



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
AUTOMOTRIZ**

**Determinación del ciclo típico de conducción de una
bicicleta en las ciclovías de la ciudad de Cuenca**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Autores:

**FAUSTO DAMIÁN MOLINA NEIRA
JULIO CÉSAR TORRES GALVÁN**

Director:

GUSTAVO ANDRÉS ÁLVAREZ COELLO

CUENCA, ECUADOR

2016

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a los docentes de la Universidad del Azuay, por los conocimientos compartidos en las cátedras, además al Ing. Mateo Coello y al Dr. Daniel Cordero por la información proporcionada. De manera especial al Ing. Gustavo Álvarez, quien orientó nuestro trabajo de titulación.

Damián.

Julio.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis hermanas, Sofía y Bárbara, quienes han sido mi mayor ejemplo como muestra de superación profesional. A Pepe y María Elena, quienes han sido como mis padres y me han impulsado para seguir adelante. Para mi padre Fausto, que siempre me apoyó en esta carrera y aportó en mis estudios. De manera muy especial, para mi madre Lucy, quien me ha hecho el Ingeniero que soy ahora.

Damián.

El presente trabajo de titulación está dedicado para mis padres, quienes son el cimiento de mi vida profesional, a mis hermanas por confiar en mí. Para Jeimy, de manera muy especial.

Julio.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	3
1.1. Problemática	3
1.2. Pregunta de investigación.....	3
1.3. Objetivo general	3
1.4. Objetivos específicos.....	3
1.5. Alcance	4
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE CICLOS DE CONDUCCION	5
2.1. Modelos desarrollados.....	5
2.1.1. Aplicaciones	6
2.2. Ciclovía.....	7
2.2.1. Situación actual de las ciclovías en la ciudad de Cuenca.....	7
2.2.2. Demanda de usuarios de bicicletas	8
2.3. Selección de herramientas e instrumentación.....	8

2.3.1.	Selección de ciclovías	8
2.3.2.	Selección de la bicicleta	8
2.3.3.	Instrumentación	10
2.4.	Recolección de datos	11
2.4.1.	Antes de la recolección de datos	11
2.4.2.	Durante la recolección de datos	12
2.4.3.	Después de recolección de datos	12
2.4.4.	Tratamiento de datos	12
2.5.	Cálculo de variables físicas	13
2.5.2.	Gasto calórico (Gc)	15
2.6.	Selección del ciclo conducción mediante la mínimas diferencias ponderadas	16
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS		17
3.1.	Bicicleta	17
3.2.	GPS	18
3.3.	Ciclovías	19
3.3.1.	Ciclovía Av. Fray Solano	19
3.3.2.	Ciclovía Av. Remigio Crespo	20
3.3.3.	Ciclovía río Tomebamba	21
3.3.4.	Ciclovía río Yanuncay	21
3.4.	Software	22
3.4.1.	QTravel	22
3.4.2.	Excel	22
3.4.	Recorrido de las ciclovías	23
3.5.	Almacenamiento e importación de datos	24

3.5.1.	Almacenamiento de datos en QTravel	24
3.5.2.	Importación de datos a Excel	25
3.6.	Tratamiento de datos	25
3.7.	Datos adicionales.....	27
3.8.	Variables físicas.....	28
3.8.1.	Cálculo de Potencia, Energía y Gasto Calórico	29
3.8.2.	Datos resumen.....	30
3.9.	Variables características y pesos relativos	31
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		33
4.1.	Ciclovía Av. Fray Solano Ida	35
4.2.	Ciclovía Av. Fray Solano Vuelta.....	36
4.3.	Ciclovía Av. Remigio Crespo Ida	37
4.4.	Ciclovía Av. Remigio Crespo Vuelta.....	38
4.5.	Ciclovía río Tomebamba Ida	39
4.6.	Ciclovía río Tomebamba Vuelta	40
4.7.	Ciclovía río Yanuncay Ida.....	41
4.8.	Ciclovía río Yanuncay Vuelta	42
4.9.	Selección del ciclo de conducción representativo	43
4.9.1.	Datos adicionales al ciclo de conducción representativo.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		47
BIBLIOGRAFÍA.....		50
ANEXOS		51

INDICE DE FIGURAS

Figura 2- 1 Red de ciclovías de Cuenca.....	7
Figura 2- 2 Características del rodaje de la bicicleta	9
Figura 3- 1 Bicicleta.....	17
Figura 3- 2 Dispositivo medición Qstarz BT-Q1000XT.....	18
Figura 3- 3 Ciclovías seleccionadas	19
Figura 3- 4 Ciclovía Av. Fray Solano	20
Figura 3- 5 Ciclovía Av. Remigio Crespo	20
Figura 3- 6 Ciclovía río Tomebamba	21
Figura 3- 7 Ciclovía río Yanuncay	22
Figura 3- 8 Ejemplo del recorrido número 8 de vuelta de la Av. Fray Solano	24
Figura 3- 9 Clasificación de los recorridos	25
Figura 3- 10 Datos separados por comas	25
Figura 3- 11 Asistente de importación de texto y separador de datos	26
Figura 3- 12 Grafica comparativa de los datos suavizados.....	27
Figura 4- 1 Ciclo de conducción representativo Av. Fray Solano Ida.....	35
Figura 4- 2 Ciclo de conducción representativo Av. Fray Solano Vuelta	36
Figura 4- 3 Ciclo de conducción representativo Av. Remigio Crespo Ida	37
Figura 4- 4 Ciclo de conducción representativo Av. Remigio Crespo Vuelta.....	38
Figura 4- 5 Ciclo de conducción representativo río Tomebamba Ida.....	39
Figura 4- 6 Ciclo de conducción representativo río Tomebamba Vuelta	40
Figura 4- 7 Ciclo de conducción representativo río Yanuncay Ida.....	41
Figura 4- 8 Ciclo de conducción representativo río Yanuncay Vuelta	42
Figura 4- 9 Ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca.....	45
Figura 4- 10 Grafica de aceleración contra el tiempo del ciclo representativo de la ciudad de Cuenca	46
Figura 4- 11 Energía positiva total contra gasto calórico	46

INDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1 Ciclos de conducción desarrollados.....	5
Tabla 2- 2 Equipos de medición.....	11
Tabla 3- 1 Características de la bicicleta.....	18
Tabla 3- 2 Características de Qstarz BT-Q1000XT.....	18
Tabla 3- 3 Datos adicionales calculados	28
Tabla 3- 4 Variables físicas.....	29
Tabla 3- 5 Potencia, energía y gasto calórico calculados.....	30
Tabla 3- 6 Datos resumen	31
Tabla 3- 7 Pesos relativos	32
Tabla 4- 1 Recorrido seleccionado por mínimas diferencias ponderadas.....	33
Tabla 4- 2 Recorrido seleccionado por mínimas diferencias ponderadas.....	34
Tabla 4- 3 Datos resumen del recorrido representativo Av. Fray Solano Ida.....	35
Tabla 4- 4 Datos resumen del recorrido representativo Av. Fray Solano Vuelta	36
Tabla 4- 5 Datos resumen del recorrido representativo Av. Remigio Crespo Ida	37
Tabla 4- 6 Datos resumen del recorrido representativo Av. Remigio Crespo Vuelta	38
Tabla 4- 7 Datos resumen del recorrido representativo río Tomebamba Ida.....	39
Tabla 4- 8 Datos resumen del recorrido representativo río Tomebamba Vuelta	40
Tabla 4- 9 Datos resumen del recorrido representativo río Yanuncay Ida	41
Tabla 4- 10 Datos resumen del recorrido representativo río Yanuncay Vuelta.....	42
Tabla 4- 11 Selección del ciclo de conducción representativo por el método de minimas diferencias ponderadas.	43
Tabla 4- 12 Datos característicos del ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca	44

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1- 1 Coeficiente de resistencia a la rodadura y coeficiente aerodinámico	51
Anexo 1- 2 Índice metabólico MET.....	52

DETERMINACIÓN DEL CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN DE UNA BICICLETA EN LAS CICLOVÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA

RESUMEN

Un ciclo de conducción, es un perfil de la variación de velocidad, en un tiempo de recorrido en un vehículo (bicicleta), dicho perfil está descrito en una gráfica, se emplea para representar condiciones reales de manejo de una bicicleta en una ciudad, y estimaciones de consumo de energía y gasto calórico. Se traza una metodología dividida en: selección de herramientas e instrumentación, recolección de datos, tratamiento de datos y selección del ciclo de conducción mediante mínimas diferencias ponderadas. Las herramientas utilizadas son: una bicicleta instrumentada con un GPS y un software de computadora para el tratamiento de datos. Con la metodología propuesta se determina el ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

Palabras clave: ciclo de conducción, ciclovías, bicicleta, gasto energético y calórico.



Gustavo Andrés Álvarez Coello
Director del Trabajo de Titulación



Diego Francisco Torres Moscoso
Director de Escuela



Fausto Damían Molina Neira



Julio César Torres Galván

Autores

DETERMINATION OF A TYPICAL BICYCLE DRIVING CYCLE ON BIKE LANES IN THE CITY OF CUENCA

A driving cycle is a speed variation profile in the trajectory of a vehicle (bicycle). This profile is described in a chart used to represent real life conditions of bicycle riding in a city and provide estimations for energy and calorie consumption. The methodology is divided in: selection of tools and instruments, data collection, data treatment and selection of a driving cycle through weighted mean difference. The tools used are: a bicycle equipped with a GPS and computer software for data treatment. With the proposed methodology, the study determines a representative driving cycle for bike lanes in Cuenca.

Keywords: driving cycle, bike lanes, bicycle, energy and calorie consumption.

Gustavo Andrés Álvarez Coello Project Director		Diego Francisco Torres Moscoso School Director
Fausto Damian Molina Neira		Julio César Torres Galván
Authors		



Translated by:


Melita Vega

May 27, 2016

Molina Neira Fausto Damian

Torres Galván Julio César

Trabajo de Titulación

Ing. Gustavo Andrés Álvarez Coello, Msc

Octubre, 2016

DETERMINACIÓN DEL CICLO TÍPICO DE CONDUCCIÓN DE UNA BICICLETA EN LAS CICLOVÍAS DE LA CIUDAD DE CUENCA

INTRODUCCIÓN

Los ciclos de conducción son representaciones gráficas del comportamiento de un manejo ordinario, expresado en una gráfica de velocidad contra tiempo. La ciudad de Cuenca no cuenta con un estudio que represente el comportamiento típico de conducción de los ciclistas en sus ciclovías, se considera necesario realizar un estudio al respecto; pero ¿cómo determinar un ciclo de conducción? o ¿qué parámetros debemos considerar para determinar un ciclo confiable? El proyecto a desarrollarse, determina el ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca, tomando como referencia las ciclovías más concurridas de la ciudad; ubicadas cerca de institutos académicos, áreas comerciales y zonas residenciales.

Utilizando mínimas diferencias ponderadas, se proyecta determinar el ciclo representativo de cada una de las ciclovías seleccionadas, ya sea de ida o de vuelta. Además, se representa el ciclo de conducción representativo de todas las ciclovías de la ciudad, con el consumo de energía y el gasto calórico del ciclista.

El ciclo representativo de la ciudad de Cuenca, así como la base de datos obtenida, podrán ser utilizados como referencia para el resto de ciudades del país, que cuenta con una geografía similar, además, se pueden realizar pruebas sobre un dinamómetro, utilizando distintos modelos de bicicletas. La utilización de esta metodología tiene gran importancia en el tema ambiental y de vehículos alternativos, para lo que se

recomienda realizar los recorridos utilizando una bicicleta eléctrica, bajo condiciones específicas de la zona, empleando más ciclovías en sectores estratégicos de movilización y en zonas de ocio, lo que permitirá un análisis de consumo de energía de la misma.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Dado que, en Cuenca no existe un estudio que represente el comportamiento típico de conducción en sus ciclovías; el proyecto a desarrollarse, pretende determinar el ciclo de conducción de las ciclovías de la ciudad, tomando como referencia las ciclovías de la Av. Fray Vicente Solano, Av. Remigio Crespo, Río Tomebamba y Río Yanuncay; se utilizará una bicicleta 29” equipada con un GPS.

1.1. Problemática

Las ciclovías de la ciudad de Cuenca no cuentan con un perfil típico de conducción trazado en el plano Velocidad-Tiempo, que representa la forma de conducción en la ciclovías de la ciudad, y por lo cual no se pueden realizar estudios pertinentes.

1.2. Pregunta de investigación.

¿Cuál es el ciclo de conducción de las ciclovías de la ciudad de Cuenca?

1.3. Objetivo general

Obtener el ciclo de conducción que representa la forma de conducir de un ciclista en las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

1.4. Objetivos específicos:

- Analizar la bibliografía referente a los ciclos de conducción.
- Recopilar los datos experimentales durante el recorrido de las ciclovías sobre la Av. Fray Vicente Solano, Av. Remigio Crespo, Río Tomebamba y Río Yanuncay.
- Caracterizar y estandarizar las variables obtenidas del GPS durante el recorrido de las ciclovías.
- Determinar el ciclo de conducción correspondiente a cada una de las ciclovías seleccionadas.
- Seleccionar el ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

1.5. Alcance

El proyecto es de tipo descriptivo, porque se tratará de determinar el ciclo de conducción de las ciclovías de Cuenca, a través de la caracterización y estandarización de datos obtenidos, utilizando una bicicleta 29'', equipada con un GPS, en las ciclovías: Av. Fray Vicente Solano, Av. Remigio Crespo (desde Av. Loja hasta Av. Fray Solano), Río Tomebamba (desde Av. Loja hasta la Av. Huayna Cápac) y Río Yanuncay (desde Av. Loja hasta Gapal). Las variables se analizarán con métodos estadísticos, para elaborar como resultado final un perfil de conducción en el plano Velocidad-Tiempo.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEORICOS SOBRE CICLOS DE CONDUCCION

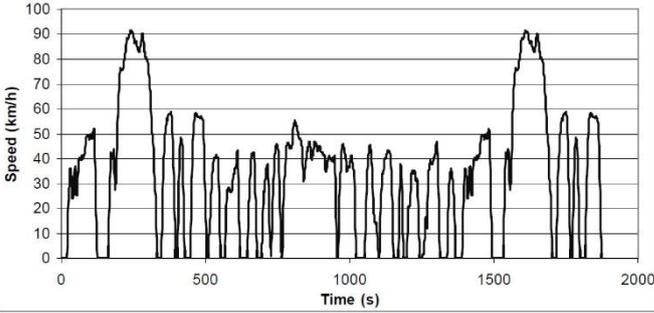
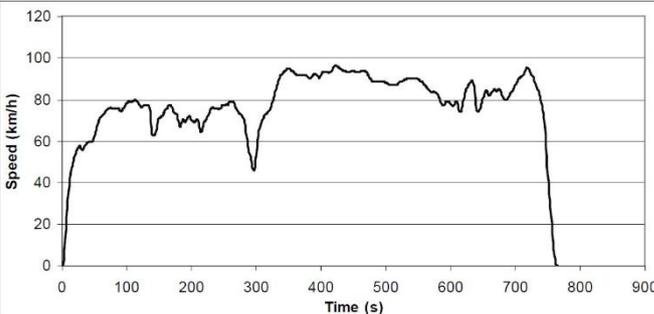
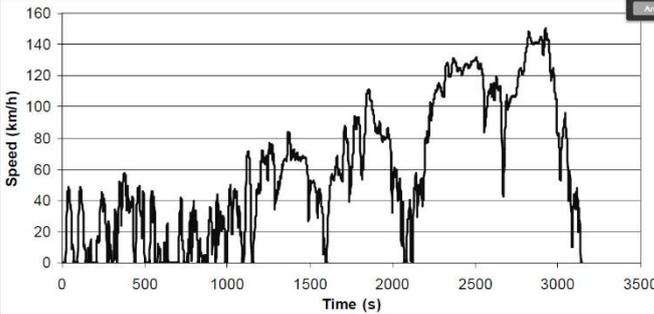
Un ciclo de conducción es un conjunto de tiempos y velocidades, que sirven para representar un patrón típico de manejo de un vehículo, en un área en estudio previamente determinada. Estas secuencias usualmente son descritas en un plano de velocidad contra tiempo, donde la velocidad se representa en kilómetros por hora y el tiempo se representa en segundos (Sandí)(González Oropeza).

