

**CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO MOTRIZ PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN UNA BICICLETA FIJA**

LUIS MIGUEL ZABALA GUALTERO

LUIS ALEJANDRO PEÑARANDA RINCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2015

**CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO MOTRIZ PARA LA
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN UNA BICICLETA FIJA**

LUIS MIGUEL ZABALA GUALTERO

LUIS ALEJANDRO PEÑARANDA RINCÓN

Trabajo de grado para optar al título de

Ingeniero Mecánico

Director

JORGE LUIS CHACÓN VELASCO

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2015

Dedicatoria

A mi abuelo, Juan N. Gualtero por ser el cimiento de mi formación y fuente de
inspiración

A mi abuela, Clara Alvira por ser mi fortaleza y siempre creer en mi

A mi madre, Sol Marina Gualtero por ser mi guía y apoyo incondicional

A mi hermana, Jenifer por la ayuda constante y siempre estar ahí

A Nataly por estar conmigo en el proceso de esta meta

Y a Luis Alejandro por sus soluciones esporádicas

Luis Miguel Zabala Gualtero

Dedicatoria

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta
ahora

En segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia

A mi padre, Luis Francisco Peñaranda Galvis

A mi madre, Carmenza María Rincón López

A mis hermanos y a todos mis amigos involucrados en este proceso de formación,
por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y
llevado hasta donde estoy ahora

Por último, a mi compañero de tesis Luis Miguel Zabala Gualtero porque en esta
armonía grupal lo hemos logrado

Luis Alejandro Peñaranda Rincón

Agradecimientos

Agradecemos, a todos los docentes que contribuyeron en nuestra formación académica, para ser unos profesionales dignos de ser UIS.

Al laboratorio de Automatización Industrial y al ingeniero Jorge Enrique Meneses por permitirnos utilizar los equipos necesarios para las pruebas del proyecto.

A Nataly Julieth Ramírez López, Jenifer Milena Zabala Gualtero y Francisco Peñaranda Rincón por poner sus manos para culminar el proyecto.

Al ingeniero Jorge Luis Chacón por motivarnos y exigirnos para realizar un buen proyecto.

Al rector Álvaro Ramírez García por permitirnos conocer avances en la investigación de energías renovables en otros países.

A la Universidad Industrial de Santander por ser nuestra alma mater y brindarnos el refugio bajo su seno para adquirir los conocimientos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	28
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	30
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	30
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	32
3. OBJETIVOS	33
3.1 OBJETIVO GENERAL	33
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
4. MARCO TEÓRICO.....	35
4.1 CÁLCULOS BÁSICOS.....	36
4.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	37
4.2.1 A nivel de Europa	37
4.2.2 A nivel de Asia	39
4.2.3 A nivel de Oceanía	40
4.2.4 A nivel de América	42
4.2.5 A nivel nacional	44
4.2.6 A nivel regional.....	45
4.3 REFERENTES TEÓRICOS.....	46
4.3.1 Bicicletas para hacer ejercicio	46
4.3.2 Fuerzas y movimiento en una bicicleta	48
4.3.3 Características de desempeño del grupo acople-generado	51
4.3.4 Generador eléctrico.....	52
4.3.5 Dínamo.....	53
4.3.6 Rectificador	53

4.3.7	Inversor	56
4.3.8	Transformador.....	58
4.3.9	Batería.....	61
4.3.10	Tabla comparativa de los diferentes tipos de pilas.....	63
5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	64
5.1	DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS	66
5.1.1	Alternativa I: Cálculos del juego de poleas.....	67
5.1.2	Alternativa II: Cálculo del acoplado como una bicicleta estática	73
5.1.3	Alternativa III: Cálculos por rozamiento.....	74
5.1.4	Comparación entre las tres opciones de diseño	76
5.1.5	Diseño, desarrollo e implementación de un software para calcular la velocidad necesaria de pedaleo (ω_4) y la potencia generada (P_{otm} y P_{ote})	77
5.2	DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GENERACIÓN.....	82
5.2.1	Diseño del inversor.....	83
5.2.2	Selección del inversor comercial.....	85
5.2.3	Selección de la batería.....	86
5.2.4	Diseño del rectificador.....	87
5.3	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	89
5.3.1	Diseño del medidor de la velocidad angular y distancia recorrida.....	90
5.3.2	Diseño del sistema de diagnóstico de la batería	91
5.3.3	Diseño e implementación de la IHM del Software BioExLU ²	93
5.4	SIMULACIÓN DEL DISEÑO SELECCIONADO	97
6.	CONSTRUCCIÓN	109
6.1	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	109

6.2	CONSTRUCCIÓN DEL INVERSOR.....	111
6.3	CONSTRUCCIÓN DEL RECTIFICADOR.....	115
6.4	CONSTRUCCIÓN DEL MEDIDOR DE VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA	118
6.5	CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DIAGNOSTICO DE BATERÍA....	119
6.6	ENSAMBLE TOTAL DEL SISTEMA	121
7.	PRUEBAS Y ENSAYOS.....	126
7.1	COMPARACIÓN INVERSOR DISEÑADO VS INVERSOR COMERCIAL.....	127
7.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE BATERÍA	134
7.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR DE VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA	135
7.4	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR	138
7.5	PRUEBAS DEL ENSAMBLE TOTAL.....	139
8.	CONCLUSIONES.....	155
9.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	158
	BIBLIOGRAFÍA.....	159
	ANEXOS.....	167

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Dinámica de pedaleo del usuario	35
Figura 2. Partes de una bicicleta estática	47
Figura 3. Fuerzas aplicadas en una bicicleta	49
Figura 4. Transmisión de velocidad	51
Figura 5. Diagrama de fuerzas durante el ciclo de pedaleo	52
Figura 6. Esquema de una dínamo	53
Figura 7. Diodo	54
Figura 8. Esquema de un transformador del tipo núcleo	59
Figura 9. Esquema de un transformador del tipo acorazado	60
Figura 10. Esquema de un transformador monofásico con carga	60
Figura 11. Diagrama de bloques del montaje total	66
Figura 12. Opciones de diseño	67
Figura 13. Esquema de las poleas	68
Figura 14. Correa A0 en V tipo A	70
Figura 15. Esquema del mecanismo de transmisión de la bicicleta	71
Figura 16. Relación entre engranajes de la bicicleta estática	73
Figura 17. Relación de la llanta de contacto para el rozamiento	74
Figura 18. Interfaz de velocidad necesaria	78
Figura 19a. Diagrama de funciones del software de cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada con botón "CALCULAR"	78

Figura 19b. Diagrama de funciones del software de cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada con botón "CALCULAR2"	79
Figura 20. Sistema simplificado de la segunda fase	83
Figura 21. Circuito del inversor	84
Figura 22. Circuito del rectificador	87
Figura 23. PCB de la baquelita para el rectificador	88
Figura 24. Sistema simplificado de la tercera fase	89
Figura 25. Optoacoplador en herradura	90
Figura 26. Esquema del medidor de velocidad angular y distancia recorrida	91
Figura 27. Esquema del sistema de diagnóstico de la batería	92
Figura 28. Pantallazo inicial del Software BioExLU ²	93
Figura 29. Diagrama de bloques del software BioExLU ²	94
Figura 30. Interfaz hombre-máquina del Software BioExLU ²	95
Figura 31. Base fija en SolidWorks	98
Figura 32. Montaje de la base fija en SolidWorks	98
Figura 33. Base fija	100
Figura 34. Aplicación de fuerzas en la base fija	101
Figura 35. Análisis de desplazamiento	101
Figura 36. Análisis de tensiones	102
Figura 37. Polea conducida	102
Figura 38. Aplicación de fuerzas en la polea conducida	103
Figura 39. Análisis de tensiones	103

Figura 40. Análisis de desplazamiento	104
Figura 41. Generador eléctrico	104
Figura 42. Aplicación de fuerzas en el generador eléctrico	105
Figura 43. Análisis de tensiones	105
Figura 44. Análisis de desplazamiento	106
Figura 45. Ensamble del generador y polea conducida con la base fija	106
Figura 46. Aplicación de las fuerzas al ensamble de la base fija	107
Figura 47. Análisis de tensión	107
Figura 48. Análisis de desplazamiento	108
Figura 49. Polea torneada con prisionero para poder acoplarla al eje del generador eléctrico	110
Figura 50. Generador eléctrico asegurado a la base de hierro	110
Figura 51. Base de hierro con la bicicleta ajustada, el generador ajustado y la correa tensionada	110
Figura 52. Enchufe hembra con los cables de salida del generador eléctrico acoplado	110
Figura 53. Montaje físico total de la base fija	111
Figura 54a. PCB del circuito construido	114
Figura 54b. Componentes electrónicos ubicados en la baquelita	114
Figura 54c. Conexiones al relé	114
Figura 54d. Conexiones del interruptor doble	114
Figura 55. Inversor conectado con la batería	115
Figura 56. PCB del rectificador	116

Figura 57. Baquelita junto al transformador	116
Figura 58. Disipador de calor junto al transistor 2N3055	116
Figura 59. Enchufe hembra al contenedor	116
Figura 60. Ensamble total del rectificador	117
Figura 61. Medidor de velocidad y distancia recorrida	119
Figura 62a. Circuito básico del divisor de tensión	119
Figura 62b. Elementos soldados a la baquelita universal	120
Figura 63. Baquelita conectada a la tarjeta Arduino	121
Figura 64. Bicicleta al generador eléctrico	122
Figura 65. Generador eléctrico al rectificador	122
Figura 66. Rectificador a la batería	123
Figura 67. Batería al inversor y al sistema de diagnóstico de la batería	123
Figura 68. Inversor a la carga	124
Figura 69. Conexiones al computador	124
Figura 70. Ensamble total	125
Figura 71. Onda del inversor diseñado	128
Figura 72. Onda del inversor comercial	129
Figura 73. Gráfica de voltaje DC de la batería [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor diseñado	129
Figura 74. Gráfica de voltaje AC entregado [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor diseñado	130
Figura 75. Gráfica de voltaje DC de la batería [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor comercial	131

Figura 76. Gráfica de voltaje AC entregado [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor comercial	131
Figura 77. Comparación entre las respuestas de aprovechamiento de la batería por los inversores y la ideal con una carga de 40 [W]	132
Figura 78. Prueba del sistema de diagnóstico de batería	135
Figura 79. Elemento adherido a la llanta trasera	136
Figura 80. Prueba del medidor de velocidad y distancia recorrida	137
Figura 81. Conexión del rectificador al generador eléctrico	139
Figura 82. Pruebas del rectificador	139
Figura 83. Conexión del sistema mecánico	142
Figura 84. Gráfica del voltaje en corriente alterna [V] vs la velocidad angular proporcionada por el usuario [r.p.m]	144
Figura 85. Gráfica de la potencia eléctrica [W] vs la velocidad angular proporcionada por el usuario [r.p.m]	145
Figura 86. Gráfica de la carga característica de la batería	148
Figura 87. Capacidad de la batería	148
Figura 88. Gráfica de carga [V] vs tiempo [min]	149
Figura 89. Gráfica del voltaje de la batería [V] vs tiempo de descarga [min]	150
Figura 90. Funcionamiento de la pantalla inicial del software BioExLU ²	151
Figura 91. Funcionamiento de la función "Velocidad Necesaria" con el botón "CALCULAR"	152
Figura 92. Funcionamiento de la función "Velocidad Necesaria" con el botón "CALCULAR2"	152

Figura 93. Funcionamiento de software BioExLU ² utilizando el método de cálculo "Cooper"	153
Figura 94. Funcionamiento de software BioExLU ² utilizando el método de cálculo "Rockport"	153
Figura 95. Funcionamiento de software BioExLU ² utilizando el método de cálculo "Lug Logger"	154
Figura 96. Funcionamiento de software BioExLU ² utilizando el método de cálculo "Ruffier"	154
Figura 97. Esquema básico de la conexión del sistema	168
Figura 98. Batería de plomo-ácido	170
Figura 99. Construcción de batería Ni-Cd	176
Figura 100. Diseño del interior de una batería de Litio Polímero	179

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Parámetros fundamentales en rectificadores de media onda	55
Tabla 2. Parámetros fundamentales en rectificadores de onda completa	56
Tabla 3. Datos de las poleas	68
Tabla 4. Datos del mecanismo de transmisión de la bicicleta	71
Tabla 5. Velocidad angular requerida por el usuario según el piñón	72
Tabla 6. Datos de los elementos de rozamiento	74
Tabla 7. Cuadro comparativo entre las opciones de diseño	76
Tabla 8a. Tipología de baterías	86
Tabla 8b. Diferentes formas de calcular el VO ₂ máx	96
Tabla 9a. Tabla de elementos para la construcción de la base fija	98
Tabla 9a. Elementos que hacen parte de la base fija	99
Tabla 10. Resumen de resultados del análisis de simulación	108
Tabla 11. Tabla de elementos para la construcción del inversor	112
Tabla 12. Tabla de elementos para la construcción del rectificador	117
Tabla 13. Tabla de elementos para la construcción el medidor de velocidad y distancia recorrida	118
Tabla 14. Tabla de elementos para la construcción del sistema de diagnóstico de batería	120
Tabla 15. Cuadro comparativo de los inversores	133
Tabla 16. Voltaje y potencia eléctrica proporcionada según el pedaleo	142

Tabla 17. Comparación de la velocidad angular de pedaleo teórica vs experimental para una potencia eléctrica de 350 [W] 147

Tabla 18. Comparación entre valores calculados y entregados por la función 151

LISTA DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Torque	37
Ecuación 2. Potencia mecánica	37
Ecuación 3. Potencia eléctrica	37
Ecuación 4. Medida de la contribución individual	57
Ecuación 5. Distorsión armónica	57
Ecuación 6. Factor de distorsión	58
Ecuación 7. Potencia que consume en la carga	60
Ecuación 8. Potencia suministrada en la fuente	60
Ecuación 9. Relación entre número de espiras e intensidades	60
Ecuación 10. Variación de voltaje	61
Ecuación 11. Variación de intensidad	62
Ecuación 12. Carga eléctrica	62
Ecuación 13. Energía	62
Ecuación 14. Constante de carga o descarga	63
Ecuación 15. Potencia mecánica	69
Ecuación 16. Relación de diámetros	69
Ecuación 17. Relación de fuerzas	69
Ecuación 18. Fuerza concentrada	70
Ecuación 19. Masa de la correa	70
Ecuación 20. Relación de dientes y velocidad angular	70

Ecuación 21. Perímetro de un círculo	90
Ecuación 22. Voltaje leído por la tarjeta Arduino	91
Ecuación 23. Voltaje de la batería	92
Ecuación 24. Potencia eléctrica	142
Ecuación 25. Error porcentual	146

LISTA DE DIAGRAMAS DE FLUJO

	Página
Diagrama de flujo 1. Diseño del sistema de generación eléctrica	65
Diagrama de flujo 2. Diagrama del diseño del software para el cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada	79
Diagrama de flujo 3. Proceso del botón CALCULAR	80
Diagrama de flujo 4. Proceso del botón CALCULAR2	81
Diagrama de flujo 5. Interfaz inicial del software BioExLU ²	95
Diagrama de flujo 6. Diagrama del diseño del software BioExLU ²	95
Diagrama de flujo 7. Diagrama de flujo de los distintos métodos de cálculo	96
Diagrama de flujo 8. Estructura de las pruebas y ensayos	126

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO A. ESQUEMA BÁSICO DE LA CONEXIÓN DEL SISTEMA	167
ANEXO B. BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO	169
ANEXO C. BATERÍAS DE NÍQUEL-HIERRO	172
ANEXO D. BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO	174
ANEXO E. BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO	176
ANEXO F. BATERÍAS DE IONES DE LITIO	177
ANEXO G. BATERÍAS DE POLÍMERO LITIO	178
ANEXO H. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO	179
ANEXO I. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO EN EXPLOSIÓN	180
ANEXO J. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO EN EXPLOSIÓN	181
ANEXO K. BASE FIJA	182
ANEXO L. POLEA CONDUcida	183
ANEXO M. GENERADOR ELÉCTRICO	184
ANEXO N. ENSAMBLE DE LA BICICLETA	185
ANEXO O. ENSAMBLE DE LA BICICLETA	186
ANEXO P. FICHA TÉCNICA DEL GENERADOR ELÉCTRICO	187
ANEXO Q. FICHA TÉCNICA CORREA A0 EN V TIPO A	188
ANEXO R. CÓDIGO DE SOFTWARE PARA CALCULAR LA VELOCIDAD NECESARIA Y DISTANCIA RECORRIDA	189
ANEXO S. DATASHEET BATERÍA DE 12VDC/12Ah	190

ANEXO T. DATASHEET CIRCUITO 555	192
ANEXO U. TIP 4013	195
ANEXO V. DATASHEET TIP 3055	197
ANEXO X. DATASHEET TIP 125	199
ANEXO Y. DATASHEET LM7805	201
ANEXO Z. CONSTRUCCIÓN DEL INVERSOR	203
ANEXO AA. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR COMERCIAL	209
ANEXO AB. SAE 1020	210
ANEXO AC. DATASHEET LM317	211
ANEXO AD. DATASHEET TRANSISTOR 2N3055	213
ANEXO AE. CÓDIGO DEL MEDIDOR DE LA VELOCIDAD ANGULAR Y DE LA DISTANCIA RECORRIDA	214
ANEXO AF. CÓDIGO DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE LA BATERÍA	216
ANEXO AG. CÓDIGO DEL SOFTWARE BioExLU2	219
ANEXO AH. LA BIOMECAÁNICA EN EL CICLISMO	222
ANEXO AI. COMPLEMENTACIÓN DE LA BIOMECAÁNICA EN EL CICLISMO	251
ANEXO AJ. CÓDIGO PARA LA PANTALLA INICIAL DEL SOFTWARE BioExLU2	257
ANEXO AK. DATASHEET OPTOACOPLADOR GP1S094HCZ0F	258

RESUMEN

TÍTULO: CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE UN PROTOTIPO MOTRIZ PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN UNA BICICLETA FIJA*

AUTORES: LUIS MIGUEL ZABALA GUALTERO

LUIS ALEJANDRO PEÑARANDA RINCÓN**

PALABRAS CLAVES: Energía eléctrica, energía mecánica, potencia eléctrica, generador eléctrico, inversor, interfaz hombre-máquina.

DESCRIPCIÓN

El objetivo de este proyecto es diseñar y construir un sistema que transforme la energía mecánica en eléctrica mediante una bicicleta con un generador eléctrico y la almacene en una batería para su posterior utilización.

