciudad de Popayán, un modo de control centralizado, desde el cual se pueda gestionar y monitorizar todo el sistema. Los dispositivos de estacionamiento y retención de bicicletas (DERBI) estarán controlados por un terminal interactivo, donde se podrá visualizar igualmente la plataforma web del sistema.

El diseño general del sistema se expone en la figura 18, en este el DERBI comprende la estación de parqueo del sistema, que puede ser construido bajo varias gamas, establecidas mundialmente según su complejidad y la tecnología aplicada [23], en él se encuentra el terminal que alberga para sistemas como este, gran parte de los componentes que permiten automatizar, controlar y gestionar el SBC, además de contener el dispositivo electrónico que permite al usuario interactuar con la plataforma web del sistema. Dentro del DERBI se encuentran las estaciones de parqueo que contienen los terminales, los anclajes y las bicicletas [23].

La opción del tipo de terminal que se implemente y los anclajes que se deseen, configuran la estructura de la estación de parqueo. Para este proyecto se contará con un terminal o tótem, este contendrá el dispositivo electrónico de visualización hacia el usuario, un software de gestión a través de la plataforma web del SBC y una conexión al centro de control y a la fuente de alimentación.

El anclaje, es el elemento vertical (dock) u horizontal (bancada) que permite asegurar las bicicletas a la estación para tenerlas a disposición de los usuarios o para recibirlas después de que estos las han utilizado. Este elemento, puede ser individual (*dock*) o colectivo (bancada), y cumple una función estratégica en la lectura de identificación de las bicicletas

que son reintegradas y las que van a ser liberadas por medio de préstamo automático. Teniendo en cuenta la densidad demográfica de la ciudad, y las limitaciones de espacio público en especial en el centro histórico, zona de gran movilidad y comercio, se diseña una estación tipo bancada que contenga a un costado el terminal.

Finalmente se piensa el diseño de la bicicleta, para esto debe considerarse el trabajo pesado que debe soportar debido a los múltiples viajes diarios, por parte de diversos usuarios y por estar mucho tiempo a la intemperie y expuesta a posibles accidentes, robos y acciones vandálicas. Las bicicletas además deben poseer un elemento de anclaje y una identificación ante el sistema.

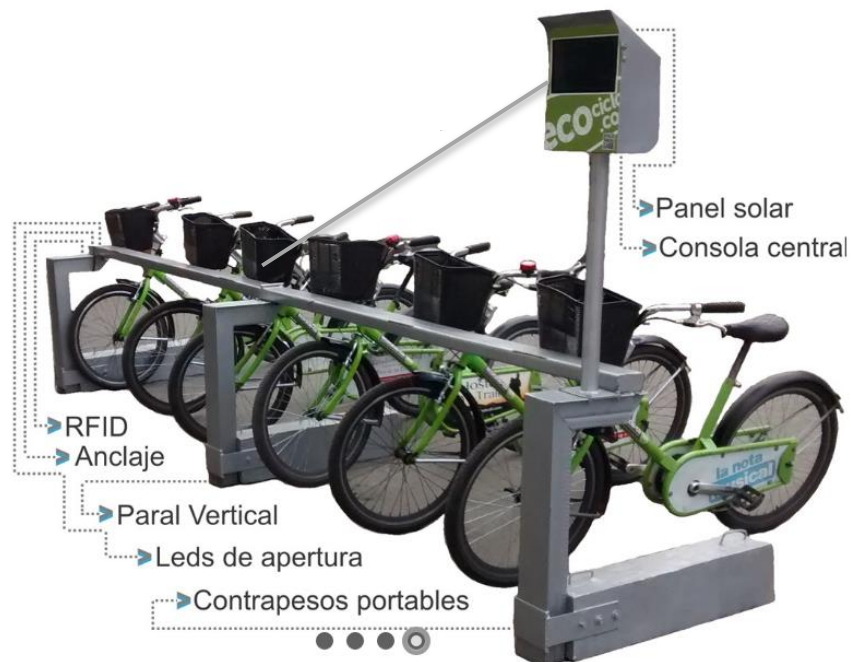


Figura 18. Esquema Macro del SBC (Fuente propia).

Este esquema macro permite realizar entonces el modelo general del sistema, que incluye todos los componentes hardware y software, los actores involucrados en él y sus posibles interacciones con el SBC.

2.2 Modelo General del Sistema

Este modelo se plantea con el fin de entender a nivel macro el funcionamiento del SBC y a través de este analizar y seleccionar las tecnologías y los componentes finales que harán parte del mismo, buscando agregar al sistema en sí, eficiencia, seguridad y control. El modelo general se plantea a través de la Figura 19.

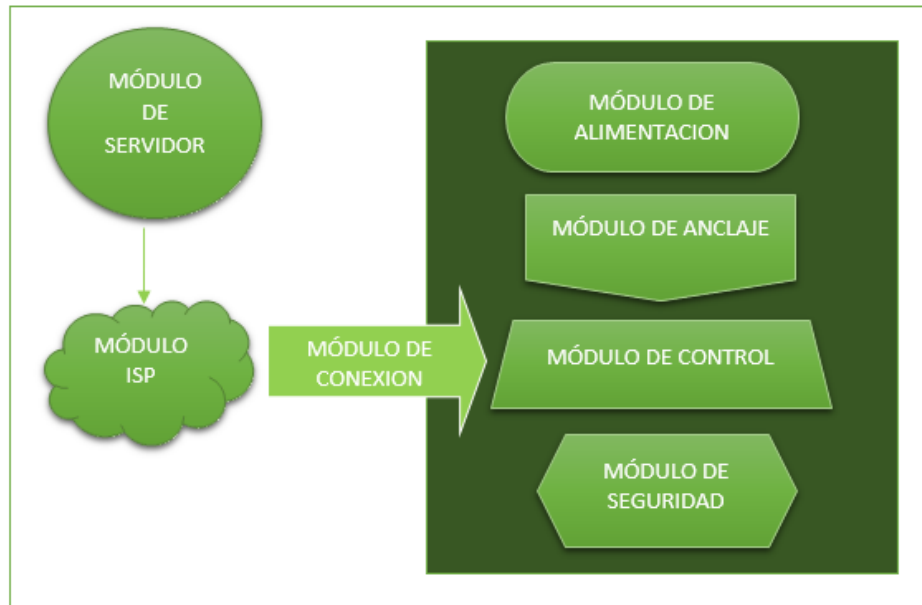


Figura 19. Esquema General del Sistema (Fuente propia).

2.2.1 Módulo de Servidor.

En este módulo se encuentra el servidor que aloja el *hosting* encargado de almacenar todos los archivos web necesarios para el buen funcionamiento y control de la plataforma web del sistema brindándole un dominio en la red, que le permitirá visualizarse a través de los dispositivos elegidos independientemente del lugar en el que se encuentren.

Es importante aclarar que mientras el servidor es el equipo o máquina (física o virtual) que está conectada a Internet ofreciendo diversos recursos, el *hosting* es solo un espacio de alojamiento en el servidor utilizando ciertos recursos técnicos [25]. En este proyecto, entonces, se entenderá como servidor, el software que presta el servicio web para alojar la plataforma web del sistema y este podrá ser propio o alquilado según lo defina la empresa que lo implemente.

En este módulo entonces, se realiza la gestión de los procesos y funciones que requiere el SBC. El servidor es el vínculo entre la parte hardware y software, proporcionando los servicios que soportan la disponibilidad de las aplicaciones a medida que los dispositivos hardware registran actividades, es decir, el servidor se encarga de recibir las peticiones generadas y llevarlas a la base de datos para que posteriormente a través del protocolo http la página web visualice las respuestas dadas a dicho procedimiento. En este módulo estará condensada la base de datos total del sistema, es decir la información de todos los actores (usuarios, administrador, etc), los vehículos asociados (bicicletas y vehículos de respaldo) y estaciones, incluyendo cada uno de los aspectos o acciones relevantes que estos puedan tener dentro de la operación del sistema, en un usuario por ejemplo, se hablaría de acciones de solicitud, retiro y entrega de bicicletas, mientras en una bicicleta se aplicaría a sus características de estado, como parte del funcionamiento del SBC.



2.2.2 Módulo ISP.

Este módulo representa el proveedor de servicio de Internet que permitirá al sistema conectarse al dominio público y visualizarse desde cualquier parte en diferentes dispositivos electrónicos, según la preferencia del usuario.

2.2.3 Módulo de Conexión.

Representa el conjunto de tecnologías que permiten seguir en tiempo real la operación del sistema. Esta cualidad de inmediatez se logra a través de una gestión eficiente de los cambios, peticiones y respuestas del sistema en relación con el módulo de servidor, por ejemplo, la solicitud de retiro de una bicicleta por un usuario es una petición que es transportada a través de esta área hacia la nube modificando la base de datos del sistema, quien a su vez arroja una respuesta, por medio de la plataforma web del mismo, para aceptar o rechazar dicha solicitud.

2.2.4 Módulo de Control.

Esta parte es esencial ya que permite controlar, gestionar e interconectar todos los componentes del sistema de bicicletas y su interacción con el medio. Este módulo se ha subdividido en tres subsistemas. Con el fin de mejorar su comprensión y reconocer la configuración y la funcionalidad de cada componente dentro de la operación del SBC, esta subdivisión se presenta en la Figura 20.

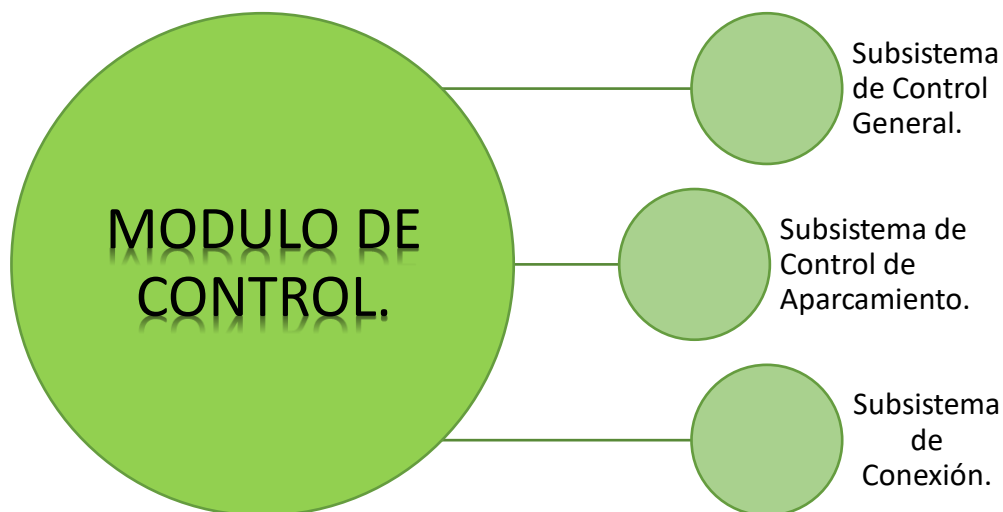


Figura 20. Esquema del Módulo de Control del Sistema (Fuente Propia).



2.2.4.1 Subsistema de Control General: Esta parte se encargará del control de todos los componentes que soportan la operación y permiten la automatización. Bajo esta subdivisión estará el eje central de control que recibe, procesa y transmite toda la información desde y hacia el sistema, permitiendo la correcta interacción entre los usuarios, las estaciones y las bicicletas. Esta área está interconectada con todos los componentes que hacen parte de la operación del sistema, aquí son reconocidos como tal y se establece su función y relación con todos y cada uno de los agentes tanto internos como externos.

2.2.4.2 Subsistema de Control de Aparcamiento: División que maneja el módulo de anclaje de la bicicleta a la estación y la identificación de las mismas dentro del sistema, permitiendo así el reconocimiento en tiempo real de la entrega y devolución de la bicicleta a la estación. Dicho reconocimiento, habilita las relaciones entre los usuarios y las bicicletas que están usando e identifica la estación a la que se encuentra vinculada. El sistema es capaz de asociar un vehículo al abonado que lo solicita y anular su disponibilidad en la estación, una vez transcurrido el tiempo de uso por parte del abonado, el sistema validará la devolución de la bicicleta a través de la asociación previamente hecha, es decir, verificará si el usuario correcto entrega exactamente el vehículo que tomó en un principio. Una vez hecha esta validación, el sistema romperá la asociación y habilitará nuevamente su disponibilidad en la estación.

2.2.4.3 Subsistema de Conexión: Conjunto de elementos y herramientas que permiten conectar el módulo de control al módulo de conexión total del sistema. Esta área debe comunicarse eficientemente con el área de control general para permitir el transporte de toda la información generada desde y hacia el SBC, logrando que todos los actores activos dentro del proceso de operación del mismo puedan interactuar no solo con la plataforma web del sitio, sino también sobre los componentes del sistema sobre los cuales pueden realizar algún tipo de acción según sea el caso.

2.2.5 Módulo de Anclaje

Esta unidad contiene todos los componentes mecánicos y electrónicos que realizan el anclaje de la bicicleta a la estación y permiten el reconocimiento de dicha acción por el área de aparcamiento del sistema. Dichos procesos deben partir de componentes que estén ligados físicamente a la bicicleta y la estación, logrando identificar el momento justo en el cual la bicicleta es retirada o devuelta por los usuarios. Es importante resaltar que este módulo hace parte activa de la estructura general de las estaciones del sistema, por lo cual debe ser considerado desde las primeras etapas de diseño del proyecto y garantizar que cumpla los requerimientos de seguridad expuestos inicialmente.

2.2.6 Módulo de Alimentación.

Esta parte del sistema provee toda la alimentación de energía que requiere cada uno de los módulos que componen el SBC. Esta unidad debe atender los requerimientos de los



elementos en términos de amperaje, voltaje, manejo de polos y tierras, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema y no sobrecargar alguna parte de él, además debe ser totalmente auto sostenible cumpliendo los requisitos iniciales del proyecto.

2.2.7 Módulo de Seguridad

Esta sección otorgará al sistema en general la seguridad necesaria para garantizar el correcto funcionamiento del mismo, incrementando confianza en el usuario y atendiendo las especificaciones de manejo y transporte de datos a través de la red. Así mismo vigilará el uso adecuado de las bicicletas y las estaciones que las resguardan, protegiendo la integridad estructural de la misma cuando esta se encuentre operando en la ciudad.



CAPÍTULO III. TECNOLOGÍAS E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Una vez realizado el modelamiento general del sistema es posible definir las tecnologías que se adaptan a las características y funcionalidades requeridas. En este capítulo se especifican entonces los elementos software y hardware que permiten construir el diseño final del SBC, teniendo como principal objetivo la implementación de un sistema eficiente, ecológico y duradero.

3.1 Tecnologías escogidas para el Sistema.

A partir del modelamiento general descrito en la sección 2.2 del capítulo anterior, se realiza un sondeo de las posibles tecnologías que pueden adaptarse a cada uno de los módulos definidos en dicha sección, esto con el fin de encontrar la mejor tecnología ajustable a las características del sistema.

3.1.1 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Servidor.

En este módulo se encuentra el servidor que aloja el *hosting* encargado de almacenar todos los archivos web del sistema, brindándole un dominio en la red. Actualmente en el mercado es posible encontrar varios tipos de servidores que ofrecen *hosting* con variadas características dependiendo de los requerimientos del sistema a implementar. Entre las más influyentes en la decisión de un *hosting* u otro está el número de usuarios, la velocidad, el nivel de seguridad deseado, la disponibilidad y el tráfico de datos.

Hoy en día, se encuentran tres tipos de servidores: servidores dedicados, Servidores VPS (*Virtual Private Server*) y servidores *cloud*. Si bien presentan algunas similitudes, no ofrecen lo mismo y cada uno se adecua mejor o peor según las necesidades o requisitos del cliente o proyecto que se desea albergar [26]

-*Servidor Dedicado*: Un servidor dedicado es un servidor físico, puede “verse y tocarse”. Se trata de una configuración de hardware y software concreta, además de otras especificaciones que puede tener forma de torre o bien de tipo “enracable”.

-*Servidor Virtual (VPS)*: Un VPS, es un servidor virtual, no físico. Se trata de una instalación de software realizada sobre un servidor físico; este puede alojar diferentes servidores virtuales que comparten entre sí el hardware y los recursos, pero su funcionamiento es completamente independiente. Los servidores virtuales permiten ahorrar costos, ya que se puede tener varios servidores virtuales dentro de uno físico.



-*Servidores Cloud*: Estos servidores están en la nube. Su principal ventaja, su escalabilidad en tiempo real; estos servidores se adaptan a las necesidades al momento, con redundancia de datos y difícilmente presenta caídas, al funcionar sobre diferentes servidores simultáneamente.

Atendiendo estos lineamientos para los entornos de prueba propias de este proyecto o las primeras fases del sistema, se empleará un VPS, ya que este ofrece las mismas prestaciones de potencia, privacidad y seguridad que un servidor dedicado propio pero con un precio mucho menor. Igualmente este brinda la posibilidad de instalar aplicaciones propias con buena capacidad y un completo control de su configuración. Además, tiene la ventaja de migrar fácilmente a un servidor superior, mantenimiento todas las propiedades del sistema inicial. Así mismo se recomienda hacer esta migración hacia un servidor dedicado, cuando se establezca un modelo macro del sistema de bicicletas públicas, es decir, se cubra toda el área metropolitana de la ciudad de Popayán, ya que estos servidores están enfocados a grandes proyectos, ofreciendo grandes recursos y un fuerte control sobre estos.

3.1.2 Tecnologías evaluadas para el Módulo ISP.

Este módulo representa el proveedor de servicio de Internet y el *router* de conexión a la red. En la ciudad se puede encontrar una buena variedad de proveedores de Internet con un amplio rango de portafolios o planes que ofrecen distintas velocidades y valores agregados en cuanto a soporte de formatos. La decisión de tomar uno u otro, para los requerimientos de este proyecto, radica en tres aspectos: el primero, la velocidad ofertante ya que esta agrega eficiencia y rapidez a la respuesta del sistema ante cualquier petición del usuario, que influye directa y significativamente en el buen funcionamiento del SBC. El segundo, buen soporte multimedia, ya que las interfaces gráficas de la plataforma web del sistema son la base de la relación con el usuario en el despliegue y generación de cambios, acciones que determinan la satisfacción del usuario en el uso del sistema y la tercera, la libertad de administración del *router*, que permita al operador del sistema controlar los puertos de dicho dispositivo, con el fin de habilitar la salida pública de la plataforma del SBC.

Considerando la implementación del proyecto, se analizaron los tipos de conexión ofertados actualmente en el mercado.