2.1. Modelos desarrollados

Se han determinado diversos ciclos de conducción a nivel mundial, cada uno con sus propias características. En la Tabla 2-1 se describen algunos de los ciclos de conducción desarrollados.

Tabla 2- 1 Ciclos de conducción desarrollados

Nombre	Perfil
ECE 15	
New European Driving Cycle (NEDC)	

FTP 75	
EPA Highway Fuel Economy Test (HWFET)	
Artemis URM150 (CADC)	

Fuente: (Barlow et al.)

2.1.1. Aplicaciones

Los ciclos de conducción son fundamentales para diversas aplicaciones, como las que se describen a continuación:

- Diseño de vehículos: desarrollar el diseño del tren motriz de los vehículos.
- Homologación de los vehículos.
- Inventario de emisiones de vehículos: determina la cantidad de emisiones contaminantes de un vehículo con base en la multiplicación de los factores de emisiones contaminantes.
- Estimación de la potencia y energía requerida en el movimiento de un vehículo.
- Estimación de consumo de combustible: determinar el consumo de combustible de cada vehículo.

- Estimación del desgaste energético físico de un ciclista: determina el gasto calórico de una persona en la actividad de ciclismo, y es comparado con la energía requerida por la bicicleta, teniendo en cuenta la pérdida de energía mecánica.

2.2. Ciclovía

También conocida como carril de bicicletas, es una vía construida exclusivamente o compartida para la circulación de bicicletas, debidamente separado del tráfico motorizado y del peatonal.

2.2.1. Situación actual de las ciclovías en la ciudad de Cuenca

En la ciudad de Cuenca existen aproximadamente 25 Km de ciclovías, dentro de la urbe, de las cuales el 90% son libres y no invaden aceras, salvo el caso donde realmente la dimensión de la vía, la velocidad vehicular y la poca presencia de transeúntes, así lo determinan. El 99% de las ciclovías tienen servicio de transporte público, lo que significa, que se prohíbe el estacionamiento en sus trayectos (Movere). En la Figura 2-1 se describe la sectorización de ciclovías urbanas en la ciudad de Cuenca.

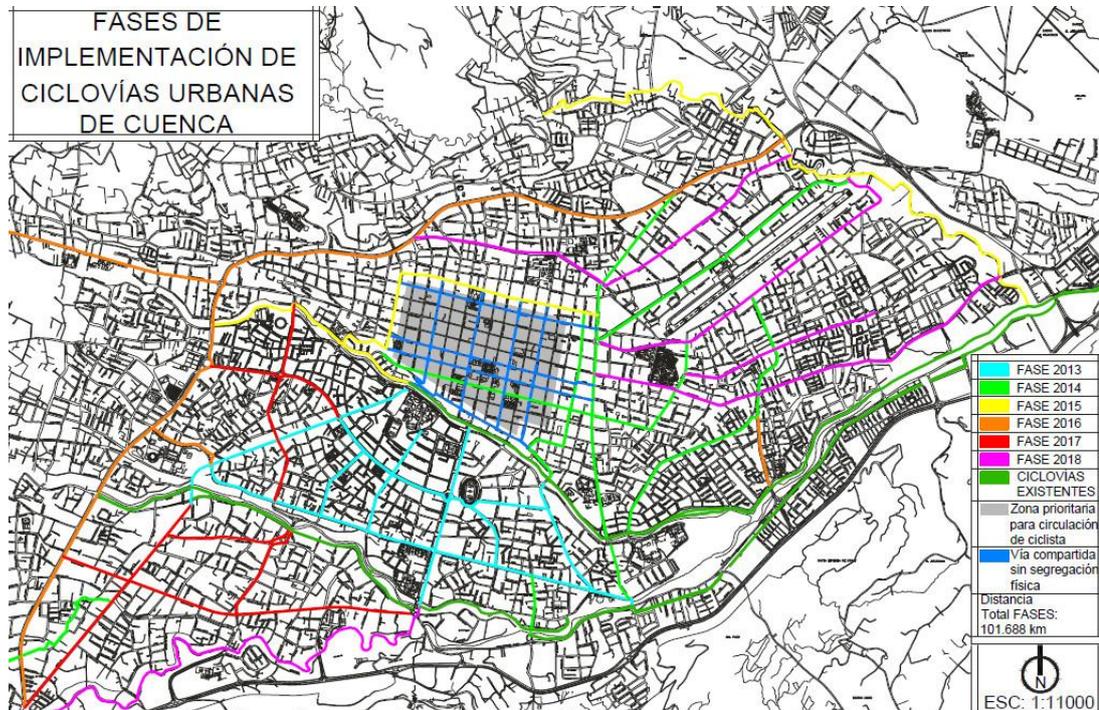


Figura 2- 1 Red de ciclovías de Cuenca
Fuente: (Plan de movilidad de Cuenca)

2.2.2. Demanda de usuarios de bicicletas

En la actualidad, la mayor parte de la población en la ciudad de Cuenca, se traslada para las actividades de trabajo, estudio, gestión comercial y esparcimiento; ya sea en vehículo privado, seguido del transporte público y por último transporte no motorizado, siendo el porcentaje de desplazamientos en bicicleta inferior al 1% (Plan de movilidad de Cuenca).

El 0,32% del total de los desplazamientos en la ciudad se los realiza en bicicleta, por lo que se estima 1920 viajes en bicicleta diariamente (Plan de movilidad de Cuenca).

Considerando los viajes inferiores a 30 minutos, y por debajo de los 7 km, la estimación de la demanda futura es del 0,5% de crecimiento anual (primeros 4 años), es decir, una demanda total de viajes correspondiente al 2% del total urbano (Plan de movilidad de Cuenca).

2.3. Selección de herramientas e instrumentación

La selección correcta de las herramientas utilizadas para la recolección de datos, así como la instrumentación, son pasos fundamentales a tener en cuenta para la obtención de un ciclo de conducción más acertado a las condiciones reales.

2.3.1. Selección de ciclovías

La selección de las ciclovías se realiza en base a la demanda de uso de cada ciclovía, y de la ubicación estratégica de cada ciclovía, para la obtención del ciclo de conducción acorde a las situaciones de manejo cotidianas; se puede delimitar un sector estratégico de la ciudad, y seleccionar las ciclovías dentro de esta selección.

2.3.2. Selección de la bicicleta

Un punto fundamental en este paso es la apropiada selección de la bicicleta, con el objetivo de obtener el ciclo de conducción típico, comparando entre diferentes características, y tomando en cuenta la tendencia actual de uso de bicicletas.

En la Figura 2-2 se puede observar las características y factores que se toman en cuenta para la selección de la bicicleta, siendo estos factores el peso estático, ángulo de ataque, aceleración, tracción y la rigidez del marco. (GIANT).

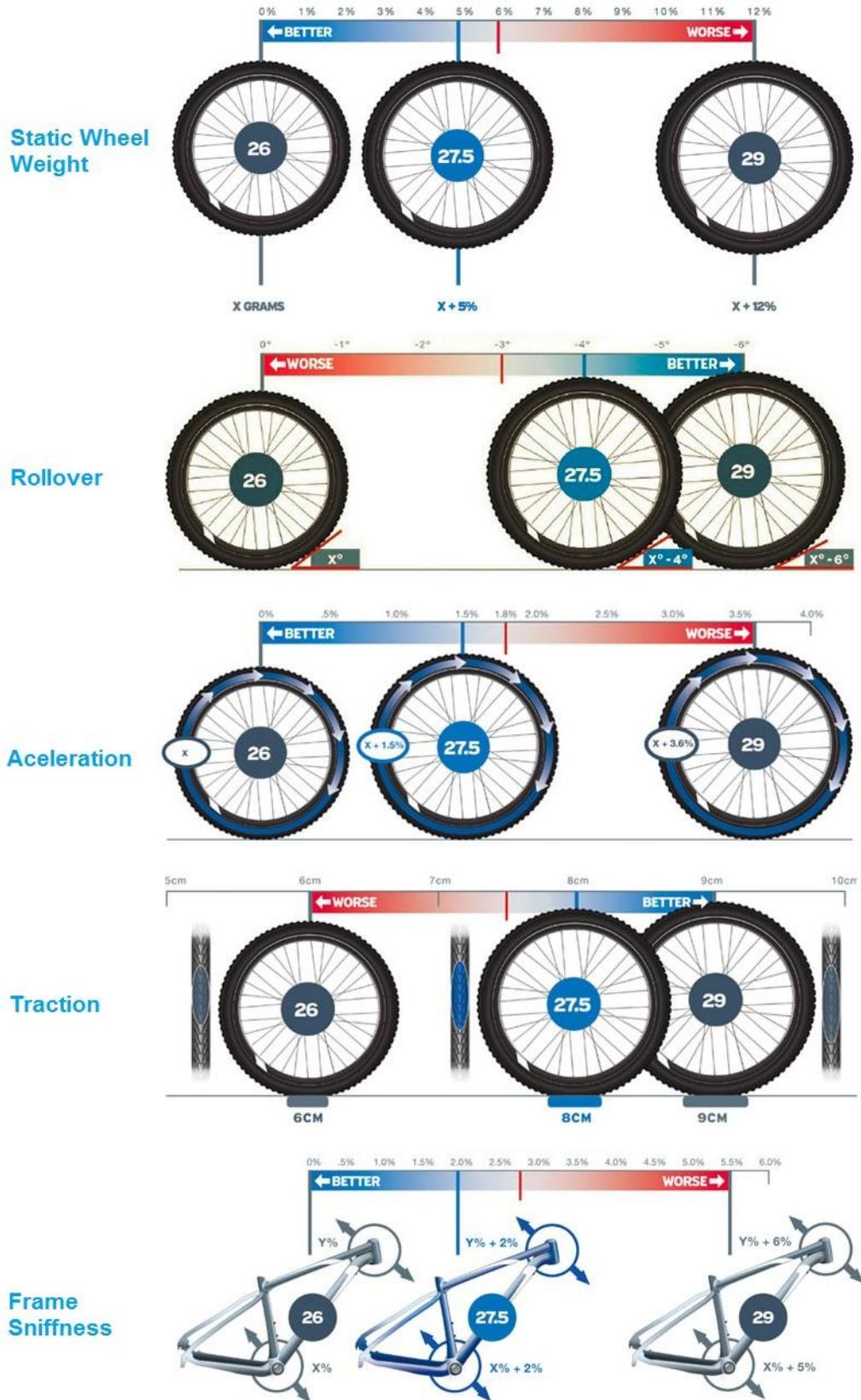


Figura 2- 2 Características del rodaje de la bicicleta
Fuente: (GIANT)

- **Peso estático.** La bicicleta con aro de 29" son un 12% más pesada que la bicicleta con aro de 26", al utilizar más material tanto en el aro como en el cuadro.
- **Ángulo de ataque.** La bicicleta con aro de 29" tienen un menor ángulo de ataque comparado con una bicicleta con aro de 26", siendo el ángulo de $x-6^\circ$, por lo tanto una rueda de 29" podrá superar con mayor facilidad los obstáculos de la ciclovía.
- **Aceleración.** La bicicleta con aro de 29" es 3,6% más lenta en aceleración comparado con una bicicleta con aro de 26", esto se debe al diámetro de la rueda.
- **Tracción.** La rueda de 29" con 9 cm de circunferencia en contacto con la superficie, supera a la rueda e 26" con 6 cm de contacto, permitiendo a la rueda con mayor diámetro una mejor tracción, aceleración, desaceleración y control en las curvas.
- **Rigidez del marco.** Las longitudes del marco de una bicicleta de 29" aumentan, haciendo que la bicicleta se vuelva 5% más flexible que una bicicleta de 26" comprometiendo la eficiencia del pedaleo, y control en las curvas pronunciadas.

2.3.3. Instrumentación

Este paso juega un papel importante para realizar una correcta recolección de los datos, para la obtención de un ciclo típico de conducción de una bicicleta en las ciclovías. Se compone de un dispositivo de medición (GPS) montado en una bicicleta. Para la selección adecuada de los equipos, hay que tener en cuenta las variables a medir: velocidad, altura, tiempo y frecuencia cardiaca. En la Tabla 2-2 se puede observar las características a tener en cuenta para la selección de los equipos.

Tabla 2- 2 Equipos de medición

Variable	Equipo	Características
Velocidad	GPS	Permite una medición precisa de la velocidad, que se obtiene a partir de la distancia recorrida en un tiempo determinado (datos obtenidos del GPS). (TELOGIS)
	Kit Odómetro-Velocímetro Digital	Permite una medición de la velocidad utilizando la distancia recorrida en un tiempo determinado (Datos obtenidos del odómetro y cronómetro). Es necesaria una calibración previa del radio de los aros de la bicicleta. (“¿Qué Es Un Odómetro?”)
Altura	GPS	Permite una medición de la altura, pero sin evitar un margen de error, dependiendo de la marca e interferencias. (Brinker)
Tiempo	GPS	Permite una medición muy precisa del tiempo transcurrido, sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS. (TELOGIS)
	Cronómetro	Permite una medición del tiempo transcurrido (función incluida en el Kit Odómetro-Velocímetro Digital).