El sistema consiste en una bicicleta de 26 pulgadas acoplada a un generador eléctrico que genera más de 350 [W], este está conectado a un rectificador que regula la entrega de voltaje para cargar la batería con corriente continua. La batería almacena la energía proporcionada por el generador eléctrico y también se conecta al inversor que transforma la corriente continua en corriente alterna para poder usarse en aplicaciones domésticas e industriales. Para la seguridad de los productos se controlará la descarga de la batería con una tarjeta desarrolladora Arduino.

Con ayuda de dos tarjetas Arduino y una Interfaz Hombre-Máquina (IHM) construida, el usuario podrá conocer las calorías quemadas y la cantidad de oxígeno máximo gastado en este ejercicio. Adicionalmente, conocerá la velocidad y distancia recorrida mientras usa la bicicleta e igualmente el voltaje de la batería para tener un control de esta.

Las pruebas realizadas en el proyecto son la carga y descarga de la batería, la capacidad de potencia máxima que puede entregar la bicicleta según la velocidad angular del pedal, la forma de la onda entregada y el procesamiento de la interfaz hombre-máquina mientras funciona todo el sistema; para esto último es necesario poner a trabajar las dos tarjetas Arduino junto a la interface para ver el comportamiento del puerto serial de la tarjeta desarrolladora con el software.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Jorge Luis Chacón Velasco

SUMMARY

TÍTULO: CONSTRUCTION AND DESIGN OF A PROTOTYPE DRIVE FOR POWER GENERATION BASED ON A FIXED BIKE*

AUTORS: LUIS MIGUEL ZABALA GUALTERO

LUIS ALEJANDRO PEÑARANDA RINCÓN**

KEYWORDS: Electricity. Mechanical Energy. Electric power. Electric Generator. Inverter. Man-machine Interface

ABSTRACT

The objective of this project is to design and build a system that transforms the mechanical energy into electricity using a bicycle with an electric generator and store it in a battery for further use.

The system consists of a 26-inch bicycle coupled to an electric generator that produces more than 350 [W], this is connected to a rectifier that regulates the voltage delivered to the battery charging current. The battery stores the energy supplied by the electric generator and it's also connected to the inverter, which converts direct current into alternating current to be used in domestic and / or industrial applications. For the safety of the products the battery discharge is controlled by an Arduino.

Using two Arduino cards and an elaborated man-machine interface, the user can know the calories burned and spent the maximum amount of oxygen in this exercise. Additionally, the person will be able to learn the speed and distance while using the bike and also the battery voltage to keep controlling it.

The tests done are battery's charging and discharging, the maximum power capacity that can deliver the bicycle according to pedals angular velocity, wave's behavior and the man-machine interface whilst all the system is working; the previous needs the two Arduino cards work along the interface and see the serial's developer card port behaviour with the software.

* Degree Work

** School of Physics and Mechanics. School of Mechanical Engineering. Director: Jorge Luis Chacón Velasco

LISTA DE SIMBOLOS

α , ángulo de contacto	m' , masa
Θ , ángulo de contacto	N, número de espiras
ρ , densidad	P, potencia
μ , fricción o eficiencia del generador	Pote, potencia eléctrica
ω , velocidad angular	Potm, Potencia mecánica
A, área	Q, carga eléctrica
b, ancho	R, resistencia
C, constante de carga/descarga	T, torque
Cd, distancia entre centros	t, tiempo
d, distancia	THD, distorsión armónico total
D, diámetro	V, voltaje o velocidad
DF, factor de distorsión	Vef, valor eficaz de la tensión
e, espesor	Vmed, valor medio de la tensión
F, Fuerza	Vol, voltaje
Fc, fuerza en una constante	W, trabajo
I, intensidad o corriente	Z, número de dientes
Imed, valor medio de la intensidad	
Ief, valor eficaz de la intensidad	
IHM, Interface Hombre Máquina	
Hfn, factor armónico	

INTRODUCCIÓN

Una persona para hacer ejercicio gasta energía mecánica¹, ¿pero esta puede transformarse en energía eléctrica? Con el uso de mecanismos para transformar la energía mecánica en eléctrica y con una batería donde almacenarla, apoyándose de un inversor para poder re-utilizarla, se genera energía eléctrica y también se contrarresta el consumo energético proveniente de fuentes de energía fósil², logrando una reducción del consumo de esta proveniente de la electrificadora.

Formamos un cuerpo mecánico utilizando un juego de poleas: utilizando el rin trasero de la bicicleta como polea conductora, ubicando la polea conducida en el generador eléctrico, logrando en el pedaleo un par torque y generando electricidad por medio del generador eléctrico³. Para almacenar la energía eléctrica y que la tensión no caiga construimos un rectificador que convierte la corriente alterna en corriente continua. Para re-usarla luego de almacenada, con un inversor es convertida en corriente alterna.

La generación de energía eléctrica es un campo de investigación muy amplio, donde se busca almacenar dicha energía de forma limpia y utilizarla de igual forma. La energía limpia es una necesidad para el ser humano, debido a la contaminación exponencial a la que nos encontramos actualmente; dicho caso hace buscar formas

¹ HARVARD HEALTH PUBLICATIONS. Harvard Medical School. Trusted advice for a healthier life. Calories burned in 30 minutes for people of three different weights [online]. [Boston, MA. E.U] Harvard, July 2004. [cited: 3 May 2015] Disponible en: <http://www.health.harvard.edu/newsweek/Calories-burned-in-30-minutes-of-leisure-and-routine-activities.htm>

² CARMONA, Abraham. ORTEGA, Andrés. SÁNCHEZ, Abraham. Generación de Energía Eléctrica por Pedaleo. Tesis de Ingeniero Mecatrónico. México: Ciudad de México. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. 170 p.

³ ANDREW, Pytel. Engineering Mechanics Dynamics. USA. Editorial SI Edition, 3ra Edición. Stamford, 2010. 651 p.

alternativas para la generación de la misma. Mientras una persona se ejercita en un gimnasio quema calorías, y usa energía cinética para dicho objetivo⁴, pero este tipo de energía mecánica es desperdiciado en este uso, ¿por qué, intentar re-utilizar la energía empleada?

⁴ R.C, Hibbeler. Ingeniería Mecánica Dinámica. Naucalpan de Juárez, Estado de México. Editorial Prentice Hall, 12va Edición, Pearson 2010. 732 p.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los gimnasios tienen grandes demandas de energía eléctrica, debido al uso continuo de diferentes máquinas de ejercicio, equipos de sonido, refrigeradores, computadoras, televisores, ventiladores y/o aire acondicionado entre otras. Mientras una persona se ejercita en un gimnasio quema calorías, usando energía cinética para dicho objetivo, pero este tipo de energía mecánica se desperdicia. De aquí surge la pregunta: ¿por qué no usar esta energía para generar energía eléctrica? Si a medida que el usuario mantiene una buena salud, también podría contribuir al medio ambiente disminuyendo el consumo de carbono.

La comunidad universitaria UIS (Universidad Industrial de Santander), en la actualidad no cuenta con un gimnasio de fácil acceso. En el coliseo de la universidad se encuentra un gimnasio que fue inaugurado hace poco, todavía no se tiene claridad sobre la gratuidad del acceso porque en la página de la universidad se encuentran publicados unos precios, donde se planea que cada estudiante pague \$25.000 (veinte cinco mil pesos) mensuales. El gimnasio tiene máquinas que usan energía eléctrica proporcionada por la Electrificadora de Santander S.A (ESSA). Cuando un usuario hace ejercicio, emplea energía mecánica (energía cinética) que podría ser aprovechada para producir energía eléctrica y así reducir su consumo de la red nacional, dejando como beneficios la disminución de la huella de carbono en el mundo y un posible acceso gratuito de los estudiantes al gimnasio, porque estos ayudarían con su sostenimiento.

Al observar una pérdida de energía que podría ser utilizada para el beneficio de la comunidad, surge como proyecto la necesidad de transformar la energía mecánica generada por una persona al momento de ejercitarse en energía eléctrica, con ayuda de un generador eléctrico acoplado a un mecanismo de ejercicio, y dependiendo de la forma de onda y la tensión generada, esta puede ser usada para alimentar algún aparato electrónico o industrial.

Por lo anterior, es válido plantearse las siguientes inquietudes: ¿Con qué mecanismos podemos transformar la energía mecánica en energía eléctrica?, ¿Cómo podemos usar esta energía en el sostenimiento de un gimnasio?, ¿Cómo controlamos esta energía para que sea limpia?, ¿Cómo logramos almacenar la energía producida?

Se pretende aprovechar la energía cinética provocada por el pedaleo mediante el uso de una bicicleta fija (que es el mecanismo más sencillo) transformando la energía mecánica en eléctrica, con ayuda de una batería almacenarla y apoyarse con un inversor para poder re-utilizar esta energía eléctrica (AC), y así contrarrestar el consumo energético proveniente de fuentes de energía fósil.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La universidad como institución tiene un ideal de formación tanto académica como multidisciplinaria, lo cual supone el desarrollo de seres íntegros. La integridad trae consigo conciencia ambiental, brindada a la comunidad estudiantil con el conocimiento de las energías renovables. Este conocimiento debe ser aprovechado para realizar proyectos de investigación que ofrezcan respuestas a los problemas de la renovación de la energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica es un campo de investigación muy amplio, donde se busca almacenar y utilizar dicha energía de forma limpia. Debido a la contaminación exponencial en la que nos encontramos actualmente, la energía limpia es una necesidad para el ser humano, pues estamos en la búsqueda de formas alternativas menos contaminantes.

El presente proyecto de grado busca realizar aportes y obtener resultados direccionados a la resolución de estas necesidades, que permitan abordar de manera profunda esta temática en el contexto del área estratégica de energías alternativas de la Universidad Industrial de Santander.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir a la Universidad Industrial de Santander en el desarrollo de su misión, en la formación de ingenieros de alta calidad con divulgación y desarrollo del conocimiento mediante la construcción de un prototipo de un sistema motriz para una bicicleta fija que permita la transformación de energía mecánica en energía eléctrica y almacenarla para su posterior uso en aplicaciones domésticas y/o industriales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer un estudio alrededor del mundo (Europa, Asia, América, Oceanía) y nacionalmente de las diferentes tecnologías que se emplean actualmente para la conversión de energía mecánica en energía eléctrica a través de una bicicleta fija.
- Diseñar un sistema de generación de energía eléctrica mediante el pedaleo de una bicicleta fija o estática que cumpla con los siguientes requisitos: Corriente alterna con un voltaje de 120 [V], una frecuencia de 60 [Hz], un amperaje de aproximadamente 3 [A], una potencia de hasta 350 [W], teniendo en cuenta que una bicicleta promedio tiene una distancia del pedal al eje de 20 [cm], la fuerza aplicada por un adulto promedio es de 294 [N], obteniendo así un torque de 58,6 [N*m] y una velocidad angular promedio de 6,8 [r.p.s].
- Desarrollar una herramienta informática en la que se proporcione información útil para el usuario como: Velocidad de la bicicleta, distancia recorrida,

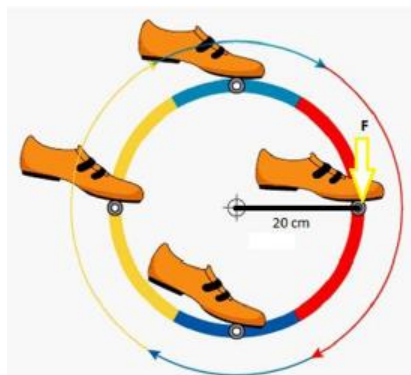
revoluciones por minuto, carga de la batería, calorías quemadas y la cantidad máxima de oxígeno (VO_2 máx) consumida por el usuario. Para hallar dichos cálculos será necesario alimentar la herramienta informática con los siguientes datos: Género del usuario, peso, edad, tiempo a ejercitarse, ritmo cardiaco y los diferentes tipos de cálculo de la cantidad máxima de oxígeno (VO_2 máx).

- Construir un prototipo del mecanismo motriz usando dos tipos de inversor: uno construido y otro adquirido en el mercado.
- Realizar las pruebas y ensayos sobre: Voltaje generado por el generador eléctrico, potencia generada por el sistema motriz, tiempo de carga de la batería. Se espera tomar las pruebas con 5 (cinco) personas, 10 (diez) pruebas cada una para calcular lo anterior. Y realizar 1 (una) prueba por cada persona, de 30 (treinta) minutos para tomar la potencia promedio generada.
- Documentar el trabajo de investigación, mediante las memorias, planos, manuales y especificaciones técnicas.

4. MARCO TEÓRICO

El presente documento, muestra el desarrollo de un mecanismo que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, aprovechando únicamente la energía cinética de una persona. El funcionamiento mecánico de la bicicleta requiere un simple impulso de un par de pedales con las piernas, este esfuerzo puede regularse a partir de un sistema de fricción manual⁵; la energía cinética será proporcionada por los pedalazos (velocidad angular), que va generar el mecanismo de ejercicio utilizado por el usuario; donde la fuerza de la persona es aplicada en el pedal, la figura 1 muestra la dinámica de pedaleo del usuario, generando un par torque⁶ en la llanta trasera, donde se acoplo un generador eléctrico que al mismo tiempo transforma directamente la energía mecánica en energía eléctrica.

Figura 1. Dinámica de pedaleo del usuario



Fuente: PICAZO, Luis. Como pedalear correctamente [en línea].

⁵ NÚÑEZ, Carlos. FLÓREZ, Julián. Diseño de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Estáticas. Tesis de Ingeniería Electrónica. Colombia: Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones: Universidad Industrial de Santander, 2011. 77 p.

⁶ SEARS, Zemansky. Física Universitaria vol1. Santa Barbara, USA. Editorial Prentice Hall, 12va Edición, Pearson, 2009. 708 p.

Posterior a esto se obtiene un corriente alterna, con un voltaje y frecuencia variable, según sea el pedaleo del usuario. Para mantener una frecuencia constante, se usó un rectificador que envía la señal en pulsos y almacena la energía en una batería de corriente continua. Consecutivamente, a la batería se une un inversor que transforma la corriente continua de 12V en corriente alterna de 120V y 60 Hz (esta puede ser variada en el inversor, según sea la necesidad), al cual se le puede conectar la carga (los diferentes electrodomésticos y/o aparatos industriales que soporte la carga). A medida que se utiliza la carga, la batería se descarga y el inversor no puede entregar los 120V netos, y puede producir daños en los componentes electrónicos de la carga, o la carga misma.

Con ayuda de una placa desarrolladora (Arduino) se hace el control digital que mantenga la batería entre 13V (como cargada) y 9V (como descargada), por medio del monitor serial, interconectado con el programa elaborado en VisualStudio 2013, muestra el valor actual de la batería e imprime un anuncio que pide cargar la batería por medio del mecanismo de ejercicio. Cuando la batería este por debajo de 9V la carga se conectará a la red eléctrica regional, hasta que se cargue la batería nuevamente y automáticamente se conecte a la batería. Dicho montaje se hizo así para mantener la vida útil de la batería y de la carga. Con ayuda de un programa elaborado bajo VisualStudio 2013, el usuario puede conocer datos de interés para el mismo, como: las calorías gastadas, el VO₂máx usado, el tiempo en el transcurso del ejercicio, la carga de la batería entre otros.

4.1 CÁLCULOS BÁSICOS

El par generado por la fuerza ejercida en el pedaleo (1) es la igual a la fuerza por la distancia donde se aplica la fuerza, la bicicleta usada tiene una distancia del pedal al eje de 20 centímetros, y la fuerza promedio aplicada por un adulto, es de 294,3

[N]⁷ sin importar el sexo. Dándonos así 58,58 N*m. En base a esto (2), si se logra una velocidad angular promedio de 7,97 [rad/s], logramos obtener 467 [W] de potencia mecánica.

$$T = F \times d \quad (1)$$

$$Pm = T \times \omega \quad (2)$$

Para una eficiencia del sistema eléctrico del 75% una potencia eléctrica (3) dará 350 [W].

$$Pe = Pm * \eta \quad (3)$$

4.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Alrededor del mundo, se están realizando investigaciones para la generación de energía eléctrica, que disminuyan un poco la huella de carbono en nuestro planeta. En la actualidad encontramos diferentes proyectos ya realizados, a diferentes niveles: internacional, nacional y regional, con grandes similitudes a nuestro proyecto de grado. En los siguientes ítems podemos observar diferentes avances.

4.2.1 A nivel de Europa. En el ámbito de Europa se encontraron 5 investigaciones de relevación para el tema que nos ocupa.

El trabajo de Álvarez⁸; se guió en la evaluación de un generador eléctrico para su posterior construcción; la metodología enfocada por el autor fue documental y teórico, promoviendo el ejercicio a las personas para su buena salud y la ayuda al medio ambiente. El proyecto cumplió todos los objetivos, obteniendo un generador

⁷ OSORIO, Artur. Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía. México: Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2007.

⁸ ÁLVAREZ, Fernando. High Efficiency Electric Generator for Chain-less Bicycle. Tesis de Electric. Department of Electrical Engineering, Electronics, Computers and Systems. España: Oviedo Universidad de Oviedo, 2014. 67 p.

con alta eficiencia, gracias al devanado de las bobinas y la distancia determinada. Sin embargo, el autor anuncia que todos los siguientes investigadores que tomen el trabajo, realicen pruebas no tan ideales para elaborar mejoras, ya que el trabajo se basó con varias idealizaciones.

En el trabajo de investigación desarrollado por Behringer⁹; fue enfocado en varios tipos de mecanismos para la transformación de energía cinética en energía eléctrica. Entre uno de ellos, usaron una bicicleta estática que es de gran ayuda para la pedagogía, acoplando la máquina a un generador eléctrico lograron generar de 60 a 120 vatios, prendiendo bombillas durante más de 2 minutos en el transcurso de pedaleo. Los autores recomiendan buscar una forma para almacenarlo ya que es necesario mantener las bombillas encendidas durante toda la noche.

Leary¹⁰ el autor del tercer trabajo enfocó el trabajo a la re-utilización de bicicletas viejas en Guatemala. Con materiales reciclables, piezas que ya no se utilizan; y reconstruyendo bicicletas para usarlas como bombas. El autor recomienda seguir utilizando materiales reciclables y aumentar el ingenio para los distintos usos que se le puede conseguir al artículo.

El trabajo presentado por Fogelberg¹¹ para la obtención de título de master en Suecia fue enfocado al diseño y construcción de una bicicleta con paneles solares. La metodología de investigación empleada en el proyecto fue de cálculos y diseño basados en la ciudad de Gothenburg-Suecia. Fogelberg emplea una red de

⁹ BEHRINGER, Rolf. Kooperative Bildung für Erneuerbare Energie an der PH Freiburg. Proyecto de física. Alemania: Freiburg, 2007. 22 p.

¹⁰ LEARV, Jonathan. Design of a Novel Product Using Waste Material. Master thesis. England: Sheffield. Master of Engineering. The University of Sheffield, 2008. 90 p.