-*Red digital ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)*: Conjuga las ventajas de la Red Telefónica Básica (RTB) y de la Red La Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), aprovechando el cableado de la RTB para la transmisión de voz y datos, que puede hacerse de forma conjunta (como con la RDSI). Esto se consigue estableciendo tres canales independientes sobre la misma línea telefónica estándar:

- Dos canales de alta velocidad, uno para recibir y otro para enviar datos.
- Un tercer canal para la comunicación normal de voz.



El nombre de “asimétrica” que lleva el ADSL se debe a que el ancho de banda de cada uno de los canales de datos es diferente, reflejando el hecho de que la mayor parte del tráfico entre un usuario y la Internet son descargas de la red. Desde el punto de vista tecnológico, la conexión ADSL se implementa aumentando la frecuencia de las señales que viajan por la red telefónica. Puesto que dichas frecuencias se atenúan con la distancia recorrida, el ancho de banda máximo teórico (8 Mbps en sentido red -> usuario) puede verse reducido considerablemente según la localización del usuario [27].

Existen mejoras del ADSL básico, ADSL2 y ADSL2+, que pueden alcanzar velocidades cercanas a los 24 Mbps / 1,2 Mbps de bajada y subida de datos, aprovechando más eficientemente el espectro de transmisión del cable de cobre de la línea telefónica.

-Conexión por Fibra Óptica: Utilizando señales luminosas a través de fibra óptica, en vez de eléctricas es posible codificar una cantidad de información mucho mayor, jugando con variables como la longitud de onda y la intensidad de la señal lumínica. La señal luminosa puede transportarse, además libre de problemas de ruido que afectan a las ondas electromagnéticas.

La conexión por cable utiliza un cable de fibra óptica para la transmisión de datos entre nodos. Desde el nodo hasta el domicilio del usuario final se utiliza un cable coaxial, que da servicio a múltiples usuarios (entre 500 y 2000, típicamente), por lo que el ancho de banda disponible para cada usuario es variable (depende del número de usuarios conectados al mismo nodo): suele ir desde los 2 Mbps a los 50 Mbps. Desde el punto de vista físico, la red de fibra óptica precisa de una infraestructura nueva y costosa, lo que explica que aún hoy no esté disponible en todos los lugares [27].

-Conexión vía satélite: En los últimos años, cada vez más compañías están empleando este sistema de transmisión para distribuir contenidos de Internet o transferir ficheros entre distintas sucursales. De esta manera, se puede aliviar la congestión existente en las redes terrestres tradicionales [27].

El sistema de conexión que generalmente se emplea es un híbrido de satélite y teléfono. Hay que tener instalada una antena parabólica digital, un acceso telefónico a Internet (utilizando un módem RTC, RDSI, ADSL o por cable), una tarjeta receptora para PC, un software específico y una suscripción a un proveedor de satélite. Se envían las peticiones que generan muy poco ancho de banda, mediante un módem tradicional, pero la recepción se produce por una parabólica, ya sean programas informáticos, vídeos o cualquier otro material que ocupe muchos megas. La velocidad de descarga a través del satélite puede situarse en casos óptimos en torno a 400 Kbps.

Se elige un plan de servicios bajo tecnología por cable hasta el *router* dado que es la tecnología desplegada y aceptada en gran parte de la ciudad lo que facilita su implementación. Entre los diferentes proveedores del mercado local se optó por la empresa Emtel, ya que esta es la única que ofrece la posibilidad de gestionar el router desde el



centro de control del SBC, prestando asesoría técnica inmediata frente a dudas o modificaciones.

3.1.3 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Conexión.

Este módulo debe conectar el módulo de control general con el módulo ISP, generando una comunicación directa entre el sistema virtual y el estacionamiento físico del SBC, bajo esta primicia y los requerimientos generados en la sección 1.4 del primer capítulo de sistemas no invasivos, se opta por las tecnologías inalámbricas dado que no necesitan de un medio físico de interconexión, es decir, no existen cables que conecten a los equipos de trabajo involucrados para entablar una comunicación. Estas tecnologías generalmente utilizan ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre para transmitir entre dispositivos. Esta condición de libertad de utilización sin necesidad de licencia ha propiciado que el número de equipos, especialmente computadoras, que utilizan las ondas para conectarse a través de redes inalámbricas hayan crecido notablemente. La fuerte tendencia de la industria hacia la movilidad está abriendo cada vez un campo más amplio de aplicación de tipo de tecnología y hoy en día ya se cuenta con varias clases de ellas [28]

- *Bluetooth*: Es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Bluetooth proporciona una vía de interconexión inalámbrica entre diversos aparatos que tengan dentro de sí esta tecnología, permitiendo crear Redes de Área Personal (PAN). El alcance que logran tener estos dispositivos es de hasta 30 metros para ahorrar energía ya que generalmente los dispositivos que la soportan utilizan baterías. Para mejorar la comunicación es recomendable que nada físico como por ejemplo una pared se interponga [29]
- *Wi-Fi: Wireless Fidelity* es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones IEEE 802.11. Inicialmente se creó para ser utilizada en redes locales inalámbricas, pero es frecuente que en la actualidad también se utilice para acceder a Internet, permite crear redes de TI de tamaño medio con diversas conexiones inalámbricas a Internet [30]. Dentro de esta tecnología, los estándares IEEE 802.11b e IEEE 802.11g disfrutaron de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente. [29]
- *Wi-Max*: Específicamente, la tecnología 802.16, a menudo denominada WiMax, complementa la WLAN conectando *hotspots* con tecnología 802.11 a Internet y ofrece una alternativa inalámbrica para la conectividad de banda ancha de última generación. Está diseñada para crear redes de área metropolitana con cobertura de 50 km por celda y tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, utilizando la tecnología portátil LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) [29] .



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

- **General Packet Radio Services (GPRS):** Servicios generales de paquetes por radio. A menudo se describe como 2,5 G, es decir, una tecnología entre la segunda (2G) y la tercera (3G) generación de tecnología móvil digital. Se transmite a través de redes de telefonía móvil y envía datos a una velocidad de hasta 114 Kbps [29]
- **ZigBee:** Es un protocolo de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar IEEE 802.15.4 y su función es la de solucionar los problemas de interoperabilidad, duración de la batería y costos de los protocolos propietarios en las aplicaciones de domótica (*home automation*). Este estándar se utiliza primordialmente para aplicaciones domóticas donde es mínima la capacidad de transferencia de información y el costo y consumo tienen un papel fundamental. Dentro del marco de trabajo puede soportar tres rangos de frecuencias: 868 MHz, 915 MHz o 2.4 GHz con velocidades de hasta 20 Kbps, 40 Kbps y 250 Kbps, alcanzando distancias de hasta 100 metros con muy baja energía, lo que la hace práctica en la mayoría de las aplicaciones domóticas [31].
- **Tecnología 3G/4G:** La tecnología inalámbrica de tercera/cuarta generación es un servicio de comunicaciones inalámbricas que permite estar conectado permanentemente a Internet a través del teléfono móvil, el ordenador de bolsillo, el Tablet PC o el ordenador portátil. La tecnología promete una mejor calidad y fiabilidad, una mayor velocidad de transmisión de datos y un ancho de banda superior. Con velocidades de datos de 384 Kbps, se hace casi siete veces más rápida que una conexión telefónica estándar [29].
- **IrDA:** Esta tecnología, basada en rayos luminosos que se mueven en el espectro infrarrojo. Los estándares IrDA soportan una amplia gama de dispositivos eléctricos, informáticos y de comunicaciones, permite la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps. [32]

Tecnología	Bluetooth	WiFi	Wimax	GPRS	3G/4G	ZigBee	IrDa
Banda de Tx	2.4GHz	2.4GHz-5GHz	2.3GHz-3.5GHz	800MHz, 1800MHz, 1900MHz.	1900Mhz, 2100MHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Tasa de Tx	24Mbps	1Gbps	100Mbps	114Mbps	2Mbps	250Kbps	4Mbps
Calidad de Servicio	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
Licenciada	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
Rango	Hasta 30 metros	Hasta 300 metros		Hasta 1000 metros		Hasta 100 metros	0-1 metro

Tabla 11. Comparativa de Tecnologías de Conexión (Fuente Propia).



Según la tabla 11 de comparación de tecnologías de conexión, para términos aplicativos del sistema se descarta la tecnología Bluetooth dado que esta creada para soportar redes de área personal y no sería apta para interconectar las estaciones en exteriores hacia el control del sistema. Las tecnologías GPRS y 3G son eliminadas, ya que son tecnologías celulares y los proveedores que prestan este tipo de servicios no permiten abrir los puertos hacia un enlace público que soporte el servidor web necesario para la plataforma del sistema. La tecnología ZigBee, es inadecuada para los fines del proyecto, ya que su principal desarrollo está en el campo de la domótica y la distancia de cobertura no es óptima para el alcance del proyecto.

Quedando así las tecnologías Wi-Max y Wi-Fi, de ellas se escoge la última opción, dado que la tecnología Wi-Fi es ampliamente aceptada en el medio y está en su fase de auge por encima de Wi-Max que ha sido ya renegada y casi suprimida en la utilización de enlaces de comunicación, dejando actualmente pocas compañías y usuarios bajo este tipo de redes inalámbricas.

-*WiFi*: En esta tecnología, un punto de acceso inalámbrico (*access point*) transmite y recibe datos a través de ondas de radio y los equipos remotos que cuentan con un transceptor (transmisor-receptor) en una tarjeta de acceso, se comunican con él como se muestra en la Figura 21 [33]. El punto de acceso inalámbrico (*access point*) se conecta a un Modem que se comunica de manera cableada con el núcleo de la red. Por cuestiones de seguridad, mediante esta tecnología cuenta con esquemas de cifrado donde los datos reciben un tratamiento criptográfico y solo los usuarios con contraseña pueden acceder a la red [30].

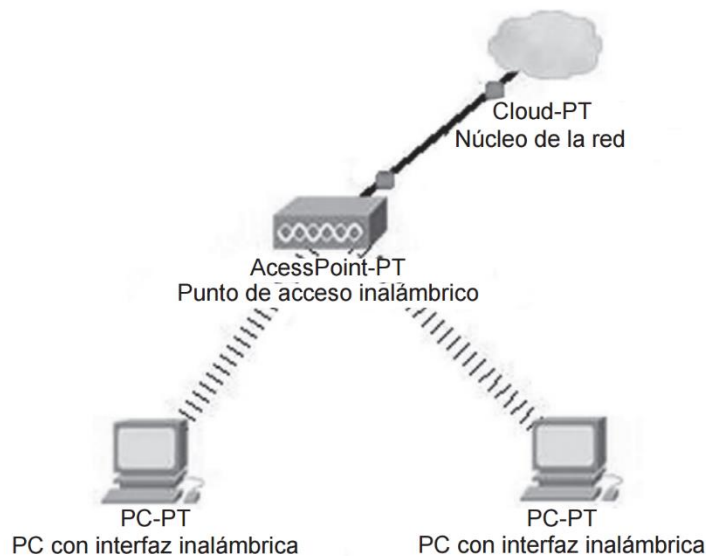


Figura 21. Diagrama de una red Wi-Fi (Fuente Tecnología y Servicios para la Sociedad de la Información -José Casar)

Wi-Fi es una tecnología de área local que alcanza tasas de transmisión de hasta 54 kbps en un canal de 20 MHz en la banda de 2.4 GHz (banda no licenciada) y opera con modulaciones PSK, QPSK y OFDM [18]. Es una plataforma bastante escalable y de fácil



instalación. Sin embargo, no garantiza calidad de servicio (QoS) ni brinda mayor seguridad a la información que se transmite [20]. Está regida por la familia de estándares IEEE 802.11, de la cual se ha hecho un resumen en la tabla 12. [33] .

Estándar	Descripción
802.11	Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2 Mbps.
802.11a	Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5 GHz. Soporta hasta 54 Mbps.
802.11b	Estándar WLAN para la banda de 2.4 GHz. Soporta 11Mbps.
802.11e	Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio.
802.11f	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.
802.11g	Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4 GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54 Mbps.
802.11h	Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia-Pacífico
802.11i	Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación.

Tabla 12. Familia de Estándares IEEE 802.11 (Tecnología y Servicios para la Sociedad de la Información -José Casar).

3.1.4 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Control.

Este módulo controla, gestiona e interconecta todos los componentes del sistema de bicicletas con el medio, está subdividido en tres subsistemas se analizará cada uno de ellos para escoger la mejor tecnología de trabajo.

3.1.4.1 Subsistema de Control General: Esta parte controla todos los componentes que soportan la operación y permiten la automatización del SBC. Al ser el eje central de control debe ser eficiente y rápido en procesamiento de peticiones y respuestas entre usuario y sistema además de ofrecer una alta compatibilidad con varias tecnologías, ya que esta área esta interconectada con todos los componentes operacionales del SBC. En la actualidad la electrónica digital y la posibilidad de realizar desarrollos rápidos y eficaces, depende de la comodidad de manejo y la complejidad del diseño final. El debate central está entre el Arduino y los microcontroladores (PIC, AVR, ST, *Freescale*, TI, entre otros) a continuación, se analizan los dos dispositivos (generalizando la gama de microcontroladores) [34]

3.1.4.1.1. Arduino: Se basa en una plataforma denominada *open hardware* que reúne en una pequeña placa de circuito impreso (PCB) los componentes necesarios para conectar con el mundo exterior y hacer funcionar un microcontrolador Atmega. Al ser *Open-Hardware*, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse sin inconvenientes para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia. [35].

Arduino posee un amplio mercado y una gran diversidad de modelos. Existen dos factores que hacen la diferencia a la hora de elegir dichos modelos, la primera es el tipo de microcontrolador a utilizar y su capacidad de memoria y la segunda es el modo de comunicación que poseerá la placa con el ordenador. La placa armada tiene un regulador de tensión para brindar al microcontrolador una tensión estable de alimentación (5Volts), el conector de comunicaciones ICSP y 6 entradas analógicas para sensores de cualquier tipo como potenciómetros, sensores magnéticos, termocuplas, optoacopladores, entre otros sensores analógicos. Vale aclarar que también puede conectarse allí la salida de cualquier amplificador operacional que haga las veces de buffer de entrada al sistema, brindando a la entrada seleccionada una mejor adaptación de impedancias, junto con una buena aislación y separación entre bloques circuitales. Por último, encontramos las I/O digitales que sirven para activar algún relé, luces, motores, etc. [36] En la figura 22 se puede apreciar la placa de Arduino con sus principales componentes.

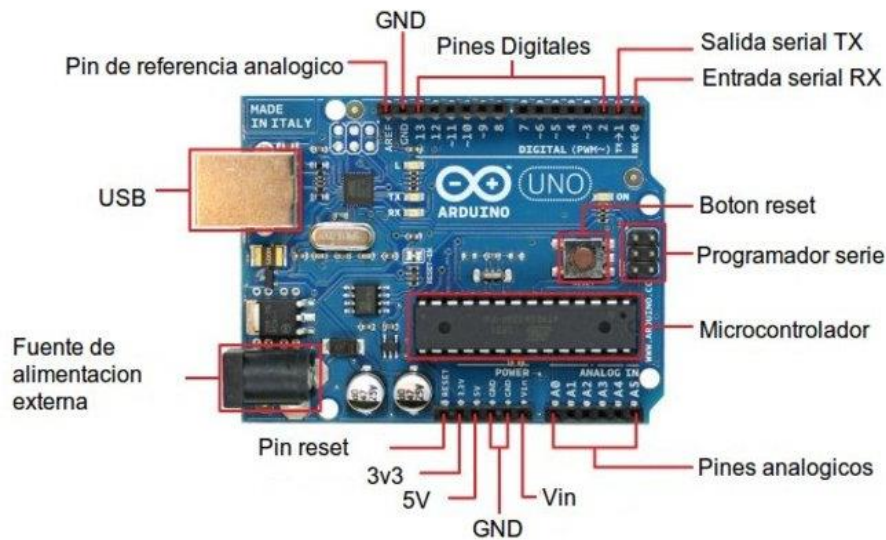


Figura 22. Esquema General de una Placa de Arduino (Fuente: Sitio web oficial de Arduino).

Arduino es óptimo para acortar camino en el desarrollo de un sistema inteligente que produzca algún evento deseado a su salida en función de una eventual acción que provoquen en sus entradas. Es completamente funcional con una curva de aprendizaje mucho más rápida, optimizando el uso de tiempo en proyectos con cronogramas y actividades variadas. Posee un entorno de desarrollo minimalista, con posibilidad de descargar Arduino IDE y comenzar a programar en menos de 20 minutos, en algunos IDEs se necesita descargar el IDE y además el compilador en C, como el C18 o C30 para los PICs y dsPICs respectivamente, o el WinAVR para los AVR. Igualmente, Arduino lanzo a las masas el uso del *bootloader*, que sigue siendo una de las cosas más cómodas a la hora de usarlo. Son pocas las tarjetas que hacen uso de esta tecnología, la mayoría de tarjetas de desarrollo acoplan un programador ICSP embebidos en sus tarjetas de prueba o desarrollo.

3.1.4.1.2. Microcontrolador: En términos sencillos un microcontrolador es un dispositivo que se puede programar para hacer distintas tareas y para ello cuenta con ciertos



periféricos para llevarlo a cabo, pero el cual requiere de elementos adicionales para poder interactuar con el mundo. El Microcontrolador requiere generalmente modificar sus registros internos y fusibles lo que obliga al usuario a conocer mejor el hardware del dispositivo, aunque ofrece mayor flexibilidad y optimización. Esto es ideal cuando se buscan definir parámetros finos en el programa que pueden ser vitales en algunas aplicaciones. Como el cálculo de tiempos muertos, retardos precisos, aprovechamiento de memoria, etc. [37]

Un microcontrolador tiene mayor flexibilidad en proyectos dedicados. Se puede elegir entre una amplia gama de dispositivos mucho más alta que las diferentes tarjetas Arduino. En la tabla 13 se muestra un comparativo general de estos dos tipos de dispositivos.

Características	Arduino	Microcontrolador
Portabilidad	Media	Media
Interferencia	Baja con Shields adecuados	Media
Flexibilidad	Media	Alta
Facilidad de Programación	Alta	Media
Costo de implementación	Bajo	Alto
Documentación	Alta	Media

Tabla 13. Comparativa de Tecnologías de Control (Fuente Propia).

Para los requerimientos generales del proyecto se opta por Arduino, ya que su placa brinda todas las funcionalidades y conexiones necesarias para la implementación final del SBC. Reduciendo la construcción de circuitería externa y facilitando el aislamiento final de ruido y posibles interferencias. Además, su tamaño resulta ser adecuado para las dimensiones del tótem del SBC creado para su protección.