2.4. Recolección de datos

La recolección de datos se realiza a través de mediciones obtenidas del GPS a bordo de la bicicleta objetivo, y se sugiere tener en cuenta las siguientes fases (Cedillo).

2.4.1. Antes de la recolección de datos

Tomando en cuenta la duración de la batería y características del GPS se establece la frecuencia de almacenamiento de datos del dispositivo de medición. Del mismo modo, se propone una nomenclatura para cada archivo, dependiendo de la ruta y número de recorrido, con el fin de facilitar la manipulación de la información. Además,

instrumentar la bicicleta, colocando el GPS en una ubicación estratégica, teniendo en cuenta la seguridad del dispositivo, además de que este pueda tener una buena recepción de la señal de los satélites, y evitar en medida de lo posible, el movimiento del GPS, y así disminuir el ruido debido a la diferencia de alturas.

2.4.2. Durante la recolección de datos

Se recorren las ciclovías tomando en cuenta que el objetivo es obtener un perfil típico de manejo, por lo que se recomienda que el ciclista realice los recorridos a velocidad normal (entre 15 km/h y 30 km/h aproximadamente), tomando en cuenta los horarios normales, horas pico, condiciones climáticas, estado de las ciclovías, tráfico vehicular, ciclístico y peatonal, vehículos estacionados en el camino, obstáculos en las ciclovías y condiciones mecánicas de la bicicleta.

2.4.3. Después de recolección de datos

El procesamiento de la información consiste en clasificar los archivos obtenidos por el GPS, utilizando Excel.

2.4.4. Tratamiento de datos

Para la determinación del ciclo de conducción, se toman en cuenta varias variables, estas son calculadas a partir de los datos obtenidos por el GPS, durante los recorridos de las ciclovías.

Se requieren variables adicionales, para continuar con el análisis y posterior selección de ciclo de conducción. Estas variables adicionales se las calcula a partir de los datos base obtenidos por el GPS.

- **Aceleración (a):** es la variación positiva o negativa que se marca en cada segundo, se calcula a partir de la velocidad y está expresada en la siguiente ecuación.

$$a = \frac{vf - vo}{tf - to} \quad \text{Ec. 1.1}$$

En donde:

vf: velocidad final en metros (m)

v_o : velocidad inicial (m)

t_f : tiempo final en segundos (s)

t_o : tiempo inicial (s)

- **Distancia inmediata (d)**: la distancia que se recorre en cada segundo, se calcula teniendo en cuenta los datos calculados de velocidad y distancias, y esta expresados en la siguiente ecuación.

$$d = v(t_f - t_o) \quad \text{Ec. 1.2}$$

- **Pendiente (θ)**: es la pendiente positiva o negativa calculada en el recorrido durante un segundo, se requiere datos de altura y distancia, para su cálculo se utiliza la siguiente expresión.

$$\theta = \text{asen} \left(\frac{A_f - A_o}{d} \right) \quad \text{Ec. 1.3}$$

En donde:

A_f : Altura final (m)

A_o : altura inicial (m)

2.5. Cálculo de variables físicas

Se calcula las fuerzas que actúan cuando el vehículo está en movimiento, que definen las variables de salida de potencia y energía requerida para el movimiento de la bicicleta. Se calcula a partir de los datos base obtenidos por el GPS.

- **Resistencia a la rodadura (R_x)**. La resistencia que enfrenta el vehículo, dependiendo del suelo en el que circula y de las llantas, en esta fuerza intervienen la masa del pasajero más la del vehículo, la gravedad y la pendiente. (Cedillo). Se la calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R_x = f_r * M * g * \cos(\theta) \quad \text{Ec. 1.4}$$

En donde:

f_r : Constante de resistencia a la rodadura. Ver: ANEXO 1.

M : Masa (kg)

g : Constante de aceleración de la gravedad (m/s^2)

- **Fuerza aerodinámica (F_a)**. Es la fuerza que actúa en el vehículo, afectando a la potencia y energía requerida para el movimiento del vehículo, esta fuerza se la calcula utilizando la siguiente ecuación, teniendo en cuenta la densidad, área frontal y la velocidad. A continuación, se expresa la ecuación para el cálculo (Cedillo).

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * \rho * A * v^2 \quad \text{Ec. 1.5}$$

En donde:

C_d : Coeficiente de arrastre (adimensional). Ver: ANEXO 1.

ρ : Densidad del aire. (kg/m^3)

A : Área frontal (m^2)

- **Resistencia debido a la inercia (R_i)**. Tomando en cuenta la 2da. ley de Newton tenemos la siguiente ecuación, en esta fuerza intervienen la masa total y la aceleración. Se lo calcula de la siguiente manera.

$$R_i = Ma \quad \text{Ec. 1.6}$$

- **Masa debido a la pendiente (R_g)**. La pendiente influye en el peso del vehículo en movimiento, esta fuerza se la calcula a través de la siguiente ecuación.

$$R_g = M * g * \text{sen } \theta \quad \text{Ec. 1.7}$$

- **Fuerza total (F).** es la sumatoria de todas las fuerzas a contrarrestar para proporcionar el movimiento al mismo, se expresa en la siguiente ecuación.

$$F = R_x * F_d * R_i * R_g \quad \mathbf{1.8}$$

2.5.1. Potencia y Energía

Para obtener la potencia (P) requerida para por el vehículo para recorrer una ciclovía se aplica la siguiente formula:

$$P = v * F \quad \mathbf{Ec. 1.9}$$

En donde:

P: Potencia en watt (W)

F: Fuera en newton (N)

Para el cálculo de la Energía (E_{Wh}) empleada para el recorrido de una ciclovía se obtiene de la siguiente manera:

$$E_{Wh} = P * \Delta t \quad \mathbf{Ec. 1.10}$$

Para facilitar la manipulación de los datos y unidades la variable se puede transformar de Wh a Kcal, utilizando una constante de conversión, a través de la siguiente ecuación.

$$E = E_{Wh} * 0,860421 \quad \mathbf{Ec. 1.11}$$

2.5.2. Gasto calórico (Gc)

El cálculo del gasto calórico se lo realiza basándose en una unidad metabólica llamada MET (equivalente necesario para realizar una actividad). El equivalente MET depende de la actividad física que se realice. El gasto calórico se calcula a partir de los datos de

la masa de la persona y del tiempo en el que se realiza la actividad. Se desprecian los datos de pérdida de energía mecánica. Se calcula con la siguiente expresión (Física).

$$Gc = MET * 0.0175 * m * t \quad \text{Ec. 1.13}$$

En donde:

MET: Unidad metabólica constante. Ver **ANEXO 2**.

m: Masa en kilogramos (kg)

t: Tiempo en minutos (min)

2.6. Selección del ciclo conducción mediante la mínimas diferencias ponderadas.

Se seleccionan parámetros característicos respecto a la potencia necesaria, para realizar el recorrido de cada ciclovía. El ciclo representativo será el que tenga mínimas diferencias con respecto a los valores de los parámetros característicos afectados por los pesos relativos, con base a la potencia/energía consumida en cada recorrido. El ciclo representativo se selecciona como aquel que minimiza el promedio ponderado con respecto a la media (Cedillo). Utilizando la siguiente ecuación:

$$y = \sum_i W_i * abs\left(\frac{P_{i,j} - \bar{P}_i}{s}\right) \quad \text{Ec. 1.14}$$

En donde:

W_i : Peso relativo de cada variable característica.

$P_{i,j}$: Valor del parámetro *i*, para cada ciclo *j*.

\bar{P}_i : Promedio del parámetro *i*.

s: Desviación estándar muestral de los datos de cada variable característica.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

En el presente capítulo se detallan los materiales, equipos de medición y los métodos utilizados para la determinación de un ciclo de conducción en las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

3.1. Bicicleta

La bicicleta seleccionada para el desarrollo del recorrido de las rutas es de marca Scott, modelo Aspect 940. La Figura 3-1 muestra el modelo de la bicicleta y la Tabla 3-1 indica las características de la misma.



Figura 3- 1 Bicicleta
Fuente: (Scott)

Tabla 3- 1 Características de la bicicleta

Peso	14.5 kg
Cuadro	Scott Aspect 900 series 29" alloy 6061
Transmisión	Shimano Acera rd-m390 27 Speed
Frenos	Shimano br-m395 Hydr. Disc
Tamaño de ruedas	29"

Fuente: <http://www.bikezona.com/bicicletas/scott-aspect-940/18563/>

3.2. GPS

El dispositivo GPS seleccionado por los autores es de marca Qstarz modelo BT-Q1000XT, en la Figura 3-2 se muestra el dispositivo de medición y en la Tabla 3-2 se detallan características.



Figura 3- 2 Dispositivo medición Qstarz BT-Q1000XT
Fuente: BT-Q1000XT-TR-Q1000XT-User's Manual

Tabla 3- 2 Características de Qstarz BT-Q1000XT

Posición	3.0 m 2D-RMS
Exactitud	<3 m CEP (50%)
Velocidad	0.1 m/s
Frecuencia	1-5 Hz
Canales	66-CH Performance

Fuente: BT-Q1000XT-TR-Q1000XT-User's Manual

3.3. Ciclovías

Las ciclovías se seleccionan teniendo en cuenta la demanda y la ubicación estratégica de cada ciclovía. En las zonas donde se realizaron los recorridos, se pueden encontrar comercios e instituciones educativas; así como también un elevado tráfico vehicular y peatonal en las horas pico. En la Figura 3-3 se muestra las rutas tomando como referencia las riberas de los ríos Tomebamba y Yanuncay, además de la Av. Loja, y la prolongación de la Av. Huayna Cápac (calle de Las Herrerías).

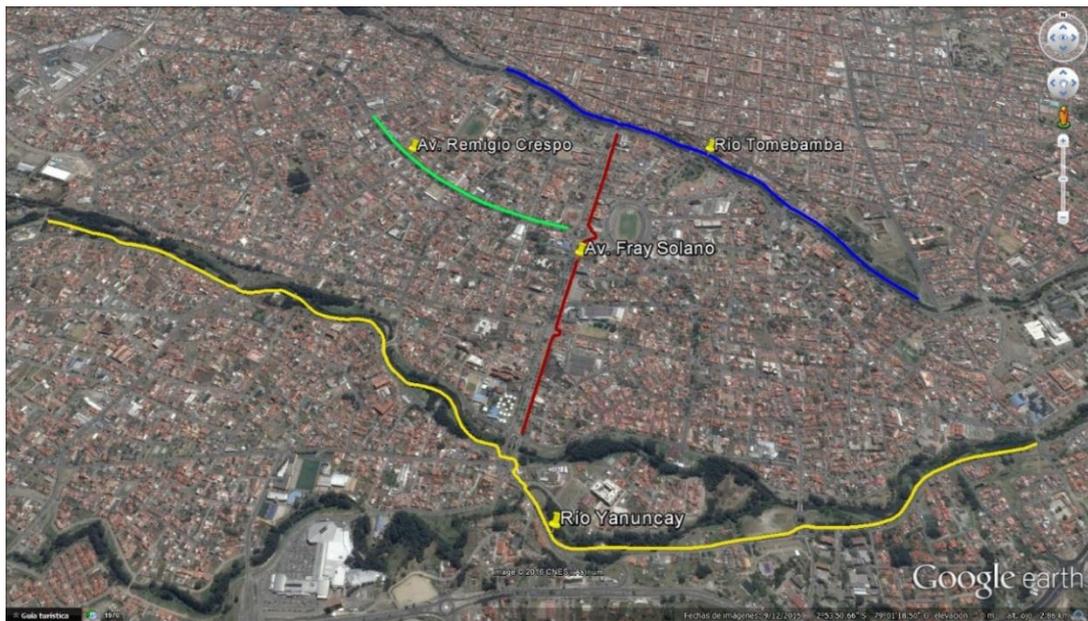


Figura 3- 3 Ciclovías seleccionadas
Fuente: Google Earth

3.3.1. Ciclovía Av. Fray Solano

La ciclovía de la Av. Fray Vicente Solano está comprendida entre, la intersección con la Av. 27 de Febrero (ida) y la intersección con la Av. 12 de Abril (vuelta), con un recorrido de 1.4 km. En la Figura 3-4 se puede observar un tramo de la ciclovía.



Figura 3- 4 Ciclovía Av. Fray Solano

3.3.2. Ciclovía Av. Remigio Crespo

La ciclovía sobre la Av. Remigio Crespo está determinada entre la intersección con la Av. Fray Vicente Solano (ida) y la intersección con la Av. Loja (vuelta), con una distancia de 1.1 km. En la Figura 3-5 se puede apreciar la ciclovía.



Figura 3- 5 Ciclovía Av. Remigio Crespo

3.3.3. Ciclovía río Tomebamba

La ciclovía situada a orillas del río Tomebamba está delimitada entre la intersección con la Av. Huayna Cápac (ida) y la intersección con la Av. Loja (vuelta), teniendo una distancia de 2km. Esta ciclovía comprende los tipos de materiales: adoquín, cemento y grava. En la Figura 3-6 se puede apreciar un tramo la ciclovía (Puente Roto).



Figura 3- 6 Ciclovía río Tomebamba

3.3.4. Ciclovía río Yanuncay

La ciclovía ubicada a orillas del río Yanuncay está comprendida entre la intersección con el puente de Gapal (ida) y la intersección con la Av. Loja (vuelta), con un recorrido de 4.2 km. Esta ciclovía es de grava y cuenta con dos túneles (por debajo de los puentes), en la Figura 3-7 se puede observar el inicio de la ciclovía.



Figura 3- 7 Ciclovía río Yanuncay

3.4. Software

Adicional a las herramientas de medición y el equipo para la adquisición de datos, se utilizan varios programas de computadora descritos a continuación, que sirven para el tratamiento y análisis de los datos, para determinar el ciclo de conducción representativo de los ciclovías de Cuenca.

3.4.1. QTravel

QTravel (software original del GPS Qstarz), es un programa de computadora que permite la descarga, manejo y exportación de los datos adquiridos por el GPS, para el debido tratamiento y posterior análisis, el software permite la exportación de los datos en distintos formatos. Además, facilita la configuración del dispositivo, selección de la frecuencia, modos de viaje, visualización de mapas y almacenamiento.

