

ANEXO I: TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS EN EL USO DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA

Diciembre 2011



Índice

Introducción	Pág. 2
La bicicleta eléctrica	Pág. 3
Experiencia-1 : Bicicleta eléctrica vs. Bicicleta convencional.....	Pág. 6
Experiencia-2 : Autonomía de la bicicleta eléctrica en condiciones normales de uso	Pág. 16
Experiencia-3 : Comportamiento de la batería en condiciones ideales	Pág. 21



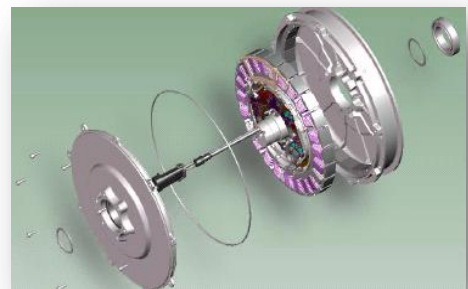
INTRODUCCIÓN

El presente documento trata de describir las experiencias realizadas con el uso de una bicicleta eléctrica. Dichas experiencias comparten el objetivo común de obtener datos y dar respuesta a las múltiples dudas que pueden surgir en lo referente a este tipo de vehículos.

Aunque la mayoría de los datos obtenidos son esperados y, en muchos casos, pueden obtenerse de manera teórica, la idea pretende la realización de estos experimentos empíricos con el fin de obtener datos reales en diferentes condiciones de uso de una bicicleta. Con medios suficientes y adecuados, estas demostraciones pueden ser realizadas de una manera mucho más completa y ajustada. En nuestro caso emplearemos elementos a nuestro alcance, de manera que los resultados obtenidos sean lo más científicos y, sobre todo, demostrativos posibles.

A continuación presentaremos, uno por uno, los diferentes ensayos realizados, así como materiales empleados para la realización de los mismos. Analizaremos, además, los datos obtenidos y expondremos las conclusiones conseguidas en cada uno de los experimentos.

Antes de pasar a describir los experimentos creemos conveniente un apartado que nos describa brevemente los usos y posibilidades de las bicicletas eléctricas.





LA BICICLETA ELÉCTRICA

POSIBILIDADES DE USO DE UNA BICICLETA ELÉCTRICA

¿Por qué emplear bicicletas eléctricas?

La bicicleta es un vehículo ecológico que utiliza nuestra energía para su desplazamiento y apenas requiere mantenimiento. Para el uso diario presentan problemas relacionados con la necesidad de un buen estado de forma, con el sudor, etc. Las bicicletas eléctricas parecen representar la solución a estos problemas ofreciendo enormes ventajas para medios y cortos recorridos. Los costes de utilización son mucho menores que los de los coches y nos permiten recorrer más distancia en menos tiempo que una bicicleta normal con un esfuerzo físico menor. Estas características cobran mayor importancia en Galicia si nos fijamos en la orografía de sus ciudades.

Consideraciones legales

Por lo general, para conducir una bicicleta eléctrica, al igual que una convencional, no se requiere ni seguro, ni carné de conducir, ni documentación. Sin embargo, deben cumplir una serie de requisitos:

- Motor de 250 W nominales de potencia máxima, con asistencia que se interrumpa al superar los 25 km/h o al dejar de pedalear.
- Tiene que disponer de dos frenos (delante y atrás) y refractante trasero.
- Deben estar autorizadas para su distribución por el Ministerio de Industria.

Consideraciones prácticas

En ningún caso debemos olvidar que una bicicleta eléctrica tiene que seguir siendo, ante todo, una bicicleta a la que se le incorporó una batería y un motor. Por eso incluso, antes de comprar una o adaptar la que tenemos para convertirla en eléctrica, tenemos que tener claro el uso al que la vamos destinar para escoger el modelo que mejor se adapte nuestras necesidades.