¹¹ FOGELBERG, Fabian. Solar Powered Bike Sharing System with Electric Bikes. Master thesis. Sweden: Göteborg. Department of Energy and Environment. Division of Wnvironmental System Analysis. Chalmers University of Technolog, 2014. 81 p.

bicicletas para que todas las personas tengan acceso libre a este tipo de bicicletas, la cual aprovecha la energía solar del terreno, obteniendo un promedio de 600 a 800 Kwh de energía alimentada a la cuadrícula por la bicicleta, dependiendo del nivel de uso en el año, adjuntando una batería para el posterior aprovechamiento de esta energía. El autor recomienda tener un sistema conectado por cuadrícula del panel, concluyendo que el tamaño de la batería podía ser ajustado según el uso de la bicicleta y dependiendo de la época del año (ya que este país tiene todas las estaciones y en periodos de invierno las baterías necesitan calefacción).

Los autores Cardinali, Santomassimo y Stefanoni¹², exponen un diseño de una bicicleta que con ayuda de una celda de hidrogeno generan 300 W de potencia para re-utilizarla en la misma bicicleta para no tener que pedalear.

4.2.2 A nivel de Asia. En el ámbito del continente asiático se encontraron 4 investigaciones de relevación para le tema que nos ocupa.

El primer trabajo escrito por Suhalka, Khandelwal, Sharma y Sanghi¹³, con el fin de comprobar la utilidad de la transformación de energía cinética en energía eléctrica, con ayuda de Matlab. La metodología empleada en el artículo científico fue de documentación. Observando que en la India existen muchos pueblos sin energía eléctrica y la facilidad que tienen las bicicletas de manejar la energía mecánica y transformarla en energía eléctrica con cualquier dínamo o alternador. Los autores usando dínamo y/o alternador lograron generar energía eléctrica; sin embargo, encontraron varios problemas al mantener energía constante.

¹² CARDINALI, Luciano. SANTOMASSIMO, Saverio. STEFANONI, Marco. Design and realization of a 300 W fuel cell generator on an electric bicycle. Artículo científico, Journal of Power Sources. Italia: Roma. Advanced Energy Technologies Division. 2002. 4 p.

¹³ SUHALKA, Rajneesh. KHANDELWAL, Mahesh. SHARMA, Krishna. SANGHI, Abhishek. Generation of Electrical. Power Using Bicycle Pedal. Scientific article. India: Jaipur. Nath University and YIT, 2014. 5 p.

El segundo trabajo de Bin Baharin¹⁴, encontrado fue enfocado al diseño de una bicicleta con batería que se recargaba con energía solar. La metodología utilizada en la tesis de grado fue de diseño, construcción y documentación. El objetivo principal del trabajo, que era re-cargar la batería cuando la bicicleta no estuviera en uso fue cumplido, la placa solar carga la batería y el sistema construido hace que el motor sea más eficiente; sin embargo, la duración de carga la batería es muy alta, ya que el panel fotovoltaico es poco eficiente.

Los autores Hwang, Wang, Shih, Lai y Chen¹⁵, del tercer trabajo exponen un diseño de una bicicleta que con ayuda de una celda de hidrogeno que almacena la energía y se puede re-utilizarla en la misma bicicleta para no tener que pedalear. Los autores recomiendan usar su diseño para poder disminuir la contaminación y ayudar a la condición física de los mismos usuarios.

En el cuarto trabajo Song Yin junto a Yuehong Yin¹⁶, muestran la simulación de una implementación de un sistema donde utilizan bicicletas para almacenar la energía generada por los usuarios.

4.2.3 A nivel de Oceanía. Alrededor del continente de Oceanía encontramos 2 investigaciones de relevación para le tema que nos ocupa.

¹⁴ BIN BAHARIN, Mohd Aizat. Solar Bicycle. Tesis of master. Malaysia: Malaysia Pahang. Faculty of Electrical and Eletronics Engineering. University, 2010. 24 p.

¹⁵ J.J. Hwang, D.Y. Wang, N.C. Shih, D.Y. Lai y C.K. Chen. Development of fuel-cell-powered electric bicycle. Artículo científico, Journal Of Power Sources. Taiwan: Changhua. Research Center for Advanced Science and Technology. Mingdao University. 2004. 6 p.

¹⁶ SONG Yin y YUEHONG Yin. Implementation of the interactive Bicycle Simulator with Its Functional Subsystems. Artículo científico, ASME. China: Shanghai. Research Institute of Robotics. Shanghai Jiao Tong University. 2007. 7 p.

El trabajo de Teat¹⁷, fue guiado al producir una prueba de concepto de vehículo eléctrico de corto alcance que conviene a las necesidades de los habitantes de Nueva Zelanda, proporcionando la idea del uso de energías verdes, limpias y reducir la pisada de carbono en el mundo. El método de elaboración del proyecto fue de forma constructiva y documental, produciendo un plan de un vehículo, selección del chasis, motor y diseño del controlador de motor. Al final, el autor concluye que el vehículo puede desplazarse diariamente al lugar de trabajo a corto alcance; sin embargo, encontró que el diseño del controlador del motor es muy complicado, ya que requiere el aislamiento de voltaje, ruido del filtro entre otros.

Sanjay¹⁸, el escritor del segundo trabajo, dirigió la tesis hacia la recolección de energía eléctrica proporcionada por una bicicleta estacionaria. El método usado por el autor fue de forma experimental y documental. Con el uso de imanes y un electroimán junto a la bicicleta estacionaria, generan energía eléctrica al momento de pedalear la bicicleta estacionaria. Sanjay logra almacenar energía eléctrica transformada de la energía cinética y de utilizar el método EH (Energy Harvesting) para no tener necesidad de cambiar la bicicleta estacionaria, haciéndolo útil en cualquier bicicleta. El autor concluye que el camino más eficaz para la recolectar energía eléctrica es la de usar imanes con sus polos alternados y tenerlos cerca del rollo de cobre. Sin embargo, encontró que los costos aumentaron por realizar las modificaciones para mejorar EH, de igual forma, el objetivo de no querer modificar la bicicleta puso restricciones seguras sobre los métodos que podían ser usadas para EH.

¹⁷ TEAT, Jesse. Short Range Electric Vehicle Motor Controller. Master of Science. New Zealand: Dunedin. University of Otago, 2011. 89 p.

¹⁸ SANJAY, Samuel. Harvesting Electrical Energy from a Stationary Bike: An Experimental Approach. Master of Engineering thesis. New Zeland: Palmerston North. School of Engineering and Advanced Technology. Massey University, 2014. 163 p.

4.2.4 A nivel de América. En el ámbito del continente americano se encontraron 5 trabajos muy sobresalientes para nuestra investigación.

Hidalgo¹⁹; el autor del primer trabajo se orientó a la investigación de la huella de carbono producida en un gimnasio ubicado en el municipio de Villa Nueva-Guatemala, y al promover el ejercicio como fuente de energía limpia, ayudando así al medio ambiente. Esta investigación realizó una metodología constructiva, donde realizaron una bicicleta estática artesanal, la cual logró generar energía eléctrica y así almacenarla, sin embargo, el autor anuncia problemas para volver el gimnasio completamente auto-sostenible, por las pocas bicicletas construidas.

Carmona, Ortega y Sánchez²⁰; se orientaron al diseño de un sistema de pedaleo, que al realizar la actividad aproveche la energía cinética empleada y así generar energía eléctrica. Este proyecto, construyó el mecanismo de generación de energía eléctrica por pedaleo (GEPP), el cual logró obtener como resultado una corriente continua menor a 2 amperes y 5 voltios, la cuál puede ser aprovechada en aparatos electrónicos, como: teléfonos celulares, reproductores de música (MP3), iPods, las luces de la misma bicicleta; no obstante, el autor muestra que la señal proporcionada por un osciloscopio, tiene un poco de ruido. Por tal motivo los autores sugieren realizar algunas modificaciones al generador, como: la distancia entre las bobinas y los imanes, cambiar los imanes (tamaño de los imanes), el calibre del alambre (usado en las bobinas), los rodamientos, usar baterías extra, entre otros.

¹⁹ HIDALGO, Diego. Diseño de la Investigación para la Generación de Energía Eléctrica Mediante una Bicicleta Estacionaria en un Gimnasio del Municipio de Villanueva y su Impacto en el Ambiente. Tesis de Ingeniero Civil. Guatemala: San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Ingeniería Civil: Universidad San Carlos de Guatemala, 2013. 61 p.

²⁰ CARMONA, Abraham. ORTEGA, Andrés. SÁNCHEZ, Abraham. Generación de Energía Eléctrica por Pedaleo. Tesis de Ingeniero Mecatrónico. México: Ciudad de México. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. 170 p.

El tercer trabajo de Loaiza²¹; se dirigió al diseño de varios sistemas por medio de movimiento axial de una manivela. Esta tesis de pregrado, diseño de forma conceptual y teórica unos mecanismos que transformaban la energía cinética que emplea un ser humano a la hora de realizar el movimiento en energía eléctrica, concluyendo de todo este trabajo que los costos para la construcción de un prototipo no son muy altos, de igual forma la facilidad de implementación en zonas rurales y/o países en vía de desarrollo. En el mismo ámbito, la autora nos expresa, que con el generador propuesto, no permite definir en forma analítica el régimen definitivo de funcionamiento, debido a que este parámetro varía dependiendo de la velocidad de rotación de la manivela.

Pelz y Feiereisen²², se enfocaron a la construcción de un generador para acoplarlo a una bicicleta. De esta forma, los autores lograron los objetivos propuestos, entre ellos, capturaron 60 Watts, logrando cargar un iPod, mover pequeñas cosas entre otros. El mayor problema que presentaron, fue mantener la potencia eléctrica del generador según la velocidad de pedaleo que proporcione el usuario.

El quinto trabajo presentado por Mankodi²³, estuvo enfatizado en el análisis y construcción de una cinta humanitaria generadora de electricidad proporcionada. Consiguieron en sus pruebas un máximo de 140 Watts en un período determinado, midiendo la carga de la batería en trabajos pesados; la cinta rodante puede ser modificada para diferentes usos, y de gran utilidad para la academia (como en

²¹ LOAIZA, Claudia. Diseño de dispositivos para el aprovechamiento de energía humana: Diseño de un generador de flujo axial activado a manivela. Tesis de Ingeniera Electrónica. Ecuador: Loja. Facultad de Ingeniería, Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Técnica Particular de Loja. 2011. 134 p.

²² PELZ, Bradley. FEIEREISEN, Jeffrey. Bicycle powered generator for the University Farm. USA: St. Louis. Electrical and Systems Engineering Department. School of Engineering and Applied Science, Washington University in St. Louis, 2010. 39 p.

²³ MANKODI, Harsh. Analysis of a Treadmill Based Human Power Electricity Generator. USA: Minnesota. Mechanical Engineering. University of Minnesota, 2012. 120 p.

cursos de física básica). Para aumentar la eficiencia de la cinta es necesario modificar el ángulo, pero los autores demostraron que la cinta se puede utilizar en cualquier parte para la generación de energía.

4.2.5 A nivel nacional. En el ámbito nacional se encontraron 3 trabajos.

El primero es un proyecto de Carranza y Ruiz²⁴; que se orientó a la construcción de un generador de electricidad ecológico con materiales que no generen ningún tipo de contaminación. Este proyecto se realizó por medio de una manera de construcción, donde elaboraron las bobinas, y todo fue montado de manera artesanal; el generador funciono de buena manera a 7V, la cual se alcanzó con una velocidad constante en el soporte de imanes, encendiendo de esta forma led's. No obstante, se encuentran muchas deficiencias en el prototipo, falta abundar más en la elaboración del mismo.

Benítez, González y Rosero²⁵, se enfocaron en la investigación de los procesos, desde la fuente primaria, la del generador y la cuantificación de las cantidades de energía que son capaces de producir bicicletas de spinning y elípticas en un intervalo de tiempo; para esto estudiaron dos gimnasios de Colombia. La metodología usada por los autores fue investigativa y experimental, de esta forma obtuvieron gráficas de energía generada versus la energía consumida, concluyendo con estas mismas, que la generación depende del número de máquinas usadas y conectadas en paralelo, logrando obtener en un gimnasio pequeño alrededor de 1565 KWh y en uno grande hasta 8000 KWh mensuales; los autores nos indican,

²⁴ CARRANZA, Lorena. RUIZ, William. Proyecto Física Eléctrica Generador de Electricidad Ecológico. Proyecto de física. Colombia: Bogotá. Física Eléctrica: Escuela Colombiana de Carreras Industriales, 2013. 12 p.

²⁵ BENÍTEZ, Yenniffer. GONZÁLEZ, Juan. ROSERO, Javier. Producción Energética en un Modelo para Gimnasios Colombianos. Artículo Académico. Facultad de Ingeniería. Colombia: Bogotá Universidad Nacional de Colombia, 2013. 8 p.

que es viable la producción de energía en gimnasios y que el modelo propuesto por ellos no logra suplir todo el consumo, sin embargo logra un ahorro tanto económico y energético. De igual forma, nos anuncian que usando un gran número de máquinas, se puede llegar a alcanzar la generación del consumo del mismo gimnasio, y lograr hacerlo auto-sostenible.

El tercer trabajo de investigación presentado por González, Valvárce y Sánchez²⁶, se encaminó en el diseño y construcción de un aerogenerador de corriente continua, de esta forma disminuir el consumo de combustibles fósiles y llevarlo a los sectores marginados de la región sur-colombiana. El procedimiento usado por los autores, fue de forma constructiva y experimental, donde emplearon todos los materiales y así crearon todo lo necesario para el aerogenerador (cimiento, aspas, plataforma, mástil, timón, dínamo, base de las aspas), luego por medio de pruebas, llegaron a la conclusión que el prototipo funciona de forma correcta, y puede ser empleado en cursos educativos. La preocupación de los autores, surge en la necesidad de consciencia de las personas, la cual se puede superar proponiendo proyectos educativos que redunden en beneficio de la sociedad.

4.2.6 A nivel regional. En el entorno regional, con mayor precisión a nivel local, se halló 1 trabajo. El trabajo encontrado fue el de Núñez y Flórez²⁷.

Este trabajo estuvo dirigido al diseño de un sistema para la generación de energía eléctrica apoyándose de bicicletas estáticas, para crear un mini-gimnasio, con el ánimo de contribuir a la sensibilidad de la comunidad estudiantil de dicha universidad del cuidado del medio ambiente. La metodología empleada para llevar

²⁶ GONZÁLEZ, Hernando. VALCÁRCEL, Justo. SÁNCHEZ, Alejandra. Diseño y Construcción de un Generador Eólico de Energía Eléctrica Continua. Artículo Académico. Colombia: Neiva. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Surcolombiana, 2011. 8 p.

²⁷ NÚÑEZ, Carlos. FLÓREZ, Julián. Diseño de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Estáticas. Tesis de Ingeniería Eléctrica. Colombia: Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones: Universidad Industrial de Santander, 2011. 77 p.

a cabo el proyecto, fue experimental, tomando a tres personas para las pruebas. Llegaron a la conclusión que la velocidad promedio de pedaleo es cercana a 242 [rpm], un equivalente potencial cercano a 300 [W] a la salida del generador, y diseñando una instalación para implementar 18 configuraciones independientes de generación, concluyendo, que estas conectadas a la red eléctrica en el edificio que contiene al mini-gimnasio, “ofrece una mayor eficiencia del sistema, y menores costos de inversión inicial, operación y mantenimiento, en comparación de las configuraciones de tipo aislado”. Los autores nos recomiendan, una optimización energético-financiera, para lo que el primer paso, es el diseño de una herramienta computacional, que permita el análisis energético del sistema de forma robusta; y buscar otros acoples-generadores, con el fin de establecer mejores prestaciones para la implementación.

4.3 REFERENTES TEÓRICOS

En esta parte del capítulo, se desarrollan las teorías fundamentales para la comprensión del problema y el abordaje de los objetivos específicos que nos encaminarán al planteamiento de la solución al problema descrito con anterioridad.

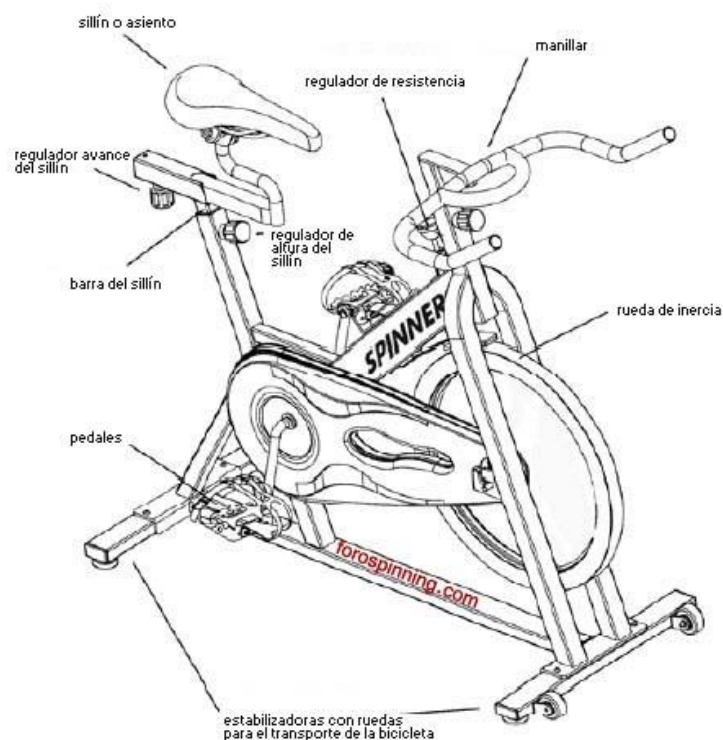
4.3.1 Bicicletas para hacer ejercicio. En el mercado mundial, actualmente, existen varios tipos de bicicleta para poder ejercitarnos, estas son fáciles de utilizar y con ayuda de nueva tecnología, nos proporciona información útil para el usuario (para aumentar el ritmo, ver el progreso entre otras), aparte, permiten una buena opción para aquellos que desean un entrenamiento efectivo, sencillo y con resultados favorables.

Las bicicletas fijas, son equipos fitness, y son muy parecidas a las bicicletas normales (las que tienen función de transportar al usuario). Poseen un sillín,

reguladores del asiento, pedales, regulador de resistencia, manillar, rueda de inercia (dependiendo del tipo de bicicleta estática), entre otros dependiendo de la bicicleta (como se muestra en la figura 2). Entre ellas existen tres grandes tipos: las bicicletas estáticas, las elípticas y las spinning.

Bicicleta estática: Esta bicicleta es la tradicional. Funciona por medio de bandas o cadenas de tracción. En este tipo de bicicleta, el usuario está sentado, por lo que el cansancio será menor y de esta forma se podrá ejercitar más.²⁸ Dependiendo del tipo de bicicleta estática (bicicleta vertical o reclinada), el usuario tendrá una posición para el correcto uso.