3.4.2. Excel

Es una aplicación del paquete Microsoft Office que permite realizar operaciones matemáticas, utilizando fórmulas pre configuradas, además de ser un potente gestor de datos, con la herramienta de macros, que facilita la manipulación de datos, funciones, estilos y formatos.

3.4. Recorrido de las ciclovías

La recolección de datos se realiza recorriendo las ciclovías expuestas con la bicicleta instrumentada con el GPS. Para que la muestra sea representativa, de un universo se tomaron datos de 60 recorridos por ciclovía, es decir, 30 de ida y 30 de vuelta. (240 recorridos en total), los cuales fueron realizados en horarios aleatorios, sin tomar en cuenta las condiciones climáticas, y utilizando 4 ciclistas para asemejarse a un recorrido típico por una persona promedio, que utiliza la bicicleta como medio de transporte. Además, al finalizar cada uno de los recorridos, sean estos de ida o vuelta, se realiza una pausa de 3 a 5 minutos, para poder identificar el inicio y final de cada travesía al momento de descargar los datos.

Las ciclovías de la Av. Fray Vicente Solano y Av. Remigio Crespo, son las más cortas en distancia de recorrido, su tipo de calzada es pavimento y adoquín para ambas vías, en estas zonas hay mayor aglomeración de personas en la noche, por lo que afecta a la fluidez de los recorridos.

La ciclovía del río Tomebamba, ubicada a las orillas del río con el mismo nombre, tiene una calzada en su mayoría de adoquín y ripio. La ciclovía del río Yanuncay cuenta el tipo de calzada de lastre, además, en todo el recorrido se sigue la ribera del río.

La recolección de datos completa, tarda en realizarse aproximadamente 45 horas de viaje, seguido con un recorrido aproximado de 600 Km. En la Figura 3-8 se puede observar el ejemplo del recorrido número 8 de vuelta, de la Av. Fray Solano, situado en la ciudad de Cuenca, desde la Av. 27 de febrero hasta la Av. 12 de abril.

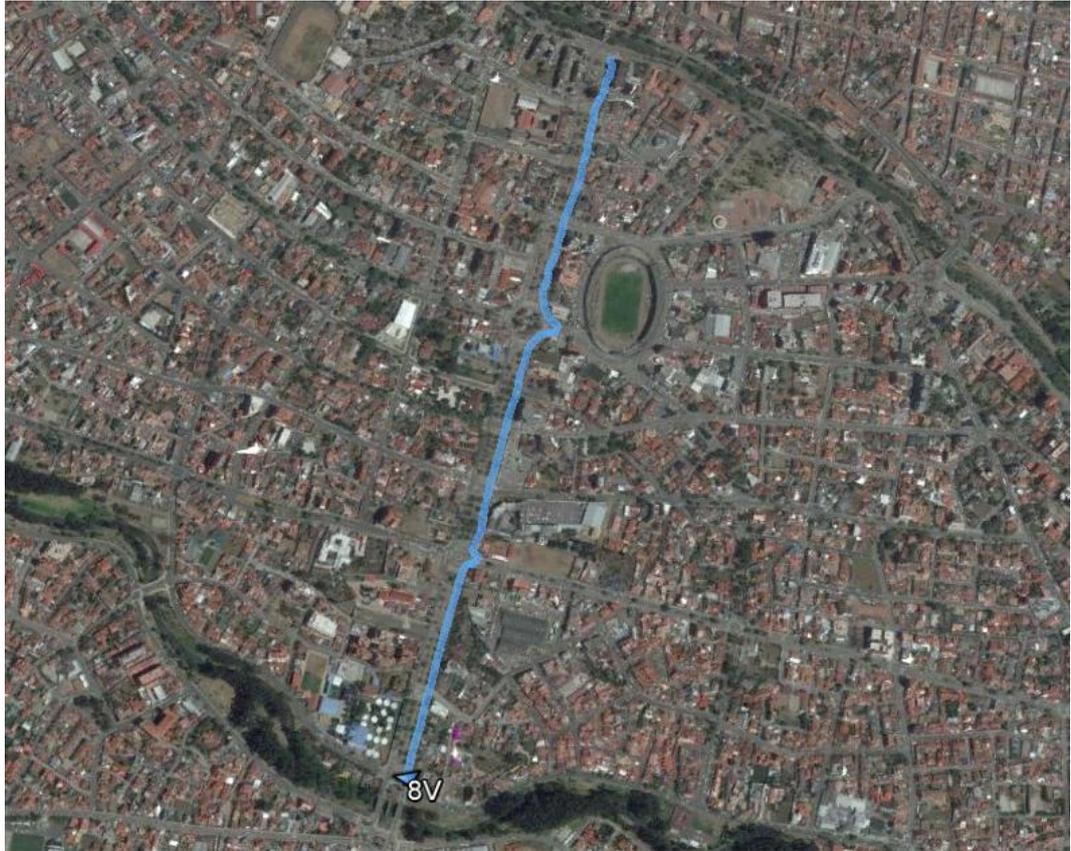


Figura 3- 8 Ejemplo del recorrido número 8 de vuelta de la Av. Fray Solano
Fuente: Google Earth

3.5. Almacenamiento e importación de datos

Después del recorrido de las ciclovías, los datos almacenados en el GPS son descargados, para proceder con el análisis de los mismos, y para la determinación del ciclo de conducción de las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

3.5.1. Almacenamiento de datos en QTravel

Los datos de cada recorrido se almacenan en el dispositivo de medición, luego se descargan en el software por defecto, del dispositivo de medición QTravel, para su posterior exportación y análisis. Los datos de los recorridos fueron guardados y clasificados según la ciclovía y especificando el número del recorrido de ida y de vuelta. Además cada recorrido tiene un color para poder ser observado en la interfaz gráfica del programa. La Figura 3-9 muestra el software con el nombre de los recorridos y la organización de los mismos.

The screenshot shows a software interface with a tree view on the left and a table on the right. The tree view is titled 'Árbol de Viajes - (4 viajes)' and contains four items: FRAY SOLANO, REMIGIO CRESPO, RIO TOMBAMBA, and RIO YANUNCAY. The table on the right is titled 'Lista de Tracks' and has columns: Nombre del Track, Drift Filter, Color, and Ancho de li... (likely 'Ancho de línea'). The table contains 15 rows of data, each representing a track with a unique ID (e.g., 10I, 10V, 11I, etc.), a 'No Drift Detectec' status, a color swatch, and a width value of 1.

Nombre del Track	Drift Filter	Color	Ancho de li...
10I	No Drift Detectec	[Cyan]	1
10V	No Drift Detectec	[Green]	1
11I	No Drift Detectec	[Yellow]	1
11V	No Drift Detectec	[Olive]	1
12I	No Drift Detectec	[Cyan]	1
12V	No Drift Detectec	[Cyan]	1
13I	No Drift Detectec	[Yellow]	1
13V	No Drift Detectec	[Dark Red]	1
14I	No Drift Detectec	[Yellow]	1
14V	No Drift Detectec	[Dark Blue]	1
15I	No Drift Detectec	[Pink]	1
15V	No Drift Detectec	[Purple]	1

Figura 3- 9 Clasificación de los recorridos

3.5.2. Importación de datos a Excel

Para realizar el tratamiento de los datos y cálculo de las variables adicionales, de cada recorrido. Es necesario exportar los datos hasta Excel, por lo tanto se graba un archivo con formato .csv, que es un documento de texto, compatible con Excel, separado por la “,” (coma). En la Figura 3-10 se muestra el ejemplo del primer recorrido de ida de la ciclovía Av. Remigio Crespo, donde el documento de texto está abierto en Excel y expresa los datos separados por la “,”.

	A	B	C	D
1	INDEX, TRACK ID, VALID, UTC DATE, UTC TIME, LOCAL D,			
2	1,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:10, 2015/12/15, 20:19:10, 33			
3	2,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:12, 2015/12/15, 20:19:12, 0,:			
4	3,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:13, 2015/12/15, 20:19:13, 0,:			
5	4,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:14, 2015/12/15, 20:19:14, 0,:			
6	5,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:15, 2015/12/15, 20:19:15, 0,:			
7	6,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:16, 2015/12/15, 20:19:16, 0,:			
8	7,1, FIXED, 2015/12/16, 1:19:17, 2015/12/15, 20:19:17, 0,:			

Figura 3- 10 Datos separados por comas

3.6. Tratamiento de datos

Se cumple el tratamiento de datos filtrando las “comas”, de cada documento de texto abierto en Excel, utilizando el asistente para importar texto, y estableciendo la “coma” como el separador de datos, con esto se coloca un dato en cada celda, lo que facilita el manejo y análisis de los mismos. En la Figura 3-11 se muestra el asistente de importación de texto, utilizando la “coma” como separador de datos, del ejemplo del primer recorrido de ida de la ciclovía Av. Fray Vicente Solano.

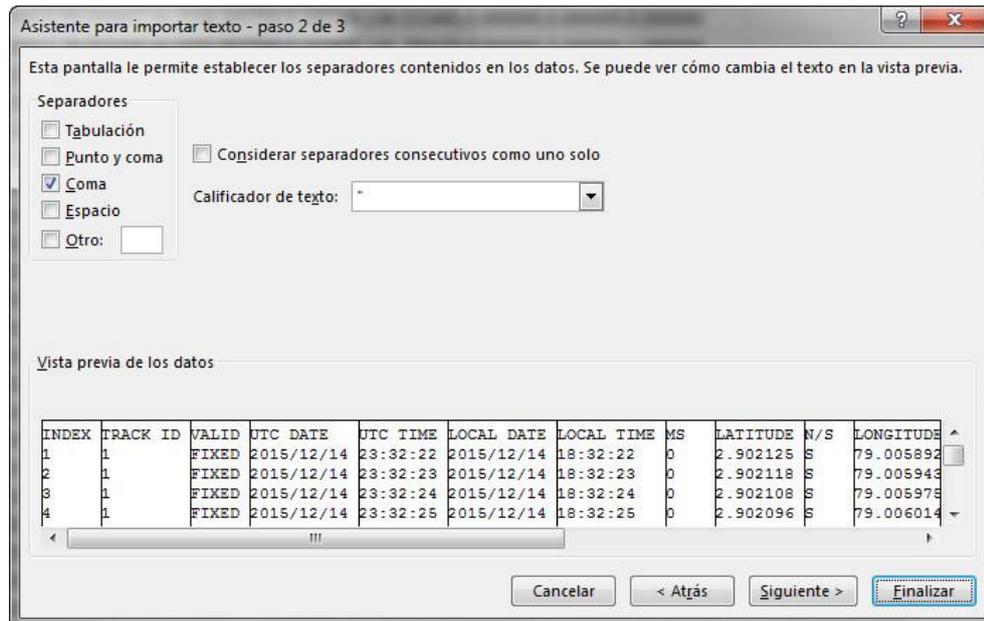


Figura 3- 11 Asistente de importación de texto y separador de datos

Se separan los datos útiles para realizar el cálculo de las variables necesarias, para la selección del ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad.

- Tiempo
- Fecha
- Hora
- Altitud
- Velocidad
- Longitud
- Latitud

Se realiza la suavización de los datos de las columnas de altitud y velocidad, utilizando la función “smooth” de MatLab, para eliminar los datos excesivamente altos o bajos, con respecto al anterior o siguiente, estos picos son considerados como ruido; el ruido se debe al movimiento del GPS, o pérdida de señal. En la Figura 3-12 se observa los datos originales y suavizados, correspondientes al primer recorrido de vuelta de la ciclovía río Tomebamba.

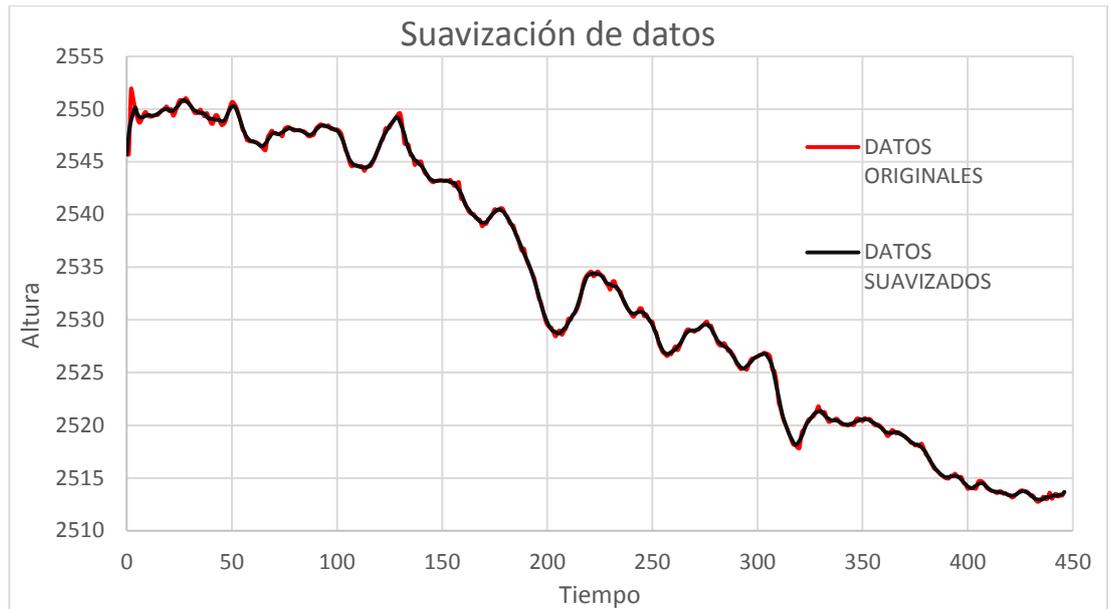


Figura 3- 12 Gráfica comparativa de los datos suavizados

3.7. Datos adicionales

Cuando se han eliminado el ruido de altura y velocidad, se procede a calcular las variables de aceleración (Ec. 1.1), distancia inmediata (Ec. 1.2), y pendiente (Ec. 1.3), de cada uno de los recorridos de las ciclovías. Además las unidades de velocidad de km/h se transforman a m/s para facilitar el cálculo del resto de variables.

La Tabla 3-3 muestra las celdas de los datos suavizados, además las celdas con los datos calculados de aceleración, distancia inmediata y pendiente, que son expuestas a continuación de los datos suavizados del ejemplo, del primer recorrido de vuelta de la cicloavía Rio Tomebamba.