Funcionamiento de una bicicleta eléctrica

El funcionamiento de las bicicletas eléctricas es muy sencillo, ya que como dijimos anteriormente, no deja de ser una bicicleta con una batería y un motor. Podemos distinguir entre dos tipos de bicicletas eléctricas:

- Bicicleta con sensor de par: La ayuda que nos ofrece el motor es proporcional a la fuerza que se ejerce sobre los pedales, por lo que para conseguir una asistencia contundente, hay que hacer un esfuerzo contundente.
- Bicicleta de movimiento con regulador: Un sensor situado en los pedales hace que se active la asistencia al pedalear. Algunas bicicletas con este sistema te permiten regular la asistencia en varios niveles.

Algunos fabricantes incorporan en las bicicletas un acelerador independiente del pedaleo que por lo general, sólo puede ser empleado para uso fuera de las vías públicas. Es una buena opción, ya que facilita las salidas en los cruces, semáforos o subidas y proporciona un mayor control.

Bicicleta eléctrica de Sotavento

La bicicleta eléctrica que se utilizó en los estudios descritos en este documento, es una bicicleta que cumple las consideraciones legales, con una batería de 250 W, motor en la rueda trasera, acelerador independiente al pedaleo, pantalla de control de asistencia y batería de litio-ion.



EXPERIENCIA-1

Bicicleta eléctrica vs. Bicicleta convencional

EXPERIENCIA 1: Bicicleta eléctrica vs. Bicicleta convencional

Objetivos

Obtener una comparativa detallada y en condiciones reales, para un mismo recorrido, entre una bicicleta eléctrica y una bicicleta convencional.

Materiales empleados

BICICLETA ELÉCTRICA: Yamimoto Swift distribuida por Norbike con las siguientes características:

Peso	26 kg
Batería	Litio de 250 W, 36 V y 10 Ah
Peso Batería	2,8 kg
Autonomía (según fabricante)	Hasta 70 km
Tiempo de recarga máx.	3 h
Diámetro de rueda	26"
Grosor de rueda	1,75"

BICICLETA CONVENCIONAL: Bicicleta de montaña KTM Lycan 3.0 de doble suspensión y con las siguientes características:

Peso	12,5 kg
Diámetro de rueda	26"
Grosor de rueda	2,35"

APARATO DE MEDICIÓN: GPS Garmin Edge 705 con sensor de cadencia y pulsímetro.

MEDIDOR DE ENERGÍA avidsen.



Metodología

La prueba se realizó con la participación de una misma persona con similares condiciones meteorológicas y en el mismo horario. El ciclista es un hombre adulto de 1,70 m de altura y 80 kg de peso.

Se escogió para la prueba un recorrido de unos 21 km con un perfil moderado y se mantuvo una velocidad media similar en ambas bicicletas con el fin de obtener unos datos comparables.

El selector de la bicicleta eléctrica estuvo en todo momento en la posición "apoyo máximo al pedaleo", sin realizar el ciclista ningún sobreesfuerzo durante el recorrido.

Al final del recorrido con cada una de las bicicletas se procedió a la descarga de datos del GPS y a su estudio.

Pasos y Toma de Datos

Los pasos a seguir para la realización del ensayo han sido los siguientes:

PASO 1: Colocación del aparato de medición (GPS y sensor de cadencia) en la bicicleta eléctrica para poder realizar la toma de datos. El ciclista llevaba, además, un pulsímetro.



PASO 2: El ciclista comienza el viaje desde Sotavento a Villalba con la bicicleta configurada para que el apoyo eléctrico al pedaleo fuese máximo, de manera que el esfuerzo físico a realizar fuese mínimo.



PASO 3: Una vez en el punto de destino, se procedió a la descarga de los datos obtenidos por el GPS.



PASO 4: El sistema de medición de la bicicleta eléctrica se colocó en la bicicleta convencional para repetir el mismo trayecto que el día anterior.



PASO 5: Se repitió el recorrido, tratando de mantener una velocidad media lo más próxima posible a la del día anterior.