En el mercado actual se encuentran varios modelos de tarjetas Arduino, sus principales diferencias están en el microcontrolador a utilizar y el modo de comunicación que tendrá la placa Arduino con el ordenador. Actualmente se cuenta con dos tipos de microcontroladores: Atmega8 y Atmega168. La diferencia entre ambos es la capacidad de memoria interna para almacenar los programas a diseñar. En cuanto a la comunicación de Arduino con el ordenador, esta puede realizarse por Puerto Serie (RS232), Puerto USB (utilizando un FT232BL para la interconexión) o por el sistema ICSP (*In Circuit Serial Program*) cuando el usuario desee una unidad autónoma sin necesidad de interacción con el ordenador para su actividad y desarrollo de funciones. Dicha comunicación se utiliza tanto para la interacción de Arduino con el ordenador como para la programación del microcontrolador en sí. [38].

Los requerimientos de funcionamiento del proyecto infieren una buena cantidad de pines analógicos y digitales (normales y de tipo PWM o modulados por ancho de pulso para simular una salida analógica) para las diferentes entradas y salidas del módulo de control del SBP. Igualmente es necesario, un gran volumen en el código junto a una cantidad



considerable de constantes y variables lo cual demandará una cantidad mayor de memoria flash para su almacenamiento.

Es importante también considerar la RAM de la placa, dado que esta cargará los datos del sistema para su inmediato procesamiento, factor importante para el buen desempeño y la interacción real de los usuarios con el sistema total. La RAM va ligada al microcontrolador puesto que ambos afectan la agilidad de procesamiento del Arduino.

Por último, se pueden estudiar a nivel electrónico los valores de voltaje para tener en cuenta la cantidad de tensión que la placa debe manejar para ensamblar todos los circuitos necesarios del sistema. Una placa de Arduino podría trabajar incluso con tensiones de 220v en alterna para el uso por ejemplo de relés. Pero cuando se quiere prescindir de una fuente de alimentación externa, hay que tener en cuenta el voltaje que se puede manejar marcando siempre un límite para no destruir la placa con sobretensiones no soportadas, además es necesario considerar los voltajes a los cuales trabajan los periféricos de la placa. A continuación, se expone en la tabla 14 una comparativa de las placas oficiales de Arduino, visualizándose de mejor forma las diferencias importantes para el proyecto.

Característica de Arduino	UNO	Mega 2560	Leonardo	DUE	Explora	Zero	Pro
Tipo de microcontrolador	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4	AT91SAM 3X8E	ATMega32u4	Atmel SAMD21	ATmega168
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz	16 MHz	48 MHz	8Mhz
Pines digitales de E/S	14	54	20	54	-	14	14
Entradas analógicas	6	16	12	12	-	6	6
Salidas analógicas	0	0	0	2 (DAC)	0	1 (DAC)	0
Voltaje de Alimentación	7-12 v	7-12 v	7-12 v	7-12 v	7-12 v	7-12 v	5-12 v
Voltaje de Operación	5 v	5 v	5 v	3.3 v	5 v	3.3 v	5 v
Memoria de programa (Flash)	32 Kb	256 Kb	32 Kb	512 Kb	32 Kb	256 Kb	16 Kb
Memoria de datos (SRAM)	2 Kb	8 Kb	2.5 Kb	96 Kb	2.5 Kb	32 Kb	1 Kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	1 Kb	4 Kb	1 Kb	0 Kb	1 Kb	16 Kb	512 Bytes

Tabla 14. Comparativa de Tarjetas Arduino (Fuente Página Oficial de Arduino)

Finalmente atendiendo entonces los requerimientos electrónicos de capacidad de puertos, velocidad y memoria en el área de control del sistema se toma el Arduino Mega, esta es la placa después de la Uno más vendida y la más aconsejable para la mayoría de proyectos, en especial para la etapa inicial de pruebas. Tiene un buen precio, dispone parámetros equilibrados y una amplia compatibilidad con casi todos los *shields* del mercado.

-Arduino Mega: Su nombre proviene del microcontrolador que lo maneja, ATmega2560. Este chip trabaja a 16Mhz y con un voltaje de 5v. Sus capacidades son superiores al

ATmega320 del Arduino UNO, aunque no tan superiores como las soluciones basadas en ARM. Este microcontrolador de 8 bits trabaja conjuntamente con una SRAM de 8KB, 4KB de EEPROM y 256KB de flash (8KB para el *bootloader*). Teniendo una memoria de buena capacidad lo que permite utilizarla para códigos muy extensos o que requieran de una gran cantidad de variables.

Las facultades de esta placa se asemejan al Due, pero basadas en arquitectura AVR en vez de ARM. En cuanto a características electrónicas contiene 54 pines digitales (15 de ellos PWM) y 16 pines analógicos. Esta placa es idónea para proyectos que necesitan un número considerado de pines y una excelente potencia. La placa incluye además conexión USB, un botón de *reset*, una cabecera ICSP y una entrada para la alimentación de la placa. Con reducidas dimensiones de 100 X 50 mm y un ligero peso de 37 gramos aproximadamente [39].(Ampliación ver Anexo A)

En la figura 23, se muestran la tarjeta de Arduino Mega y sus partes.

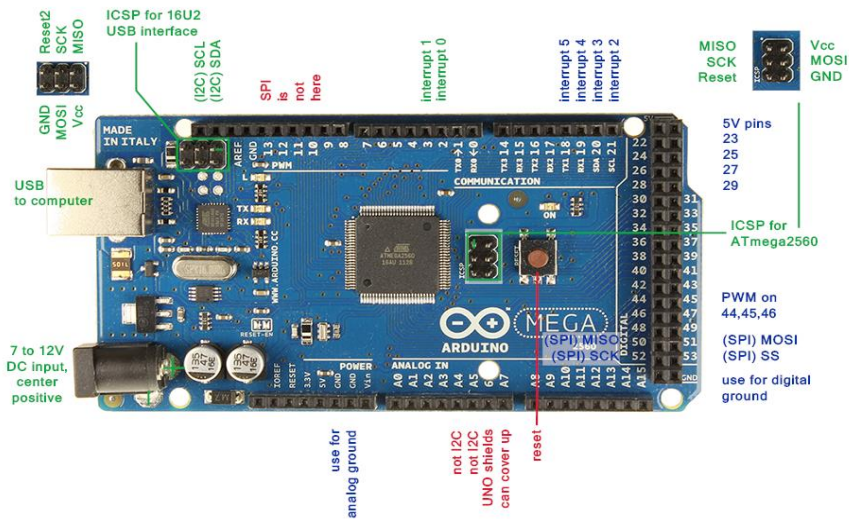


Figura 23. Placa de Arduino Mega (Fuente Documentación Abierta Arduino).

3.1.4.2 Subsistema de Control de Aparcamiento: División que maneja el módulo de anclaje de la bicicleta a la estación y lee la identificación de las mismas dentro del sistema. Los componentes aquí albergados, estarán conectados al subsistema de control general para asegurar un enganche y desenganche automático y seguro de las bicicletas. Para el proceso de anclaje de la bicicleta se plantean algunos tipos de cerraduras electrónicas presentes en el mercado y se toma de ellas la más adaptable a la implementación del prototipo.

3.1.4.2.1. Cerraduras: Las cerraduras son elemento indispensable de seguridad, la cerradura presenta en la actualidad un gran número de variantes, cada una asociada a distintas tecnologías en el mercado según las posibilidades, de las posibles opciones para el SBC se hace una comparación expuesta en la tabla 15, escogiendo finalmente la más ajustable a la estación y la funcionalidad que esta requiere.



Opción de Enganche	Descripción	Seguridad	Consumo de Energía
Cerradura Electromagnética	<p>Las cerraduras electromagnéticas cuentan con dos principales piezas, por un lado el electroimán, y por el otro lado una lámina metálica llamada pieza móvil o pieza polar. El electroimán se coloca en el marco de la puerta, trabaja como imán en la medida que circule corriente por su bobina y cierra la puerta; al dejar de recibir corriente eléctrica permite la apertura de la puerta.</p> <p>Todas estas cerraduras electromagnéticas son de tipo <i>Fail Safe</i> lo que significa que se mantienen cerradas solo mientras exista corriente eléctrica</p>	Baja	Alto y Constante
Servomotor	<p>Un servomotor posee componentes electromecánicos y electrónicos. El motor en el interior de un servomotor es un motor DC común y corriente. El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir mantener una posición fija cuando se requiera. De forma similar a un automóvil, a menor mayor velocidad, menor torque. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.</p>	Baja	Alta consumo para el empuje necesario.
Solenoide	<p>Su principio se basa en activar un campo magnético, administrando sus conexiones sea positivo y/o negativo y el objetivo, conseguir un movimiento, el cual dará lugar a una conexión y/o a una acción de control.</p>	Alta	Alta pero solo en el momento de trabajo.

Tabla 15. Comparación Tipos de Cerraduras.

Por empuje, compatibilidad y seguridad con la placa Arduino y el módulo de conexión se toma el solenoide para realizar el sistema de enganche automático al SBC.



-**Solenoides:** Es cualquier dispositivo físico capaz de crear un campo magnético sumamente uniforme e intenso en su interior y muy débil en el exterior. Actualmente existen diferentes tipos de solenoides en el mercado y por lo tanto la configuración de instalación, y conexión es variada; pero el principio y objetivo sigue siendo el mismo. El principio activar un campo magnético, administrando sus conexiones sea positivo y/o negativo y el objetivo, conseguir un movimiento, el cual dará lugar a una conexión y/o a una acción de control. [40] En este caso la acción de control será el movimiento del sistema de anclaje para retirar o entregar la bicicleta en la estación deseada.

En esencia hay dos categorías principales de solenoides: los solenoides lineales que proporcionan una carrera lineal normalmente menor de una pulgada en cualquier dirección. algunos son unidireccionales y algunos son bidireccionales. Los solenoides lineales normalmente se clasifican como de tirar (la ruta electromagnética tira de un émbolo hacia el cuerpo del solenoide) o de tipo de empujar en el cual el émbolo / eje se empuja hacia afuera de la caja. Muchos tienen un retorno a resorte para devolver el émbolo y eje a la posición inicial. Los solenoides lineales son dispositivos menos complejos y son significativamente menos costosos que los productos giratorios. También ofrecen menos ciclos de vida útil y a veces tienden a ser más grandes. Estos tienen aplicaciones en electrodomésticos, máquinas vendedoras, seguros de puerta, cambiadores de monedas, disyuntores de circuito, bombas, aparatos médicos, transmisiones automotrices y máquinas postales, por nombrar sólo unas cuantas. [41]

Y los solenoides giratorios que proporcionan una carrera rotacional que se mide en grados. Algunos son unidireccionales y otros son bidireccionales. La mayor parte tienen un retorno a resorte para devolver la armadura (parte móvil) a la posición inicial. Los solenoides giratorios con frecuencia se usan cuando el tamaño paquete es de la mayor importancia y el trabajo que desempeñan se distribuye de manera más eficaz en toda su carrera. Los solenoides giratorios tienen una fuerza/par de arranque mayor que la de los solenoides lineales. Son más resistentes al impacto. Los solenoides giratorios también ofrecen vida útil más larga (en número de actuaciones) que los solenoides lineales. Estos tienen aplicaciones en máquinas herramientas, rayos láser, procesamiento fotográfico, almacenamiento de medios, aparatos médicos, clasificadores, cierres de puertas contra incendios, y máquinas postales entre otros. [41]

Para la finalidad del empujar el sistema de enganche del sistema se toma los solenoides lineales de dos polos bajo la aplicación de bloqueo para puerta de automóvil.

3.1.4.2.2. Mecanismo de mando o drivers: Una vez se tiene la cerradura de anclaje es necesario conectar a esta un mecanismo de mando que accione la cerradura correcta dentro de la estación y mejore la capacidad de Arduino para alimentar el solenoide, para ello se necesita elementos externos que reciban la señal de control del Arduino y adapten este control a las necesidades del mundo exterior (solenoides). Es aquí cuando salen a la luz los relés, dispositivos ideales para conmutar grandes picos de tensión o intensidad.

-*Relé*: Este tipo de componentes se destacan cuando la velocidad de conmutación no es importante pero prima una intensidad de corriente alta circulando. Premisa que sugiere temas de seguridad ya que cuando se plantean intensidades aunque sea de unos pocos amperios hay que considerar siempre la integridad del circuito, el aislamiento eléctrico y la posibilidad de averías o errores que arriesguen la operación. Actualmente en el mercado encontramos placas de relés junto a un optocoplador que aporta este factor de seguridad, los aisladores acoplados ópticamente, son dispositivos de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónica, normalmente en forma de fototransistor o fototriac. La idea es garantizar el aislamiento eléctrico entre dos circuitos mientras se mantiene un nexo de unión que se pueda usar como un interruptor [42]. En la figura 24, se muestra el circuito interno de un optocoplador, cuando se cierra el interruptor S_1 , la corriente circula por el primer circuito haciendo iluminarse el LED D_1 , lo que permite la conducción del segundo circuito, porque se activa el fototransistor Q_1 , lo que separa eléctricamente ambos circuitos.

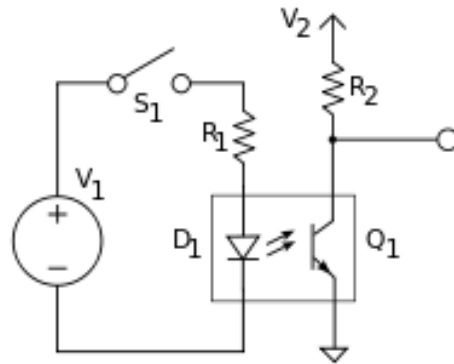


Figura 24. Circuito General de un Optocoplador (Fuente Documentación Abierta de Arduino-Prometec)

Actualmente el mercado provee placas de relés opto acoplados, para minimizar los riesgos de cableado y soldadura, estas placas disponen de una tira de pines que se emplea para controlar cada uno de los relés, más un par de pines con positivo y negativo que alimenta la parte interna o de control, de los opto acopladores. La vida útil de estos dispositivos está determinada por el número de conmutaciones. Sin embargo, típicamente es del orden de 100.000 a 1.000.000 de conmutaciones por lo que en un uso normal son componentes duraderos y fiables.

Cada relé funciona uno a uno con un aparcamiento en la estación de SBC, por lo tanto se necesita mínimo seis relés y siguiendo los lineamientos de La guía de Bicicletas Publicas para Latinoamérica de la CAF, que sugiere que cada estación debe considerar dos sistemas auxiliares de control de aparcamiento, se toma un bloque de 8 relés, estos bloques se encuentran ampliamente en el mercado con las siguientes características:

- Corriente: 10 Amperios.
- Voltaje de 5V activa baja
- Contacto de relé de salida máxima es AC250V DC30V 10A y 10A

- Se puede conectar directamente con los microcontroladores
- Peso :100 g
- Dimensiones del producto:13,4 x 5,3 x 1,7 cm
- Fuente de alimentación: AC.

En la figura 25 se observa el módulo de 8 Relés y una vista de sus componentes. (Ampliación ver Anexo B)

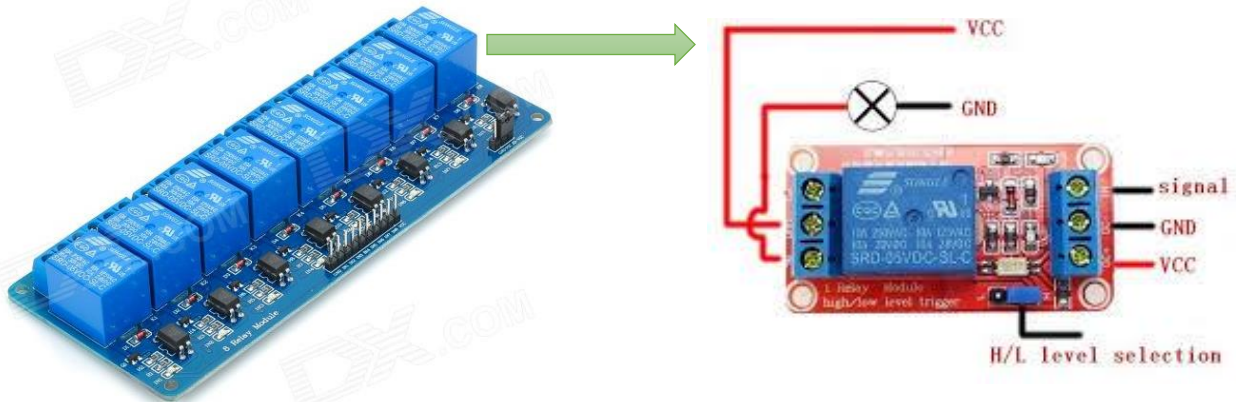


Figura 25. Modulo de Relé del SBC (Fuente Documentación Arduino Prometec)

3.1.4.3 Subsistema de Conexión: Conjunto de elementos y herramientas que permiten conectar el módulo de control al módulo de conexión total del sistema, permitiendo el transporte de toda la información generada desde y hacia el SBC. Para realizar esta conexión se cuenta en el mercado oficial un buen rango de *shields* de Wifi oficiales y compatibles que permiten el tipo de funcionamiento deseado inalámbricamente. Las *shields* son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para dar funcionalidad extra al Arduino. Estas *shields* son apilables sobre el Arduino en si o sobre otro *shield*, ampliando sus capacidades.

Las *shields* se pueden comunicar con el Arduino bien por algunos de los pines digitales o analógicos o bien por algún bus como el SPI, I2C o puerto serie, así como usar algunos pines como interrupción. Además, estas *shields* se alimenta generalmente a través del Arduino mediante los pines de 5V y GND.

En la tabla 16 se muestran las posibles *shields* o módulos de Wifi compatibles y las características diferenciables de cada uno.

Características	Wifly Shield	Wifi Shield	ESP-01	ESP-12	Módulo CC3000
Wifi Standars	802.11 b/g	802.11 b/g	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n	802.11 b/g
Paquetes	TCP/UDP	TCP/UDP	TCP/UDP	TCP/UDP	TCP/UDP
Modo	Cliente Servidor	Cliente Servidor	Cliente Servidor	Cliente Servidor	Cliente Servidor
Modo Acces Point	Si	Unclear	P2P, Soft-AP	P2P, Soft-AP	No

Encriptación	Arriba de WPA2-PSK	Arriba de WPA2-PSK	Arriba de WPA2-PSK	Arriba de WPA2-PSK	Arriba de WPA2-PSK
Pines Digitales	10	0	2	9	0
Pines Analógicos	8	0	0	1	0
Microcontrolador Programable	No	Si	Si	Si	No
Interface	SPI	SPI	TTL Serial	TT Serial	SPI
Corriente Recibida	40 mA	-	60 mA	60 Ma	350mA
Documentación	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta
Costo USD	69.95	84.95	2.75 a 6.95	3.37 a 6.95	34.95

Tabla 16. Comparativa de Wifi Shields para Arduino Mega (Fuente: Sitio Web CNXSoft).