Figura 2. Partes de una bicicleta estática



Fuente: La bicicleta fija y sus beneficios-Bicicleta fija para bajar de peso

²⁸ QUIMINET. La bicicleta fija y sus beneficios-Bicicleta fija para bajar de peso [En línea], 2011. [Consultado: 21/01/2015] Disponible en: <URL: <http://www.quiminet.com/articulos/la-bicicleta-fija-y-sus-beneficios-bicicleta-fija-para-bajar-de-peso-2555681.htm>>

Bicicleta elíptica: La bicicleta elíptica se basa en un mecanismo de tracción magnética. Estas son de bajo impacto, lo que significa que reducen al mínimo el impacto sobre partes sensibles del cuerpo (rodillas, tobillos y pies). En este tipo de bicicletas, el usuario, utiliza todo el cuerpo en el desarrollo del ejercicio.

Bicicleta de spinning: Tienen una corona pesada que se encuentra unida directamente a los pedales. Estas poseen solo una velocidad, por ello, cuando se deja de pedalear, la bicicleta sigue girando (por la inercia). Son muy similares a las bicicletas estáticas, pero se diferencian principalmente, en que las de spinning necesitan de un pedaleo más intenso.²⁹

4.3.2 Fuerzas y movimiento en una bicicleta³⁰. Para comprender las fuerzas que intervienen y los movimientos que se desarrollan cuando nos desplazamos en bicicleta vamos a repasar los mecanismos de transmisión que se emplean:

- **Plato o corona:** es la rueda dentada o engranaje delantero del sistema de transmisión. Se conecta al pedal a través de la biela; y al piñón, a través de una cadena.
- **Pedales:** La fuerza que con los pies se realiza sobre los pedales, se aplica a través de la biela sobre el plato.
- **Cadena:** Conecta las ruedas dentadas que forman el engranaje, transmitiendo la fuerza y el movimiento desde el plato hacia el piñón.
- **Piñón:** Es la rueda dentada trasera del sistema. A través del eje, transmite la fuerza y el movimiento a la rueda trasera de la bicicleta.

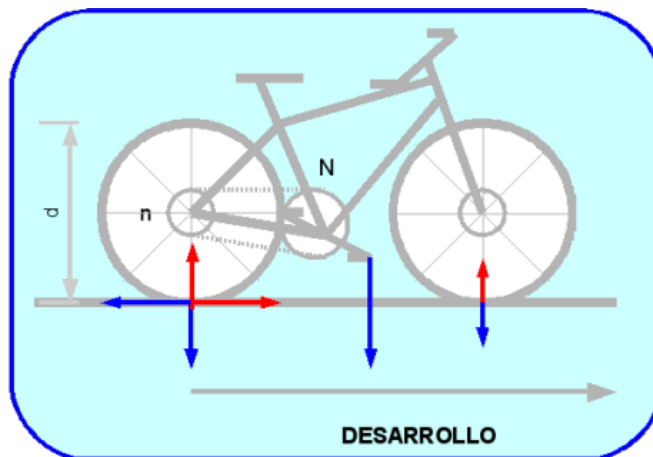
²⁹ Ibid.

³⁰ ALHADRADIGITAL. Revista Cultural del IES ALHADRA. La ciencia de la bicicleta [En línea]. [España, Almería] Mayo, 2008. [Consultado: 18/07/2015] Disponible en: <URL: <https://alhadradigital.wordpress.com/2008/05/08/273/>>

- **Biela:** Es el eje que une el pedal con el plato. Transmite al plato o corona el movimiento y la fuerza que ejerce el pie del ciclista sobre el pedal. Cuanto más larga sea la biela, menor será la fuerza que deberá hacer la persona.

En el Anexo AH y el Anexo se puede encontrar de una forma más detallada la biomecánica en el ciclismo, y podemos notar de qué forma se recomienda pedalear e igualmente se sustentan los cálculos básicos que se utilizarán en este proyecto de grado. Las fuerzas que se encuentran en una bicicleta se pueden apreciar en la figura 3:

Figura 3. Fuerzas aplicadas en un bicicleta



Fuente: ALHADRADIGITAL. Revista Cultural del IES ALHADRA. La ciencia de la bicicleta

En estas fuerzas podemos encontrar:

- La fuerza de la gravedad: El peso del ciclista y de la bicicleta es una fuerza que ejerce la Tierra sobre ambos y que actúan verticalmente y hacia abajo produciendo una acción sobre el suelo. $P = mg$, donde m es la masa en kg y g es la intensidad de la gravedad, aproximadamente 10 Newton/kg. Por ejemplo a

un ciclista que con su bicicleta tuviera una masa de 100 kg le corresponderá un peso de 1000 N.

- Las fuerzas de reacción: El suelo recibe el peso de todo el sistema y a la vez ejerce fuerzas de reacción sobre las dos ruedas de la bicicleta verticalmente y hacia arriba que equilibran al peso. $R_1 + R_2 = P$.
- Las fuerzas de transmisión: Cuando el ciclista empuja el pedal, la fuerza se transmite mediante la biela al eje del plato. La cadena se tensa y transmite el movimiento y la fuerza sobre el piñón y este transmite la acción al eje de la rueda trasera.
- La fuerza de rozamiento y la fuerza impulsora: La rueda trasera, al girar en sentido horario empuja al suelo hacia atrás mediante el rozamiento. La reacción del suelo es la que impulsa a la bicicleta hacia adelante. Como cuando remamos en una barca. Empujamos al agua hacia atrás y está por efecto de reacción nos ayuda a avanzar.
- Fuerzas de rozamiento del aire y de los rodamientos: Hemos visto que el rozamiento de la rueda con el suelo ayuda a avanzar. A la vez el contacto entre dos objetos en movimiento relativo produce un rozamiento que actúa en contra del movimiento. Para un ciclista la fuerza de rozamiento de mayor importancia que debe evitar es el rozamiento con el aire.

4.3.3 Características de desempeño del grupo acople-generado. Las velocidades del eje del generador y del volante de la bicicleta están relacionadas a partir de sus diámetros de la siguiente forma:

$$D * n_1 = d * n_2$$

La figura 4 esboza el proceso de transmisión de velocidad desde el pedal de la bicicleta hasta el eje del generador. La velocidad varía de acuerdo con los diámetros de cada uno de los componentes.

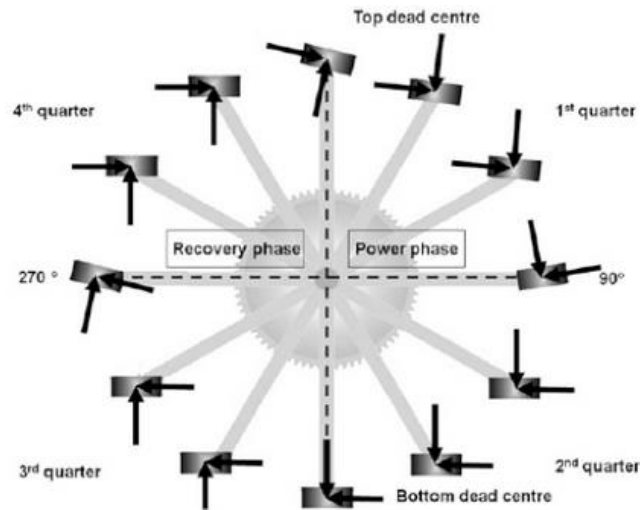
Figura 4. Transmisión de velocidad



Fuente: VON, K. MACAL, T. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas

En la figura 5 se aprecia un diagrama de fuerzas durante el ciclo de pedaleo. Los vectores indican la dirección de la fuerza a aplicar durante la fase propulsiva y la fase de recobro.

Figura 5. Diagrama de fuerzas durante el ciclo de pedaleo



Fuente: La técnica del pedaleo

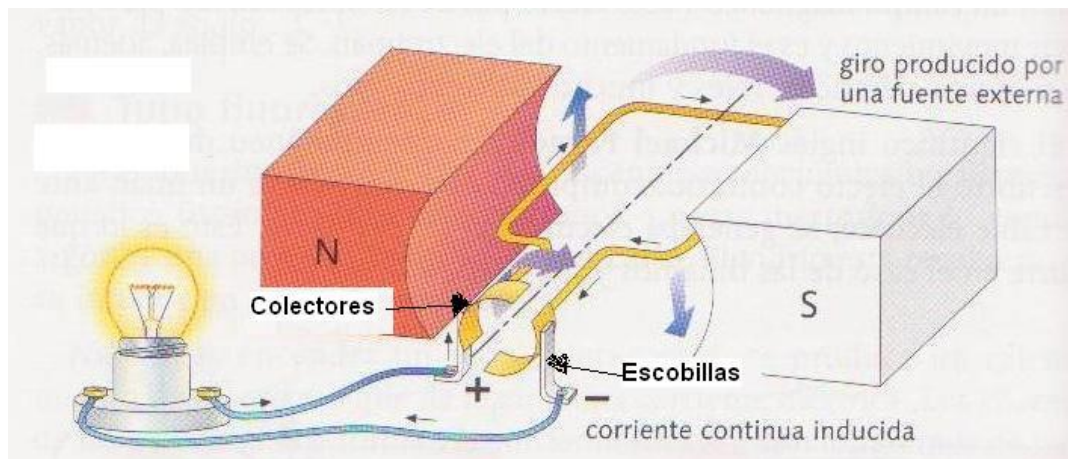
4.3.4 Generador eléctrico. Un generador eléctrico es todo aparato capaz de mantener un delta de potencial eléctrico entre sus puntos (denominados polos), transformando de esta forma, la energía mecánica que se usa para generar su rotación en energía eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (llamado estator). En el caso de que se produzca un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se genera una fuerza electromotriz (F.E.M), como lo explica la ley de Faraday.³¹

Lo que produce es corriente alterna, pero esta puede ser rectificad para obtener una corriente continua. De la misma forma, en el caso de que se alimentarán los polos de salida, con corriente eléctrica, el eje giraría (similar a un motor eléctrico), o sea, generaría el proceso inverso.

³¹ WIKIPEDIA. Generador Eléctrico [En línea], Diciembre 2014. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Generador_eléctrico>

4.3.5 Dínamo. Una dínamo es un tipo de generador eléctrico; donde unos colectores giran en los extremos de una espira y unas escobillas fijas, por donde se genera la energía eléctrica. En la figura 6 podemos observar que los colectores están cortados, el motivo, es para que fuera de la espira la energía siempre vaya en el mismo sentido (por esto se produce corriente continua). En el caso de que giren en sentido contrario saldría corriente alterna, y ya no dejaría de ser una dínamo y pasaría a ser un alternador.

Figura 6. Esquema de una dínamo



Fuente: Área de la tecnología, La dínamo

4.3.6 Rectificador³². Los rectificadores son circuitos realizados con diodos, capaces de cambiar la forma de onda de la señal que reciben en su entrada. Estos son usados a menudo en fuentes de alimentación de los equipos electrónicos. Es necesario aclarar, que casi todos los equipos electrónicos funcionan internamente con corriente continua, por ello, la fuente de alimentación se encarga de convertir esa corriente alterna en corriente continua. Es necesario para realizar esta función es el circuito rectificador.

³² MCGRAW-HILL. Rectificadores y Filtros [En línea]. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171624.pdf>>

Podemos establecer una clasificación de los rectificadores en función del número de diodos (ver la figura 7) que utilizan. Así, tendremos:

- Rectificador de media onda, formado por un único diodo.
- Rectificador de onda completa

Figura 7. Diodo

Diodo. Es un componente electrónico formado por una unión PN, y tiene la funcionalidad de que la corriente eléctrica circula por él en un solo sentido.



Fuente: Rectificadores y diodos

Rectificador de media onda: Es un circuito que elimina la mitad de la señal que recibe en la entrada, en función de cómo esté polarizado el diodo: si la polarización es directa, eliminará la parte negativa de la señal, y si la polarización es inversa, eliminará la parte positiva. Los parámetros más importantes que debemos tener en cuenta en este tipo de rectificadores son los que se pueden ver en la tabla 1.

Rectificador de onda completa: El circuito rectificador de onda completa es el tipo más empleado en las fuentes de alimentación de los equipos, debido a que con él se obtiene una corriente continua muy parecida a la que proporcionan las pilas o las batería. De este tipo de rectificador, podemos identificar dos importantes:

- Rectificador de onda completa con transformador de toma intermedia: para el uso de estos rectificadores es importante considerar una serie de parámetros importantes a la hora de ponerlos a funcionar, como vemos en la tabla 2.
- Rectificador de onda completa con puente de diodos: Este rectificador es uno de los más usados en las fuentes de alimentación, tanto si está formando por cuatro diodos individuales como en su versión integrada. Estos últimos son más fáciles de manejar, puesto que disponen de cuatro patillas, dos para su conexión al transformador, y otras dos para la conexión hacia la carga.

Tabla 1. Parámetros fundamentales en rectificadores de media onda

Parámetro	Fórmula	Observaciones
Valor medio de la tensión	$V_{med.} = \frac{V_{máx.}}{\pi}$	Es la media aritmética de todos los valores instantáneos de la señal comprendidos en un intervalo (en este caso la mitad del periodo).
Valor eficaz de la tensión	$V_{ef.} = \frac{V_{máx.}}{2}$	Este valor de tensión lo podemos comprobar con un polímetro.
Valor medio de la intensidad	$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R}$	Se obtienen aplicando la ley de Ohm a los valores de tensión. Dependen de la resistencia de carga del rectificador.
Valor eficaz de la intensidad	$I_{ef.} = \frac{V_{ef.}}{R}$	

Tabla 2. Parámetros fundamentales en rectificadores de onda completa

Parámetro	Fórmula	Observaciones
Valor medio de la tensión	$V_{med.} = \frac{2 V_{máx.}}{\pi}$	Es la media aritmética de todos los valores instantáneos de la señal comprendidos en un intervalo (en este caso la mitad del periodo). Si se tiene en cuenta la tensión de la polarización directa del diodo, tenemos: $V_{med.} = \frac{2 (V_{máx.} - 0,7)}{\pi}$
Valor eficaz de la tensión	$V_{ef.} = \frac{V_{máx.}}{\sqrt{2}}$	Podemos comprobar este valor de tensión con un polímetro.
Tensión máxima inversa del diodo	V_R	Se obtiene de la hoja de características del diodo. Debe ser igual, como mínimo, al doble de la tensión máxima que proporciona el transformador.
Valor medio de la intensidad	$I_{med.} = \frac{V_{med.}}{R}$	Se obtienen aplicando la ley de Ohm a los valores de tensión. Dependen de la resistencia de carga del rectificador.
Valor eficaz de la intensidad	$I_{ef.} = \frac{V_{ef.}}{R}$	

Fuente: Rectificadores y diodos

4.3.7 Inversor³³. Un inversor es un aparato que cambia un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. Las formas de onda de salida del voltaje de un inversor ideal deberían ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores. Estos se pueden clasificar en dos tipos: inversor monofásico e inversor trifásico.

Se pueden utilizar condensadores e inductores para suavizar el flujo de corriente desde y hacia el transformador. Además, es posible producir una llamada “onda

³³ WIKIPEDIA. Inversor (Electrónica) [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electrónica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electrónica))>

senoidal modificada”, la cual se genera a partir de tres puntos: uno positivo, uno negativo y uno de tierra. Los inversores más avanzados utilizan la modulación por ancho de pulsos con una frecuencia portadora mucha más alta para aproximarse más a la onda seno o modulaciones por vector de espacio mejorando la distorsión armónica de salida. También se puede pre-distorsionar la onda para mejorar el factor de potencia.

Parámetros de rendimiento:

- Factor armónico de la n-ésima armónica (HF_n). El HF_n, es una medida de la contribución individual de esa armónica y se define (4).

$$HF_n = \frac{V_{on}}{V_{o1}} \text{ para } n > 1 \quad (4)$$

Donde V₁ es el valor eficaz (rms) de la componente fundamental y V_{on} es el valor eficaz de la n-ésima componente armónica.

- Distorsión armónica total (THD – Total Harmonic Distortion). La distorsión armónica total, es una medida de la coincidencia de forma entre una onda y su componente fundamental (5).

$$THD = \frac{1}{V_{o1}} * \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_{on}^2} \quad (5)$$

- Factor de distorsión (DF-Distortion Factor): Se diferencia de la anterior en que detalla a cualquiera de las armónicas que constituye la señal, por el principio de Fourier. El DF indica la cantidad de distorsión armónica que queda en determinada forma de onda después de someter a las armónicas de esa onda a

una atenuación o filtrado de segundo orden, es decir, dividir las entre n^2 . Se vuelve entonces una medida de la eficacia de la reducción de armónicos no deseados, y se define así (6):

$$DF = \frac{1}{V_{o1}} \sqrt{\sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left(\frac{V_{on}^2}{n^2}\right)^2} \quad (6)$$

Para la selección del inversor es necesario saber cuánta potencia se requiere, y de esta forma se selecciona. Dependiendo del transformador y los transistores, entregara la potencia.

4.3.8 Transformador³⁴. El transformador es un dispositivo que permite modificar potencia eléctrica de corriente alterna con un determinado valor de tensión y corriente en otra potencia de casi el mismo valor pero, generalmente con distintos valores de tensión y corriente.

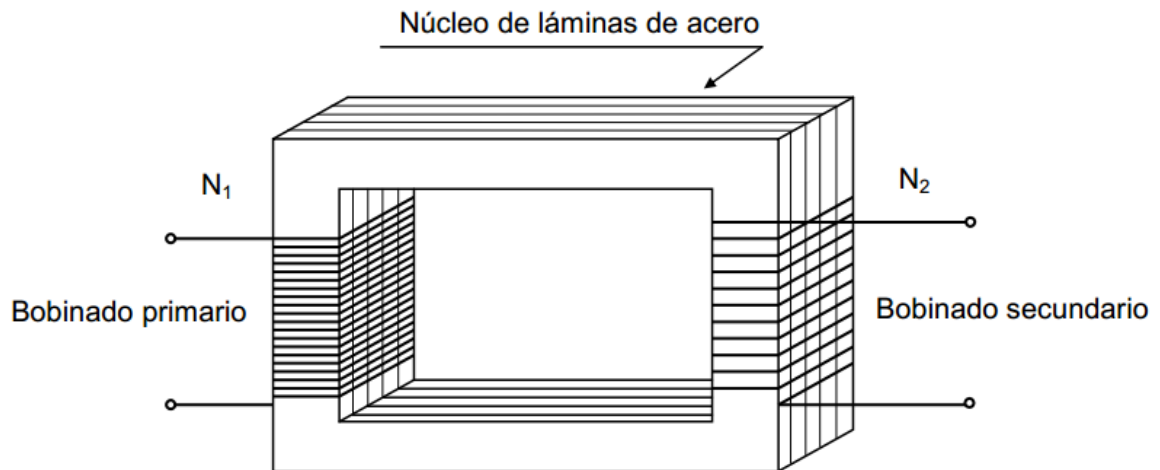
Es una máquina estática de bajas pérdidas y tiene un uso muy extendido en los sistemas eléctricos de transmisión y distribución de energía eléctrica. Cuando se requiere transportar energía eléctrica, desde los centros de generación (Centrales eléctricas) a los centros de consumo, se eleva la tensión (desde unos 15 kV hasta 132, 220 o 500 kV) y se efectúa la transmisión mediante líneas aéreas o subterráneas con menor corriente, ya que la potencia en ambos lados del transformador es prácticamente igual, lo cual reduce las pérdidas de transmisión ($R I^2$). En la etapa de distribución se reduce la tensión a los valores normales (380/220

³⁴ ÁLVAREZ, Julio. Transformadores [En línea], 2009. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica_y_maquinas_electricas/apuntes/7_transformador.pdf>

V), mediante los transformadores adecuados. El transformador más usado es el monofásico.