PASO 6: Tras llegar al punto de destino se realizó de nuevo la descarga de datos del GPS para este recorrido en la bicicleta convencional y la recarga de la batería para calcular el consumo y el gasto de la misma.

Análisis de resultados

Las gráficas facilitadas por el GPS para ambos recorridos son las que se muestran a continuación:

Información del recorrido

Información general	
Distancia total	21,288
Desn. de subida acumulado	258,3
Desn. de bajada acumulado	432,77
Altura máxima	649,62
Altura mínima	426,03

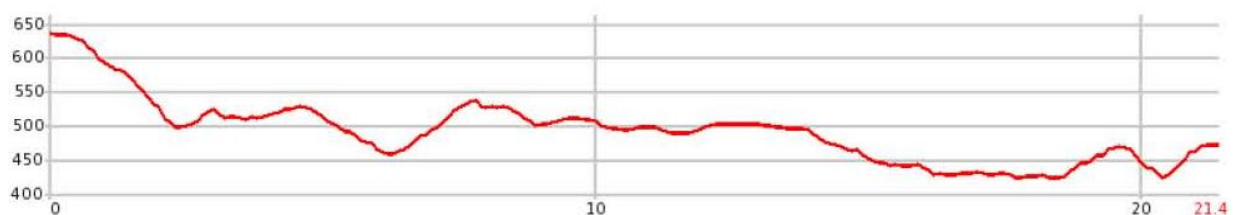
Subidas	Km	% del total	Observaciones
Entre el 1 y el 5%	3,804	17,87	
Entre el 5 y el 10%	2,091	9,82	
Entre el 10 y el 15%	0,038	0,18	
Entre el 15 y el 30%	0	0	
Errores de track	0	0	Descartados en IBP y en perfil
Total*	5,933	27,87	Tras corregir errores
Ratio de subida		4,35	

Bajadas	Km	% del total	Observaciones
Entre el 1 y el 30%	9,913	46,56	
Errores de track	0	0	Descartados en IBP y en perfil
Total*	9,913	46,56	Tras corregir errores
Ratio de bajada		4,37	

* El total no ha de coincidir necesariamente con la suma de los parciales tras la corrección de errores

Llano	Km	% del total	Observaciones
Desniveles del 1%	5,443	25,57	

Perfil del terreno



Datos obtenidos con la bicicleta eléctrica

Tiempos	Km	Observaciones
Tiempo total	0:50:32	
Tiempo llaneando	0:10:11	
Tiempo subiendo	0:21:26	
Tiempo bajando	0:18:55	
Tiempo parado	0:00:00	Velocidad inferior a 1 Km/h o distancia entre puntos 0 m.

Velocidades	Km/h	Observaciones
Velocidad media	25,37	Descontado tiempo parado
Velocidad media total	25,37	
Velocidad máxima	57,82	Sostenida varios puntos de track