Se escoge el módulo CC3000 por capacidad, soporte, costo y documentación, las soluciones ESP8266 aunque contiene la mayoría de las características necesarias para la conexión requerida no posee el suficiente soporte y documentación aun siendo programado con el IDE de Arduino. Además, para proyectos con especificaciones detalladas, donde sea importante el consumo de batería, la serie de los módulos CC3000 se destacan. Este módulo presenta menores costes de fabricación, ahorra espacio en la placa, facilidad de certificación y un esquema de configuración sencillo y altamente documentado.

-**CC3000**: El módulo CC3000 TI es un procesador de red inalámbrica independiente que simplifica la implementación de la conectividad a Internet. Este chip está diseñado como base para el IOT y resuelve el problema de comunicaciones WIFI de forma eficaz y barata. Esta, además pensado para integrarse en multitud de entornos o productos incluyendo micro controladores y similares mediante SPI y no UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), por lo que la velocidad no está determinada por una serie de velocidades prefijadas, y puede modificarse en función de las necesidades mediante el uso del bus SPI. La placa general de este módulo se puede apreciar en la figura 26.



Figura 26. Módulo CC3000. (Fuente DataSheet Texas Instruments)

Cuenta con un sistema de interrupción adecuada con el pin IRQ para que pueda tener conexiones asíncronas. Es compatible con 802.11b/g, seguridad / WEP / WPA / WPA2



abierta, TKIP y AES. Un sistema incorporado en la pila TCP/IP con una interfaz de "sockets BSD". TCP y UDP tanto en modo cliente como servidor, con hasta 4 entradas simultáneas. Tiene un regulador de 3.3V a bordo que pueda manejar la corriente máxima de 350 mA, y un cambiador de nivel para permitir nivel lógico 3 o 5V.

-Características:

- IEEE 802.11 b / g
- Pila IPv4 TCP / IP incrustado
- TX potencia: 18,0 dBm a 11 Mbps, CCK
- Sensibilidad RX: -88 dBm, 8%, 11 Mbps
- Funciona con MIPS bajos y MCUs de bajo costo con el consumo de memoria compacta.
- FCC, IC, CE y certificados con una antena de chip
- Los archivos de diseño de HW y guía de diseño disponibles de TI
- Cristal integrado y gestión de energía
- Factor de forma pequeño: 16,3 mm x 13,5 mm x 2 mm
- Temperatura de funcionamiento: -20 ° C a 70 ° C
- Fuente de Alimentación 2.9 v-4.8 v
- Sobre la base de la séptima generación de soluciones Wi-Fi probadas de TI

El módulo CC3000 TI incluye controladores de software, aplicaciones de ejemplo, guía API, documentación del usuario, y una comunidad de soporte de clase mundial. (Ampliación ver Anexo C)

3.1.5 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Anclaje

Este módulo contiene todos los componentes mecánicos y electrónicos que realizan el anclaje de la bicicleta a la estación y permiten el reconocimiento de dicha acción por el área de aparcamiento del sistema. Dentro de este módulo están los sensores, el sistema de identificación y los elementos de enganche entre la bicicleta y la estación.

3.1.5.1.Sensores: Estos dispositivos se utilizarán para validar la entrega o retiro adecuado de la bicicleta, es decir, su activación o no, avisará al sistema en el momento de entregar una bicicleta el correcto posicionamiento de esta dentro de la estación para que sea desligado en la base de datos su vinculación temporal con el usuario que la utilizó, así mismo reporta si realmente el usuario ha logrado retirar de la estación la bicicleta que solicitó para completar en la base de datos la vinculación usuario-vehículo, necesaria dentro de la prestación del servicio, esto permite agregar al SBC mayor robustez y seguridad.

Dentro de la amplia gama de sensores del mercado nos centraremos para este requerimiento en los sensores de proximidad en el rango de los milímetros, dado que la bicicleta debe ser detectada cuando se acople totalmente en el anclaje de la estación del



SBC. Los sensores de proximidad buscan detectar objetos o señales en un rango determinado de cobertura y según el principio físico que utilizan pueden ser de contacto, capacitivos, inductivos, fotoeléctricos, ultrasónicos y magnéticos, a continuación, se describe cada uno de ellos con el fin de facilitar la selección de uno de estos para el fin del proyecto.

-*Sensor de Contacto(Interruptor)*: Son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados generalmente al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados. Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso entre los más comunes están los ascensores, los montacargas y los robots. [43]

-*Sensores Capacitivos*: Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño y distancia hasta la superficie sensible del detector. Los detectores capacitivos están contruidos sobre la base de un oscilador LC. Debido a la influencia del objeto a detectar y del cambio de capacitancia, la amplificación se incrementa haciendo entrar en oscilación el oscilador. Cuando un objeto conductor se acerca a la cara activa del detector, el objeto actúa como un condensador. El cambio de la capacitancia es significativo durante una larga distancia. Si se aproxima un objeto no conductor, (>1) solamente se produce un cambio pequeño en la constante dieléctrica, y el incremento en su capacitancia es muy pequeño comparado con los materiales conductores. Este detector se utiliza comúnmente para detectar material no metálico: papel, plástico, madera, etc. ya que funciona como un condensador. [43]

-*Sensores Inductivos*: Estos sensores están diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos. El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida. Al aproximarse un objeto "metálico" o no metálico, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF". El funcionamiento es similar al capacitivo; la bobina detecta el objeto cuando se produce un cambio en el campo electromagnético y envía la señal al oscilador, luego se activa el disparador y finalmente al circuito de salida hace la transición entre abierto o cerrado. [43]

-*Sensores Fotoeléctricos*: El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez. Esto es muy

utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor. [43]

-*Sensores Ultrasónicos*: Son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite impulsos ultrasónicos. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, superficies y de diferentes materiales. El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas. La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable. [43]

-*Sensores Magnéticos*: Estos detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Usando los conductores magnéticos (ej. hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre distancias mayores. [43]

Analizando la forma de operar de cada uno de estos sensores se descarta los sensores fotoeléctricos y ultrasónicos dado que sus características de trabajo no son las requeridas en el sistema de anclaje del SBC, entre las otras posibilidades se opta por trabajar con los sensores de contacto, óptimos para establecer la entrada de la bicicleta al anclaje y se refuerza esta decisión con un sensor magnético para dar mayor seguridad al sistema en el momento de establecer si la bicicleta ha sido retirada o entregada con éxito por el usuario.

Dentro de las variadas opciones de sensores del mercado se optan por los siguientes dadas sus características, precio y su perfecto acople con la placa de Arduino Mega.

-*Sensor de Contacto-Modulo Interruptor Tipo Botón Arduino KY-004*: Este es un *shield* sencillo que básicamente Consta de un pulsador y una resistencia como se aprecia en la figura 27, lo único que necesita es una señal de pulsación y es supremamente económico. [44]

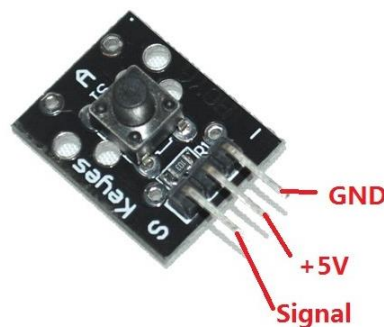


Figura 27. Módulo de botones momentánea KY004. (Fuente Libro de descripción de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino-Keyes Robot)



-Características:

Voltaje de funcionamiento: 3.3V ~ 5V
interruptor digital salida (0 / 1)
Material: PCB
Dimensiones: 1.6x1.9x0.8cm
Peso: 2g

-Sensor Magnético-Modulo Sensor KY-025: Este *shield* cuenta con una lámina detectora de campos magnéticos (*Reed Switch*) y un LED que debe conectarse al pin 13 del Arduino como se aprecia en la Figura 28. Al detectar un campo el LED se enciende generando una alerta, de no detectar ningún campo el LED permanece apagado. Tiene la ventaja de ser barato, sencillo y no requiere corriente para su funcionamiento. Pero al ser dispositivos electromecánicos, el tiempo de conmutación es relativamente alto, del orden de 1-5 ms. Tienen una vida útil limitada alcanzando hasta 100 millones de conmutaciones, suficiente para este prototipado. [44]



Figura 28. Modulo Sensor Arduino KY-025. (Fuente Libro de descripción de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino-Keyes Robot)

-Características:

Dimensiones: 3,6x1,6x2,0 cm
Comparador de salida de corriente:16mA
Sensor magnético: de alta sensibilidad
Salidas: Análoga y digital.
Peso: 3g

Las desventajas de falsos contactos en el Módulo KY004 y mediciones erróneas en el Módulo KY025 debido a la presencia de vibraciones o movimientos bruscos buscan ser contrarrestadas al combinar sus respuestas y activar el anclaje y la correcta liberación de la bicicleta si y solo si los dos sensores están activos (marcan un 1 lógico) para el módulo de control del SBC.

3.1.5.2. Sistema de identificación: El SBC debe contar con un sistema de identificación que indique a la base de datos que vehículo ha sido retirado o entregado y pueda hacer un seguimiento de estos a través de su vinculación temporal de préstamo a cada usuario. Actualmente existen varios dispositivos que realizan este tipo de procesos, de ellos se tomará el más apto para el sistema.

-Identificador de Radio Frecuencia (RFID): La RFID consiste en aplicar la radio frecuencia para la identificación, utiliza ondas electromagnéticas o electrostáticas para la transmisión de la señal que contiene la información por lo que permite identificar objetos a distancia. Un sistema RFID está compuesto por 3 elementos básicos: Lector, Antena y Etiqueta, en la figura 29 se puede observar un gráfico general de este sistema. [45].

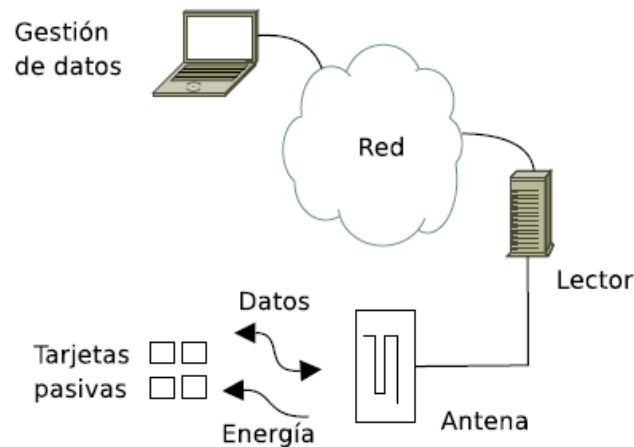


Figura 29. Ejemplo de una Aplicación con RFID. (Fuente: Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia-Intermec)

Una etiqueta RFID cumple un propósito similar al código de barras, es capaz de guardar y enviar información a un lector RFID ya que incluye un circuito integrado, una memoria para almacenar información y una antena. En el circuito integrado o chip se encuentra la lógica para responder al lector. La antena emite y recibe las ondas de radio para intercambio de información con el lector. Existen diferentes tipos de etiquetas, según el tipo de alimentación se clasifican en [45]:

i. Activas: No necesitan la energía de la antena para activarse ni para enviar datos a la antena, ya que poseen una batería propia. Permiten mayor alcance de comunicación (30 metros aprox.), poseen mayor capacidad de almacenamiento de datos, además que algunos pueden incluir sensores adicionales como: sensores de temperatura. Las principales desventajas de este tipo de tarjetas es su límite de vida útil (depende de las baterías), su tamaño es mucho mayor en comparación con las tarjetas pasivas y su costo de mantenimiento es mayor además de ser las más caras del mercado.

ii. Semi-Activas: Este tipo de tarjetas posee una batería propia para activar su circuitería, pero para enviar información la recoge de las ondas de radio emitidas por la antena. Son



más costosas que las pasivas, pero proporcionan mayor rango de comunicación (entre 10 y 15 metros aprox.).

iii. Pasivas: Las etiquetas pasivas no poseen una fuente de alimentación incorporada, para activarse y transmitir datos, usan el campo electromagnético generado por el lector. Las ventajas de este tipo de etiquetas son su bajo costo de adquisición y de mantenimiento, su tamaño es más pequeño que las activas y semiactivas. Las principales desventajas son: corta distancia para el rango de lectura (entre 3 cm y 9 metros aprox.), no poseen sensores adicionales.

-Near Field Communication (NFC): Es una tecnología inalámbrica que funciona en la banda de los 13.56 MHz, es una plataforma abierta pensada desde el inicio para teléfonos y dispositivos móviles. Su tasa de transferencia puede alcanzar los 424 kbit/s por lo que su enfoque más que para la transmisión de grandes cantidades de datos es para comunicación instantánea, es decir, identificación y validación de equipos/personas. [46]

Su punto fuerte está en la velocidad de comunicación, que es casi instantánea sin necesidad de emparejamiento previo. Como contrapartida, el alcance de la tecnología NFC es muy reducido, pues se mueve como máximo en un rango de los 20 cm. A su favor también juega que su uso es transparente a los usuarios y que los equipos con tecnología NFC son capaces de enviar y recibir información al mismo tiempo. Esta tecnología puede funcionar en dos modos:

-Activo: En el que ambos equipos con chip NFC generan un campo electromagnético e intercambian datos.

-Pasivo: En el que solo hay un dispositivo activo y el otro aprovecha ese campo para intercambiar la información.

-Reconocimiento Óptico De Caracteres (OCR): Este sistema reconoce y procesa tipos especiales de caracteres legibles para luego comparar esos patrones con aquellos que están almacenados en la memoria del computador. Mediante esta tecnología el dispositivo lector identifica la serie de detalles de líneas, curvas y bordes que definen a cada carácter en un conjunto de caracteres definidos.

El reconocimiento óptico de caracteres tiene presencia por lo general en el mundo de las finanzas; por ejemplo, en el procesamiento de documentos, cheques bancarios, giros, etc. Su aplicación está asociada al empleo de tinta magnética y a la tecnología conocida como MICR (por sus siglas en inglés; *Magnetic Ink Character Recognition*) o reconocimiento de caracteres por tinta magnética. Esta técnica mantiene la legibilidad de los caracteres aun cuando han sido cubiertos por algún sello, manchas, o similares [47].

-Bandas Magnéticas: Utiliza señales electromagnéticas de alta o baja energía para registrar y codificar información en una banda que puede ser leída por una máquina para identificación instantánea. Su aplicación quizás más difundida es en las tarjetas de crédito.



Las instituciones financieras prefieren esta tecnología pues la reproducción es difícil de lograr sin el equipo adecuado, el cual es apreciablemente costoso.

Cuando se realiza una comparación entre tecnologías, comúnmente se hace mención a que las bandas magnéticas se utilizan para la identificación de personas, mientras que los códigos de barras se aplican en la identificación de productos. Las bandas magnéticas tienen excelentes posibilidades en aplicaciones de corta duración tales como en pasajes de avión, donde la vida esperada del pasaje es del orden de las 24 horas. En algunos países ya se pueden encontrar licencias de conducir con bandas magnéticas y documentos de identidad. Otro ejemplo de la aplicación de las bandas magnéticas muy difundido en el mundo entero son las tarjetas de telefonía prepaga [47]

-Código de Barras: El Código de Barras es un arreglo en paralelo que contiene información codificada en las barras y espacios del símbolo. Esta información puede ser leída por medio de dispositivos ópticos los cuales la leen y envían hacia una computadora como si la información se hubiera tecleado. El código de barras es la mejor tecnología para implementar un sistema de recolección de datos mediante identificación automática.

Las aplicaciones del código de barras cubren prácticamente cualquier tipo de actividad humana, tanto en la industria como en el comercio, instituciones educativas, instituciones médicas, gobierno, etc. De hecho, se los utiliza para los más diversos usos como por ejemplo: control de material en proceso, control de calidad, embarques y recibos, control de documentos, facturación, control de tiempo y asistencia, bibliotecas, bancos de sangre, y muchos otros. [47]

En la tabla 17 se realiza una comparativa entre los distintos sistemas de identificación aquí nombrados, para establecer de una mejor forma la más indicada para el SBC.



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

Tecnología	Velocidad	Línea de Visión	Consumo Energético	Cobertura	Durabilidad	Almacenamiento de Datos	Flexibilidad de la Información	Redundancia	Seguridad de Datos
RFDI	Muy Rápida (Las etiquetas RFID pueden ser leídas en grados teóricos de 1.000 por segundo o más.)	La lectura por RFID no requiere línea de visión La señal de la frecuencia de radio (RF) es capaz de viajar a través de la mayoría de los materiales.	Pasiva y Activa	3 Metros	Alta (El talón de Aquiles de una etiqueta RFID es el punto de unión de la antena con el chip. Un corte que dañe el punto de unión inutilizará la etiqueta)	Alta (Los RFDI de alto valor contendrán varios kilobites de memoria lo que crea una base de datos de información portátil amplio)	Si (Las etiquetas RFID son capaces de realizar operaciones de lectura y escritura, permitiendo la actualización de información en tiempo real)	No (Las etiquetas RFID retienen información en forma cautiva, ofreciéndola únicamente a través de un lector seteado para recibir esos datos. La integridad del sistema no es lineal).	RFDI pasivas depende y Alta en RFDI activas. -Interferencia: Barreras muy limitadas debido a la elevada potencia de transmisión
NFC:	Muy Rápida. Su transferencia puede alcanzar los 424 Kbps y conectarse en menos de 0,1 segundos.	Si, requiere que el tag de NFC tenga línea con el lector.	Pasivo y Activo	20 centímetros	Alta	Alta	Si	Si, una tarjeta NFC puede volver a ser codificada.	Alta. Al ser de corto alcance ofrece mayor privacidad, pocos errores en la comunicación y aumenta la eficacia en la transmisión de datos.
OCR	Alta, el OCR puede alcanzar una velocidad de lectura de hasta 1.200 caracteres por segundo	Si, la lectura de OCR requiere línea de visión directa.	Medio	Baja, Depende del lector que realiza el escaneo, generalmente bajo el orden de los centímetros.	Alta, los códigos generados son altamente resistentes a humedad, tintas y sellos.	Alta, los códigos pueden contener gran información, aunque su calidad depende del tipo de scanneo y cifrado.	Si, OCR permite la edición de los caracteres leídos, contribuyendo a la verificación y gestión de los datos extraídos.	No, una vez codificado solo mantiene esa copia cifrada.	Su precisión y efectividad en el reconocimiento de caracteres está directamente relacionado con su nivel de sofisticación y precio en el mercado.
Bandas Magnéticas	Media, La velocidad de	Si, la banda necesita ser	Alta, depende del	Baja, la banda necesita	Media, La durabilidad es	Baja, típicamente, las tarjetas son	Si, El sistema de escritura-	Si, las bandas magnéticas	La robustez es mayor en



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

	lectura depende del lector generalmente 250 cm/Seg	pasada por el lector para obtener los datos.	lector, generalmente e oscila su periodo de carga entre las 5-9 horas.	entrar en contacto directo para mostrar la información.	mayor en las tarjetas con banda magnética de alta coercitividad.	codificadas con 5 bits por caracter, por lo que pueden almacenar hasta 80 caracteres por pista y cada banda contiene tres pistas.	lectura en las bandas magnéticas se basa en el sistema binario. Con ello se puede introducir y leer información modificando la alineación de determinadas partículas que serán estados	pueden ser re-codificadas y usada de nuevo, aunque esto implica grabarlas de nuevo.	bandas con alta coercitividad, existen en el mercado bandas hasta con 2500 Oersteds de coercitividad (hechas de ferrita de barrio)
Código de Barras	Media, aunque depende del lector bajo el cual se trabaja. En promedio realizan 270 lecturas por segundo.	Los lectores ópticos de código de barra requieren una verificación visual directa Interferencias de barreras ópticas tal como la suciedad o objetos entre el lector y la etiqueta.	Media, para lectores de códigos estándar.	Media, Depende del lector hay lectores laser en el orden de los 10 mm y otros con cobertura de hasta 90 metros.	Baja (las etiquetas de papel de código de barra, dependen del adhesivo que las mantiene intactas y pegadas a un ítem)	Media. Los códigos lineales sencillos pueden almacenar hasta 32 caracteres mientras los códigos más robustos pueden contener 2.725 caracteres alfabéticos.	No, los códigos son de solo lectura para nueva información debe crearse de nuevo.	Si, Los códigos de barra tienen usualmente un formato de legibilidad de caracteres humanos adjuntos. Esto permite una recuperación directa en caso de que el código de barra s falle al leer.	El código de barras se puede falsificar sacando una simple copia y no posee ningún nivel de seguridad de encriptación.