Transformador monofásico: Básicamente está formado por un núcleo compuesto de láminas de hierro y dos bobinados, a los cuales denominaremos primario y secundario. El bobinado primario con “N1” espiras es aquel por el cual ingresa la energía y el secundario con “N2” espiras es aquel por el cual se suministra dicha energía. En la figura 8 observamos un esquema de un transformador del tipo núcleo.

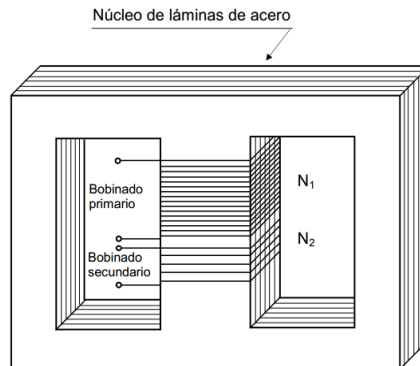
Figura 8. Esquema de un transformador del tipo núcleo



Fuente: ÁLVAREZ, Julio. Transformadores

En la figura 9 tenemos un transformador del tipo acorazado, en el cual los dos bobinados se ubican en la rama central, logrando con este sistema reducir el flujo magnético disperso de ambos bobinados, colocando generalmente el bobinado de baja tensión en la parte interna y el de mayor tensión rodeando a este en la parte externa.

Figura 9. Esquema de un transformador monofásico del tipo acorazado



Fuente: ÁLVAREZ, Julio. Transformadores

Si tomamos un transformador ideal con carga, en el cual no hay pérdidas, la potencia (P) que se consume en la carga, es la misma que suministra la fuente, por lo que se cumple (7), (8) y (9). En la figura 10, podemos ver un esquema con transformador monofásico con carga.

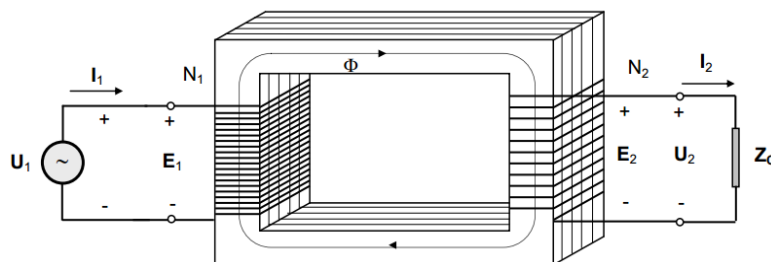
$$P_1 = P_2 = U_1 * I_1 * \cos\phi = U_2 * I_2 * \cos\phi \quad (7)$$

$$S_1 = S_2 = U_1 * I_1 = U_2 * I_2 \quad (8)$$

Con la que tenemos:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (9)$$

Figura 10. Esquema de un transformador monofásico con carga



Fuente: ÁLVAREZ, Julio. Transformadores

4.3.9 Batería³⁵. Es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo y un electrodo negativo, o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función.

Las baterías vienen en muchas formas y tamaños, desde las celdas en miniatura que se utilizan en audífonos y relojes de pulsera, a los bancos de baterías del tamaño de las habitaciones que proporcionan energía de reserva a las centrales telefónicas y ordenadores de centros de datos. Los parámetros para las baterías son:

Tensión: La tensión o potencial (en voltios) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso al cual se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del par redox utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento.

Se obtiene de calcular el trabajo, W , requerido para transferir una cantidad de carga que a través de una sección transversal de un elemento (el conductor o cable) contra la fuerza eléctrica que producen las otras cargas del conductor. La unidad de voltaje es el voltio. En (10) vemos su función, donde V es el voltaje, W el trabajo, q la carga y t el tiempo:

$$V = \frac{dW(t)}{dq(t)} \quad (10)$$

³⁵ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

Corriente: Es la tasa de cambio neta de la carga Q (medida en culombios) transferida a través de una sección transversal de un conductor, en (11) vemos su ecuación, donde I es la corriente, q es la carga y t el tiempo.

$$I = \frac{dq(t)}{dt} \quad (11)$$

Capacidad de carga: La capacidad de carga que puede almacenar el elemento o capacidad del acumulador, se mide en amperios-hora (Ah) y es el segundo parámetro a considerar. Especial importancia tiene en algunos casos la intensidad de corriente máxima obtenible, medida en amperios (A). Un miliamperio-hora es la corriente en miliamperios que puede entregar la pila durante 1 hora. Entre una batería o pila de 1200 mAh y otra de 2200 mAh la segunda durará más tiempo porque tiene mayor cantidad de carga eléctrica almacenada. En cualquier equipo eléctrico podemos colocar cualquier pila con cualquier mAh ya que influye en la duración.

Carga eléctrica: Esta se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en amperios (A) (12), donde Q es la carga eléctrica, I la intensidad, t el tiempo en segundos, t_h el tiempo en horas. La unidad es el culombio (C) en el SI.

$$Q = I * t = I * (t_h * 3600) \quad (12)$$

Energía: La que puede suministrar una batería de su capacidad y de su voltaje, se mide habitualmente en Wh (vatios-hora), en (13) vemos la ecuación, donde W es la energía, P la potencia, t es el tiempo en segundo y t_h es el tiempo en horas; la unidad en el sistema internacional es el Julio.

$$W = P * t = W * (t_h * 3600) \quad (13)$$

Rendimiento: Es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga.

Constante de carga/descarga (C): Es una constante creada por los fabricantes que depende de los miliamperios hora especificados en la batería y que se usa para poder señalar más fácilmente la intensidad a la que debe cargarse o descargarse una batería sin que éste sufra daños, esta se puede calcular según (14), donde C es la constante de carga o descarga y X es la capacidad en mAh de la batería.

$$C = \frac{X}{1000} \quad (14)$$

Efecto memoria: Es un efecto no deseado que afecta a las baterías y por el cual en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada). La consecuencia es la reducción de la capacidad de almacenar energía debido al interior de la batería.

4.3.10 Tabla comparativa de los diferentes tipos de pilas³⁶. En la siguiente tabla podemos observar una comparación de las diferentes pilas:

Tipo ↕	Energía/ peso ↕	Tensión por elemento (V) ↕	Duración (número de recargas) ↕	Tiempo de carga ↕	Auto-descarga por mes (% del total) ↕
Plomo	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Fe	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10 000	4-8h	10 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30 %
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10 %

En los anexos se encuentran los diferentes tipos de batería (Anexo B al Anexo G).

³⁶ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

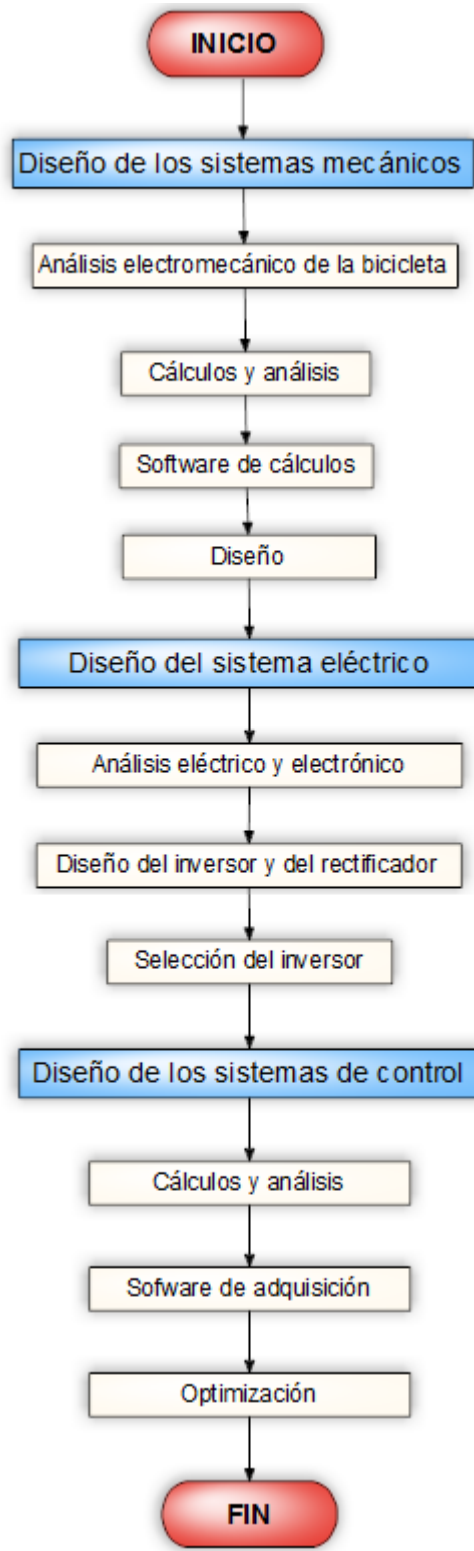
5. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Para efectuar el proceso de diseño se considerarán varias especificaciones que se dividen en 3 (tres) subgrupos: el primero es el diseño de sistemas mecánicos donde tendremos que considerar 3 (tres) opciones de diseño diferente (acoplado como una bicicleta estática, por rozamiento y por juego entre poleas), aquí tendremos como parámetros una bicicleta de 26 [in], un peso máximo de carga de 100 [kg] y una potencia mecánica de 466,7 [W] (el cálculo para este valor se encuentra en los cálculos básicos en el marco teórico de este trabajo), posterior a seleccionar el mejor diseño, se diseña un software capaz de calcular los parámetros de construcción para generar una potencia requerida o una velocidad de pedaleo.

El segundo subgrupo es el diseño del sistema eléctrico, donde se tienen dos ítems: el inversor y el rectificador, en el primero se consideraran dos opciones (diseñar el inversor y seleccionar el inversor en el comercio) las cuales posteriormente se comparan (véase la sección 7 “PRUEBAS Y ENSAYOS”), para el inversor tenemos unos parámetros donde la salida debe ser de 120 [VAC] a 60[Hz] con un máximo de 3.5 [A] y 350[W]. En la entrada tendremos 12 [VDC] con un máximo de 4 [A]. Para el rectificador se tienen la salida debe ser 12 [VDC] a un máximo de 4 [A] y la entrada de 120 [VAC], 60 [Hz] y 3.5 [A] pero todo esto puede ser variable dependiendo lo que entregue el generador eléctrico.

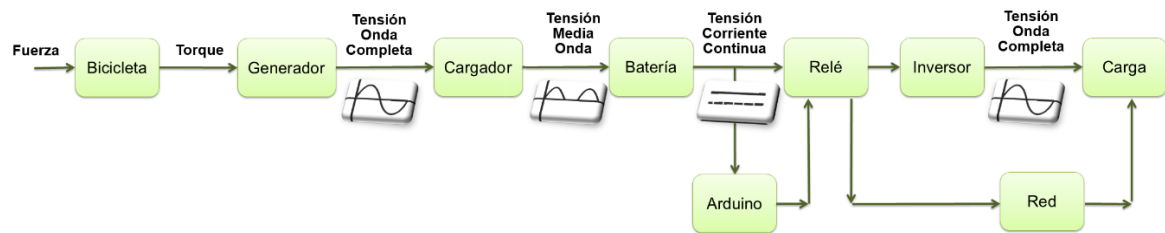
Por último, en el tercer subgrupo tenemos el diseño de los sistemas de control, donde desarrollaremos todo con la ayuda de la tarjeta desarrolladora Arduino y como especificaciones tenemos que la salida es 12 [VDC] y la entrada de 5 [VDC] (para tener una mejor comprensión de todo véase el diagrama de flujo 1).

Diagrama de flujo 1. Diseño del sistema de generación eléctrica



El montaje consta de 3 (tres) partes fundamentales: el cuerpo mecánico, el inversor (con el rectificador y batería) y el control. Para poder visualizar el montaje total de una mejor forma, se presenta un diagrama de bloques del montaje total en la figura 11 (véase Anexo A). Este nos muestra que al sistema le va entrar la fuerza (pedaleo – torque) al mecanismo (bicicleta), mediante un juego de poleas llega al generador eléctrico el cuál proporciona una tensión con onda completa que saldrá al cargador (rectificador), aquí la tensión con onda completa es transformada en media onda para que cargue la batería inmediatamente. La salida de la batería va conectada a un relé que es controlado con una tarjeta Arduino que a su vez da la señal para enviar la tensión de corriente continua al inversor para que este alimente la carga.

Figura 11. Diagrama de bloques del montaje total



5.1 DISEÑO DE LOS SISTEMAS MECÁNICOS

En esta fase se realiza el diseño de la base donde irá acoplado la bicicleta y el generador eléctrico de esta forma se mantendrá la bicicleta fija y hará más fácil el montaje total (a la hora de acoplar el sistema de adquisición de datos, almacenamiento de energía e inversión y rectificación de la energía eléctrica).

Para esto se tendrán tres opciones de diseño: por juego de poleas, acoplado como una bicicleta estática y por rozamiento (véase figura 12). Basándonos en el libro Elementos de máquinas de Bernard J. Hamrock se realizaron los cálculos de fuerza

que se deben emplear a la hora de pedalear en las respectivas alternativas. Al final de los cálculos, se escogió la alternativa I, gracias a todas las ventajas que presentan (véase el inciso 5.1.4) como son: menor fuerza necesaria a la hora de pedalear, menor velocidad angular de pedaleo, costos aceptables para su construcción y rigidez en la estructura.

Figura 12. Opciones de diseño



Juego de poleas



Bicicleta estática



Por rozamiento

Fuente:
http://sgfm.elcorteingles.es/SGFM/dctm/IMAGENES02/201207/12/00108446481817___P1_1000x1000.jpg

Fuente:
<http://1.bp.blogspot.com/-JUO-7SRwYVvk/ThjD6D9iZFI/AAAAAAAAABhA/4kEWsApSWIc/s1600/BiciGeneradores100W.JPG>

5.1.1 Alternativa I: Cálculos del juego de poleas. El par generado por la fuerza ejercida en el pedaleo es aproximadamente 58,58 [N*m] como ya habíamos calculado antes, para ello necesitamos saber ¿qué tan rápido debemos pedalear? Manteniendo una velocidad angular promedio de 3004 r.p.m en la polea conducida para que de una potencia eléctrica promedio de 350 [W], suponiendo una eficiencia del generador de 75% que es lo más típico en el mercado.

Con la fórmula 15 podemos saber la $(F_1 - F_2)$ que necesitamos ejercer. En la figura 13 apreciamos la forma de las poleas. En la tabla 3 vemos los datos de las poleas, la cual tienen una relación de diámetros $\frac{D_2}{D_1} = 13,2$ un poco alto, pero de gran ayuda para la velocidad que se necesita transmitir. Según las indicaciones del fabricante de la polea, se cumple con el diámetro adecuado para su uso (la ficha técnica de esta se presenta en el Anexo Q).

Figura 13. Esquema de las poleas

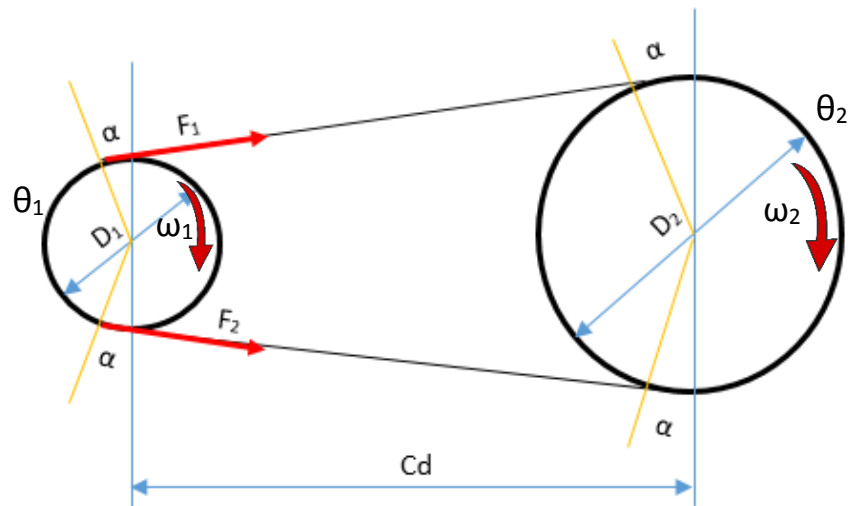


Tabla 3. Datos de las poleas	
DATO	MAGNITUD
D_1	5 [cm]
D_2	66 [cm]
A	30°
$F_1 - F_2$	373,6 [N]

Correa	Trapezoidal A90 en V tipo A (véase Anexo Q)
Cd	62 [cm]
ω_1	3004 r.p.m
ω_2	227,6 r.p.m
θ_1	120°
θ_2	240°

$$Potm = (F_1 - F_2) * V = (F_1 - F_2) * \omega * \frac{D_1}{2} \quad (15)$$

$$467 \text{ N/m} = (F_1 - F_2) * 3004 \text{ r.p.m} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * \frac{0,05 \text{ m}}{2}$$

$$(F_1 - F_2) = 373,6 \text{ [N]}$$

Con la velocidad angular de la polea conducida de 3004 r.p.m tenemos una velocidad de la polea conductora de 227,6 r.p.m deducida de la ecuación 16.