Tabla 3- 3 Datos adicionales calculados

DATOS GPS	SUAVIZAR		DATOS CALCULADOS			
TIME	ALTITUDE	SPEED	VELOCIDAD	ACELERAC.	DISTANCIA	PENDIENTE
s	m	km/h	m/s	m/s ²	m	°(grados)
0	2545,698	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	2547,754	0,476	0,132	0,132	0,132	0,000
2	2548,863	0,399	0,111	-0,021	0,111	0,000
3	2549,549	0,487	0,135	0,024	0,135	0,000
4	2550,149	0,675	0,188	0,052	0,188	0,000
5	2549,566	1,503	0,417	0,230	0,417	0,000
6	2549,251	2,616	0,727	0,309	0,727	0,000
7	2549,199	3,787	1,052	0,325	1,052	-2,833
8	2549,245	5,070	1,408	0,356	1,408	1,864
9	2549,359	6,437	1,788	0,380	1,788	3,674
10	2549,426	8,057	2,238	0,450	2,238	1,705

3.8. Variables físicas

Dentro de la dinámica de la bicicleta, se calculan las variables físicas utilizando los datos previamente tratados y calculados. La suma de las variables da como resultado, la fuerza total requerida para el movimiento de la bicicleta (Ec. 1.8), este dato nos permite el cálculo del gasto calórico y de energía, para continuar con el análisis y posterior selección del ciclo de conducción.

Se calcula la resistencia a la rodadura (Ec. 1.4), utilizando una constante de 0,0045 (ANEXO 1), y una masa de 85 kg, equivalente a la suma de la masa de la bicicleta más la del ciclista, ya que el peso del ciclista también afecta al momento de vencer el reposo y empezar el movimiento.

El valor de la fuerza aerodinámica (Ec. 1.5) se lo determina utilizando una coeficiente aerodinámico de 1 (ANEXO 1), un área frontal de 0,6 m² y la densidad del aire de 0,99 kg/m³.

Se calculan las variables de masa de inercial (Ec. 1.6) y debido a la pendiente (Ec. 1.7) utilizando los valores previamente definidos como la masa, y de las variables calculadas previamente como la aceleración y la pendiente.

La sumatoria de las variables físicas, nos determina fuerza requerida para vencer la resistencia al rodamiento de un vehículo (Ec. 1.8).

En la Tabla 3-4 se observan las variables físicas calculadas, en la última columna de la derecha se puede observar el resultado de la fuerza total, para vencer la resistencia al rodamiento del vehículo, los datos pertenecen al ejemplo, del primer recorrido de vuelta de la ciclovia Rio Tomebamba.

Tabla 3- 4 Variables físicas

DATOS GPS	DINAMICA DEL VEHICULO				
TIME	Rx	Fd	Ri	Rg	Fx
s	N	N	N	N	N
0	3,749	0,000	0,000	0,000	3,749
1	3,749	0,005	11,239	0,000	14,993
2	3,749	0,004	-1,813	0,000	1,939
3	3,749	0,005	2,064	0,000	5,818
4	3,749	0,010	4,458	0,000	8,217
5	3,749	0,052	19,531	0,000	23,331
6	3,749	0,157	26,289	0,000	30,194
7	3,744	0,329	27,658	-41,173	-9,442
8	3,747	0,589	30,274	27,092	61,702
9	3,741	0,950	32,295	53,385	90,371
10	3,747	1,488	38,245	24,788	68,268

3.8.1. Cálculo de Potencia, Energía y Gasto Calórico

Con los datos de velocidad en cada segundo y la fuerza, se calcula la potencia (Ec. 1.9), debido a las pendientes negativas, existen valores negativos de potencia, que no serán tomados en cuenta para el estudio, ya que no son aporte en la estimación del consumo de energía y gasto calórico. A partir de la potencia, se obtiene la energía positiva (Ec. 1.10). Los valores de energía en Wh, se transforman a Kcal (Ec. 1.11), para facilitar la manipulación de datos y posterior análisis.

El gasto calórico (Ec. 1.12) se lo determinó, utilizando la unidad metabólica constante de 6 (ANEXO 2), que corresponde a la actividad de ciclismo, el peso del ciclista y el tiempo.

En la Tabla 3-5 se pueden observar los resultados de los datos calculados de las variables de potencia, energía y gasto calórico, que corresponden al ejemplo, del primer recorrido de ida de la ciclovía río Yanuncay.

Tabla 3- 5 Potencia, energía y gasto calórico calculados

DATOS GPS	ENERGIA				CALORIAS
TIME	E TOTAL	E TOTAL	E+	E ACUM	GASTO
s	Wh	Kcal	Kcal	Kcal	Kcal
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131
2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,263
3	0,000	0,000	0,000	0,001	0,394
4	0,000	0,000	0,000	0,001	0,525
5	0,002	0,002	0,002	0,003	0,656
6	0,005	0,005	0,005	0,008	0,788
7	0,011	0,009	0,009	0,017	0,919
8	0,017	0,015	0,015	0,032	1,050
9	0,165	0,142	0,142	0,174	1,181
10	0,100	0,086	0,086	0,260	1,313

3.8.2. Datos resumen

Además, se obtiene los datos resumen de cada uno de los recorridos de las ciclovías, para una mejor interpretación y lectura de los ciclos de conducción. En los datos resumen, constan los máximos, mínimos, promedios y totales de las variables calculadas a partir de los datos obtenidos por el GPS.

En la Tabla 3-6 se indica los datos resumen del recorrido número 25 de vuelta de la ciclovía río Yanuncay.

Tabla 3- 6 Datos resumen

Tiempo	20,850 min
Velocidad promedio	12,273 km/h
Velocidad máxima	23,497 km/h
Aceleración máxima	0,897 m/s ²
Aceleración mínima	-0,963 m/s ²
Altura máxima	2581,578 m
Altura mínima	2525,975 m
Distancia total	4268,325 m
Energía ₊ total	28,749 kcal
Gasto Calórico	164,194 kcal
Eficiencia	17,509%
Tiempo de paradas	12s
Número de paradas	3

3.9. Variables características y pesos relativos

Las variables características fueron determinadas, según las variables con mayor importancia, sobre la variable de salida (potencia). Los pesos relativos se determinaron con base en la importancia de cada variable independiente, en relación con la variable dependiente de salida, utilizando la técnica estadística de pesos relativos de efecto total, en donde, la suma de todos los pesos constantes corresponde al 100% de la respuesta. En la Tabla 3-7 se indica las variables características de los recorridos con sus respectivos pesos relativos (Cedillo).

Tabla 3- 7 Pesos relativos

Variable	Peso relativo
$v \cdot \text{sen } (0)_{\text{prom}}$	0.372
$\text{Pendiente}_{\text{prom}}$	0.276
t parada	0.142
v_{prom}^3	0.099
$a_{\text{pos}} \cdot v_{\text{prom}}$	0.086
a máx.	0.009
# parada	0.009
Altura máx.	0.007

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez definidos los parámetros característicos, y las ponderaciones de cada variable característica, se selecciona el ciclo representativo, utilizando la metodología de mínimas diferencias ponderadas. Se utiliza la ecuación (Ec. 1.13) para ponderar cada parámetro estandarizado y seleccionar el ciclo de conducción, de acuerdo a la mínima diferencia (Cedillo).

Los valores de las variables características están en distintas unidades, para ello son estandarizados los datos, dividiendo el valor de cada variable para la desviación estándar muestral (Cedillo). En la Tabla 4-1 se observan varios ciclos muestreados del primer recorrido de ida, de la ciclovía Remigio Crespo, teniendo en cada columna las variables características de cada ciclo, el promedio de los valores de cada variable y la desviación estándar muestral.

Tabla 4- 1 Recorrido seleccionado por mínimas diferencias ponderadas

	V*sen(o) prom	t parada (s)	Pendiente prom	V ³ prom	apos*V prom	a max	# P	Altura max
Ciclo 22	0,076	2	1,079	44,513	0,213	0,547	2	2569,988
Ciclo 23	0,053	2	0,934	51,899	0,148	0,601	2	2564,605
Ciclo 24	0,046	9	0,744	35,126	0,083	0,812	3	2564,605
Ciclo 25	0,050	2	0,735	44,011	0,143	0,534	2	2563,662
Ciclo 26	0,055	2	0,394	49,108	0,170	0,638	2	2566,990
Ciclo 27	0,033	2	0,038	51,981	0,149	0,527	2	2583,666
Ciclo 28	0,102	2	1,373	81,019	0,181	0,624	2	2575,899
Ciclo 29	0,057	2	0,872	75,158	0,207	0,455	2	2573,369
Ciclo 30	0,060	5	1,073	43,719	0,127	0,505	3	2559,798
Prom	0,054	3,233	1,018	40,535	0,136	0,543	2,133	2572,877
D. est.	0,033	2,542	0,658	13,193	0,042	0,090	0,346	17,297

En la Tabla 4-2 se ejemplifican varios ciclos muestreados, del primer recorrido de ida de la ciclovía Remigio Crespo, incluyendo el ciclo representativo seleccionado

(resaltado de amarillo), teniendo en cada columna el valor de la variable afectada por la ponderación correspondiente. El ciclo representativo corresponde al resultado, cuya diferencia sea menor con respecto a los demás resultados.

Tabla 4- 2 Recorrido seleccionado por mínimas diferencias ponderadas

	V*sen(o) prom	Tiempo parada	Pend prom	V³ prom	a.*V prom	a max	# P	A max	Min. Dif.
Pond	0,372	0,276	0,142	0,099	0,086	0,009	0,009	0,007	
Ciclo 1	0,176	0,735	0,042	0,064	0,001	0,010	0,023	0,001	1,052
Ciclo 2	0,009	0,300	0,009	0,103	0,078	0,010	0,003	0,003	0,517
Ciclo 3	0,440	0,134	0,104	0,008	0,079	0,008	0,003	0,003	0,780
Ciclo 4	0,005	0,134	0,014	0,049	0,109	0,009	0,003	0,006	0,330
Ciclo 5	0,133	0,134	0,004	0,020	0,099	0,002	0,003	0,007	0,401
Ciclo 6	0,125	0,134	0,062	0,059	0,097	0,007	0,003	0,006	0,493
Ciclo 7	0,032	0,134	0,009	0,059	0,008	0,001	0,003	0,007	0,253
Ciclo 8	0,479	0,134	0,147	0,061	0,018	0,007	0,003	0,025	0,874
Ciclo 9	0,314	0,025	0,200	0,052	0,094	0,001	0,003	0,001	0,691
Ciclo 10	0,843	0,134	0,342	0,116	0,007	0,002	0,003	0,005	1,452

De la Figura 4-1 a la Figura 4-8 y de la Tabla 4-3 a la 4-10 se muestran los ciclos de conducción representativos, de cada una de las ciclovías, además se muestran los datos más relevantes de cada ciclo de conducción representativo de la ciclovía correspondiente.

4.1. Ciclovía Av. Fray Solano Ida

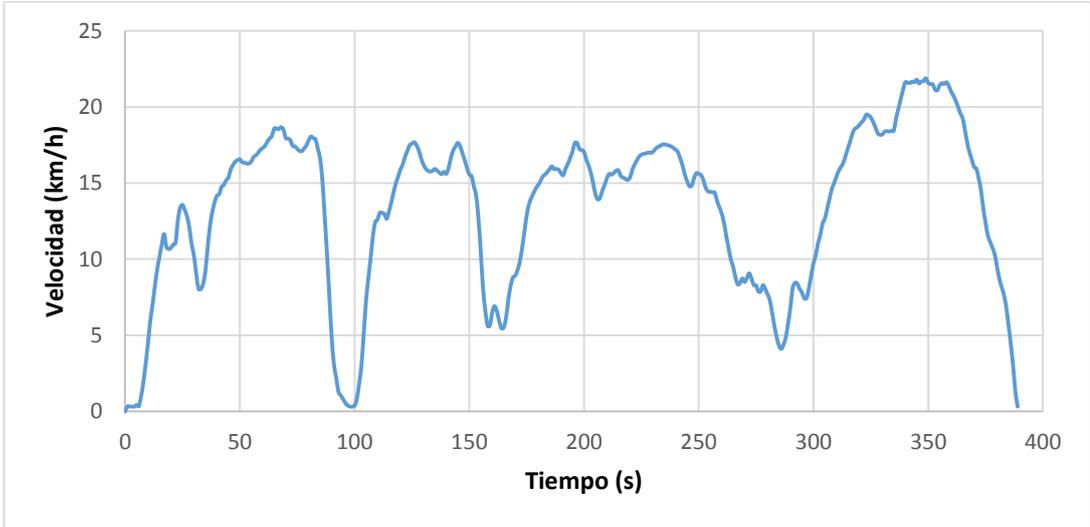


Figura 4- 1 Ciclo de conducción representativo Av. Fray Solano Ida

Tabla 4- 3 Datos resumen del recorrido representativo Av. Fray Solano Ida

Tiempo	6,483 min
Velocidad promedio	13,419 km/h
Velocidad máxima	21,894 km/h
Aceleración máxima	0,595 m/s ²
Aceleración mínima	-0,753 m/s ²
Altura máxima	2557,995 m
Altura mínima	2442,302 m
Distancia total	1453,694 m
Energía+ total	9,787 kcal
Gasto Calórico	51,056 kcal
Eficiencia	19,17 %
Tiempo de paradas	8 s
Número de paradas	3

4.2. Ciclovía Av. Fray Solano Vuelta

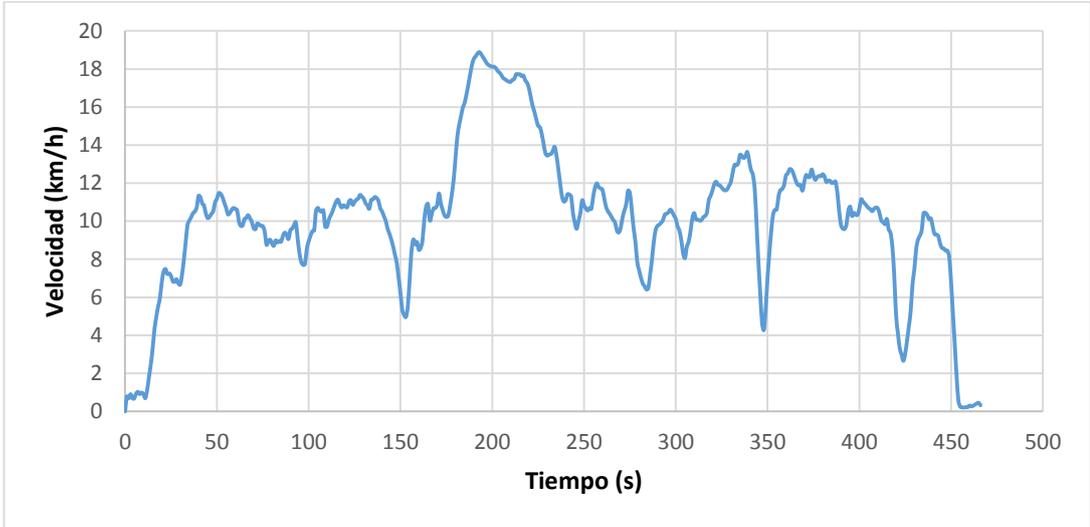


Figura 4- 2 Ciclo de conducción representativo Av. Fray Solano Vuelta

Tabla 4- 4 Datos resumen del recorrido representativo Av. Fray Solano Vuelta

Tiempo	7,767 min
Velocidad promedio	10,108 km/h
Velocidad máxima	18,893 km/h
Aceleración máxima	0,454 m/s ²
Aceleración mínima	-0,582 m/s ²
Altura máxima	2560,090 m
Altura mínima	2533,579 m
Distancia total	1311,225 m
Energía ₊ total	14,963 kcal
Gasto Calórico	61,163 kcal
Eficiencia	24,465 %
Tiempo de paradas	10 s
Número de paradas	3