Tabla 17. Comparativa de los Sistemas de Identificación analizados (Fuente Propia).



Para este proyecto se optó finalmente por la tecnología RFID, ya que esta ofrece una serie de ventajas importantes en comparación con las otras formas de captura de datos: Bajo RFDI se puede realizar más de mil lecturas por segundo, ofreciendo una alta velocidad y una gran precisión al SBC, los datos de un *tag* RFID se pueden modificar repetidamente en caso de ser necesario, los objetos dotados con esta tecnología poseen una única identidad, son capaces de comunicarse eficazmente con su ambiente circundante y pueden obtener y conservar información sobre sí mismo, además de tener un lenguaje para expresar sus características y requerimientos, creando un amplio rango de crecimiento en la interacción del SBC con el usuario y el mejoramiento del sistema. En cuanto a su cobertura, esta tecnología no necesita una línea directa de visión entre la etiqueta y el lector, haciéndola perfecta para la implementación dentro del rack de estacionamiento del sistema. Se puede resaltar igualmente que estas tarjetas ofrecen una operación segura en ambiente severos (lugares húmedos, mojados, sucios, corrosivos, alta/baja temperatura, vibración, choques) ideal para aplicaciones al aire libre como esta.

Dentro de esta tecnología, como ya se indicó anteriormente, se mantienen dos clases, los RFID pasivos y los RFID activos, para la selección de uno de ellos se realiza la comparación de las principales características importantes dentro del SBC en la tabla 18.

Características	RFID	
	RFID Pasiva	RFID Activa
Modificación de datos	Modificable	Modificable
Seguridad de datos	Depende	Alta seguridad
Capacidad de datos	Más de 64 KB	Más de 8 MB
Coste	Medio, sobre los 20 céntimos por etiqueta	Alto, entre 10 y 100usd por etiqueta
Estándares	Evolucionando hacia un estándar	Propietario y evolucionando hacia un estándar
Ciclo de vida	Indefinido	De 3 a 5 años
Distancia de lectura	Sin contacto ni visibilidad. Distancias medias, sobre los 10 metros	Sin contacto ni visibilidad. Distancias largas, de hasta 100 metros o más
Capacidad de lectura	Varias lecturas simultáneas	Varias lecturas simultáneas
Interferencias	Entornos o campos afectados por emisiones radioeléctricas	Barreras muy limitadas debido a la elevada potencia de transmisión

Tabla 18. Comparación Tecnología RFDI Pasiva y Activa. (Fuente Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radiofrecuencia-Intermec)

Dentro de la tecnología RFDI se toma el modo pasivo, dado que su independencia de una fuente de energía la hace ideal dentro de la estación del SBC además de ser más ligera en la instalación y el camuflaje dentro del vehículo. Este dispositivo a través de sus antenas permite al sistema transferir peticiones, en este caso la principal función es lograr la

identificación de la bicicleta cuando es retirada y regresada a la estación. Dentro del grupo de *shields* disponibles para Arduino se escoge el típico chip MFRC522, el módulo más conocido y documentado en RFID pasivas.

-*Módulo Lector RFID-RC522*. Utiliza 3.3V como voltaje de alimentación y se controla a través del protocolo SPI por lo que es compatible con casi cualquier micro controlador, Arduino o tarjeta de desarrollo. El RC522 maneja un sistema avanzado de modulación y demodulación para todo tipo de dispositivos pasivos de 13.56Mhz. La tarjeta que viene con el módulo RFID cuenta con 64 bloques de memoria (0-63) donde se hace lectura y/o escritura. Cada bloque de memoria tiene la capacidad de almacenar hasta 16 Bytes. Su esquema general se puede apreciar en la Figura 30.



Figura 30. Módulo RFID RC522 (Fuente Página Oficial Arduino)

-Características:

Corriente de operación: 13-26mA a 3.3V

Isb de stand by: 10-13mA a 3.3V

Ism de sleep-mode: <80uA

Im máxima: 30mA

Frecuencia de operación: 13.56Mhz

Distancia de lectura: 0 a 60mm

Protocolo de comunicación: SPI

Velocidad de datos máxima: 10Mbit/s

Dimensiones: 40 x 60 mm

Temperatura de operación: -20 a 80°C

Humedad de operación: 5%-95%

Máxima velocidad de SPI: 10Mbit/s

Este módulo da soporte a la lectura y escritura de los tags en diferentes condiciones y con control de errores, de una forma sencilla, aunque no puede identificar más que un tag a la vez, a diferencia de otros lectores más profesionales, y requiere que la distancia de lectura sea de un par de centímetros, ideal para la estación del SBC. (Ampliación ver Anexo D)

3.1.5.3. Sistema de enganche bicicleta-estación: El sistema de enganche estará anclado en la estación de parqueo y en la bicicleta para generar una unión macho-hembra que asegure la misma a su posición dentro de la bancada. Este proceso contiene una parte totalmente mecánica y una electrónica que permite automatizar el enganche.

3.1.5.3.1. Proceso Mecánico: Esta parte está diseñada con base en el sistema de una cerradura convencional (ver Figura 31). En la estación funciona básicamente a través del empuje de un resorte que mueve un enganche tipo macho ubicado sutilmente en el interior del módulo de anclaje de la estación de bicicletas, este movimiento sirve para anclar o desanclar el enganche tipo hembra situado en la parte frontal de la misma.

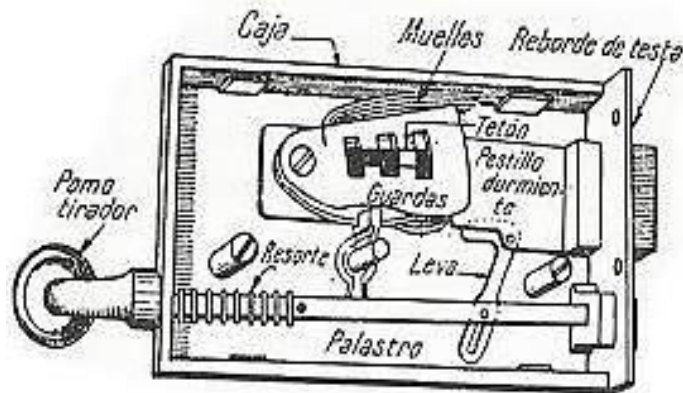


Figura 31. Cerradura Convencional (Fuente Página Oficial Cerraduras Eescriche).

La cerradura instalada en la SBC se creó utilizando un palastra, un pomo tirador y un resorte, como partes de una cerradura convencional, estos componentes entran en funcionamiento cuando un usuario desea retirar o entregar una bicicleta, el sistema se activa por medio de un solenoide que hace presión sobre el resorte haciendo que el palastra se ajuste o desajuste de la parte frontal de la bicicleta (ver Figura 32), además el palastra lleva consigo un mini interruptor que se activa o desactiva para asegurar que la bicicleta se ha anclado perfectamente.



Figura 32. Sistema Mecánico (Fuente Página Oficial Cerraduras Eescriche-Modificaciones Propias).

3.1.5.3.2. Proceso Electrónico: La parte electrónica está compuesta por un mini interruptor, un sensor Reed Switch (Interruptor de campo) y un imán, que se encargan de enviar la señal de entrega o retiro de la bicicleta a la base de datos como se observa en la Figura 33.

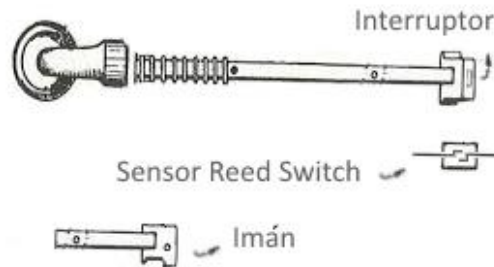


Figura 33. Sistema Electrónico (Fuente Página Oficial Cerraduras Eescriche-Modificaciones Propias).

En esta parte del sistema de enganche el mini interruptor al recibir la señal de anclaje exacto emite una señal de ajuste correcto a la base de datos, simultáneamente el sistema verifica el estado del sensor *Reed Switch* (Interruptor de campo), en caso de que los dos sensores estén activos el sistema despliega en pantalla que la bicicleta ha sido ajustada perfectamente al parqueadero, se realiza el mismo proceso para desanclar una bicicleta de la estación.

3.1.6 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Alimentación.

Esta parte del sistema provee toda la alimentación de energía que requiere cada uno de los módulos que compone el SBC. Se debe partir del hecho de que las estaciones del SBC serán móviles o en su defecto tendrán una ubicación remota lejos de fuentes de corriente de pared de CA de la red eléctrica, reduciendo la búsqueda de alimentación a baterías recargables que no necesitan una fuente constante de energía. Las baterías vienen en una gran variedad, aunque las opciones más comunes son de NiMH, AA, de Plomo y de iones de litio polímero.

Esta unidad debe atender los requerimientos de los elementos en términos de amperaje, voltaje, manejo de polos y tierras, con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema y no sobrecargar alguna parte de él, además debe ser totalmente auto sostenible cumpliendo los requisitos iniciales del proyecto. Para discernir de manera más fácil este requerimiento se construye una tabla con los módulos del sistema participantes en este y se deduce el voltaje y amperaje final del proyecto.

Modulo	Subsistemas	Componente	Voltaje Requerido	Corriente de Consumo
Módulo de Control:	<i>Subistema de Control General:</i> El	Placa Arduino Mega: Esta placa debe alimentarse	7-12 v.	93 mA



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

	componente principal de alimentación es la placa de Arduino mega y sus shields.	al menos a 7V, pero su voltaje de operación es de 5v, dado que posee un regulador de tensión, cuya función es convertir el voltaje de alimentación al voltaje de los elementos electrónicos, principalmente al microcontrolador. Esta conversión tiene un gasto energético que se convierte en calor en el regulador de tensión.		
	Subsistema de Control de Aparcamiento	Placa de 8 Reles	5 v.	10 A
		Solenoides	12v	Alto Amperaje
	Subsistema de Conexión	Módulo CC3000	2.9 v-4.8 v	350 mA
Modulo ISP	<i>Proveedor de Servicios</i>	-	--	--
Módulo de Conexión	<i>Tecnología Wifi</i>	-	-	--
Módulo de Anclaje	<i>Sensores</i>	Sensores Magnéticos	5v	16Ma
		Sensores de Contacto	5v	
	<i>Sistema de Identificación</i>	RFID Pasiva	3.3v	20mA

Tabla 19. Alimentación de la estación del SBC (Fuente propia).

De la anterior tabla se deduce un amperaje alto con un voltaje mínimo de 12 voltios requeridos por los solenoides principales consumidores del todo el proyecto, es evidente que dadas las características de los demás componentes se hace necesario utilizar fuentes reguladoras con el fin de evitar el paso de corrientes no deseadas a dispositivos más sensibles como la placa de Arduino y la Pantalla de Despliegue.



La batería será de tipo recargable cuya alimentación principal dado los requerimientos del proyecto serán dos paneles solares colocados en paralelo que conmutarán la carga y mantendrán el sistema siempre en estado activo.

-Paneles Solares: Un panel solar es un elemento que permite usar los rayos del sol como energía. Estos dispositivos recogen la energía térmica o fotovoltaica del astro y la convierten en un recurso que puede emplearse para producir electricidad o calor. Para este proyecto se tomarán aquellos que permiten generar corriente eléctrica, estos cuentan con diversas células o celdas que aprovechan el denominado efecto fotovoltaico. Este fenómeno consiste en la producción de cargas negativas y positivas en semiconductores de distinta clase, lo que permite dar lugar a un campo eléctrico. Las celdas de estos paneles solares pueden estar construidas con silicio o arseniuro de galio. Para funcionar, deben estar en contacto directo con los rayos del sol.

Después de que estos paneles solares reciben la radiación solar a través de sus celdas, pueden obtener electricidad de corriente continua(CC). Se toma entonces, esta potencia de CC bajo un inversor eléctrico, que convierte dicha potencia en potencia de corriente alterna (CA) que alimenta la batería del SBC y mantiene vivos los circuitos funcionales del mismo.

3.1.7 Tecnologías evaluadas para el Módulo de Seguridad.

Esta sección otorgará al sistema en general la seguridad necesaria para garantizar el correcto funcionamiento del mismo, incrementando confianza en el usuario y atendiendo las especificaciones de manejo y transporte de datos a través de la red.

Así mismo vigilará el uso adecuado de las bicicletas y las estaciones que las resguardan, protegiendo la integridad estructural de la misma cuando esta se encuentre operando en la ciudad. Se instalarán cámaras cerca de las estaciones construidas y se reforzará electrónicamente la seguridad en la toma de decisiones del sistema para que el usuario puede verificar el correcto funcionamiento del mismo. La identificación por RFID aportará seguridad para controlar el stock de vehículos de cada estación y permitirá al SBC conocer el posicionamiento de cada bicicleta en sus estaciones de préstamo así mismo podrá construirse mediante esto estadísticas de trazabilidad de los usuarios. Los sensores de proximidad instalados en el anclaje darán mayor seguridad en la entrega y salida de las bicicletas en cada estación y el sistema de registro de usuarios contará con protección de datos y encriptación de claves en la base de datos.

3.2 Consideraciones de Implementación del SBC.

En la actualidad los proyectos, diseños y prototipos crecen en complejidad, exigencia y especificaciones. El mercado demanda aplicaciones con alto desempeño en condiciones adversas, innovadoras, robustas y con valores agregados que generen mejores condiciones de funcionamiento, bajo este contexto el propio mercado ha construido lineamientos de seguridad, construcción e implementación de circuitos y aplicaciones



buscando entregar al cliente final y al mismo mercado productos de alta calidad. Con el propósito de ajustar este proyecto a la mayoría de estos requerimientos se ha contemplado una serie de consideraciones mínimas para el buen funcionamiento del SBC. Dichas consideraciones se dividirán en tres secciones, las primeras guiadas la parte electrónica del sistema, otra guiadas a la plataforma de gestión y la última a la implementación del sistema en si en la ciudad.

3.2.1 Consideraciones de Tipo Electrónico.

La parte electrónica debe acogerse a los términos de seguridad, control de voltajes y energía que circulan a través del sistema y que pueden de no ser tratados, alterar el funcionamiento del mismo o quemar la placa central de Arduino. Hoy se cuenta con una gran cantidad de normas relativas a ubicación de componentes, radiación de señales electromagnéticas, interferencias entre etapas de un mismo circuito y manejo térmico; que finalmente transforman un esquema en un diseño confiable que pueda ser fácilmente fabricado, ensamblado y probado.

De allí la necesidad de incluir normas técnicas en el diseño y fabricación de circuitos electrónicos; estas son emitidas y difundidas por entidades internacionales, la aplicación de estas normas garantiza el buen funcionamiento electrónico del producto final y además es de obligatorio cumplimiento para el acceso de productos en muchos países. Entre los principales organismos de normalización se encuentran el ISO, el IEC (International Electrotechnical Commission) y el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

En el campo de los circuitos, los estándares son líneas de guía generalmente para consideraciones eléctricas y térmicas, especificaciones de componentes, requerimientos de ensamble y montaje, características físicas, confiabilidad, inspección y prueba. [48] En esta sección se destacarán a criterio los lineamientos más importantes para la implementación de la sección electrónica del SBC.

-Compatibilidad electromagnética e Interferencias: Se trata de un aspecto muy completo afectado por todos los procesos de diseño y fabricación. Existe abundante normativa al respecto, como punto de partida se deben considerar los elementos de alta interferencia electromagnética dentro del sistema, estos son los solenoides que poseen embobinados y la batería que produce campos capaces de alterar algunos dispositivos, en razón de ellos se requiere que la batería este aislada del sistema de control central y la pantalla de despliegue que al ser táctil puede verse afectada por la emisión de dichos campos.

En cuanto a los solenoides están por la composición misma de la estación aislados del sistema de control central con el que pueden interferir.

-Cableado: Todo el cableado que se requiere dentro de la estación debe ir protegido por canaletas moldeables que permitan curvar las líneas de cableado para facilitar la conexión interna de los circuitos.



-*Estructura Mecánica*: Dentro del tótem de la estación del SBC que alberga el módulo central de control debe aislarse del medio mediante un cascaron que contenga blindaje interior para combatir fuertes interferencias externas considerando que la estación siempre estará expuesta.

El grado de protección que ofrecen este tipo de estructuras mecánicas a los dispositivos electrónicos ha sido durante mucho tiempo considerado un tema de suprema importancia, ha sido tal la preocupación por dicho asunto que se han propuesto normas y estándares tanto a nivel nacional como internacional [49].

Actualmente existen diferentes normas que se encargan de esta clasificación, en el mercado se destacan la norma IEC 60529 y el estándar NEMA cada uno de ellos clasifican las estructuras mecánicas o carcasa en función del nivel de protección que estas proporcionan a los componentes y sistemas electrónicos [49]. Dentro de la norma IEC 60529, se establece el código de protección IP, conformado dos dígitos, el primero de ellos hace referencia a la protección contra el ingreso de elementos sólidos y el segundo contra el ingreso a elementos líquidos. Se recomienda tomar una carcasa con altos índices de protección dada la constante exposición de los elementos en el medio ambiente y el cambiante tiempo que sufre la zona de implementación del SBC.