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (16)$$

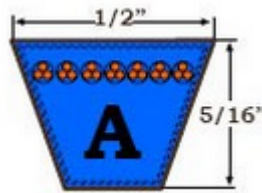
En la figura 14 podemos ver las características de la correa A90 en V tipo A (ver también Anexo Q), con estos datos y las formular 17, 18 y 19 podemos calcular la fuerza F_1 y F_2 .

$$\frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = e^{\mu * \theta_1} \quad (17)$$

$$F_c = m' * V^2 = m' * \left(\omega_1 * \frac{D_1}{2} \right)^2 \quad (18)$$

$$m' = \rho * A = \rho * b * e \quad (19)$$

Figura 14. Correa A90 en V tipo A



$$\begin{aligned} \rho &= 980 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\ b &= 0,0127 \text{ [m]} \\ e &= 0,0079375 \text{ [m]} \\ D_1 &= 0,05 \text{ [m]} \\ \omega_1 &= 3004 \text{ r.p.m} \\ \theta_1 &= 120^\circ = 2,09 \text{ [rad]} \\ \mu &= 0,35 \end{aligned}$$

Fuente: GPR Industrial

De esta forma obtenemos que:

$$m' = 0,09879 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right]$$

$$F_c = 0,1855 \text{ [N]}$$

Y por último tenemos que las fuerzas aproximadas tienen un valor de:

$$F_1 = 720,3 \text{ [N]}$$

$$F_2 = 346,7 \text{ [N]}$$

En cuanto a la relación de las cadenas como se muestra en la figura 15, sabemos que $\omega_2 = \omega_3 = 227,6 \text{ r.p.m}$ por lo tanto, tenemos que $\omega_4 = 75,87 \text{ r.p.m}$ que es lo necesario que se debe pedalear (deducida de la fórmula 20). En la tabla 4 vemos los datos del mecanismo de transmisión de la bicicleta.

$$\frac{Z_4}{Z_3} = \frac{\omega_3}{\omega_4} \quad (20)$$

$$\omega_4 = \frac{Z_3}{Z_4} * \omega_3 = \frac{14}{42} * 227,6 = 75,87 \text{ r.p.m}$$

Figura 15. Esquema del mecanismo de transmisión de la bicicleta

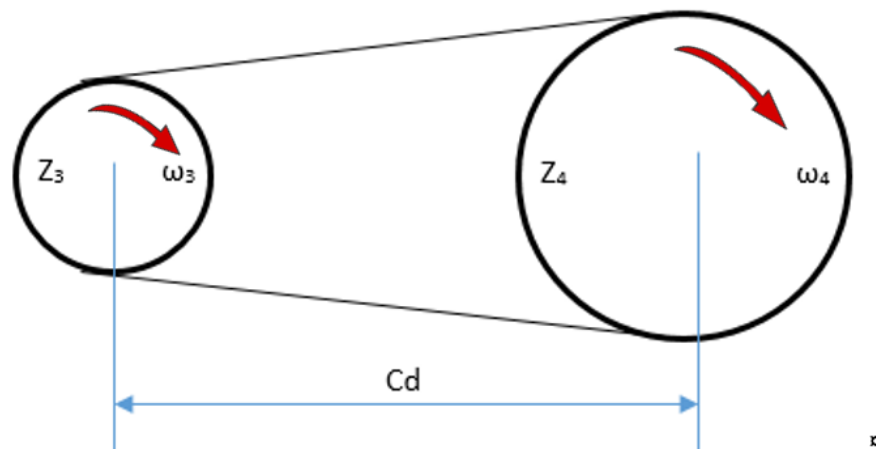


Tabla 4. Datos del mecanismo de transmisión de la bicicleta

DATO	MAGNITUD
Z ₃	14
Z ₄	42
ω ₃	227,6 r.p.m
ω ₄	75,87 r.p.m
Cd	42 [cm]

Por lo tanto, usando la ecuación 2, sabemos que con una fuerza de 58,58 y una velocidad angular de 75,87 r.p.m = 1,26 r.p.s aproximadamente, tenemos una potencia mecánica de 11,7 [W], lo que al final se va transformar en 350 [W] de

energía eléctrica contando las pérdidas que se presentan a lo largo de la transmisión.

Con el ánimo de poder modificar la fuerza con la que se da pedal, se cambia el piñón de transmisión con los cambios de la bicicleta (la bicicleta usada para este proyecto posee 7 piñones). En la tabla 5 se muestra velocidad angular que necesita dar el usuario para lograr la potencia deseada.

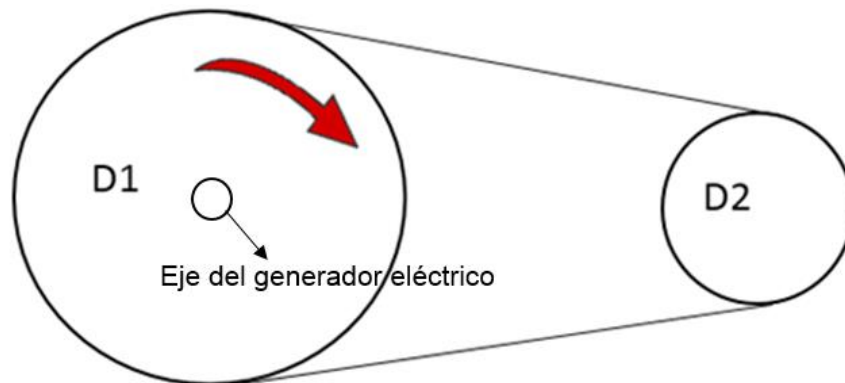
Tabla 5. Velocidad angular requerida por el usuario según el piñón	
NÚMERO DE DIENTES DEL PIÑÓN (Z_3)	VELOCIDAD ANGULAR (ω_4)
14	75,87 r.p.m
16	86,7 r.p.m
18	97,54 r.p.m
21	113,8 r.p.m
24	130,06 r.p.m
27	146,31 r.p.m
32	173,41 r.p.m

Los datos anteriores reflejan unos rasgos equivalentes a los datos calculados por la teoría como se puede identificar en el software BioExLU².

5.1.2 Alternativa II: Cálculo del acoplado como una bicicleta estática. Con los mismos datos base tomada en el inciso 5.1.1 se realizan los cálculos para la bicicleta estática. Sabemos que las vueltas que se realizan en el pedaleo son de 3:1³⁷ y esta no es modificable (véase figura 16) por lo tanto es necesario dar 1001 vueltas por minuto con una fuerza de 58,58 [N*m] para tener al final un resultado de 350 [W] de energía eléctrica.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{0,66}{0,22} = 3$$

Figura 16. Relación entre engranajes de la bicicleta estática



$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{3004}{1001} = 3$$

$$\omega_1 = 1001 \text{ r.p.m}$$

Con una potencia eléctrica resultante de 350 [W] necesitamos una potencia mecánica de 467 [W] por lo nos da una fuerza de:

$$Potm = \omega_2 * F * \frac{D_1}{2}$$

$$467 \text{ N/m} = 3004 \text{ r.p.m} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * F * \frac{0,66 \text{ m}}{2}$$

³⁷ MECANISMO DE EMBRAGUE DE RUEDA LIBRE PARA EL TREN ACCIONADOR DE UNA BICICLETA, UNA BICICLETA DE EJERCICIO Y UN BASTIDOR.

$$F = 28,27 [N]$$

Lo que nos da que el usuario debe pedalear con una torque de 5,654 [N*m] ya que un pedal promedio tiene 20 [cm] de longitud.

5.1.3 Alternativa III: Cálculos por rozamiento. Como se logró apreciar en la figura 13 tenemos que suponer que no existe deslizamiento entre la llanta de la bicicleta y el eje del generador eléctrico el cual cada vez que la llanta de contacto de una vuelta el eje dará la correspondiente a la relación. Nuevamente basándonos en los datos del inciso 5.1.1 tenemos que es necesario para que el eje del generador eléctrico tenga una velocidad angular de 3004 r.p.m la llanta rote 227,6 r.p.m por lo tanto la rotación de pedaleo debe ser igual a 75,87 r.p.m valores iguales al inciso 5.1.1, pero la fuerza necesaria que debe realizar el usuario para esta rotación es muy diferente (véase en la figura 17) y en la tabla 6 observamos los respectivos valores.

Figura 17. Relación de la llanta de contacto para el rozamiento

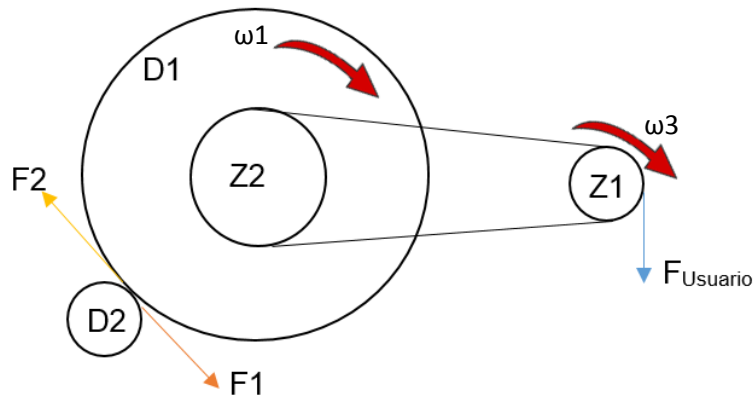


Tabla 6. Datos de los elementos de rozamiento	
DATO	MAGNITUD
Z1	14
Z2	42

D1	66 [cm]
D2	5 [cm]

$$\frac{D_1}{D_2} = 13,2$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_2}{13,2} = \frac{3004}{13,2} = 227,6 \text{ r.p.m}$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{\frac{Z_2}{Z_1}} = \frac{227,6}{3} = 75,87 \text{ r.p.m}$$

Lo que necesitamos es tener una potencia mecánica de 467 [W] entonces tenemos que la fuerza es igual a:

$$Potm = \omega_2 * F_2 * \frac{D_2}{2}$$

$$467 \text{ N/m} = 3004 \text{ r.p.m} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * F_2 * \frac{0,05 \text{ m}}{2}$$

La fuerza F_2 es igual en magnitud y contraria en dirección a la F_1 :

$$F_2 = F_1 = 373,1 \text{ [N]}$$

Por lo que el usuario debe ejercer esa misma fuerza, lo cual debe realizar un torque de 74,62 [N*m] ya que un pedal promedio tiene 20 [cm] de longitud, pero como ya habíamos visto antes, una persona en promedio es capaz de ejercer 58,58 [N*m] que es casi la novena parte de lo que debería, por lo tanto para poder realizar esto, es necesario que pedaleé 1,27 veces más, por lo tanto $\omega_3 = 108,9$ r.p.m y tendremos que $\omega_1 = 326,7$ r.p.m. Con la velocidad angular modificada tenemos que la fuerza es:

$$467N/m = 326,7 \text{ r.p.m} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * F_1 * \frac{0,66 \text{ m}}{2}$$

$$F_1 = 259,9 [N]$$

Por lo que el usuario debe ejercer esa misma fuerza en el pedal, lo cual nos da un torque de 52 [N*m] que es un poco menos del torque que puede realizar una persona en promedio.

5.1.4 Comparación entre las tres opciones de diseño. En este ítem realizaremos una comparación entre los tres diseños antes calculados para poder decidir cuál es el mejor diseño. En el cuadro comparativo (véase tabla 7) se dará un peso a cada punto analizado (esto se realizará en una escala del 1 al 5 con valores como: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo respectivamente). Los puntos a analizar son: velocidad de pedaleo del usuario, fuerza que debe ejercer el usuario, costos de los materiales para la construcción y rigidez de la estructura.

La opción que tenga mayor puntaje será la que se seleccionará. En los tres diseños se calculó en base al objetivo requerido que es obtener 350 [W] de potencia eléctrica, para ello se necesita 467 [W] de energía mecánica, y para esta es necesario pedalear con una fuerza respectiva. Todos estos valores se realizan bajo a cálculos cuantitavos que se efectuaron en los incisos 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3.

Tabla 7. Cuadro comparativo entre las opciones de diseño						
Análisis	ALTERNATIVA I: JUEGO DE POLEAS		ALTERNATIVA II: ACOPLADO COMO BICICLETA ESTÁTICA		ALTERNATIVA III: POR ROZAMIENTO	
	Peso	Valor	Peso	Valor	Peso	Valor
Velocidad de pedaleo	Muy bajo	5	Alto	2	Muy alto	1
Fuerza	Bajo	4	Muy bajo	5	Muy alto	1

Costo de los materiales	Medio	3	Muy alto	1	Bajo	4
Rigidez de la estructura	Medio	3	Muy alto	1	Muy bajo	5
Total		15		9		11

Gracias al análisis anterior, la alternativa que se va elegir es la del diseño con juego de poleas.

5.1.5 Diseño, desarrollo e implementación de un software para calcular la velocidad necesaria de pedaleo (ω_4) y la potencia generada (P_{otm} y P_{ote}). Utilizando la plataforma Visual Studio 2013 bajo el lenguaje de programación Visual Basic creamos un programa como se muestra en la figura 18 que nos permite calcular la velocidad con la que el usuario debe pedalear en revoluciones por minuto para obtener una cierta potencia eléctrica que entregará el generador eléctrico en su salida. Para realizar dichos cálculos se emplearon las ecuaciones mostradas en la sección 4.1.1 (ecuaciones: 15, 16, 17, 18, 19 y 20) y la programación la podemos ver Anexo R (para tener una mejor comprensión de todo véase el diagrama de flujo 2). Este programa lo podemos encontrar en el CD de programas.

Para poner a funcionar el programa es necesario insertar los valores indicados (estos se indican con aquellos que no están en negrilla, estos datos son obligatorios) y para ejecutar el programa damos click en “CALCULAR” o en “CALCULAR 2” según sea lo deseado. En la figura 19a se observa el diagrama de funciones que rige a las entradas y salidas del software para el botón “CALCULAR” y en la figura 19b para el botón “CALCULAR 2”.

Figura 18. Interfaz de Velocidad Necesaria

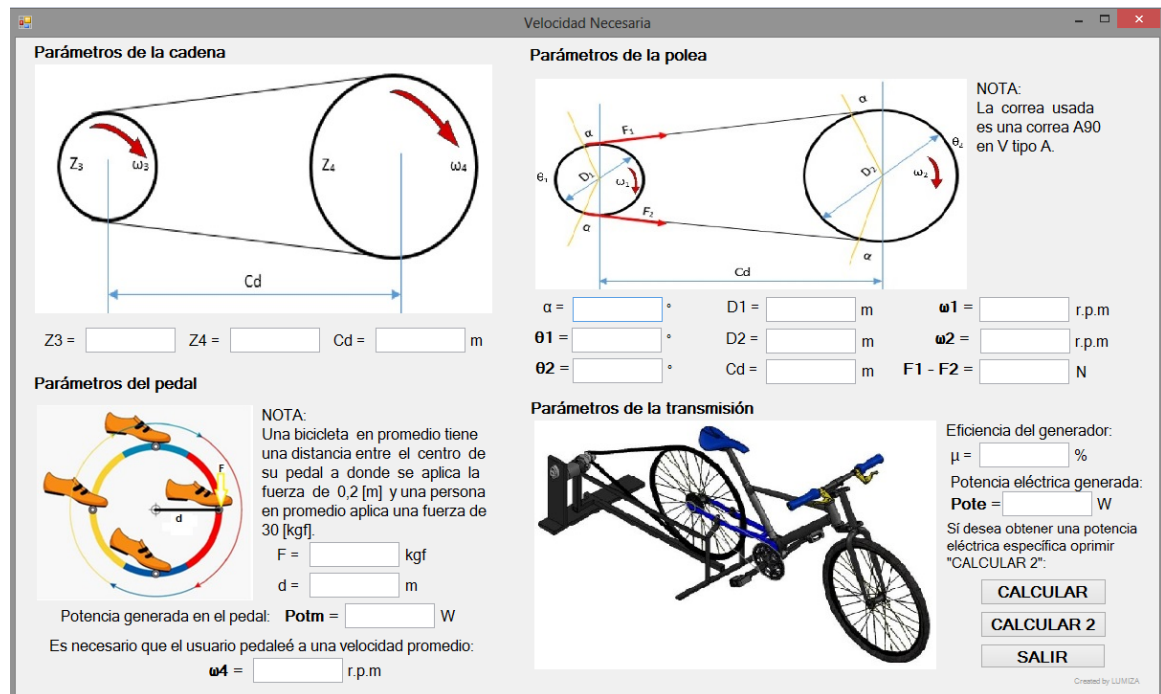


Figura 19a. Diagrama de funciones del software de cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada con botón “CALCULAR”

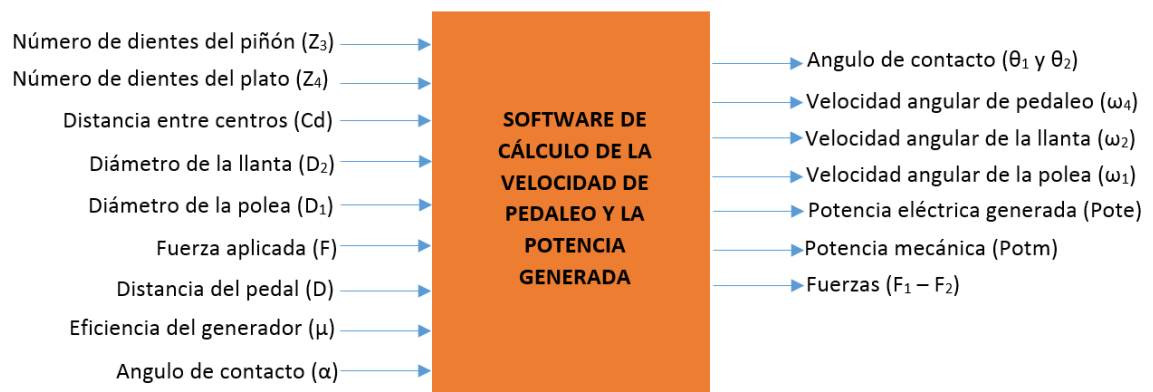


Figura 19b. Diagrama de funciones del software de cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada con botón “CALCULAR 2”