4.3. Ciclovía Av. Remigio Crespo Ida

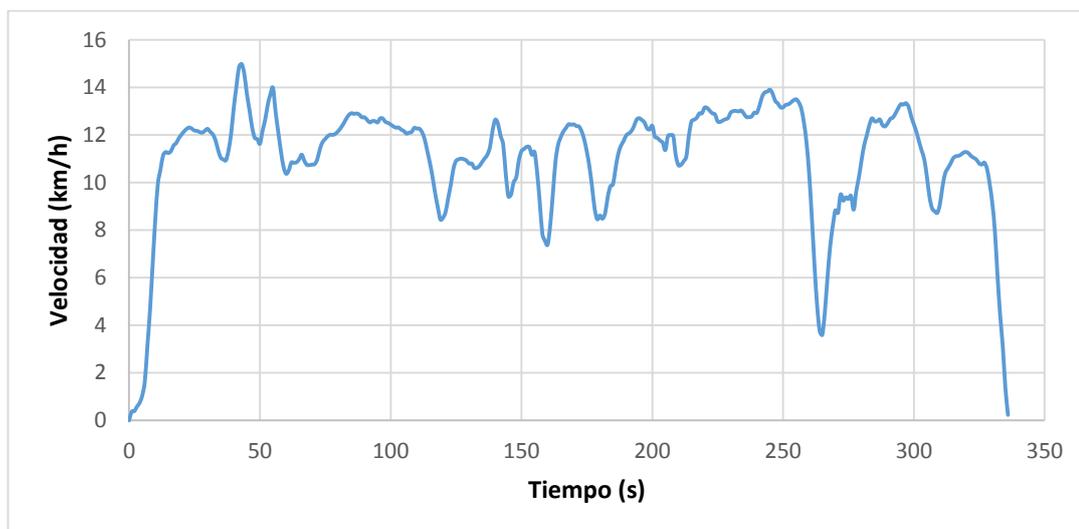


Figura 4- 3 Ciclo de conducción representativo Av. Remigio Crespo Ida

Tabla 4- 5 Datos resumen del recorrido representativo Av. Remigio Crespo Ida

Tiempo	5,600 min
Velocidad promedio	11,041 km/h
Velocidad máxima	14,991 km/h
Aceleración máxima	0,530 m/s ²
Aceleración mínima	-0,554 m/s ²
Altura máxima	2554,794 m
Altura mínima	2530,797 m
Distancia total	1033,568 m
Energía ₊ total	9,889 kcal
Gasto Calórico	44,100 kcal
Eficiencia	22,423%
Tiempo de paradas	2 s
Número de paradas	2

4.4. Ciclovía Av. Remigio Crespo Vuelta

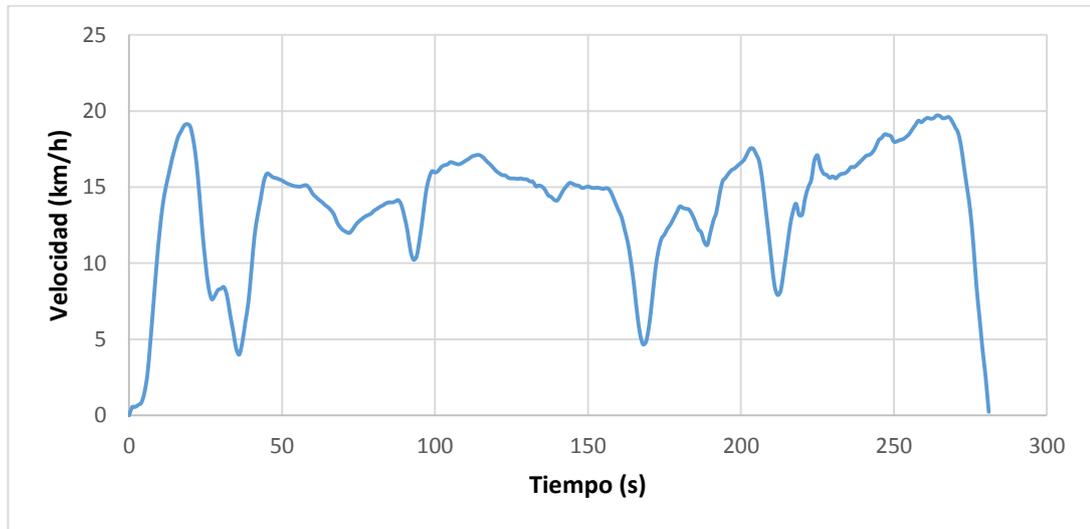


Figura 4- 4 Ciclo de conducción representativo Av. Remigio Crespo Vuelta

Tabla 4- 6 Datos resumen del recorrido representativo Av. Remigio Crespo Vuelta

Tiempo	4,683 min
Velocidad promedio	13,795 km/h
Velocidad máxima	19,713 km/h
Aceleración máxima	0,700 m/s ²
Aceleración mínima	-0,751 m/s ²
Altura máxima	2566,659 m
Altura mínima	2545,472 m
Distancia total	1080,582 m
Energía ₊ total	2,959 kcal
Gasto Calórico	36,881 kcal
Eficiencia	8,024 %
Tiempo de paradas	2 s
Número de paradas	2

4.5. Ciclovía río Tomebamba Ida

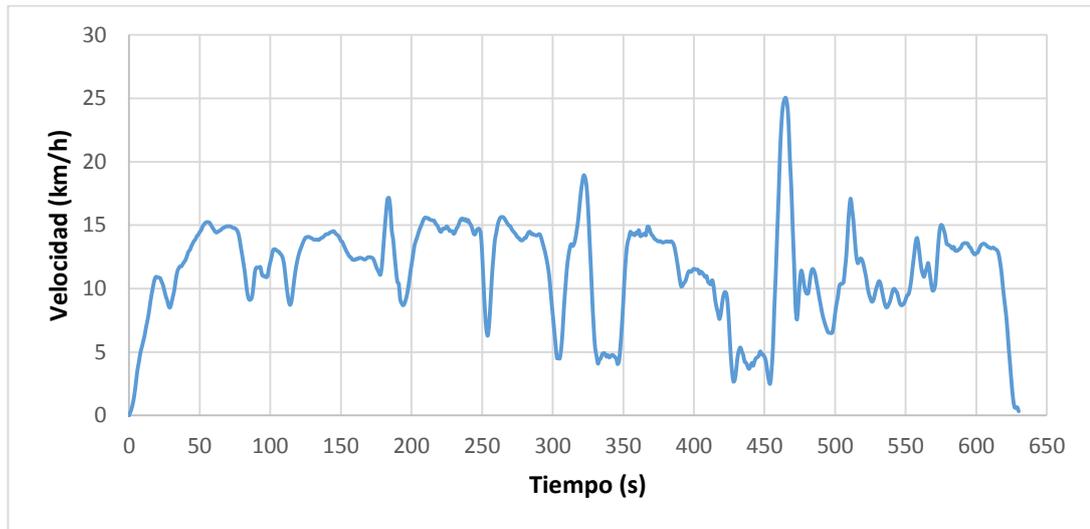


Figura 4- 5 Ciclo de conducción representativo río Tomebamba Ida

Tabla 4- 7 Datos resumen del recorrido representativo río Tomebamba Ida

Tiempo	10,500 min
Velocidad promedio	11,505 km/h
Velocidad máxima	25,049 km/h
Aceleración máxima	0,943 m/s ²
Aceleración mínima	-0,915 m/s ²
Altura máxima	2571,118 m
Altura mínima	2524,156 m
Distancia total	2016,503 m
Energía ₊ total	16,293 kcal
Gasto Calórico	82,688 kcal
Eficiencia	19,704 %
Tiempo de paradas	3 s
Número de paradas	2

4.6. Ciclovía río Tomebamba Vuelta

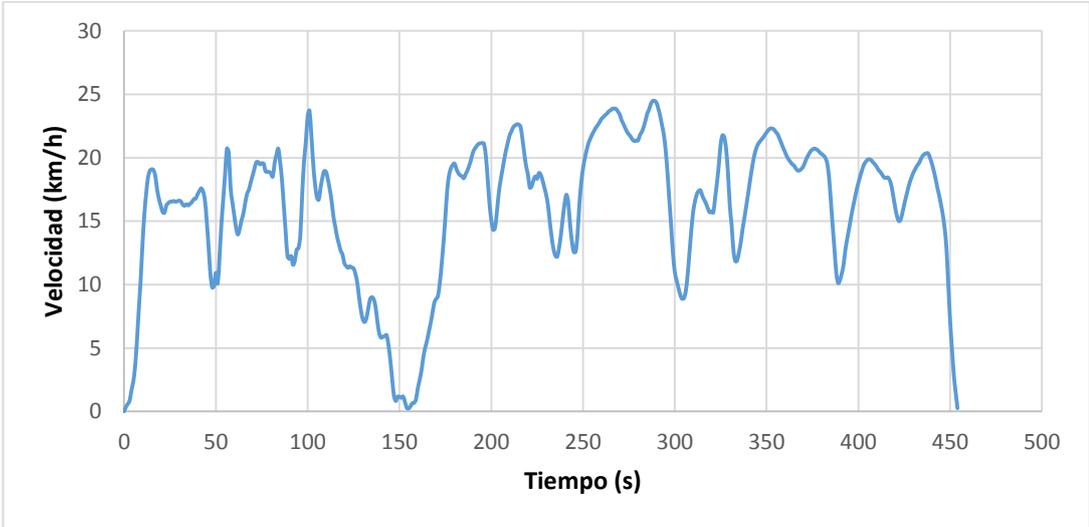


Figura 4- 6 Ciclo de conducción representativo río Tomebamba Vuelta

Tabla 4- 8 Datos resumen del recorrido representativo río Tomebamba Vuelta

Tiempo	7,567 min
Velocidad promedio	16,015 km/h
Velocidad máxima	24,485 km/h
Aceleración máxima	0,885 m/s ²
Aceleración mínima	-0,793 m/s ²
Altura máxima	2568,234 m
Altura mínima	2529,434m
Distancia total	2024,125 m
Energía+ total	6,467 kcal
Gasto Calórico	59,588 kcal
Eficiencia	10,852 %
Tiempo de paradas	4s
Número de paradas	3

4.7. Ciclovía río Yanuncay Ida

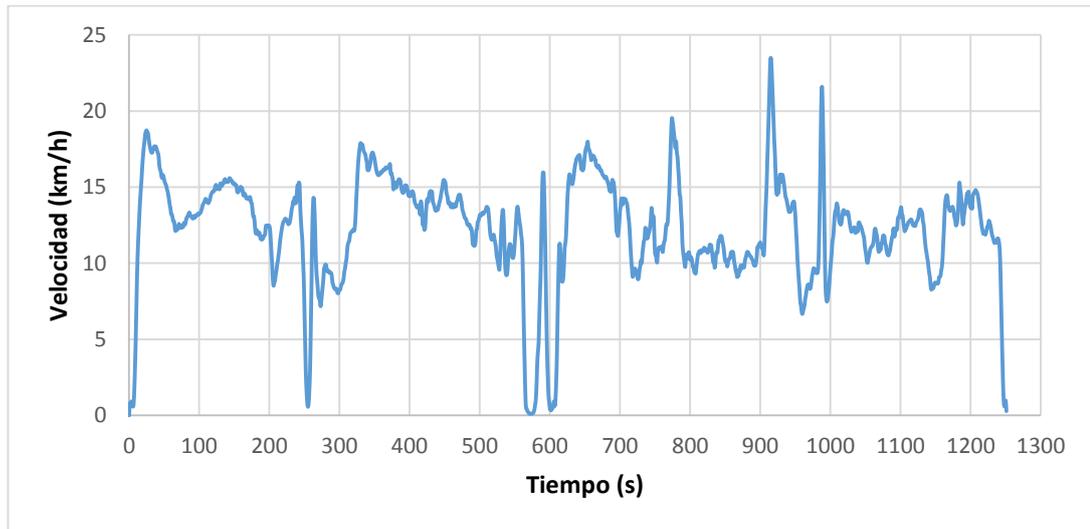


Figura 4- 7 Ciclo de conducción representativo río Yanuncay Ida

Tabla 4- 9 Datos resumen del recorrido representativo río Yanuncay Ida

Tiempo	20,850 min
Velocidad promedio	12,273 km/h
Velocidad máxima	23,497 km/h
Aceleración máxima	0,897 m/s ²
Aceleración mínima	-0,963 m/s ²
Altura máxima	2581,578 m
Altura mínima	2525,975 m
Distancia total	4268,325 m
Energía ₊ total	28,749 kcal
Gasto Calórico	164,194 kcal
Eficiencia	17,509%
Tiempo de paradas	12s
Número de paradas	3

4.8. Ciclovía río Yanuncay Vuelta

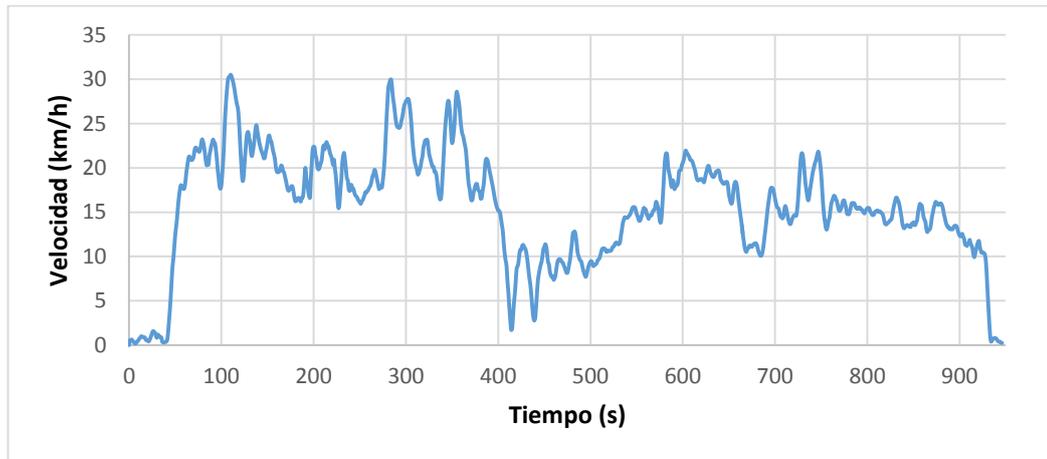


Figura 4- 8 Ciclo de conducción representativo río Yanuncay Vuelta

Tabla 4- 10 Datos resumen del recorrido representativo río Yanuncay Vuelta

Tiempo	15,767 min
Velocidad promedio	15,687 km/h
Velocidad máxima	30,522 km/h
Aceleración máxima	0,672 m/s ²
Aceleración mínima	-0,565 m/s ²
Altura máxima	2771,844 m
Altura mínima	2535,838 m
Distancia total	4126,460m
Energía ₊ total	19,006 kcal
Gasto Calórico	124,163 kcal
Eficiencia	15,307 %
Tiempo de paradas	8 s
Número de paradas	4

4.9. Selección del ciclo de conducción representativo

Para el ciclo de conducción de las ciclovías de la ciudad de Cuenca, se toman en cuenta los 240 recorridos de todas las ciclovías, al igual que en la selección de cada ciclo de conducción de cada recorrido, se utiliza la metodología de mínimas diferencias ponderadas, que nos permite visualizar el ciclo representativo para todas las ciclovías de la ciudad.