Es importante considerar la protección electromagnética de la carcasa, para ello se debe utilizar blindajes, estos tienen como objetivo evitar el ingreso de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos.

3.2.2. Consideraciones de Software:

El diálogo con el usuario constituye uno de los aspectos más importantes de cualquier software, un diálogo interactivo que se produce a través de la interfaz de usuario. Las personas no utilizan sistemas interactivos, sino que utilizan las interfaces que les proporcionan, por lo que una parte muy importante del éxito o fracaso de una aplicación interactiva depende de dicha interfaz. [50] Es aquí donde aparece el concepto de Usabilidad o Calidad de Uso que significa facilidad de uso, y cuya definición formal se refiere al grado de eficacia, eficiencia y satisfacción con la que los usuarios específicos pueden lograr objetivos específicos, en contextos de uso específicos [51]

El concepto de usabilidad no sólo puede ser definido como atributo de calidad de un producto, sino consecuentemente, como metodología de diseño y evaluación. En este sentido se habla Diseño Centrado en el Usuario (DCU), este define un conjunto de procesos y metodologías que aseguren empíricamente el cumplimiento de los niveles de usabilidad requeridos para el producto. Este tipo de diseño trabaja persiguiendo la información sobre los usuarios, sus tareas y sus objetivos para orientar el desarrollo de los productos [52]. De entre las diferentes informaciones que se consideran, a modo de ejemplo se destacan las siguientes: ¿Quiénes son los usuarios del producto?, ¿Cuáles son las tareas y objetivos de los usuarios?, ¿Cuál es el nivel de conocimiento y la experiencia previa de los usuarios con



la tecnología? y ¿Cómo puede el diseño del producto facilitar los procesos cognitivos de los usuarios? [53]

Para garantizar que el software que se desea crear para este sistema se construya bajo un diseño centrado en el usuario se debe involucrar al usuario en todas las fases a través de las cuales se desarrolla este, desde su conceptualización hasta su evaluación, generando pruebas que permitan retroalimentar el diseño y mejorar su funcionamiento. Existe un estándar internacional que establece una base común para los métodos del diseño centrado en el usuario. Este estándar es la norma ISO 13407: *Human-centred design process for interactive systems*, que propone un proceso genérico para incluir las actividades centradas en las personas mediante un ciclo de vida de desarrollo [53]. Aún cuando no recoge técnicas o métodos concretos, la ISO 13407 es una guía para incorporar diseño centrado en el usuario en el ciclo de vida del desarrollo de aplicaciones interactivas y así obtener productos mejores y más usables.

El estándar propone cuatro principios básicos para el diseño centrado en las personas:

- Involucrar activamente a los usuarios y entender los requisitos de los usuarios y de las tareas a realizar.
- Una correspondencia adecuada entre las funcionalidades que proporciona la tecnología y los usuarios.
- Iteración de soluciones de diseño.
- Diseño pluridisciplinar.

El principal ciclo de trabajo del proceso está constituido por cuatro actividades a realizar de manera cíclica, tal y como se muestra en la Figura 34, que deben ser aplicadas para garantizar el diseño orientado que se quiere para el SBC. Estas actividades son:

1. Especificación del contexto de uso. Identificación de las personas que utilizarán el producto, para qué lo usarán, y bajo qué condiciones lo utilizarán, es decir, en qué contexto y dónde lo usarán.
2. Especificación de requisitos. Identificación de las necesidades y objetivos de los usuarios, así como los requisitos organizacionales y de uso del producto.
3. Creación y desarrollo de soluciones de diseño. A partir de la información recogida en las dos etapas anteriores se llevan a cabo los diseños.
4. Evaluación de los diseños. Esta es una de las etapas más importantes del proceso, en la que los diseños realizados se evalúan teniendo en cuenta las personas que los habrán de utilizar, así como los requisitos y el contexto de uso. Si la evaluación satisface los requisitos el proceso acaba, si no, se vuelve a repetir el proceso desde la primera etapa, refinando los resultados obtenidos.

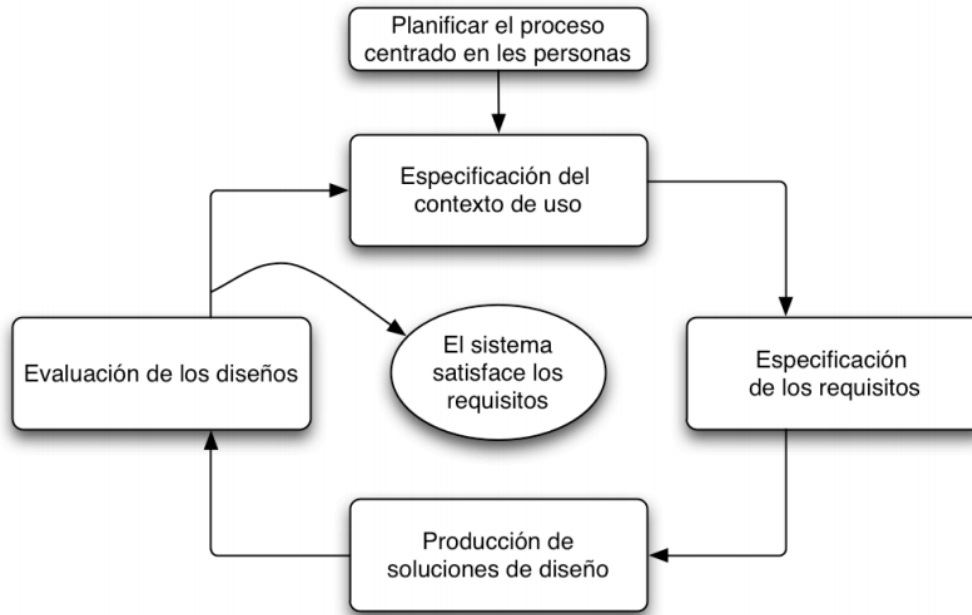


Figura 34. Ciclo de Actividades de la ISO13407 (Fuente Norma ISO 13407: Human-centred design process for interactive systems).

Es necesario entonces definir para cada una de las etapas de trabajo que propone el diseño centrado en el usuario, métodos y técnicas que permitan conseguir los objetivos anhelados, generando un modelo de proceso propio que lleve a los mejores resultados. En la literatura relacionada con el diseño centrado en el usuario y la usabilidad se pueden encontrar diferentes propuestas de ciclos o procesos y las recomendaciones para aplicarlos según cuales sean las especificidades de cada proyecto. Además, diferentes empresas, sobre todo las relacionadas con el desarrollo de software, también sugieren y ponen a disposición pública el modelo de proceso que utilizan para ejecutar proyectos que desarrollan productos siguiendo el paradigma del diseño centrado en el usuario. De todas ellas se destaca entre los críticos la aproximación de Morville, dado que este crea una experiencia de uso desde la organización y el acceso a la información. Los principales elementos de calidad en la experiencia de usuario que el autor propone son: utilidad, usabilidad, accesibilidad, credibilidad, que sea deseable, que sea “encontrable” (findability) y que aporte valor, [54] el busca un sistema que “conozca” al usuario y lo guíe fácilmente.

Para cada una de las etapas del desarrollo de sistemas y aplicaciones el diseño centrado en el usuario propone la utilización de un conjunto de métodos o metodologías, los principales métodos utilizados en las diferentes etapas se pueden ver en forma de sumario en la Figura 35.

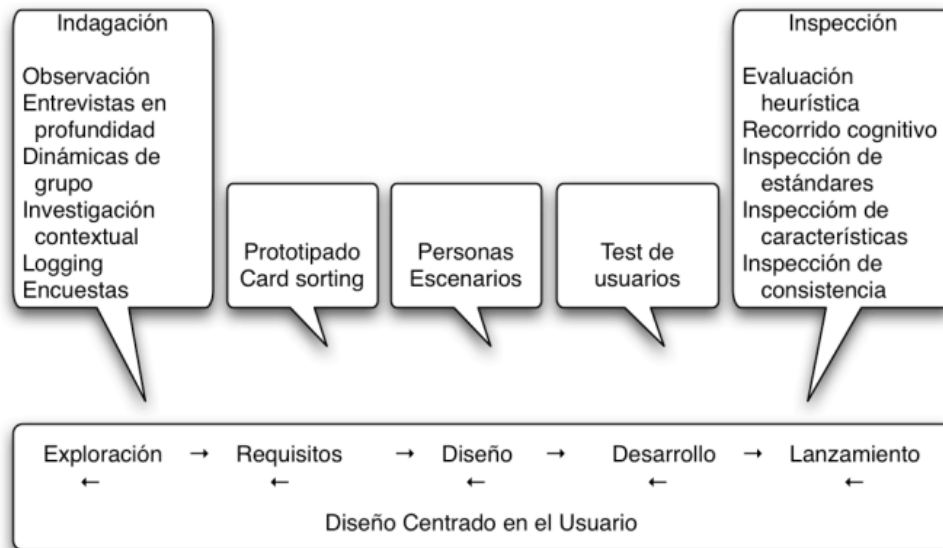


Figura 35. Principales métodos de diseño centrado en el usuario (Fuente Aproximación de Morville).

Los diferentes métodos que se utilizan en el diseño centrado en el usuario se han clasificado en cuatro grupos. Es importante destacar que la clasificación de métodos no es estricta y que hay métodos que pueden pertenecer a diferentes grupos o, dicho de otra manera, hay métodos que persiguiendo objetivos y resultados diferentes puede ser útil de llevarlos a cabo en diferentes etapas del proceso, de este grupo se toman los métodos que a criterio se acoplan mejor a los usuarios y el desarrollo del sistema.

3.2.2.1. Etapa de Exploración:

En esta etapa se opta por los Métodos de indagación e Investigación, este tipo de métodos de usabilidad se llevan a cabo en las etapas de especificación del contexto de uso y de los requisitos, por ello la investigación en si se inició desde la propuesta misma del proyecto dado que la fase inicial de este constituye un análisis de la zona de implementación del SBC y los usuarios del mismo, a través de esta se crea un conocimiento sobre los usuarios, sus necesidades y los objetivos reales del proyecto algo imprescindible para un diseño centrado en el usuario y para desarrollar entornos usables. En esta sección se tomaron estudios, encuestas e investigación contextual (que se apoya fuertemente en el concepto de contexto de uso. Consiste en realizar la entrevista en el lugar dónde se utilizará el sistema y mientras se está interaccionando con él). La investigación contextual es uno de los mejores métodos para descubrir y entender el contexto de los usuarios y como su entorno influye en sus interacciones. [53]

3.2.2.2. Etapa de Requisitos

Persiguiendo la idea clara de lanzar un prototipo inicial del sistema, en esta etapa se construye las fases del Prototipado del SBC para obtener mejores resultados que alimenten el diseño y refuercen el prototipo final. El prototipado consiste en la construcción de uno o diferentes modelos del sistema que se está diseñando. Estos modelos simulan o ya tienen



construidas partes del sistema final y se utilizan para llevar a cabo pruebas, involucrando directamente a los usuarios en el diseño de determinados elementos del sistema

3.2.2.3. Etapa de Diseño

Esta etapa se basa en la construcción y secuencia de los Personajes y escenarios del sistema a través de la línea de desarrollo del mismo. Un personaje es la descripción de un usuario arquetípico que sirve como guía en el proceso de diseño. Un personaje se construye con precisión y rigor a partir de la información cuantitativa y cualitativa de la investigación de usuarios realizada desde el inicio del proyecto, un personaje es un modelo de usuario. Por su parte, un escenario es la descripción de un personaje en una situación de uso del sistema, con unos objetivos concretos [55]. Esta descripción incluye el contexto en el que tiene lugar la acción y la secuencia de acciones que se realizan. Los escenarios son una herramienta que facilita realizar hipótesis sobre las situaciones en las que se encontrarán los usuarios y las necesidades que tendrán para llevar a cabo sus objetivos. Estos escenarios se deben construir a partir de los objetivos, las necesidades y las motivaciones de los usuarios.

3.2.2.4. Etapa de Desarrollo:

Bajo esta etapa el método de evaluación de usabilidad de los prototipos desarrollados es el test de usuario, este permite por comprobación directa jugar con los diseños y llevar a término pruebas y comprobaciones sobre ellos. Un test de usuarios proporciona información de carácter más bien informativo que no cuantitativo o estadístico, mediante ellos se comprueba si las interfaces y los procesos están bien diseñados y si los usuarios encuentran obstáculos y dificultades para lograr sus objetivos. La principal ventaja del test de usuarios es que permite evaluar la usabilidad de una interfaz de manera bastante fiable y permite descubrir dónde los usuarios encontrarán obstáculos o dificultades.

3.2.2.5 Etapa de Lanzamiento

Bajo esta etapa se toman los métodos de evaluación de la usabilidad, entre los más interesantes están la Inspección de características y la Inspección de consistencia. En la inspección de características se deben evaluar los escenarios definidos para el SBC, analizar un conjunto, teniendo en cuenta su utilidad, disponibilidad y comprensibilidad. La inspección de características pone especial énfasis en aquellos aspectos de la interfaz que no resultan del todo naturales para los usuarios ya sea porque no están acostumbrados o porque requieren conocimientos más avanzados.

La Inspección de consistencia evalúa si el diseño está en concordancia con otros diseños que también se deben presentar al usuario. Se debe analizar los diferentes diseños e interfaces de usuario para comprobar que las interacciones y procesos se realizan de forma coherente y similar entre ellos, esto se realiza desde las primeras etapas del proyecto y así se evita desarrollos que más tarde se tengan que corregir.

Todas estas consideraciones se harán efectivas a través del desarrollo del siguiente capítulo donde se plasma paso a paso la construcción y evolución del sistema hasta su



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

prototipo final. Cabe aclarar que estas consideraciones puedan ampliarse en busca de mejorar el SBC y que estarán sujetas a cambios dado la zona de implementación, los usuarios y el análisis inicial que se realice sobre estos.



CAPITULO IV. DESARROLLO Y PRUEBAS

Este capítulo presenta la fabricación del prototipo del SBC, guiado por todo el modelamiento expuesto en los capítulos anteriores y las transformaciones realizadas a través de las diferentes pruebas de funcionamiento y usabilidad hechas. Para este proceso se contó con el patrocinio y apoyo de la empresa Ecociclo de la ciudad de Popayán, esta empresa administrada por el señor Tony Clark realiza el préstamo de bicicletas a propios y turistas de forma manual sin ninguna automatización, lo que permite desarrollar este proyecto perfectamente ya que no cuenta con alguna tecnología o plataforma en contrapeso.

Ecociclo esta ligada al Hostal Caracol, del mismo dueño, en el centro de la ciudad donde funciona el préstamo a las afueras del mismo, por temas de seguridad y comodidad para su administrador y sus trabajadores. La estación inicial de Ecociclo presente en la Figura 36, cuenta con seis bicicletas enganchadas manualmente por medio de candados a un soporte vertical instalado sobre el andén en las afueras del Hostal Caracol como se puede apreciar en la figura , el servicio de préstamo se realiza mediante la inscripción previa del cliente en las instalaciones del Hotel y un trabajador del mismo libera manualmente la bicicleta del soporte y la entrega al usuario, como puede evidenciarse es un procedimiento bastante rudimentario y tedioso que dificulta el servicio.



Figura 36. Estación Inicial de Ecociclo (Fuente Propia).

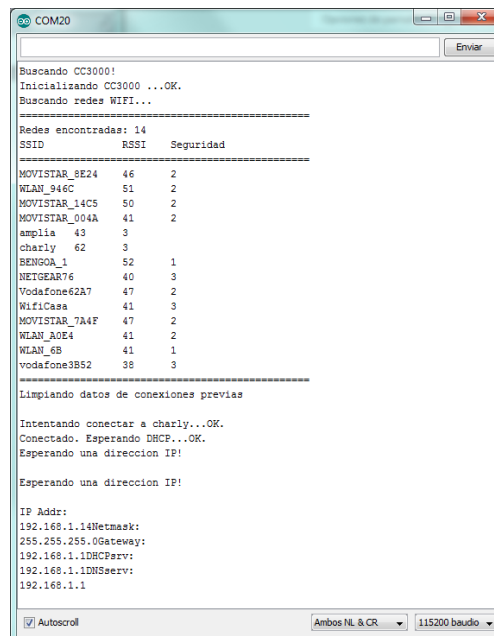
Igualmente, Ecociclo cuenta con un paquete que lo compone el servicio de alojamiento y el dominio en red (www.ecociclo.co) que facilita el hospedaje de la plataforma que se desea crear y un conocimiento de funcionamiento que es esencial para la alimentación y mejora del sistema en sí. Además, permite construir y probar el prototipo con sus clientes habituales facilitando la evaluación de usabilidad de la plataforma y el comportamiento total del sistema bajo condiciones reales de ambiente y trabajo.

4.1 Montaje Electrónico:

Siguiendo todos los requerimientos del proyecto y el proceso de diseño expuestos en los capítulos anteriores, se realiza un esquema inicial de la interconexión de los componentes escogidos para la sección electrónica principal anidada en el módulo de control del SBC.

Después de tener el montaje electrónico, se inició con el componente principal del diseño que es la tarjeta Arduino Mega, se realizaron las conexiones iniciales de alimentación y posteriormente se verifico mediante la recreación del código de “blink”, este código es un *sketch*, nombre que se le da a los programas fuente de la plataforma de Arduino y viene por defecto entre los ejemplos del IDE de Arduino, después de cargarlo, compilarlo y enviarlo a la placa se puede comprobar que está trabajando adecuadamente [56]. En este caso se realiza las pruebas con el entorno de desarrollo IDE 1.6.0 bajo Windows. El fin de este código es encender el led conectado al pin13 de la placa, una vez se ha comprobado el encendido del mismo se entiende que la placa funciona apropiadamente y que está lista para ser programada con cualquier proyecto.