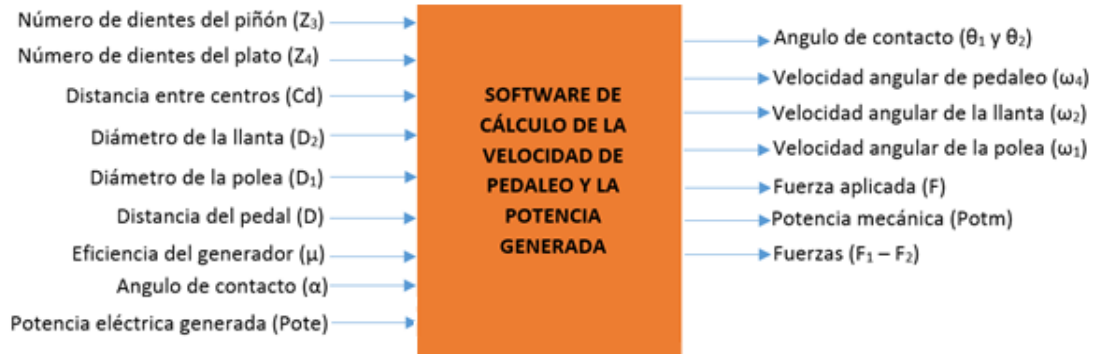
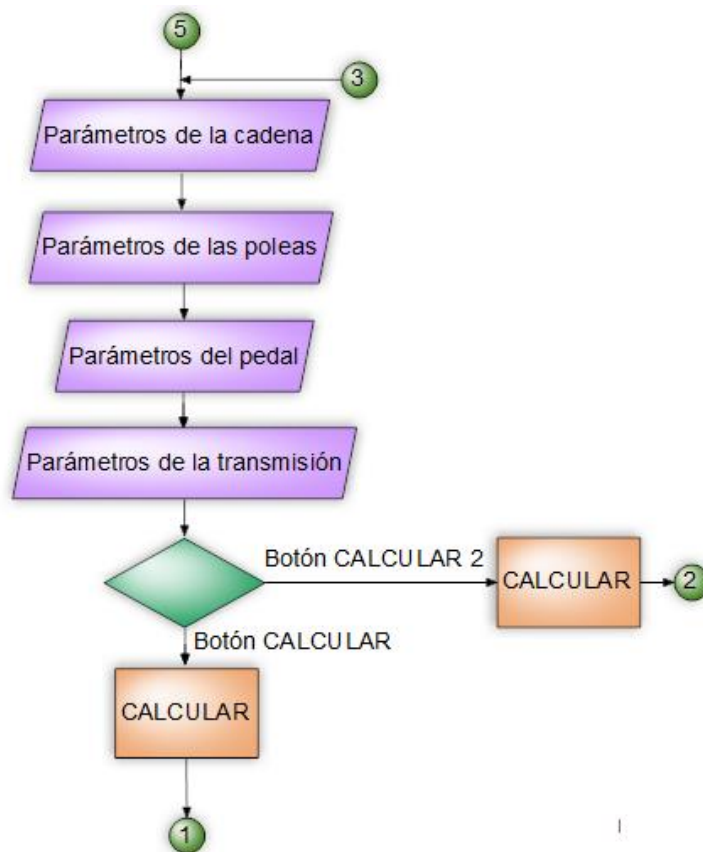


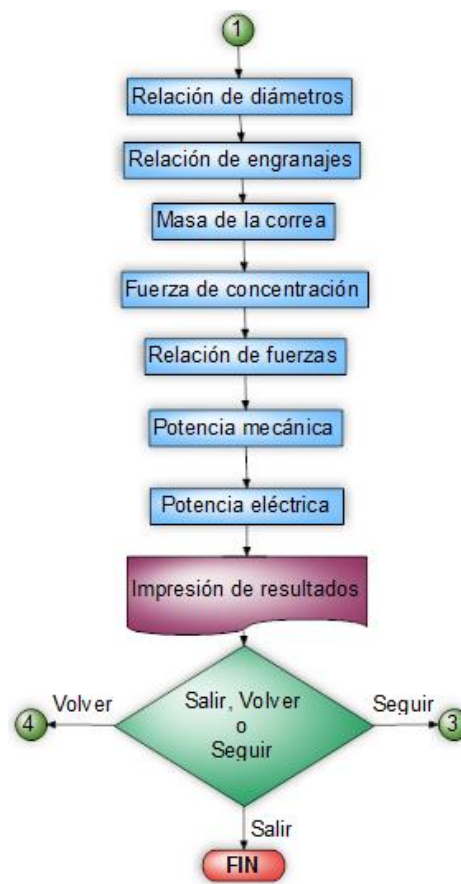
Diagrama de flujo 2. Diagrama del diseño del software para el cálculo de la velocidad de pedaleo y la potencia generada



El botón “CALCULAR” pide únicamente los datos obligatorios y como resultado obtendremos la potencia mecánica generada (Potm) la potencia eléctrica generada (Pote), la velocidad con la que debe pedalear el usuario (ω_4) y otros de interés de diseño (θ_1 , θ_2 , ω_1 , ω_2 y F1-F2). A diferencia el botón “CALCULAR 2” pide adicionalmente de los datos obligatorios la potencia eléctrica que desea el usuario y como resultado dará el resto de datos.

Para el botón “CALCULAR” se tiene en cuenta todos los parámetros de ingreso obligatorio al programa, por lo que las ecuaciones 15, 16, 17, 18, 19 y 20 cumplen una labor (véase diagrama de flujo 3).

Diagrama de flujo 3. Proceso del botón CALCULAR



A diferencia de cuando se elige el botón “CALCULAR 2” donde es necesario ingresar un parámetro nuevo (la potencia eléctrica que deseamos generar) y por consiguiente la ecuación 15 se usa para calcular las fuerzas y la velocidad. Esto facilita los cálculos porque no es necesario usar las ecuaciones 17, 18 y 19 para poder hallar la potencia mecánica (véase diagrama de flujo 4).

Diagrama de flujo 4. Proceso del botón CALCULAR 2



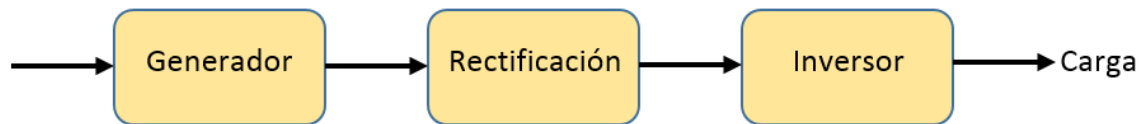
Siguiendo una estructura computacional podemos tener en secuencia la solución de las ecuaciones de diseño presentes en este software, en el diagrama de flujo 3 podemos notar que primero resolveremos la relación entre diámetros y la de engranajes para poder tener la fuerza de concentración, así podemos tener la relación de fuerzas para poder hallar la potencia mecánica y de esta manera obtener la potencia eléctrica. Ya con todos estos resultados podemos imprimir los datos de diseño que necesita el usuario. Este procedimiento lo vamos a obtener sólo si se oprime el botón “CALCULAR”.

A diferencia de sí el usuario decide optar por el botón “CALCULAR 2” (en la cual necesita ingresar como dato necesario: la potencia eléctrica que desea), la estructura computacional es un poco más corta que eligiendo la opción “CALCULAR” ya que no necesita calcular las fuerzas para obtener la potencia mecánica, de lo contrario, cuando calcula la potencia mecánica que se necesita dependiendo de la potencia eléctrica la cual desea el usuario y de aquí sacamos la fuerza que necesita emplear el usuario. Sin embargo, el principio de ambos casos es similar, pero los resultados serán diferentes, ya que se tiene un parámetro de más.

5.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE GENERACIÓN

En la segunda fase se realizó el diseño del rectificador y el inversor. La salida del generador eléctrico va conectada a un sistema de rectificación que eliminará la onda completa para que quede solo media onda, de esta forma pueda ir conectado directamente a la batería de 12 VDC (véase Anexo S). La batería va conectada al inversor y en la salida del inversor va conectada la carga. Este sistema simplificado lo podemos detallar en la figura 20.

Figura 20. Sistema simplificado de la segunda fase



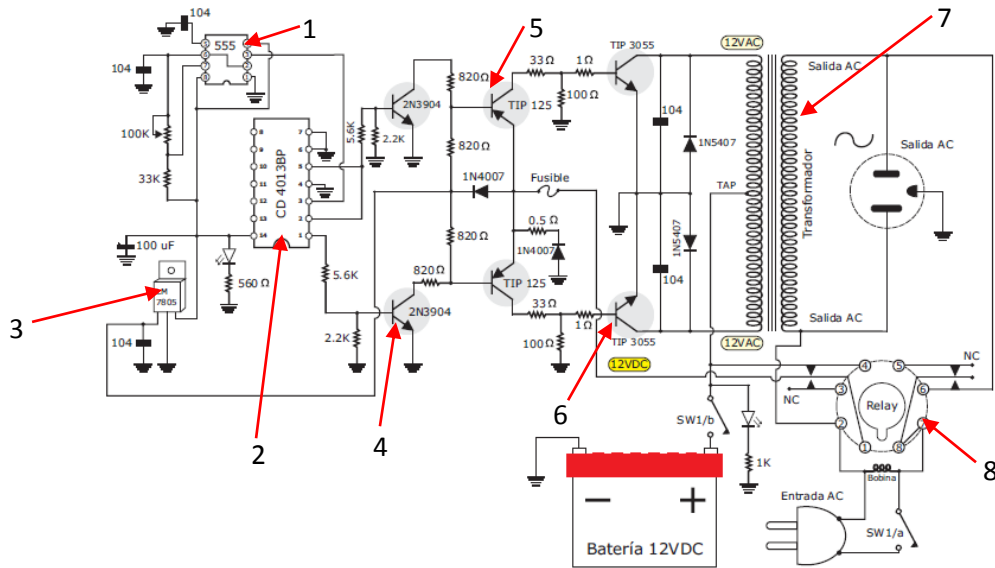
Para la parte del inversor se tomaron dos modelos, uno artesanal (elaborado por los autores) y otro comercial (comprado en el mercado).

5.2.1 Diseño del inversor. Para el diseño del inversor nos basamos en un blog tecnológico donde explican cómo realizar un inversor³⁸ (el link de la página se encuentra en la bibliografía) de 350 [W]. Este inversor consta de un oscilador que controla unos transistores los cuales conmutan la corriente proveniente de la batería generando una onda cuadrada. A la salida, esta onda alimenta un transformador el cual elevara el voltaje al deseado (en este caso 120 VAC) suavizando la forma de la onda, para que se asemeje a una onda senoidal. La transformación de onda cuadrada a onda senoidal no es tan sencillo, por lo que con este diseño se intenta acerca a dicha onda.

En la figura 21 se puede apreciar el circuito del inversor, sin embargo en el Anexo Z se puede detallar más en detalle el circuito del inversor, posición de los componentes, máscara de componentes, circuito impreso, máscara anti-soldante entre otros todos proporcionados por “construyasuvideorockola.com”.

³⁸ CONSTRUYA SU VIDEO ROCKOLA. INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA [En Línea], 2012. [Consultado: 21/08/2014] Disponible en: <URL: http://construyasuvideorockola.com/proyecto_inversor_01.php>

Figura 21. Circuito del inversor



Fuente: CONSTRUYA SU VIDEO ROCKOLA. INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA

En el circuito se usa un temporizador 555⁽¹⁾ que generará oscilaciones y retardos de tiempo de precisión. Aquí lo usamos para realizar un flip-flop y excitará un circuito integrado 4013⁽²⁾ que es un flip-flop tipo D. Usando los semi-ciclos positivos del 555 para que el 4013 genere una onda cuadrada perfecta. Ambos integrados deben ser alimentados con 5 VDC por lo que usamos un LM7805⁽³⁾ para dicha alimentación. Las señales cuadradas entregadas por el 4013 la recibirán los transistores 2N3904⁽⁴⁾ (ya que su base es positiva, solo conducirá en estado alto) de polaridad NPN, al conducir excitarán un transistor TIP 125⁽⁵⁾ de polaridad PNP, estos activan los transistores de salida TIP 3055⁽⁶⁾ de polaridad NPN que a su vez activarán el devanado del transformador⁽⁷⁾. El transformador estará conectado a la batería en el tap central, cuando este se alimente (la corriente directa se transformará en corriente alterna) el transformador elevará la corriente en el devanado secundario. Junto al temporizador 555 se conectará un reóstato de 100 [KΩ] para fijar la frecuencia necesaria. Con el fin de tener una alimentación continua a la carga

(electrodomésticos o aparatos industriales que se conectan a la salida del inversor) se usa un relé mecánico⁽⁸⁾ de 8 pines que conectará el inversor de a la red pública o a la batería según sea necesario.

Gracias a que este inversor es diseñado con un transformador y que posee un reóstato, se puede modificar la resistencia y se asegura una frecuencia de 60 [Hz], gracias a que se mandan la señal de pulso cuadrada con ayuda del circuito 555.

5.2.2 Selección del inversor comercial. Para la selección del inversor es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Salida de 120 [VAC] a 60 [Hz]
- Potencia continua mínima de 400 [W].
- Potencia de pico mínima de 800 [W].
- Alimentación de entrada de 12 [VDC].
- Protección de sobrecarga contra fallas de apagado, térmica, de sobretensión y de polaridad.

La ficha técnica del inversor seleccionado referencia SMT-400 se puede detallar de mejor forma en el Anexo AA, el cual cumple con todas las expectativas y con algunas mejoras. Este tipo de inversor usan juego de puentes rectificadores e integrados para poder modificar la onda cuadrada y usarlo como si fuera un PWM, de esta forma asegura una onda limpia pero no la estabilidad de la frecuencia.

5.2.3 Selección de la batería. Para la selección de la batería es necesario tener presente el porcentaje de descarga, la duración de vida y el precio; estos dependen exclusivamente de la tecnología usada por el fabricante. Compararemos tres diferentes tecnologías: plomo-ácido, batería AGM (Absorbent Glass Mat) y baterías de gel. La tabla 8 compara estos tres tipos de batería.

Tabla 8a. Tipología de baterías

TIPOLOGÍA DE BATERÍAS			
TECNOLOGÍA	PLOMO-ÁCIDO	GEL	AGM
Voltaje	12V	6V y 12V	6V y 12V
Capacidad de la batería [Ah]	de 40 hasta 180	de 16 hasta 210	de 33 hasta 225
Corriente de arranque en frío EN [A]	de 330 a 920	de 180 a 1030	de 680 a 950
Ángulo de montaje	Sin inclinación	Cualquier posición	Cualquier posición
Requerimientos de carga	DC, 10% de la capacidad	DC, del 25% al 50% de la capacidad	DC, cualquier amperaje
Tiempo de descarga	Tras 8 meses mantiene el 35% de la carga	Tras 2 años mantiene el 85% de la carga	Tras 2 años mantiene el 90% de la carga
Vida útil (ciclos carga / descarga)	Entre 350 a 400	Entre 550 y 600	Entre 950 y 1000
Máxima capacidad de descarga	En torno al 55% - 60%	En torno al 75%	100%
Posible pérdida de electrolito	Posible pérdida de líquido	Posible pérdida de gel	Ninguna

Fuente: MAPFRE. Baterías AGM para vehículos Stop&Start

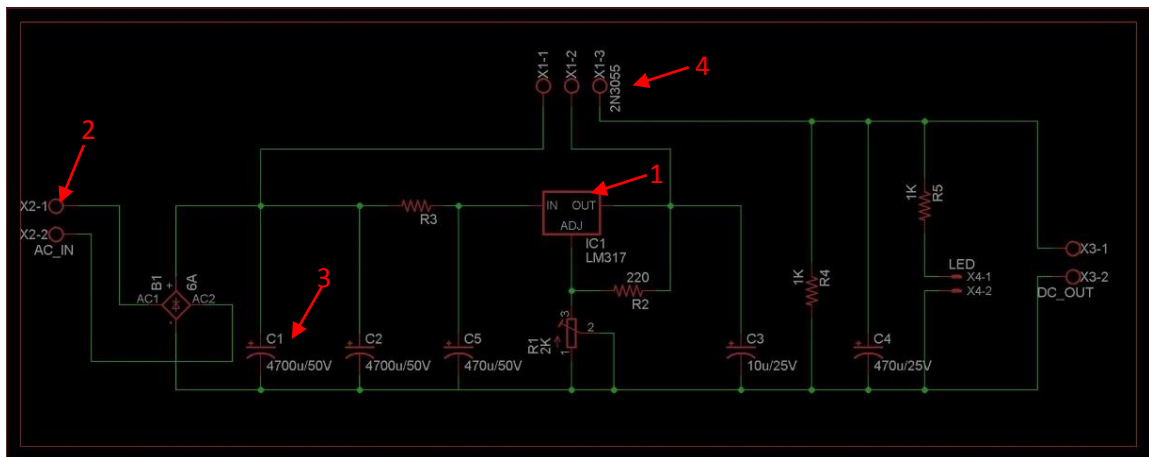
La anterior tabla nos muestra grandes ventajas en las baterías AGM, por lo que nosotros seleccionaremos esta batería, ya que necesitamos una que tenga la mayor capacidad de descarga (porque no siempre se va mantener cargando nuestra batería) y la mayor vida útil posible (porque se cargara por intervalos, la carga no será constante).

Los ciclos de vida útil de la batería nos lo proporciona el fabricante, la cual consta del porcentaje de descarga de la batería (véase Anexo S) y de la temperatura en la que se encuentre trabajando. En nuestro caso, la batería adquirida a una temperatura ambiente de 25°C posee una capacidad de descarga

aproximadamente del 80% lo que nos da unos 300 ciclos de vida aproximadamente (véase Anexo S). Sin embargo por la tecnología usada por el fabricante, tenemos ciclos de vida superiores a 950 en carga y descarga total.

5.2.4 Diseño del rectificador. Antes de proceder a realizar algún diseño tenemos que tener presente que al rectificador lo alimentará la salida del generador eléctrico. Debido a que el voltaje y la frecuencia que proporciona el generador eléctrico varían según la rotación de su eje, necesitamos diseñar un rectificador que soporte unos intervalos de tensión y de frecuencia. De esta forma aseguramos que si el usuario pedalea más suave o más despacio la salida del rectificador siga siendo de 12 [VDC] para que la carga que este alimentando el inversor no se apague. El circuito diseñado se puede apreciar en la figura 22.

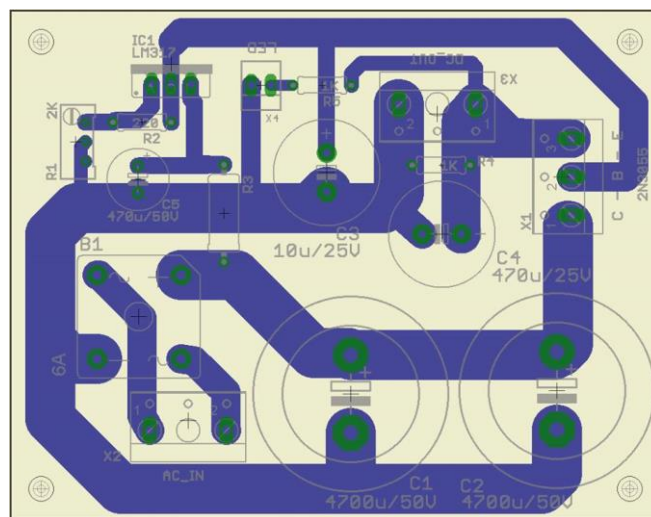
Figura 22. Circuito del rectificador



El rectificador deberá entregar a la salida 12 [VDC] a un máximo de 4 [A], para ello nos basamos en una fuente reguladora controlada por un LM317⁽¹⁾ (ver datasheet en el Anexo AC) que mantendrá constante la salida a 12 [VDC].