En la Tabla 4-11 se observa que cada columna muestra el valor de la variable afectada por la ponderación correspondiente a la variable característica, en la última columna de la derecha, se observa la sumatoria de los valores y se selecciona el resultado cuya diferencia sea menor con respecto a los demás resultados.

Tabla 4- 11 Selección del ciclo de conducción representativo por el método de mínimas diferencias ponderadas.

	V*sen(o) prom	Tiempo parada	Pend prom	V ³ prom	a ⁺ *V prom.	a max	# P	A max	Min. Dif.
Pond	0,372	0,276	0,142	0,099	0,086	0,009	0,009	0,007	
Ciclo 222	0,059	0,189	0,008	0,120	0,174	0,002	0,006	0,007	0,565
Ciclo 223	0,352	0,055	0,002	0,442	0,152	0,011	0,005	0,001	1,021
Ciclo 224	0,320	0,169	0,006	0,058	0,178	0,006	0,005	0,001	0,743
Ciclo 225	0,017	0,010	0,020	0,171	0,177	0,002	0,006	0,006	0,409
Ciclo 226	0,335	0,055	0,039	0,043	0,182	0,002	0,005	0,003	0,663
Ciclo 227	0,364	0,214	0,013	0,086	0,168	0,010	0,005	0,006	0,865

El recorrido seleccionado, de acuerdo a las mínimas diferencias ponderadas, es el Ciclo 225, que corresponde al ciclo de conducción del recorrido 15 de vuelta, de la ciclovía del río Yanuncay.

En la Tabla 4-12 se muestran los valores característicos del recorrido 15 de vuelta, de la ciclovía del río Yanuncay. Además, en la Figura 4-9 se representa el ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca, (correspondiente al recorrido 15 de vuelta de la ciclovía del río Yanuncay).

Tabla 4- 12 Datos característicos del ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca

Tiempo	14,13 min
Velocidad promedio	18,06 km/h
Velocidad máxima	25,54 km/h
Aceleración máxima	0,667 m/s ²
Aceleración mínima	-0.841 m/s ²
Altura máxima	2603,79 m
Altura mínima	2519,03 m
Distancia total	4259,66 m
Poniente promedio	0,041 rad
Energía ₊ total	20,86 kcal
Gasto Calórico	111,30 kcal
Eficiencia	18,7 %
Tiempo de paradas	4 s
Número de paradas	2 (inicio y final)

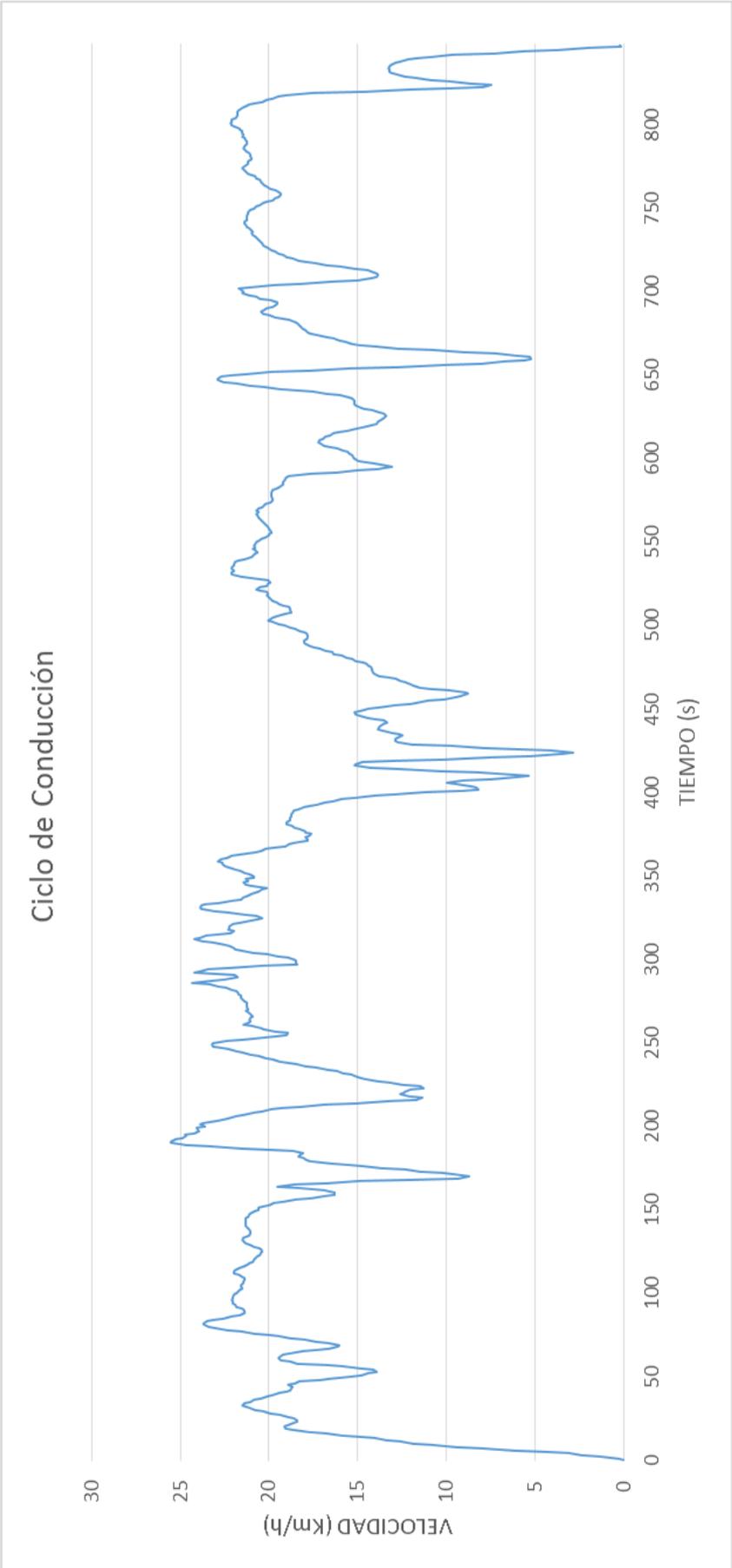


Figura 4- 9 Ciclo de conducción representativo de las ciclovías de la ciudad de Cuenca

4.9.1. Datos adicionales al ciclo de conducción representativo

En la Figura 4-10 se observa la gráfica de aceleración contra tiempo, del ciclo de conducción representativo, seleccionado de las ciclovías de la ciudad de Cuenca.

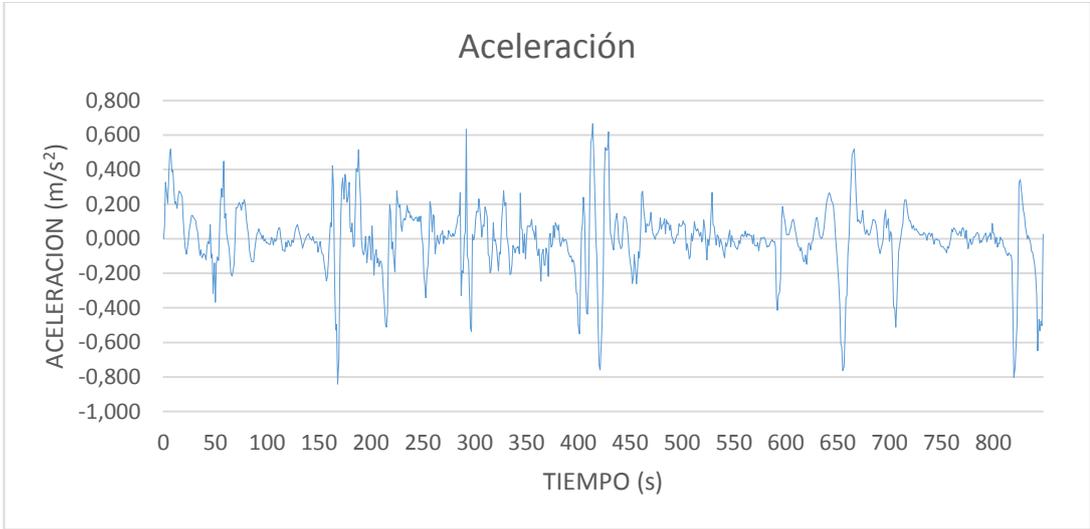


Figura 4- 10 Grafica de aceleración contra el tiempo del ciclo representativo de la ciudad de Cuenca

En la Figura 4-11 se muestra a gráfica comparativa, entre gasto calórico (línea punteada) y energía positiva requerida (línea continua).

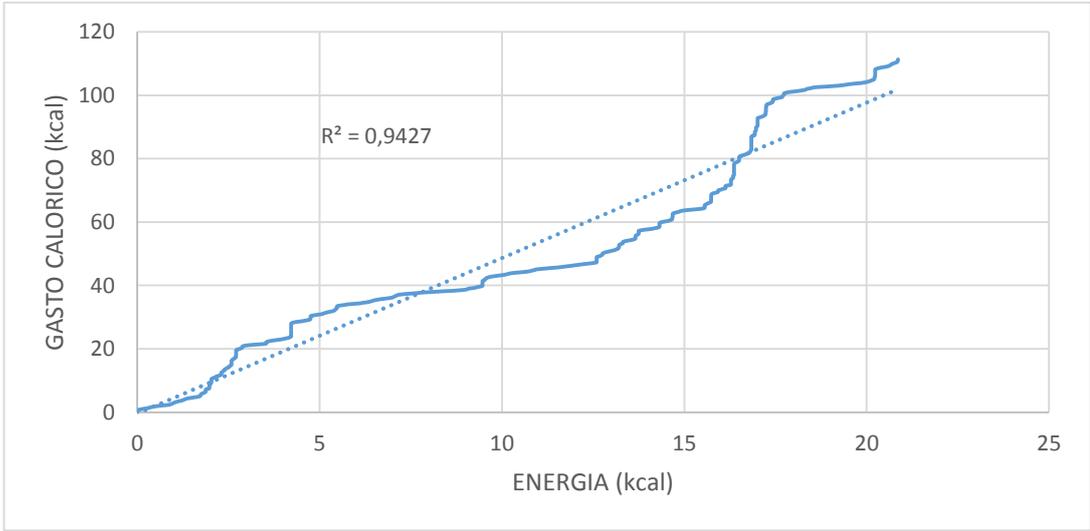


Figura 4- 11 Energía positiva total contra gasto calórico

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante búsqueda bibliográfica y electrónica no se encontraron registros, métodos específicos, ni normas para determinar los ciclos de conducción de una bicicleta, en una ruta fija de una cicloavía. En los proyectos realizados a nivel mundial, se han desarrollado metodologías para determinar los ciclos de conducción vehiculares, los proyectos fueron aplicados para realizar inventarios de emisiones y estimación del gasto de combustible. Las metodologías varían de acuerdo a las condiciones de la zona donde se realiza el proyecto.

Teniendo en cuenta la tendencia del 0.5% de crecimiento anual sobre uso de bicicletas en la ciudad de Cuenca, y los 1920 recorridos diarios en bicicleta como un medio de transporte primario, se propuso una metodología para la obtención de una base de datos de los recorridos, la selección del ciclo de conducción representativo de rutas fijas (cicloavía), y la estimación el consumo energético y calórico representativo de las cicloavía en la ciudad de Cuenca.

Las herramientas utilizadas fueron indispensables para obtener una base de datos, que refleja la situación actual de los recorridos diarios en bicicleta, dentro de la ciudad. Se calibró el GPS a una frecuencia de un dato por segundo, la bicicleta fue seleccionada, teniendo en cuenta la tendencia de uso actual de aro de 29 pulgadas, y las cicloavía que se seleccionaron son: Av. Fray Solano, Av. Remigio Crespo, río Yanuncay y río Tomebamba; limitando un sector estratégico de la ciudad. Como recomendación, se debe tener en cuenta la seguridad de la información, para evitar la pérdida de la misma, creando copias de seguridad, para no perder la base de datos original.

Fue necesario utilizar una función de suavización (“smooth” de MatLab), de los datos de velocidad y altura obtenidas por el GPS, que permiten la corrección de los datos atípicos (ruido), que provienen de las pérdidas de señal y de las velocidades inferiores a 1m/s, mientras se recorre en bicicleta.

El método estadístico utilizado de mínimas diferencias ponderadas, demostró que se puede aplicar para determinar el ciclo representativo de todas las cicloavía de la ciudad,

así como también de cada ciclovía, ya sea de ida o de vuelta, lo que permitió realizar el análisis del ciclo de conducción, de cada vía en particular, así como el representativo de todos. Cada ciclo de conducción fue determinado a partir de los datos obtenidos en el GPS, y de los calculados adicionalmente de forma estratégica, teniendo en cuenta que cada recorrido partía del mismo lugar, a un ritmo normal de conducción, a distintas horas, sin tener en cuenta las condiciones climáticas, para que el resultado sea más real.