Datos obtenidos con la bicicleta convencional

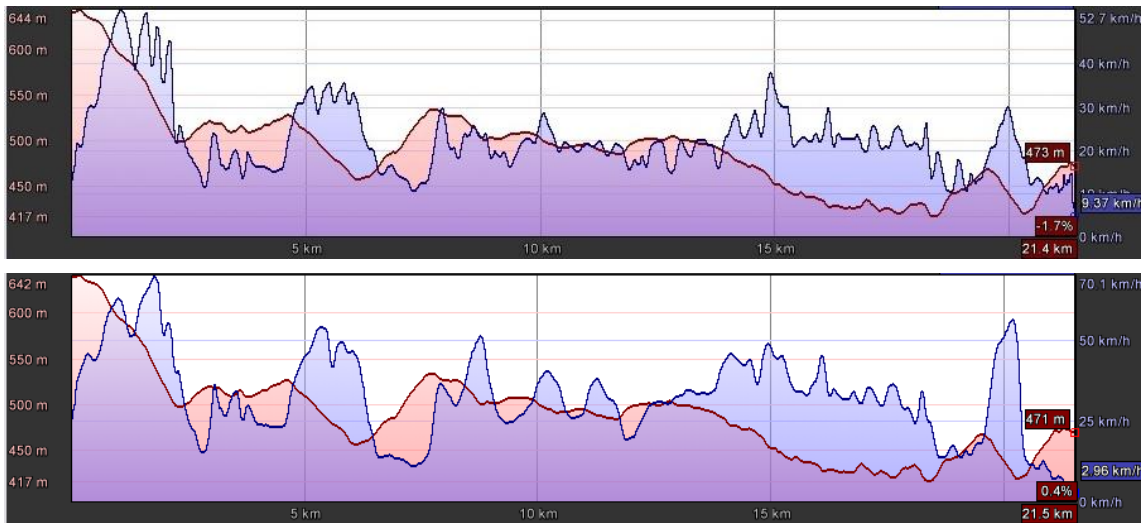
Tiempos	Km	Observaciones
Tiempo total	0:50:49	
Tiempo llaneando	0:10:45	
Tiempo subiendo	0:24:59	
Tiempo bajando	0:15:04	
Tiempo parado	0:00:00	Velocidad inferior a 1 Km/h o distancia entre puntos 0 m.

Velocidades	Km/h	Observaciones
Velocidad media	25,37	Descontado tiempo parado
Velocidad media total	25,37	
Velocidad máxima	70,18	Sostenida varios puntos de track

Si resumimos los datos obtenidos por el GPS y añadimos los datos facilitados por el pulsímetro, obtenemos la siguiente tabla comparativa:

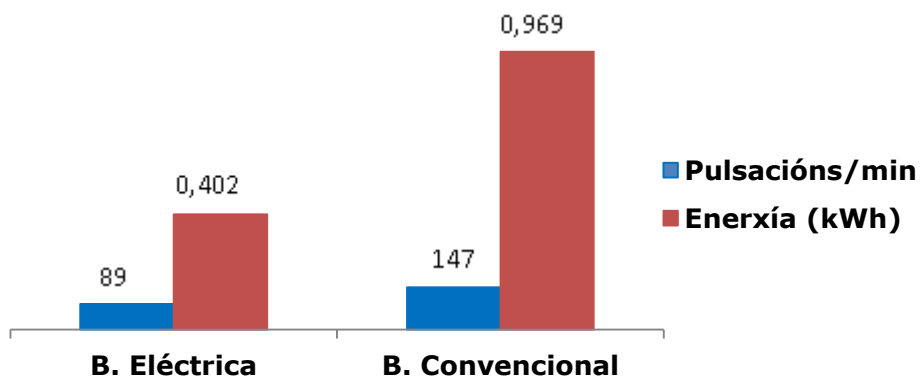
	Bicicleta eléctrica	Bicicleta convencional
Tiempo total (min:seg)	50:32	50:49
Velocidad media (km/h)	25,37	25,37
Velocidad máxima (km/h)	57,82	70,18
Frecuencia cardíaca media (pulsaciones por minuto)	89	147
Energía consumida por el ciclista (kWh)	0,402	0,969

A continuación mostramos los perfiles del terreno de ambos trayectos (línea roja) con la velocidad en cada momento (línea azul). El primero se corresponde con el recorrido en la bicicleta eléctrica y el segundo con la bicicleta convencional. Puede observarse que con la bicicleta eléctrica se consiguieron velocidades más elevadas en los tramos de subida, mientras que en las bajadas, la velocidad fue superior con la bicicleta convencional. Esto se debe, posiblemente a las geometrías particulares de cada una de las bicicletas que determinan la posición del ciclista además de las ruedas, frenos y la amortiguación contando la convencional con un equipamiento muy superior.



La distancia total recorrida fue de aproximadamente 21,3 km con pronunciadas subidas y bajadas. La autonomía de la bicicleta eléctrica fue más que suficiente para recorrer esta distancia.