Una vez hecha la verificación de la placa de Arduino, se realiza el montaje de esta con el Módulo CC3000 y se realizan las primeras pruebas de conexión para cerciorarse del correcto acople de este módulo. El montaje físico de la placa con el módulo es sencillo, ya que se unen mediante pines ya construidos para dicho fin. Para la verificación se ejecutó el código de conexión de prueba dado por el fabricante de forma local. Al ejecutar este código se establece la SSID (Identificador de Conjunto de Servicios) red a la cual se desea conectar, la clave de la misma y esta muestra una consola básica donde imprime el estado de conexión y la ip que asigna para ingresar desde cualquier equipo, dicha consola se puede apreciar en la figura 37.



```
COM20
Buscando CC3000!
Inicializando CC3000 ...OK.
Buscando redes WIFI...
=====
Redes encontradas: 14
SSID          RSSI  Seguridad
=====
MOVISTAR_8E24 46    2
WLAN_946C    51    2
MOVISTAR_14C5 50    2
MOVISTAR_004A 41    2
amp11a      43    3
charly      62    3
BENGOA_1    52    1
NETGEAR76   40    3
Vodafone62A7 47    2
Wf1Casa     41    3
MOVISTAR_7A4F 47    2
WLAN_A0E4   41    2
WLAN_6B     41    1
vodafone3B52 38    3
=====
Limpiando datos de conexiones previas
Intentando conectar a charly...OK.
Conectado. Esperando DHCP...OK.
Esperando una direccion IP!

Esperando una direccion IP!

IP Addr:
192.168.1.14Netmask:
255.255.255.0Gateway:
192.168.1.1DNCFserv:
192.168.1.1DNSserv:
192.168.1.1
Autoscroll Ambos NL & CR 115200 baudio
```

Figura 37. Consola básica de Conexión. (Fuente propia)

Esta prueba de conexión se realiza bajo alimentación por USB desde el pc La corriente suministrada bajo este método es aproximadamente 500 mA suficientes para el arranque del módulo CC3000, este montaje se puede observar en la figura 38. La correcta conexión se confirma a través del encendido de led y del despliegue de la consola de ingreso en un equipo remoto.



Figura 38. Montaje de acople de Modulo CC300. (Fuente Propia).

Con la dirección ip obtenida y verificada para la conexión, se pasa al código de control para realizar las pruebas con un solenoide, dado que este es el componente principal para el mecanismo de anclaje de la estación del SBC y el que requiere mayor cuidado electrónico dado sus requerimientos de alimentación de amperaje. Para realizar la prueba de control del solenoide, primero se realiza la conexión y control de un relé, elemento esencial en el objetivo final de domótica que se quiere ya que este es el mecanismo que controlara la tensión de los solenoides y evitara el paso de altas corrientes hacia la placa de Arduino que puedan dañarla.

Lo que se busca mediante el código de control es activar y desactivar el relé de prueba, ya que este es el dispositivo que controla el empuje final del solenoide. Para agilizar el proceso de conexión se toma la ip lanzada por la consola de conexión y se establece en el router como ip fija de conexión hacia la placa de Arduino desde la red local de laboratorio con la que se manejan todas las pruebas iniciales. Este proceso se muestra en la figura 39.

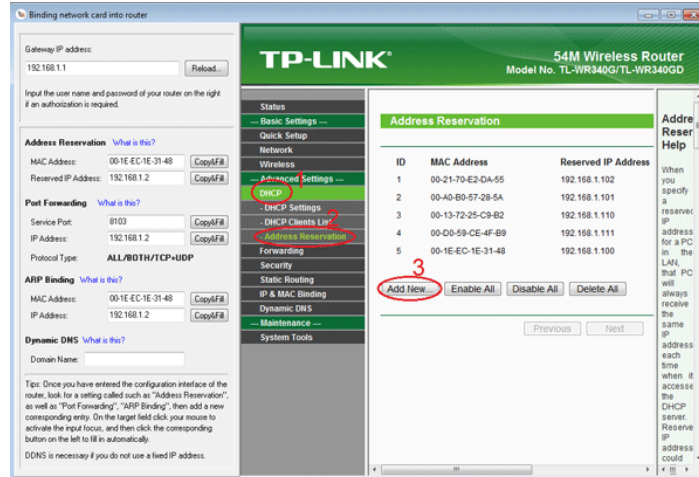


Figura 39. Configuración de Ip Fija para Arduino dentro del Router. (Fuente Pagina Oficial Tp-Link)

Posteriormente se ejecuta el código de control adicionando una interfaz básica de *Wireless Controller* dada por el fabricante para evidenciar en el equipo remoto de conexión una pantalla con un botón de control *on-off*, para el control del relé. Esta pantalla se presenta en la figura 40.

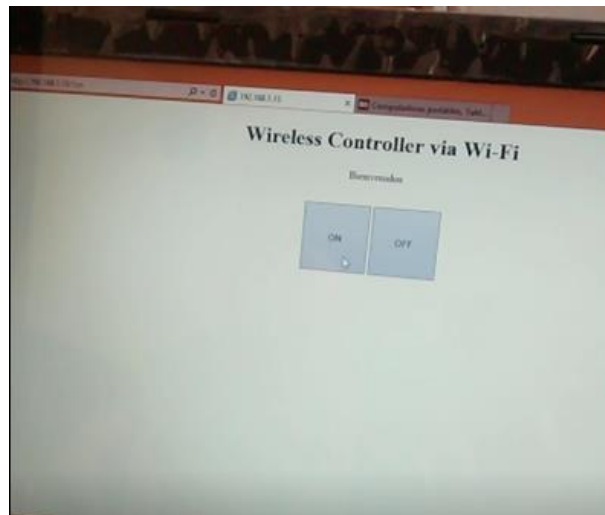


Figura 40. Interfaz de Control de dispositivos mediante Modulo CC3000. (Fuente Propia)

Consecutivamente a la correcta activación y apagado del relé se realiza la conexión del solenoide de prueba a este, apoyando la alimentación de estos dispositivos con una fuente externa de 12V. Es importante notar que el código ejecutado para el control del relé llevado hasta el solenoide tiene dos estados *on* y *off* (retraído y expulsado), esto no es lo que finalmente requiere el sistema de anclaje de la estación, dado que se tienen solenoides de dos polos, que bajo estado *on* se abren y bajo estado *off* se cierran, siendo este último estado el que se quiere por diez segundos, es decir el estado *off* prolongado bajo determinado tiempo, ya que la cerradura mecánica conectada al solenoide por medio del palastro macho lo obliga a regresar a su estado inicial automáticamente, este proceso se puede evidenciarse en la figura 41.



Figura 41. Conexión Solenoide-Cerradura Mecánica. (Fuente Propia).

Entonces se modifica el código de control del relé para enviar un cierre prologando mediante un pulso de 10 segundos y mantener solo un botón en la interfaz de control. Con este control aprobado se conecta el solenoide al ajuste palastro macho del sistema de anclaje mecánico para proceder a realizar las pruebas sobre los sensores que determinan la correcta entrada o salida de las bicicletas en la estación del SBC.

Después de obtener resultados positivos en las pruebas de anclaje bajo un solo puerto de estacionamiento se conecta el bloque de ocho relés a la placa de Arduino Mega 2560 y se ensambla la barra horizontal de la estación del SBC con sus respectivas conexiones y los solenoides listos para ser controlados, bajo este nuevo esquema se coloca la alimentación de la batería escogida para el proyecto con el fin de obtener la tensión y voltaje suficiente para el buen funcionamiento de todos los dispositivos conectados. Para el control de los enganches del sistema se corre la interfaz de usuario de prueba de control de entrega y retiro de bicicleta con el fin de verificar su correcto funcionamiento en el envío de órdenes y ejecución de respuestas desde el módulo de control del SBC.

Posterior a realizar con éxito el control local del sistema de anclaje de las bicicletas al SBC, se configura el router para enviar peticiones al servidor virtual ya analizado en el diseño del proyecto, esto permite salir de la red local y conectarse desde cualquier dispositivo electrónico. Inicialmente se abre el puerto 80 en el router para establecer comunicación entre la ip publica de este, desde la WAN y la LAN y la ip configurada para Arduino, para ello se agrega en la configuración del router la dirección ip fija de la placa Arduino con el puerto interno 8080 (puerto de servidores de web) y apuntando al puerto externo 9090 disponible. Una vez añadida se verifica la conexión a red con la dirección pública, con esta verificación es posible ver remotamente el estado de cada estación del SBC.

Para finalizar las pruebas del montaje electrónico se verifico la identificación de las bicicletas mediante RFID, para ello se instaló el tag pasivo en el palastro hembra de la bicicleta para obtener la identificación única de esta al ingresar en el anclaje de la estación del SBC mediante el receptor del RFID ubicado en el interior de la barra horizontal de la estación teniendo cuidado de salvaguardar el área de cobertura de este tipo de dispositivos.

Con esto se comienzan las pruebas sobre la plataforma web y la usabilidad y eficiencia de las interfaces gráficas creadas para el reconocimiento de usuarios y el servicio de préstamo de las bicicletas.

4.2. Plataforma Web.

Obteniendo los resultados esperados en las pruebas de montaje electrónico se instala finalmente el tótem que alberga la Tablet y el módulo de control central ya diseñado y probado. La Tablet despliega la plataforma de gestión del SBC, este dispositivo se mantiene aislado en una caja mecánica del módulo de control para evitar interferencias, la Tablet se conecta mediante una fuente reguladora para controlar la corriente que sale de la batería general de alimentación del SBC, esta batería se coloca en la parte inferior para no generar campos interferentes. Con este montaje se realizan las primeras pruebas de interacción de plataforma bajo laboratorio. Sumado a las pruebas ya realizadas es posible evaluar el correcto funcionamiento de los anclajes de las bicicletas bajo el disparo del solenoide y la dinámica de la plataforma acorde a las órdenes dadas a través de la misma al SBC.

Por último, se colocan las bicicletas ya diseñadas por Ecociclo obteniendo el prototipo final de prueba expuesto en la figura 42 y con este se realizan pruebas finales antes de poner a disposición de los usuarios.

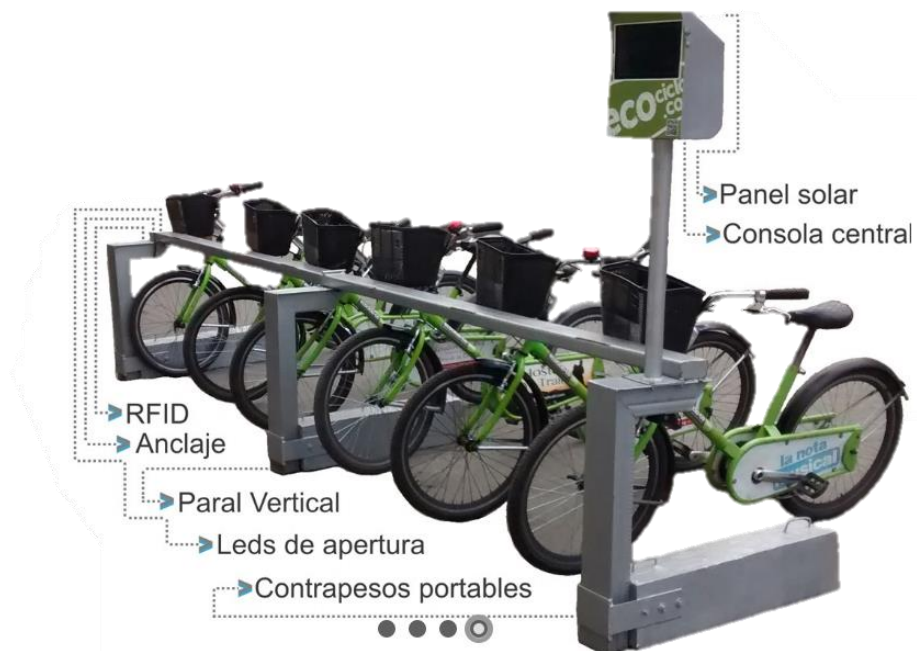


Figura 42. Montaje Final de Prueba. Ecociclo (Fuente Propia).

Bajo este montaje final se examina el trabajo conjunto de la plataforma con el montaje electrónico ya implementado y se comprueba que la estación es capaz de soportar todos los elementos que la componen y responder adecuadamente con ellos a cada una de las

órdenes dadas a través de la plataforma web. Parte de estas pruebas se muestran en la figura 43.



Figura 43. Pruebas de Plataforma Web del SBC. (Fuente propia)

Tomando las consideraciones de diseño orientado al usuario, en esta fase de desarrollo se realizan los primeros test de usuarios, a una muestra de los clientes habituales del sistema Ecociclo, se pone a disposición de estos usuarios el primer prototipo funcional del sistema (Ver Anexo E). En las figuras 44 a la 47 se aprecian algunas de las interfaces diseñadas. En la figura 44 se observa la interfaz de inicio al sistema y su menú de opciones. En la figura 45 se aprecia la interfaz de bienvenida al rol de usuario, una vez se ha iniciado sesión en la plataforma. En la figura 46 se muestra la interfaz de la estación Caracol, escogida esta como punto de servicio, en ella se observa la gráfica física de la misma notando un diferenciador de color, en color verde se encuentran las bicicletas disponibles y en gris los puestos vacíos de la estación donde se puede regresar una bicicleta y finalmente en la Figura 47 se aprecia la interfaz que pide al usuario sacar la bicicleta solicitada de la estación, señala con una línea de led prendidos, otorgándole un tiempo límite por seguridad para este proceso, de lo contrario el sistema cancela la petición y se debe solicitar el servicio nuevamente.



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.



Figura 44. Interfaz de Inicio del SBC (Fuente Prototipo Plataforma Web Ecociclo).



Figura 45. Interfaz de Inicio de Sesión del SBC (Fuente Prototipo Plataforma Web Ecociclo).



Figura 46. Interfaz para Despacho de bicicletas del SBC (Fuente Prototipo Plataforma Web Ecociclo).



Figura 47. Ventana Final de Confirmación de Préstamo del SBC (Fuente Prototipo Plataforma Web Ecociclo).

De este primer Test se mejora la comunicación inalámbrica del sistema instalando un repetidor de señal para optimizar la transmisión de la señal hacia la estación. Igualmente se incrementa el ancho de banda del servicio para aumentar la rapidez de visualización de las interfaces dado que en su mayoría son completamente icónicas y consumen gran parte de este.

Posteriormente se realiza el lanzamiento del SBC, y se establece un test constante de su funcionamiento y se toma un formulario sencillo a los usuarios para que califiquen el servicio y coloquen sugerencias del mismo (Ver Anexo F).

Entre los primeros meses de funcionamiento y con el fin de probar el sistema fuera de su zona de confort, Ecociclo por medio de la mesa de la Bicicleta de la ciudad de Popayán se une al primer Bicitrazo celebrado en el sector Histórico, para fortalecer el día sin carro y exponer a la ciudadanía los diferentes movimientos que surgen en la comunidad y que trabajan a través de la bicicleta como medio de transporte y de transformación social. En este escenario Ecociclo permite llevar la estación hasta las afueras del Éxito Popayán Centro y realizar préstamos a toda la comunidad haciendo uso de la plataforma a través de un mega usuario creado para dicho fin. En este evento se pretende comprobar la modularidad del sistema, la portabilidad de la estación y la respuesta de funcionamiento ante altas tasas de utilización dado el entorno bajo el cual se estaba presentando.

El Bicitrazo se llevó a cabo sobre la carrera 5 del centro de la ciudad, cubriendo desde la calle 13 hasta la intersección con la Calle 7 Norte en parque Mosquera, en todo este recorrido se ubicaron diferentes movimientos pro bici y espacios para que artistas y diseñadores crearan arte en pro del uso de la bicicleta. El mapeo del Bicitrazo se muestra en la figura 48.

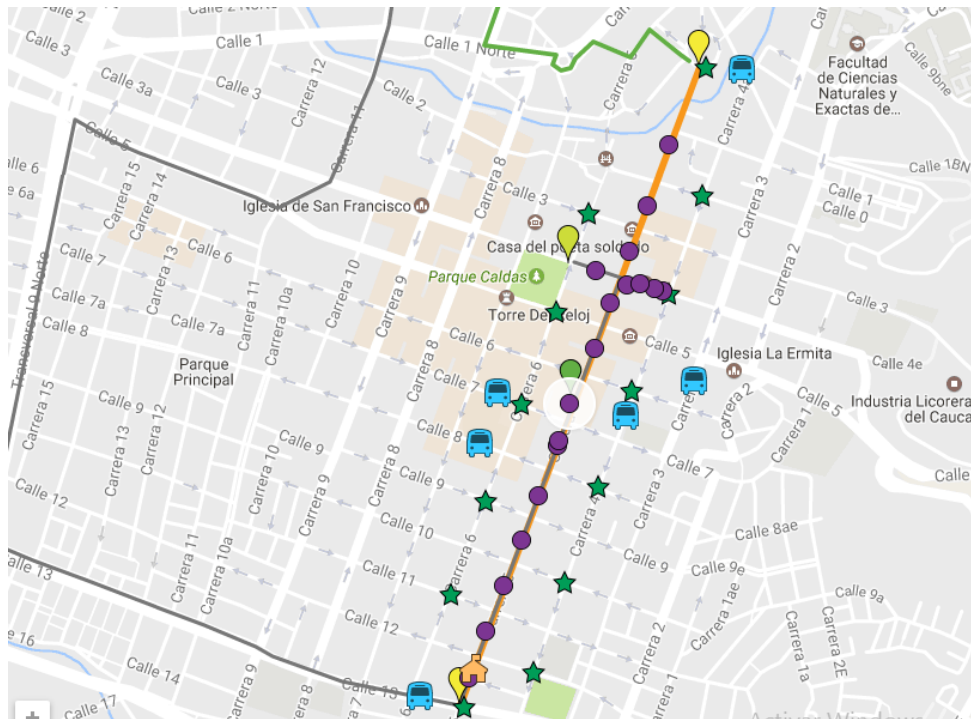


Figura 48. Esquema del Bicitrazo Popayán 2016. (Fuente Informe de Bicitrazo Mesa de la Bicicleta)

En este evento se alcanzó una tasa promedio de utilización de 13 usos por bicicleta en una jornada continua de 8 de la mañana a cinco de la tarde. La plataforma creada fue usada por cerca de 90 usuarios, que participaron mediante investigación contextual en el

mejoramiento de las interfaces iniciales, aportando mayor dinámica y diseños más icónicos a los ya establecidos. En el proceso de mejora de las interfaces graficas se logró con el apoyo de la Secretaria de Transito de la ciudad de Popayán, postular este proyecto a la convocatoria de Plan Piloto de Bicicletas Publicas para Colombia creado por el Ministerio de Transporte que buscaba ciudades con una propuesta clara para la implementación y gestión de un Sistema de Bicicletas Publicas con el fin de regalarles bicicletas para el inicio de este y un acompañamiento continuo en pro de asegurar el éxito del sistema La propuesta fue seleccionada y para su despliegue inicial dentro de la ciudad a inicios de este año, fueron presentadas las nuevas interfaces de usuario construidas a partir de la constatare retroalimentación de los usuarios de Ecociclo. El sistema se creó bajo el nombre de Bicipp (Bicicletas Publicas para Popayán) y las interfaces mejoradas se pueden presenciar en las figuras 49 a la 50.