Las variables características fueron seleccionadas, teniendo en cuenta la metodología utilizada en el proyecto: “Determinación de ciclos típicos de conducción”. Cedillo, K. (2013). En donde, estas variables son seleccionadas, con base a la correlación existente entre las fuerzas obtenidas en la dinámica del vehículo y la potencia de salida, y los pesos fueron seleccionados, determinando la importancia relativa de estas variables características, predominando las variables derivadas de la dinámica del vehículo, ya sea en terreno plano o pendiente. Es la metodología que se ajustó al presente proyecto, teniendo en cuenta que la variación de altura es irrelevante, las distancias son menores a los 4,5 km.

Se determinó el ciclo de conducción representativo para la ciudad de Cuenca, que corresponde al recorrido 15 de vuelta de la ciclovía del río Yanuncay, con una distancia de 4259.66 m, el recorrido se lo realizó en 14.13 min, con una velocidad promedio de 18,06 km/h. El recorrido que inicia en la intersección del río Yanuncay y la Av. Loja, y culmina en el Redondel de Gapal, tiene una diferencia de altura, tomando en cuenta los datos del GPS, de 84.76 m, teniendo como el punto más alto en 2603.79 msnm. El recorrido no tuvo paradas (sin tomar en cuenta el inicio y el final del recorrido).

Para el recorrido del ciclo representativo, de las ciclovías de la ciudad, se requiere una energía positiva total de 20.86 kcal, sin tomar en cuenta la pérdida de energía por desgaste, deformación, viento, etc. El desgaste calórico del ciclista, según el índice metabólico, es de 111.30 kcal. Con estos datos se puede concluir que, la eficiencia típica de los recorridos en la ciclovías de la ciudad es del 18.7%.

A más de los ciclos de conducción, consumo de energía y gasto calórico; con el presente proyecto se pretende aportar una amplia base de datos de 240, recorridos entre

ida y vuelta, de 4 de las ciclovías de la ciudad, para estudios posteriores, y promover el uso de la bicicleta como un medio de transporte alternativo y de recreación, cambiando nuestro estilo de vida a uno más amigable con el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- “¿Qué Es Un Odómetro?” *Herramientas de Medición y Control*. N.p., 2012. Web. 30 Nov. 2015.
- Barlow, T. Et al. “A Reference Book of Driving Cycles for Use in the Measurement of Road Vehicle Emissions.” (2009): 280. Web.
- Brinker, Russell C. *Topografía*. 9na. Ed. N.p. Print.
- Cedillo, Karem. “DETERMINACIÓN DE CICLOS TÍPICOS DE CONDUCCIÓN.” INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY, 2013. Print.
- Física, Núcleo De Aptidão. “ESTIMATIVA DO EQUIVALENTE METABÓLICO (MET) DE UM PROTOCOLO DE EXERCÍCIOS FÍSICOS BASEADA NA CALORIMETRIA INDIRETA.” 19 (2013): 3–6. Print.
- GIANT. “Giant 27.5 Ride without Limits.” *Giant Bicycles*. N.p., 2013. Web. 30 Nov. 2015.
- González Oropeza, Rogelio. “Los Ciclos de Manejo , Una Herramienta Útil Si Es Dinámica Para Evaluar El Consumo de Combustible Y Las Emisiones Contaminantes Del Auto Transporte.” *INGENIERÍA Investigación y Tecnología* VI.3 (2005): 147–162. Print.
- Gross, Albert. “The Aerodynamics of Human-Powerered Land Vehicles.” : n. Pag. Print.
- Movere. “Red de Ciclovías Urbanas de Cuenca.” N.p., n.d. Web. 30 Nov. 2015.
- Plan de movilidad de Cuenca. “Plan de Movilidad de Cuenca 2015-2025.” I (2015): n. Pag. Print.
- Sandí, Raziél Farid Sanabria. “DESARROLLO DE UN CICLO DE CONDUCCIÓN PARA LA CIUDAD DE SAN JOSÉ DE COSTA RICA.” *Universidad de Costa Rica* 1–15. Print.
- Scott. “Scott-Sports.” N.p., n.d. Web. 12 Apr. 2016.
- TELOGIS. “HOW DOES GPS TRACKING REPORT ON SPEEDING?” N.p., 2014. Web. 30 Nov. 2015.
- “The Compendium of Physical Activities Tracking Guide.” (2000): 1–12. Print.

ANEXOS

Anexo 1- 1 Coeficiente de resistencia a la rodadura y coeficiente aerodinámico

56 HUMAN POWERED VEHICLE PERFORMANCE											
DESCRIPTION	FORCES AT 20 MPH (POUNDS)	AERODYNAMIC DATA				ROLLING RESISTANCE COEFFICIENT	LEVEL GROUND, NO WINDS			EFFECT OF HILLS	
		DRAG COEFFICIENT C_D	FRONTAL AREA (FT ²) A	EFFECTIVE FRONTAL AREA (FT ²) $C_D A$	HORSEPOWER REQUIRED AT 20 MPH AS A PERCENTAGE OF THE TOURING MAN'S STRAIGHT BICYCLIST		ALL DAY TOURING SPEED AT 1.0 HORSE-POWER OUTPUT (MPH)	MAXIMUM SPEED WITH 1.0 HORSE-POWER OUTPUT (MPH)	STEADY SPEED UP A 5% GRADE AT 1.0 HORSE-POWER OUTPUT (MPH)	STEADY SPEED COASTING DOWN A 5% GRADE (MPH)	
STANDARD BICYCLES	BMX (YOUTH OFF ROAD RACER) 30 LB BIKE 120 LB RIDER 20" DIA. 40PSI KNobby TIRES	 5.52 ← 2.10	1.1	4.9	5.4	.014	146%	10.1	27.8	12.2	19.8
	EUROPEAN UPRIGHT COMMUTER 40 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 40 PSI TIRES	 6.14 ← 1.20	1.1	5.5	6.0	.006	140%	11.3	27.6	10.9	24.0
	TOURING (ARMS STRAIGHT) 25 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 90 PSI CLINCHER TIRES	 4.40 ← .83	1.0	4.3	4.3	.0045	100%	13.1	31.1	12.2	27.7
	RACING (FULLY CROUCHED) 20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 90 PSI SEWUP TIRES	 3.48 ← .54	.88	3.9	3.4	.003	77%	14.7	33.9	13.0	31.2
PROVED PRODUCTION	AEROCOMPONENT (FULLY CROUCHED) 20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105 PSI SEWUP TIRES	 3.27 ← .54	.83	3.9	3.2	.003	73%	15.0	34.6	13.0	32.2
	PARTIAL FAIRING (ZZIPPER) CROUCHED 21 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105 PSI SEWUP TIRES	 2.97 ← .54	.70	4.1	2.9	.003	67%	15.4	35.7	13.1	33.9
	RECUMBENT (EASY RACER) 27 LB BIKE 160 LB RIDER 27" REAR 20" FRONT 90 PSI CLINCHERS	 2.97 ← .94	.77	3.8	2.9	.005	75%	14.4	35.2	12.5	33.7
	TANDEM 42 LB BIKE TWO 160 LB RIDERS 27" DIA. 90 PSI CLINCHERS (181 LBS PER PERSON)	 5.32 (2.66) ← 1.62 (.81)	1.0	5.2	5.2 (2.6 per person)	.0045	66%	15.2	36.6	13.0	35.2
RECORD HPV'S	DRAFTING 20 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 105 PSI SEWUP TIRES CLOSELY FOLLOWING ANOTHER BICYCLIST	 1.94 ← .54	.50	3.9	1.9	.003	47%	17.5	41.0	13.6	41.7
	BLUE BELL 2 WHEELED SINGLE RIDER 40 LB BIKE 160 LB RIDER 27" REAR 20" FRONT 105 PSI SEWUPS	 .61 ← .80	.12	7.3 5.0	.6	.004	27%	22.5	58.6	12.9	77.4
	KYLE 2 WHEELED TWO RIDERS 52 LB BIKE TWO 180 LB RIDERS 27" DIA. 105 PSI SEWUPS (186 LBS PER PERSON)	 1.44 (.72) ← 1.12 (.56)	.2	7.0	1.4 (.7 per person)	.003	24%	23.3	56.6	14.0	69.9
	VECTOR SINGLE TRIKE 58 LB BIKE 190 LB RIDER SEWUPS 27" REAR 24" FRONT	 .51 ← 1.02	.11	4.56	.5	.0045	29%	21.8	61.2	11.3	90.1
RETICAL LIMITS	VECTOR TANDEM TRIKE 75 LB BIKE TWO 160 LB RIDERS 24" SEWUPS (191 LBS PER PERSON)	 .52 (.31) ← .13 (.178) (.89)	.13	4.7	.6 (.3 per person)	.0045	23%	25.6	72.5	13.0	108.4
	PERFECT BIKE NO ROLLING RESISTANCE ZERO DRAG ON ENTIRE BIKE DRAG OF HUMAN ONLY IN TOURING POSITION	 3.07 ← 0	.8	3.8	3.0	0	59%	16.7	35.9	13.4	34.7
	DRAGLESS HUMAN ZERO DRAG ON HUMAN DRAG OF BIKE ONLY ROLLING RESISTANCE INCLUDES HUMAN'S WEIGHT	 1.33 ← .81	1.1	1.2	1.3	.0045	41%	18.4	45.8	13.3	50.3
	PERFECT RECUMBENT DRAG ON FLAT ON BACK HUMAN ONLY	 .72 ← 0	.6	1.2	.7	0	14%	27.1	58.3	16.8	66.9
TF	PERFECT PRONE BIKE DRAG ON 109 LB SMALL BUT POWERFUL HUMAN ONLY	 .51 ← 0	.6	.8	.5	0	10%	30.4	65.3	23.2	65.3
	PERFECT PRONE STREAMLINER	 .07 ← 0	.05	1.4	.07	0	1%	58.3	125.9	25.6	174.5
	MOTOR PACED 42 LB BIKE 160 LB RIDER VEHICLE BREAKS AIR FOR RIDER) MOTORCYCLE (ROAD RACING TIRES)	 0 ← 1.21	—	—	VARIABLES WITH SPEED MINUS OVER 100 MPH	.006	23%	29.4	294.0	12.6	∞
MOON BIKE 25 LB BIKE 160 LB RIDER 27" DIA. 90 PSI CLINCHERS 1/6 g ENVIRONMENT	 0 ← .15	—	—	0	.0045	3%	237.5	2,375	78.4	∞	

Fuente: (Gross)

Anexo 1- 2 Índice metabólico MET

The Compendium of Physical Activities Tracking Guide

KEY

Blue text = new activity was added to the description of that specific compendium code

If compcode and METS columns are blank under 1993 this means that the 2000 compcode and METS was added to the new addition to the com

If compcode and METS columns are blank under 2000 this means that the 1993 compcode and METS was removed from the new addition of the

1993		2000		heading	description
compcode	METS	compcode	METS		
01009	8.5	01009	8.5	bicycling	bicycling, BMX or mountain
01010	4.0	01010	4.0	bicycling	bicycling, <10 mph, leisure, to work or for pleasure (Taylor Code 115)
		01015	8.0	bicycling	bicycling, general
01020	6.0	01020	6.0	bicycling	bicycling, 10-11.9 mph, leisure, slow, light effort
01030	8.0	01030	8.0	bicycling	bicycling, 12-13.9 mph, leisure, moderate effort
01040	10.0	01040	10.0	bicycling	bicycling, 14-15.9 mph, racing or leisure, fast, vigorous effort
01050	12.0	01050	12.0	bicycling	bicycling, 16-19 mph, racing/not drafting or >19 mph drafting, very fast
01060	16.0	01060	16.0	bicycling	bicycling, >20 mph, racing, not drafting
01070	5.0	01070	5.0	bicycling	unicycling
02010	5.0	02010	7.0	conditioning exercise	bicycling, stationary, general
02011	3.0	02011	3.0	conditioning exercise	bicycling, stationary, 50 watts, very light effort
02012	5.5	02012	5.5	conditioning exercise	bicycling, stationary, 100 watts, light effort
02013	7.0	02013	7.0	conditioning exercise	bicycling, stationary, 150 watts, moderate effort
02014	10.5	02014	10.5	conditioning exercise	bicycling, stationary, 200 watts, vigorous effort
02015	12.5	02015	12.5	conditioning exercise	bicycling, stationary, 250 watts, very vigorous effort
02020	8.0	02020	8.0	conditioning exercise	calisthenics (e.g. pushups, situps, pullups, jumping jacks), heavy, vigorous
02030	4.5	02030	3.5	conditioning exercise	calisthenics, home exercise, light or moderate effort, general (example
02040	8.0	02040	8.0	conditioning exercise	circuit training, including some aerobic movement with minimal rest , ge
02050	6.0	02050	6.0	conditioning exercise	weight lifting (free weight, nautilus or universal-type), power lifting or b
02060	5.5	02060	5.5	conditioning exercise	health club exercise, general (Taylor Code 160)
02065	6.0	02065	9.0	conditioning exercise	stair-treadmill ergometer, general
02070	9.5	02070	7.0	conditioning exercise	rowing, stationary ergometer, general
02071	3.5	02071	3.5	conditioning exercise	rowing, stationary, 50 watts, light effort
02072	7.0	02072	7.0	conditioning exercise	rowing, stationary, 100 watts, moderate effort
02073	8.5	02073	8.5	conditioning exercise	rowing, stationary, 150 watts, vigorous effort
02074	12.0	02074	12.0	conditioning exercise	rowing, stationary, 200 watts, very vigorous effort
02080	9.5	02080	7.0	conditioning exercise	ski machine, general
02090	6.0	02090	6.0	conditioning exercise	slimnastics, jazzercise
02100	4.0	02100	2.5	conditioning exercise	stretching, hatha yoga
		02101	2.5	conditioning exercise	mild stretching
02110	6.0	02110	6.0	conditioning exercise	teaching aerobic exercise class
02120	4.0	02120	4.0	conditioning exercise	water aerobics, water calisthenics
02130	3.0	02130	3.0	conditioning exercise	weight lifting (free, nautilus or universal-type), light or moderate effort, l
02135	1.0	02135	1.0	conditioning exercise	whirlpool, sitting
03010	6.0	03010	4.8	dancing	ballet or modern, twist, jazz, tap, jitterbug
03015	6.0	03015	6.5	dancing	aerobic, general
		03016	8.5	dancing	aerobic step with 6 – 8 inch step

Fuente: (“The Compendium of Physical Activities Tracking Guide”)