En la siguiente gráfica se representa la energía consumida por el ciclista durante la prueba y el ritmo cardíaco medio del mismo según los datos del pulsímetro.



Observando la gráfica, comprobamos que el ciclista fue mucho más descansado en la bicicleta eléctrica (89 pulsaciones por minuto) que en la convencional (147 pulsaciones por minuto), gastando mucha más energía en esta última.

Los datos obtenidos tras la recarga de la batería después de la realización del recorrido son los siguientes:

Tiempo de recarga (h:min)	2:13
Consumo eléctrico en el recorrido (kWh)	0,187 kWh
Coste de la recarga (€)	0,03 €

Experiencias del usuario

En este apartado vamos a incluir las experiencias del ciclista durante el trayecto realizado en la bicicleta eléctrica. Por lo tanto:

- El ciclista opina que la bicicleta eléctrica ayuda a realizar un trayecto más o menos largo de manera descansada y sin necesidad de realizar grandes esfuerzos.
- Como principal desventaja, destaca la incomodidad del sillín, ya que para recorridos largos su diseño no es el más adecuado. Por el contrario, el manejo de los cambios es bastante cómodo.
- El apoyo eléctrico se produce sobre todo en situaciones de subida donde el usuario circula con relaciones de marchas más cortas. Por el contrario, en terreno llano y lógicamente en bajada el apoyo casi desaparece.
- Dados los componentes del modelo probado y su geometría, se trata de una bici configurada para circular despacio por vías asfaltadas y sin muchos obstáculos dada la dificultad de maniobra.

Conclusiones

Tras el estudio realizado llegamos a las siguientes conclusiones:

- Es más fácil alcanzar una velocidad media más elevada en la bicicleta eléctrica que en una convencional.
- La bicicleta eléctrica está especialmente indicada para recorridos urbanos o interurbanos de corta distancia (10-15 km), ya que en desplazamientos largos no resulta especialmente cómoda por su geometría y componentes.
- La bicicleta eléctrica es un buen sustituto del coche en las ciudades y para desplazarse al lugar de trabajo cuando la distancia a este no sea muy superior a los 20 km totales (ida y vuelta), ya que el apoyo eléctrico nos permite realizar el recorrido sin esfuerzos significativos.
- De los datos recogidos se concluye que el uso del apoyo al pedaleo reduce el consumo energético del ciclista en un 58,5 % y reduce las pulsaciones medias por minuto en un 38,5 % para un mismo recorrido y una misma velocidad.
- El uso de la bicicleta eléctrica es una alternativa muy económica y funcional al uso de un vehículo de combustión para pequeños recorridos.
- Como ya comentamos, el modelo probado dificulta los descensos a gran velocidad, debido a su inestabilidad y mala repartición de los pesos. En otros modelos eléctricos, el motor y la transmisión se encuentran en ejes distintos con lo que el peso y la tracción se reparten.
- El uso de la bicicleta eléctrica y su recarga resulta muy sencillo para el usuario. La posibilidad de retirar la batería mejora la protección ante posibles robos así como el propio inmovilizador que viene montado de serie.

Reduce el consumo energético del ciclista en un 58,5 % y reduce las pulsaciones medias por minuto en un 38,5 % para un mismo recorrido y una misma velocidad



EXPERIENCIA-2

**Autonomía de la
bicicleta eléctrica
en condiciones
normales de uso**

EXPERIENCIA 2: Autonomía de la bicicleta eléctrica en condiciones normales de uso

Objetivos

Obtener datos de autonomía y comportamiento de la batería eléctrica en condiciones normales de uso, es decir, en un terreno con perfil moderado y suficientemente largo como para agotar por completo la carga. Se pretende, además, obtener datos relativos al coste de la recarga para este recorrido.