En la figura 49 se observa la interfaz de inicio al sistema y su menú de opciones. En la figura 49 se aprecia la interfaz de registro de usuarios en la plataforma. En la figura 50 se muestra la interfaz inicio de sesión con sus respectivos campos de *login* y *password*.



Figura 49. Interfaz de Inicio Sistema Bicipp. (Fuente Plataforma Bicipp).

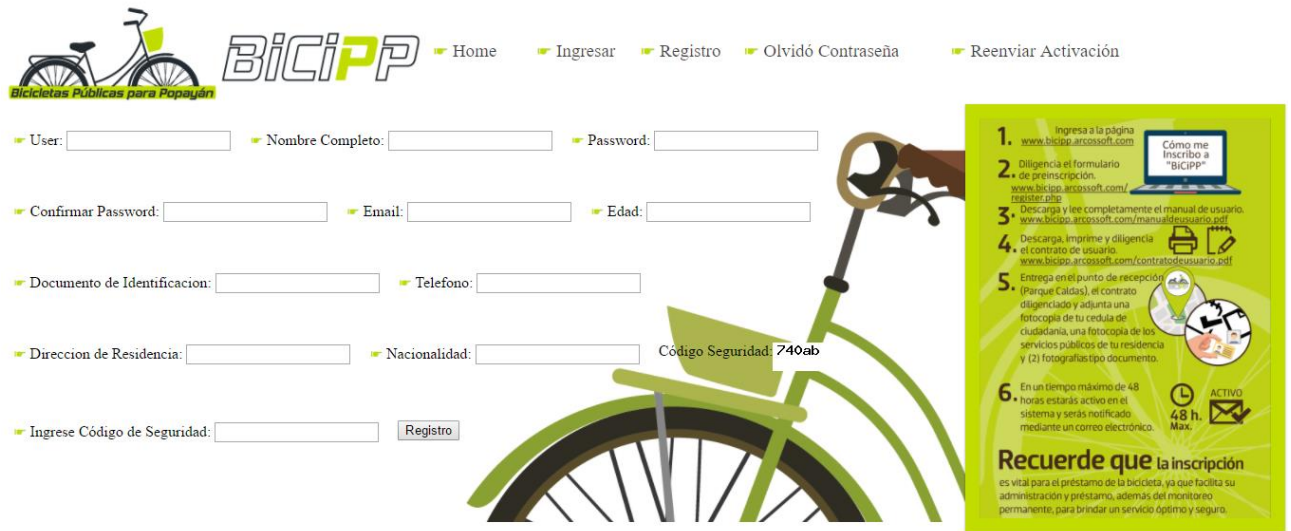


Figura 50. Interfaz de Registro de Usuarios Sistema Bicipp (Fuente Plataforma Bicipp).



Figura 51. Interfaz de Inicio de Sesión Sistema Bicipp (Fuente Plataforma Bicipp).



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones.

-Popayán presenta una geografía ideal para la implementación de Sistemas de Préstamo de Bicicletas, dado que gran parte de sus terrenos son planos y poseen pocas inclinaciones haciéndola totalmente pedaleable, esto sumado a la eclosión de la bicicleta como transporte sostenible, ha permitido construir diálogos, espacios y acciones de diferentes movimientos ciudadanos en pro de la bicicleta, lo que ha ayudado enormemente al éxito del prototipo implementado y la aceptación del proyecto de un SBC general buscando mejorar la movilidad y la calidad de vida de la ciudad.

-El análisis previo de la zona de implementación de los SBC, es necesario para construir un modelo de éxito de este tipo de sistemas, adecuando las estaciones y la plataforma al tipo de comunidad al que se quiere dirigir, creando aspectos propios de servicio, diseño de vehículos y estaciones y modos de financiamiento y mantenimiento.

-En cada SBC es importante determinar la escala tanto mínima como máxima que le aporta la integración de las TICs con el fin de atender eficientemente el servicio de préstamo a los usuarios.

-La fabricación de un prototipo completo del sistema que acerque a los posibles usuarios al servicio real que se les desea brindar, es necesario cuando se desea como en este caso encontrar sus impresiones y percepciones sinceras de la interacción con el sistema en evaluación, logrando alimentar la evolución del mismo eficiente y eficazmente.

-La adopción de tecnología Wifi como método de comunicación entre el módulo central de control y los componentes de la estación del SBC es un verdadero acierto en la implementación del prototipo entregado, dado que esta tecnología presenta una buena velocidad en la transmisión de la información en cortas distancias con pocos obstáculos como este caso.

-Las tarjetas de RFID pasivas son adecuadas para reconocer las bicicletas dentro del SBC, dado que al presentar un bajo consumo de energía disminuyen la carga de alimentación general del sistema.

-El requerimiento de consumo de energía es importante en este tipo de sistemas, por ello con el objetivo de disminuir dicho consumo siempre se trabajó en pro de crear líneas de códigos más eficientes y altamente inteligibles que se ejecutarán o modificarán los componentes del SBC bajo los mínimos niveles de energía.



-La construcción de plataformas con interfaces mucho más icónicas que muestren el cambio físico de las estaciones a través de las ordenes generadas por los usuarios, les brinda mayor seguridad sobre los procesos de préstamo del SBC.

-Los usuarios del SBC para sus etapas iniciales fueron en su mayoría personas de la tercera edad, brindarles el servicio de préstamo de bicicleta a través de la plataforma web del mismo, escuchando sus sugerencias y dudas permitió crear interfaces mucho más entendibles al público dado que este tipo de población generalmente es ajena a esta clase de tecnología.

-El sistema de inscripción de usuarios, la aceptación de estos en el sistema y el proceso de identificación posterior, constituyen un factor importante en el éxito del SBC, ya que si estos procedimientos son largos, poco entendibles y engorrosos el usuario desistirá en gran parte de usar el sistema por el tiempo que le demandará hacer uso del servicio.

-En el desarrollo de un SBC es importante tener métodos o líneas de comunicación directa con los usuarios que permitan retroalimentar el sistema de manera constante y generar buenos protocolos de acción frente a los problemas más frecuentes.

-Los SBC que cuentan con plataformas de web para hacer uso de sus servicios deben guiarse por métodos del Diseño Orientado a Usuario para mejorar y adaptar completamente el sistema a los clientes.

-Los SBC surgidos en América Latina tiene principalmente problemas en el sistema de fianza a través de tarjeta de crédito o débito instaurado en la mayoría de sistemas de Estados Unidos y Europa, dado que el índice de tarjetización de esta zona es mucho menor y que la mayoría de clientes de los SBC son de estratos medios y bajos, lo que impulsa a crear nuevas formas de conexión hacia el usuario y agregar mayor control a los datos entregados por los estos así como la forma como se identifican ante el sistema.

-La tecnología que se incorpore a los SBC en América Latina debe responder en especial a la posibilidad de funcionamiento las 24 horas del día sin poner en peligro la integridad de las estaciones y las bicicletas.

-El estudio, análisis y diseño para la implementación de un SBC permite crear un modelo de gestión, operación y financiamiento adecuado al lugar y los usuarios que se afectaran, controlando los factores que influyen negativamente o positivamente en el desarrollo del mismo intentando minimizar los riesgos de fracaso.

-Los SBC requieren un acompañamiento de cultura ciudadana importante donde se incentive el aprecio por el bien público y se entienda el valor de las bicicletas compartidas, generando en los usuarios un sentido de pertenencia y cuidado hacia las estaciones que le prestan el servicio de préstamo.



-Los SBC cada vez agrupan sus componentes creando generaciones y gamas que permiten mejorar la evolución software como hardware de los mismos.

-Los avances tecnológicos de software y hardware están llevando rápidamente a los SBC a su fase de cuarta generación (4G), donde esperan superar las expectativas y expandir su implementación a nivel global conectando en especial con las nuevas generaciones.

-América Latina está incursionando en el campo de los SBC en comparación con los países de Europa y Estados Unidos, por tanto, la gran experiencia adquirida de errores y aciertos de estas implementaciones debe ser considerada como una excelente orientación en el desarrollo y sobre todo, en la adaptación de estos sistemas.

-El futuro de estos sistemas se juega en gran medida por su capacidad para comunicar, integrar y sobre todo, empoderar a los ciudadanos para que sean estos quienes defiendan el sistema de los posibles ataques que pueden aparecer, desde muy distintos frentes y durante todos los años de operación

-Los sistemas automáticos además de otorgar comodidad, eficiencia y rapidez al servicio de préstamo son financieramente más sostenibles a mediano y largo plazo dado que disminuyen los costos operacionales y de personal.

-Las TICs deben ayudar a los SBC a manejar, controlar y organizar la información de trazabilidad, usabilidad y dinámica que arrojen durante su desarrollo, ya que las adecuadas gestiones de estos datos logran generar el soporte adecuado para la toma de decisiones en términos de demanda, oferta e inversión general del sistema.

-Los SBC son sistemas complejos que se han adaptado a la vida moderna con la ayuda de la tecnología y han estructurado su forma de operar en niveles cada vez más sofisticados de servicio y gestión.

Trabajos Futuros

-Mejoramiento del módulo de Control del SBC, hacia un microchip que ocupe menos espacio y tengan mayor resistencia y eficiencia para producción en masa.

-Análisis e implementación de tecnología de posicionamiento al módulo de Seguridad del SBC, para realizar el geo-posicionamiento adecuado y adicionar estadísticas de trazabilidad y demanda al sistema.

-Análisis e implementación de un mecanismo biométrico para la identificación de los usuarios del sistema que aporte mayor seguridad al SBC.



BIBLIOGRAFÍA

- [1 F. D. J. Moreno, "Epistemología el Analisis de la Movilidad Urbana," *Universidad Autónoma de Xochimilco*, Mexico.
- [2 J. Borghuis, "La Movilidad Combinada como Clave para la Movilidad Urbana del Mañana," *Transporte Publico Internacional*, 2013.
- [3 J. N. D. MORÍÑIGO, "Los Sistemas Automaticos de Aquiler de Bicicletas," *Anales de Mecanica y Electricidad*, Septiembre-Octubre, 2010.
- [4 B. y. P. C. BOTMA, "Traffic Operation Of Bicycle Traffic," *Transportation Research Record*, 1991.
- [5 G. Vallejo Lopez, "Informe Índice calidad ambiental urbana ICAU," *Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible*, Octubre de 2015.
- [6 "Espacio Público," *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Popayán, Alcaldia de Popayan*, 2014.
- [7 "Masa Crítica Vamos en Bici Popayán," 2015. [Online]. Available: <https://vamosenbicipopayan.wordpress.com/about/>, consultad marzo 2015.
- [8 "Plan Vial y de Transporte," *Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Popayán, Alcaldia de Popayan*, 2014.
- [9 S. d. T. y. T. d. Popayan, "Plan Maestro de Movilidad Vial," *Popayan*, 2015.
- [1 Kimaldi, "Sistemas de Préstamo de Bicicletas,Eficiencia y Gestión," *Area de Conocimiento de 0] Sistemas*, 2014.
- [1 "Alcaldía Municipal de Popayán-Ciudadanos," [Online]. Available: [1\] http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan](http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan). [Accessed Enero 2016].
- [1 " Proyecciones de Población Municipales por Área apartir del CENSO 2005,DANE," [Online].
2] Available:
http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf. [Accessed Enero 2016].
- [1 M. y. E. A. Instituto de Hidrología, "Boletin Bibliografico-IDEAM," [Online]. Available: [3\] http://documentacion.ideam.gov.co/](http://documentacion.ideam.gov.co/). [Accessed Enero 2016].



Arquitectura de la Plataforma Tecnológica del Sistema de Bicicletas Compartidas para la Ciudad de Popayán.

- [1 S. a. C. O. United Nations Educational, "The Popayan Gastronomic Declaration-UNESCO," 4] [Online]. Available: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CLT/pdf/CNN_Popayan_Gastronomic_Declaration_en.pdf. [Accessed Enero 2016].
- [1 S. a. C. O. United Nations Educational, "Popayán City of Gastronomy," *le Réseau des villes 5] créatives*, Diciembre 2007.
- [1 "Alcaldía de Popayán-Territorios," [Online]. Available: 6] <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/territorios>. [Accessed Enero 2016].
- [1 D. N. ., M. L. y. F. B. R. Trujillo, "Sistema de Transporte publico y privado en la ciudad de 7] Popayan," 2009.
- [1 R. Ramirez, D. Bermudez and M. Longo, "Análisis Prospectivo Sistema Integral de Transporte 8] Público en Popayan," Territorios, Popayán, 2015.
- [1 "Informe de Coyuntura Economica Regional 2012 ICER," 2012. 9]
- [2 C. N. d. P. E. y. S. R. d. C. (CONPES), "Sistema Estrategico de Transporte Publico de Pasajeros para 0] la ciudad de Popayan," Bogota D.C., 2009.
- [2 S. D. Gleave, "Diagnostico del transporte no Motorizado," Plan de Movilidad de Popayan, 1] Popayan, 2015.
- [2 J. Mora, "Propuesta Base para la Implantacion de un Sistema de Bicicletas Publicas-SBP," 2012. 2]
- [2 R. Montezuma, Guia Practica para la Implementacion de Sistema Publicos de Bicicleta para 3] America Latina, Bogota D.C.: Fundacion Humana, 2016.
- [2 S. Ceria, "Casos de Uso-Un Metodo Practico para Explorar Requerimientos". 4]
- [2 "Servidor y Hosting," [Online]. Available: www.servidoryhosting.com. [Accessed Febrero 2016]. 5]
- [2 "Muy Windows," [Online]. Available: www.muywindows.com. [Accessed Marzo 2016]. 6]
- [2 F. D. Profesorado, "Recursos TIC," [Online]. Available: www.rekursostic.educacion.es. [Accessed 7] Marzo 2016].



- [2 E. Yazmin, "Tecnologías Inalámbricas," Diciembre 2007. [Online]. Available: 8] www.gestiopolis.com. [Accessed Marzo 2016].
- [2 "Tecnologías de Redes Informáticas," Universidad Técnica de Cotopaxi, [Online]. Available: 9] www.repositorio.utc.edu.ec. [Accessed Marzo 2016].
- [3 J. C. Corredera, Tecnología y Servicios para la Sociedad de la Información, U. P. d. Madrid, Ed., 0] Madrid.
- [3 E.S.A., "Tecnología ZigBee: Un Mundo de Soluciones," [Online]. Available: 1] www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html. [Accessed Marzo 2016].
- [3 A. Salas, "Tecnologías Inalámbricas," [Online]. Available: 2] ficus.pntic.mec.es/asab0038/index.php?/archives/15-Tecnologias-inalambricas.html. [Accessed Marzo 2016].
- [3 J. C. , C. G. Cesar Nuñez, "Análisis comparativo de tecnologías inalámbricas para una solución 3] de servicios de telemedicina," *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 25, 2013.
- [3 "HETPRO-Herramientas Tecnológicas Profesionales," [Online]. Available: www.heptro-store-4.com. [Accessed Junio 2016].
- [3 "Intek Electronica," [Online]. Available: www.intekelectronica.com.ar. [Accessed Junio 2016]. 5]
- [3 "Arduino: Tecnología para Todos," [Online]. Available: www.arduino dh tics.weebly.com. 6] [Accessed Junio 2016].
- [3 "Dispositivos Lógicos MicroProgramables," [Online]. Available: perso.wanadoo.es. [Accessed 7] Junio 2016].
- [3 Neoteo, "Neoteo," [Online]. Available: <http://www.neoteo.com/comparativa-arduino-arduino-8-vs-el-resto-15399/>. [Accessed Diciembre 2016].
- [3 "Arduino WebSite," Arduino , [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>. 9] [Accessed Enero 2017].
- [4 I. E. Celis, "Solenoide Descripción y Funcionamiento," [Online]. Available: 0] <http://automecanico.com/auto2005/solenoide2.html>. [Accessed Febrero 2017].
- [4 I. I. J. Huerta, "Monografías de Tecnología," [Online]. Available: 1] <http://www.monografias.com/trabajos72/los-solenoides/los-solenoides.shtml>. [Accessed Febrero 2017].



- [4 P. d. A. d. Arduino, "Prometec," [Online]. Available: <http://www.prometec.net/reles/>. [Accessed 2] Febrero 2017].
- [4 Wikipedia, "Sensores de Proximidad," [Online]. Available: 3] https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_proximidad. [Accessed Diciembre 2016].
- [4 K. Robot, "Libro de descripción de Sensores y Actuadores Compatibles con Arduino," [Online]. 4] Available: www.en.keys-robot.com/productshow.aspx?id=152. [Accessed Octubre 2016].
- [4 Intermec, "Conceptos Básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por 5] radiofrecuencia.," *Intermec Technologies Corporation*, 2007.
- [4 "NFConnection," [Online]. Available: www.nfconnection.cl. [Accessed Junio 2016]. 6]
- [4 D. G. Roberto Carro, "Identificación Automática". 7]
- [4 J. M. Cámara, "Normativa Electrónica," Universidad de Burgos , 2017. 8]
- [4 C. A. Galizia, "Los grados de protección IP en los equipos e instalaciones y su interpretación 9] según IEC y NEMA," Enero 2017. [Online]. Available: http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf.
- [5 Y. Hassan Montero and F. J. Martín Fernández, "La Experiencia del Usuario," *No Solo Usabilidad: 0] Revista sobre personas, diseño y tecnología*, 2005.
- [5 I. 9.-1. (1994), *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals*. 1]
- [5 J. Rubin, "Handbook of usability testing," *Wiley & Sons*, 1994. 2]
- [5 E. M. Pera, "Diseño Centrado en el Usuario," Universitat Oberta de Catalunya. 3]
- [5 P. Morville, *Ambient findability*, O'Reilly, Sebastopol, 2005. 4]
- [5 M. a. C. J. Rosson, "Usability engineering : scenario-based," Academic Press, San Francisco, 2002. 5]



[5 Arduino, "Arduino," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink>. [Accessed 6] Enero 2017].

[5 E. R. Yazmin, "Tecnologías inalámbricas," Diciembre 2007. [Online]. Available: 7] <http://www.gestiopolis.com/tecnologias-inalambricas/>. [Accessed Marzo 2016].

[5 E. S.A., "Tecnología ZigBee: Un Mundo de Soluciones," [Online]. Available: 8] <http://www.electrocomponentes.com/articulos/diciembre06/zigbee.html>. [Accessed Marzo 2016].

[5 A. Salas, "Tecnología Inalambricas," [Online]. Available: 9] <http://ficus.pntic.mec.es/asab0038/index.php?/archives/15-Tecnologias-inalambricas.html>. [Accessed Marzo 2016].

[6 J. R. C. Corredera, *Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información*, U. P. d. Madrid, 0] Ed., Madrid, 2005.