Materiales utilizados

BICICLETA ELÉCTRICA: Yamimoto Swift distribuída por Norbike con las siguientes características:

Peso	26 kg
Batería	Litio de 250 W, 36 V y 10 Ah
Peso Batería	2,8 kg
Autonomía (según fabricante)	Hasta 70 km
Tiempo de recarga máx.	3 h

APARATO DE MEDICIÓN: GPS Garmin Edge 705 con sensor de cadencia y pulsímetro.

MEDIDOR DE ENERGÍA avidsen.



Metodología

La prueba la realizó un ciclista adulto de 1,70 m de altura y 80 kg de peso.

Se escogió para la prueba un tramo con un perfil moderado y se recorrió en la bicicleta eléctrica con el selector en la posición de "apoyo máximo al pedaleo", de manera que el ciclista no tuvo que realizar sobreesfuerzos en ningún momento del recorrido.

Tras finalizar la prueba en el punto en el que el motor eléctrico dejó de asistir al ciclista, se procedió a la toma de datos referentes al consumo y tiempo de recarga de la batería eléctrica.

Pasos y Toma de Datos

A continuación se enumerarán los pasos que se siguieron para la realización de este ensayo:

PASO 1: Se cargó completamente la batería eléctrica con el fin de obtener datos significativos de autonomía y coste de la recarga de la misma.

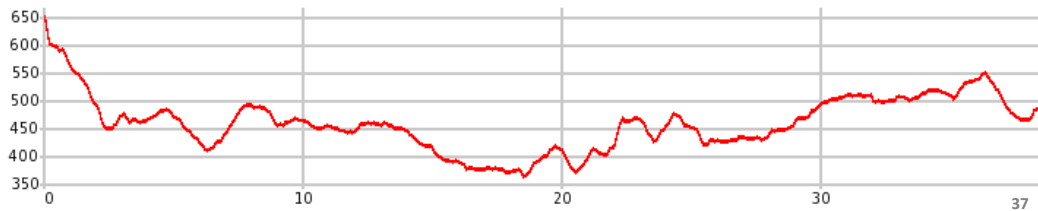
PASO 2: El ciclista sale de Sotavento con la bicicleta configurada para un apoyo máximo al pedaleo, de manera que el esfuerzo físico a realizar fuese mínimo.



PASO 3: El ciclista continuó el viaje hasta agotar por completo la batería de la bicicleta y procedió a la descarga de los datos proporcionados por el aparato de medición.

Análisis de resultados

El perfil del terreno facilitado por el aparato de medición para el trayecto realizado en este ensayo es el siguiente:



En la siguiente tabla se muestran los datos numéricos del recorrido realizado para esta prueba:

Distancia total (km)	37,812
Desn. Subida acumulado (m)	562,84
Desn. Bajada acumulado (m)	720,41
Tiempo total (hh:min:seg)	1:35:57
Velocidad media (km/h)	23,63

Los datos referentes al tiempo de recarga y consumo de la recarga completa de la batería son los siguientes:

Tiempo de recarga (h:min)	3:04
Consumo eléctrico (kWh)	0,250 kWh
Coste de la recarga (€)	0,04 €

Conclusiones

Analizando los datos obtenidos en la prueba podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- La autonomía de la bicicleta eléctrica para este recorrido concreto en condiciones normales de uso, fue de casi 38 km, por lo que la bicicleta eléctrica resulta adecuada para realizar a diario distancias cortas.
- El coste económico del recorrido, en lo que se refiere a la recarga de la batería, fue de unos 4 céntimos, mucho menos del que gastaría cualquier vehículo de combustión interna. Si extrapolamos este dato a 100 km, el gasto sería de unos 0,10 €, frente a los 8,16 € de un coche diesel y 10,23 € de uno de gasolina.
- La velocidad media de la prueba fue de 23,63 km/h.
- La parada del apoyo de la bicicleta se produce de manera repentina, es decir, en un momento dado deja de apoyarte por completo, no disminuye de manera progresiva.
- Como ya vimos en otras experiencias esta bicicleta eléctrica no está pensada para el deporte ni para largas distancias, ya que una vez agotada la batería, su elevado peso y geometría hacen complicado su manejo.

La autonomía de la bicicleta eléctrica en un perfil moderado ronda los 40 km y tiene un coste cada 100 km de unos 0,10 €, lo que significa 8,06 € menos que un coche diésel y 10,13 € menos que uno de gasolina para la misma distancia.



EXPERIENCIA-3

**Comportamiento de
la batería en
condiciones ideales**

EXPERIENCIA 3: Comportamiento de la bicicleta eléctrica en condiciones ideales (sin rozamiento)

Objetivos

Obtener datos de duración y comportamiento de la carga de la batería de la bicicleta eléctrica en condiciones ideales, es decir, sin rozamiento. Para esto la colocaremos sobre un rodillo de entrenamiento y realizamos la toma de datos cada 15 minutos.

Materiales utilizados

BICICLETA ELÉCTRICA: Yamimoto Swift distribuida por Norbike con las siguientes características:

Peso	26 kg
Batería	Litio de 250 W, 36 V y 10 Ah
Peso Batería	2,8 kg
Autonomía (según fabricante)	Ata 70 km
Tiempo de recarga máx.	3 h

APARATO DE MEDICIÓN: Cuentaquilómetros DC4 S de la marca bTwin.

RODILLO DE ENTRENAMIENTO: VFS (Variable Fluid System) de la marca Minoura.



Metodología

La prueba se realizó estudiando el comportamiento de la bicicleta eléctrica en condiciones de roce cero, en aceleración continua y bajo la medición constante del cuentakilómetros.

Para este estudio, se colocó la bicicleta eléctrica sobre un rodillo entrenador, de manera que la rueda trasera se mantuviera en el aire para girar en vacío. Mediante cinta adhesiva, se mantuvo durante toda la prueba la bicicleta en aceleración continua y se tomaron datos de kilometraje y velocidad cada 15 minutos.

Tras que agotarse por completo la batería, se procedió a la elaboración de una hoja Excel con los datos obtenidos para poder ser evaluados.

Pasos y Toma de Datos

Los pasos a seguir para la realización del ensayo fueron los siguientes:

PASO 1: Carga completa de la batería eléctrica para obtener datos significativos de autonomía.

PASO 2: Se colocó la rueda trasera de la bicicleta eléctrica sobre un rodillo entrenador evitando el contacto con el suelo a la vez que se instala un cuentaquilómetros para poder realizar la toma de datos.



PASO 3: Se activó la ayuda eléctrica de la bicicleta y, mediante el uso de cinta adhesiva, se fijó el acelerador en la posición de máxima aceleración y se comenzó con la toma de datos.



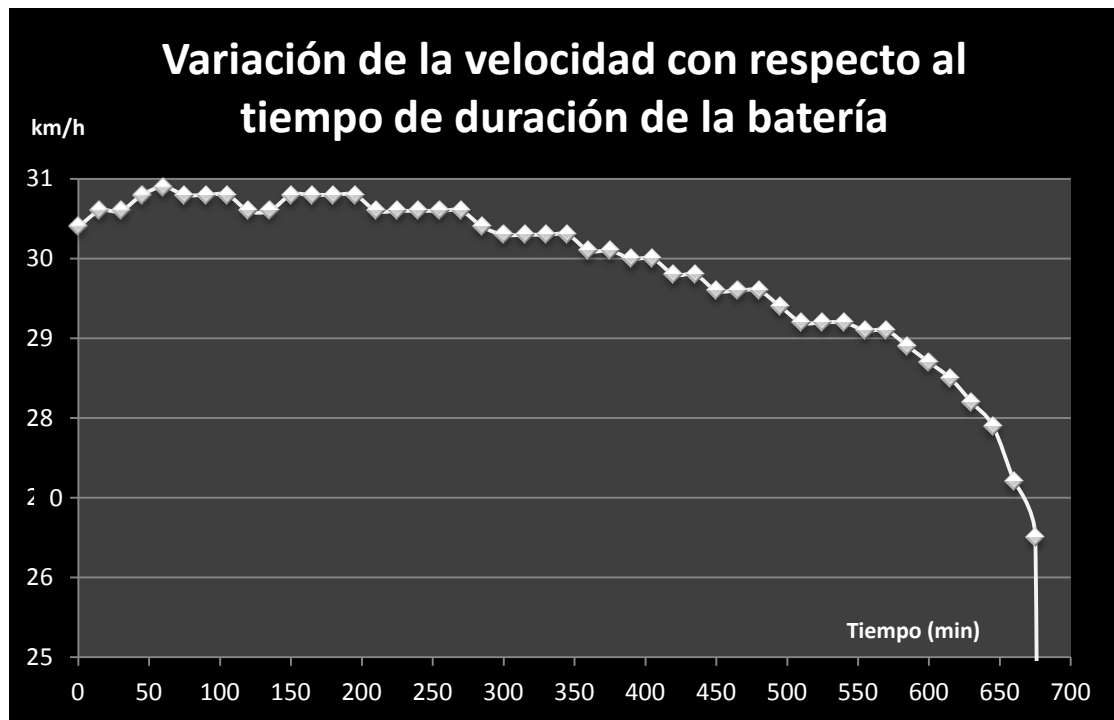
PASO 4: Recogida de datos relativos a la velocidad, tiempo y distancia cada 15 minutos.

Análisis de resultados

Los datos de tiempo, velocidad y distancia obtenidos en esta experiencia se muestran en la siguiente tabla:

TIEMPO (min)	VELOCIDAD (km/h)	DISTANCIA (km)
0	30,4	0
15	30,6	6,77
30	30,6	14,31
45	30,8	21,99
60	30,9	29,68
75	30,8	37,44
90	30,8	45,31
105	30,8	53,24
120	30,6	61,05
135	30,6	68,73
150	30,8	76,54
165	30,8	84,20
180	30,8	91,73
195	30,8	98,94
210	30,6	106,60
225	30,6	114,28
240	30,6	121,94
255	30,6	129,52
270	30,6	137,26
285	30,4	144,76
300	30,3	152,38
315	30,3	160,01
330	30,3	167,51
345	30,3	175,12
360	30,1	182,67
375	30,1	190,14
390	30,0	197,70
405	30,0	205,24
420	29,8	212,71
435	29,8	220,12
450	29,6	227,59
465	29,6	235,00
480	29,6	242,39
495	29,4	249,73
510	29,2	256,96
525	29,2	264,28
540	29,2	271,64
555	29,1	279,05
570	29,1	286,46
585	28,9	293,79
600	28,7	300,63
615	28,5	307,93
630	28,2	315,05
645	27,9	322,26
660	27,2	329,20
675	26,5	335,81
680 (11 H 20 MIN)	0,0	337,67 km

El gráfico que se muestra a continuación, nos ofrece una relación entre el tiempo del uso de la bicicleta eléctrica y la velocidad de la misma en cada momento.



Conclusiones

Tras el análisis de los datos obtenidos, llegamos a las siguientes conclusiones:

- En condiciones ideales (sin rozamiento), la batería eléctrica sería capaz de recorrer una distancia de 337,67 km durante 11 h y 20 minutos.
- La velocidad máxima conseguida por la bicicleta en este ensayo fue de 30,9 km/h, alcanzada una hora después de empezar la prueba.
- La parada se produce de manera repentina y no progresiva.
- La velocidad media durante la prueba fue de 29,88 km/h.
- La variabilidad máxima de las velocidades conseguidas es de 4,4 km/h.

La velocidad media empieza a reducirse al consumirse el 29% de la carga de la batería, y se reduce más drásticamente al agotarse el 85% de la misma.