Teniendo una entrada de 110/120 [VAC] que pasará por un fusible de 2 [A] (para proteger el sistema de alguna sobretensión) y luego por la línea de un interruptor para poder activar o desactivar el sistema mecánicamente. Del interruptor la línea irá conecta al transformador⁽²⁾ el cual bajará el voltaje de 110/120 [VAC] a 24 [VAC] por medio de dos devanados. Por medio de dos cables (se usan dos para mejorar la conducción de la corriente y evitar resistencia por los cables) a la entrada de corriente alterna a la baquelita donde se va quemar el circuito que se diseñó (véanse las figuras 22 y 23), pasando por el puente rectificador que rectifica la onda (es decir que pasa de corriente alterna a corriente directa). Posterior a esto, la señal rectificada es estabilizada por medio de dos condensadores⁽³⁾ (de 4700 μ F a 50 V), para que así la señal quede limpia y rectificada a un máximo de 30 [VAC] aproximadamente. La corriente pasa por un regulador LM317 que con una resistencia variable nos bajara la tensión a 12 [VDC] y nos la estabilizará (llegado el caso en que se desee cambiar la señal de salida, solo es necesario variar la resistencia que va al pin 2 del LM317). Por ultimo tenemos el transistor 2N3055⁽⁴⁾ [véase Anexo AD), nos permitirá el paso de corriente hacia el inversor.

Figura 23. PCB de la baquelita para el rectificador

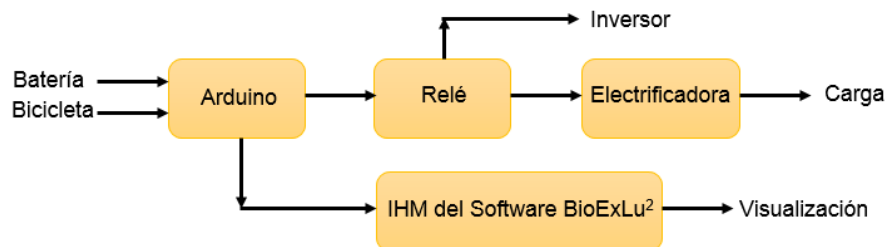


El presente diseño en principio permite la variación de entrada entre 80 a 150 [VAC] y de frecuencia un máximo de 200 [Hz] o un mínimo de 1 [Hz] por el devanado del transformador. Lo que se espera es que a medida que aumente la frecuencia más de los 200 [Hz], la tensión de salida disminuya debido a que los ciclos son mucho más rápidos, por lo que los diodos del rectificador no alcanzan a detectar el switcheteo (diferencia entre positivo y negativo de la onda). En el caso que sea menor que 1 [Hz] se espera que también disminuya hasta el punto que deje de funcionar porque la carga consumiría toda la energía de los condensadores antes que estos se carguen nuevamente. Esto se comprobará en la sección 7 (capítulo de pruebas y ensayos).

5.3 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Para la tercera fase se diseñaron los distintos elementos de control: el medidor de la velocidad angular y de la distancia recorrida, el sistema de diagnóstico de la batería y la IHM donde se acoplan todos los sistemas de control y por medio de cálculos se obtendrán datos de interés para el usuario. El control se realiza con ayuda de la tarjeta desarrolladora Arduino y para la comunicación e interfaz con el usuario y la máquina se utiliza VisualStudio 2013 usando lenguaje QBASIC. En la figura 24 se puede detallar un diagrama de bloques que refleja de una mejor forma el funcionamiento de esta tercera fase (sistema de control).

Figura 24. Sistema simplificado de la tercera fase



5.3.1 Diseño del medidor de la velocidad angular y distancia recorrida. Tenemos una bicicleta de 26 [in], por lo que el rin mide 66 [cm], esto indica que el perímetro es de 2,07 [m] según la ecuación 21. Esto nos indica, que en cada vuelta aproximadamente se recorrió 2,07 [m].

$$\text{Perímetro} = \text{Diámetro} * \pi = 0,66 \text{ m} * 3,14 = 2,07 \text{ [m]} \quad (21)$$

Con ayuda de un optoacoplador en herradura HSDL-9100 (véase figura 25), podemos tener una interrupción de señal que puede ser detectada por la tarjeta Arduino, por ello, con algún material que pase por el optoacoplador cada vez que esté de una vuelta se cuenta en el programa realizado bajo la tarjeta Arduino (véase la programación en el Anexo AE), el número de vueltas en un segundo multiplicado por 60 nos dará las revoluciones por minuto en ese instante de la bicicleta y la sumatoria del número de vueltas nos dará la distancia recorrida hasta el momento por la bicicleta. Con ayuda del IDE de la tarjeta Arduino se comunicará con la IHM (interface hombre-máquina) del software BioExLU².

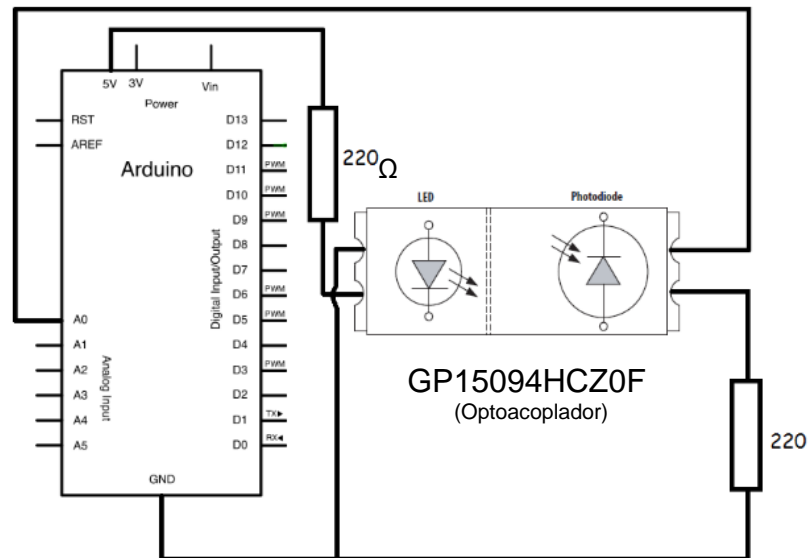
Figura 25. Optoacoplador en herradura



Fuente: VALLADECOMPRAS.COM. Optoacoplador

En la figura 26 se puede observar el circuito a quemar en una baquelita para poder medir la velocidad angular y la distancia recorrida. Aquí el optoacoplador va conectado a dos resistencias de $200\ \Omega$ y a la entrada analógica de la tarjeta Arduino con la cual leemos el cambio de voltaje para que el programa pueda realizar los cálculos de medición.

Figura 26. Esquema del medidor de velocidad angular y distancia recorrida

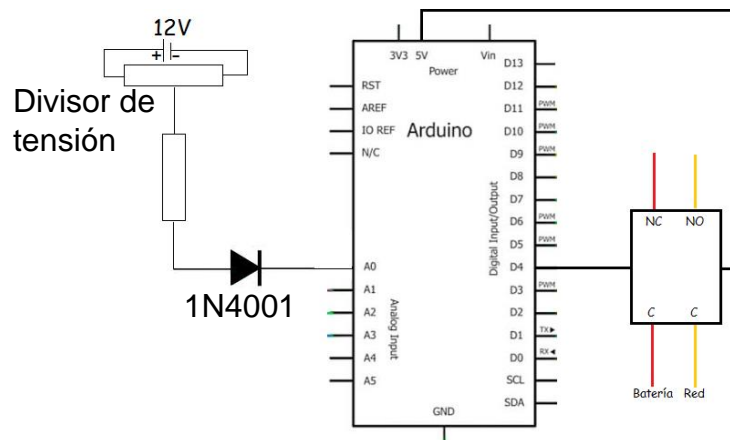


5.3.2 Diseño del sistema de diagnóstico de la batería. Para saber la carga exacta de la batería usamos una de las entradas analógicas de la placa Arduino, por medio de un divisor de tensión la tarjeta puede leer la tensión (es necesario el divisor de tensión ya que el Arduino trabaja a 5 [VDC] y la batería es de 12 [VDC]) con ayuda de la ecuación 22, sabiendo que el valor analógico de la tarjeta Arduino varía entre 0 a 1023 bits para la lectura de 5 [VDC] entonces solo multiplicamos el valor de entrada analógico por 12 y lo dividimos en 1023.

$$Vol = \text{valor de lectura} * \frac{12}{1023} \quad (22)$$

Usando el IDE de la tarjeta Arduino vamos a programarlo para que active o desactive el relé que va a la batería y a la red eléctrica nacional para que cuando la tensión permanezca mayor de 9 [VDC] el inversor esté conectado a la batería, pero cuando baje de este valor se conecte a la red eléctrica y la carga no deje de funcionar por una disminución de tensión y así estos se protejan. La figura 27 muestra el esquema del sistema de diagnóstico de la batería y en el Anexo AF se puede apreciar la programación empleada para la tarjeta Arduino, que también comunica con el software BioExLU².

Figura 27. Esquema del sistema de diagnóstico de la batería



El divisor de tensión se realiza con 2 resistencias de 1Ω como se aprecia en la ecuación 23, y ponemos 5 resistencias de $5K\Omega$ para dividir la tensión en 5 partes que entra a la tarjeta Arduino. Igualmente se agregan 2 display para poder observar el voltaje; ya que tenemos un voltaje de la batería de 12 [VDC] y un amperaje de 12 [A].

$$V_{batería} = i * (R_1 + R_2) \quad (23)$$

$$\frac{V_{batería}}{i} = (R_1 + R_2) = \frac{12 V}{12 A} = 1\Omega$$

Por tanto:

$$R_1 = R_2 = 0,5 \Omega$$

5.3.3 Diseño e implementación de la IHM del Software BioExLU². Utilizando el entorno de programación VisualStudio 2013 se diseñó un programa que acopla la IHM del Software BioExLU² y el software para calcular la velocidad necesaria de pedaleo y la potencia generada (ver figura 29). Para tener una mayor comprensión de este se puede detallar el diagrama de flujo 5 y la programación en el Anexo AJ. En la figura 28 se puede observar la interfaz del software BioExLU².

Figura 28. Interfaz hombre-máquina del software BioExLU²

The screenshot shows the BioExLU2 software interface with the following sections:

- INFORMACIÓN:**
 - Genero: Hombre Mujer
 - Peso: Kg
 - Edad: Años
 - Tiempo: min
 - Ritmo Cardíaco: pulsos/min
- SELECCIÓN DE CÁLCULO:**
 - Cooper: SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE VOLTAJE
 - Rockport: COM6
 - Lug Logger: MEDIDOR DE VELOCIDAD ANGULAR
 - Ruffier: COM16
- RESULTADOS:**
 - Calorías:
 - VO2máx: ml/Kg/min
 - Velocidad: m/s
 - Revoluciones por minuto: r.p.m
 - Distancia: m
 - Batería: VDC

At the bottom, there is a "Salir" button and a small copyright notice: "Create by LUMIZA".

Figura 29. Pantallazo Inicial del Software BioExLU²



El software BioExLU² nos mostrará las calorías quemadas por el usuario, la velocidad angular con que va la polea conductora, la velocidad de trayectoria, el VO₂máx (volumen máximo de oxígeno), la distancia recorrida por la bicicleta fija y la carga actual de batería. La IHM del software BioExLU² cuenta con unos cuadros de texto para que el usuario proporcione los datos como: el género, el peso en kilogramos, la edad en años, el tiempo que se desea ejercitar en minutos y el ritmo cardiaco por minuto (en la figura 30 se puede detallar un diagrama de funciones del software BioExLU² que rige las entradas y las salidas). El acoplamiento de los sistemas de control antes diseñados en los incisos 5.3.1 y 5.3.2 se comunicarán con el software por medio del IDE de la tarjeta Arduino (véase la programación de este en el Anexo AG), el cual indica la necesidad de tener dos tarjetas Arduino y con ambos conectar las entradas analógicas al pin A0 (para tener una mejor comprensión de todo véase el diagrama de flujo 6, las líneas punteadas indican la señal en tiempo real y las continuas las de cálculo).

Figura 30. Diagrama de bloques del software BioExLU²

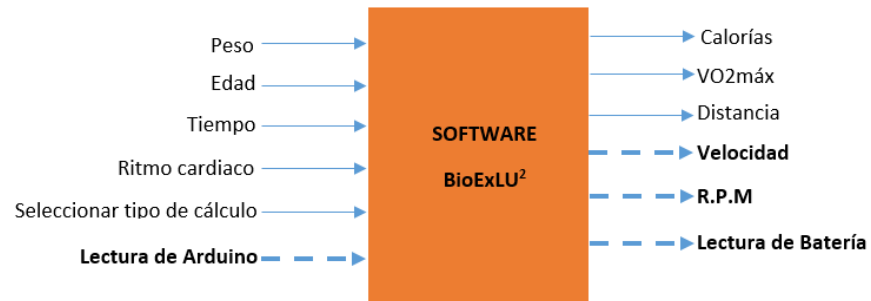


Diagrama de flujo 5. Interfaz inicial del Software BioExLU²

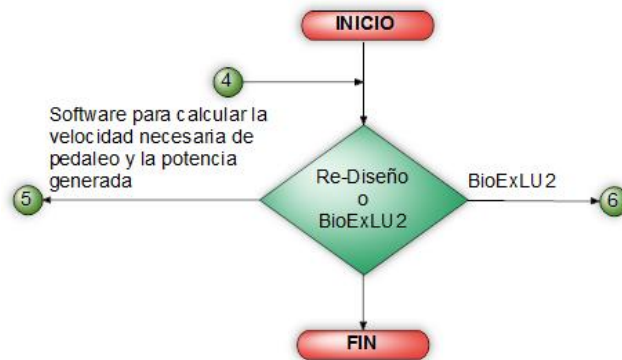
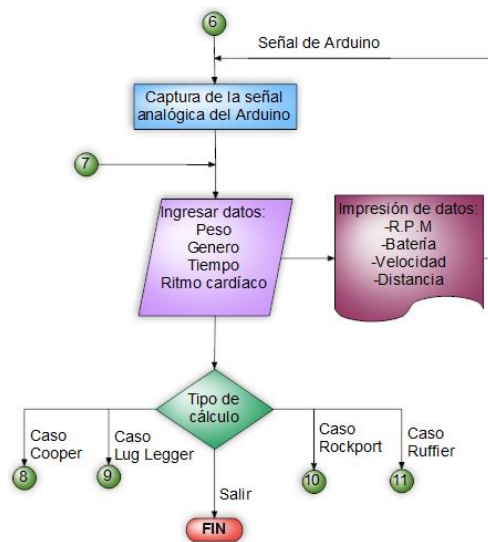


Diagrama de flujo 6. Diagrama del diseño del Software BioExLU²



Para poder calcular el VO2máx se tienen diferentes métodos de cálculo: el de Ruffier, el de Lu Legger, el de Cooper y el de Rockport (esto lo podemos observar en el diagrama de flujo 7). Todos poseen un 10% de margen de error y según el método seleccionado, el cálculo para el VO2máx será diferente. En la tabla 8 se observa las diferentes formas de calcular el VO2máx.

Diagrama de flujo 7. Diagrama de flujo de los distintos métodos de cálculo

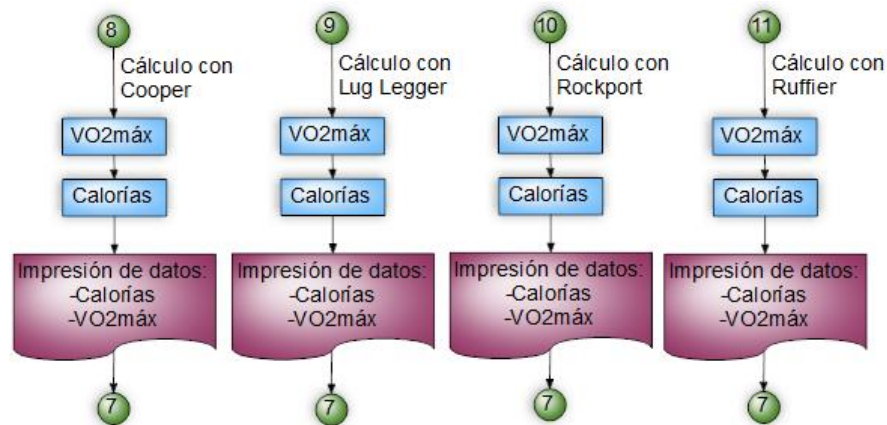


Tabla 8b. Diferentes formas de calcular el VO2máx

Test	Fórmula	
	Hombres	Mujeres
Ruffier	$VO_2 \text{ max (ml.kg.min)} = 111.33 - (0.42 \times RC)$	$VO_2 \text{ max (ml.kg.min)} = 65.81 - (0.1847 \times RC)$
Luc Legger o Course Navette	$VO_2 \text{ max (ml.kg.min)} = 31.025 + (3.238 \times V) - (3.248 \times E) + (0.1536 \times V \times E)$	
Cooper	$VO_2 \text{ max (ml.kg.min)} = (D - 504.9) / 44.73$	
Rockport	$VO_2 \text{ max (ml.kg.min)} = 132.6 - (0.17 \times PC) - (0.39 \times \text{Edad}) + (6.31 \times S) - (3.27 \times T) - (0.156 \times RC)$	

Fuente: LÓPEZ, Ismael. Ejemplos de cálculo VO2máx

5.4 SIMULACIÓN DEL DISEÑO SELECCIONADO

Basándonos con la distancia entre centros entre las poleas, procedemos a realizar el diseño en la herramienta informática SolidWorks. El plano de dicho diseño se puede encontrar en el Anexo K. Los Anexos L y M son de la polea conducida y del generador eléctrico respectivamente. En la figura 31 podemos observar el diseño en SolidWorks de como se esperaba la estructura de la base fija real (véase Anexos H, I y J), y en la figura 32 notamos como se acopla el cuerpo mecánica (véase Anexos N y O).

Es necesario tomar un material con el cual se pueda diseñar toda la base, este material debe ser de fácil adquisición en el mercado y de una alta resistencia para lo que la vamos a emplear. Se buscó en la en un página web³⁹ los precios de adquisición del material por kilogramo en Colombia, y observando varios de estos se tomó la decisión de elegir el hierro, por los costos y la resistencia que este ofrece, en comparación con el aluminio o algún tipo de aleación.

En la tabla 9a se puede apreciar los elementos para la construcción de la base fija, la polea escogida es de material SAE 1020 ya que necesitamos que rote a más de 400 r.p.m y este tiene una resistencia a la tracción de 40 [kg/mm²] (véase Anexo AB): En la tabla 9b podemos apreciar los elementos y el número de unidades que hacen parte para el ensamble de la base fija, sin embargo en el Anexo J se puede observar con más detalle.

³⁹ Indexmundi.com. Precios de Mercancías.

Figura 31. Base fija en SolidWorks

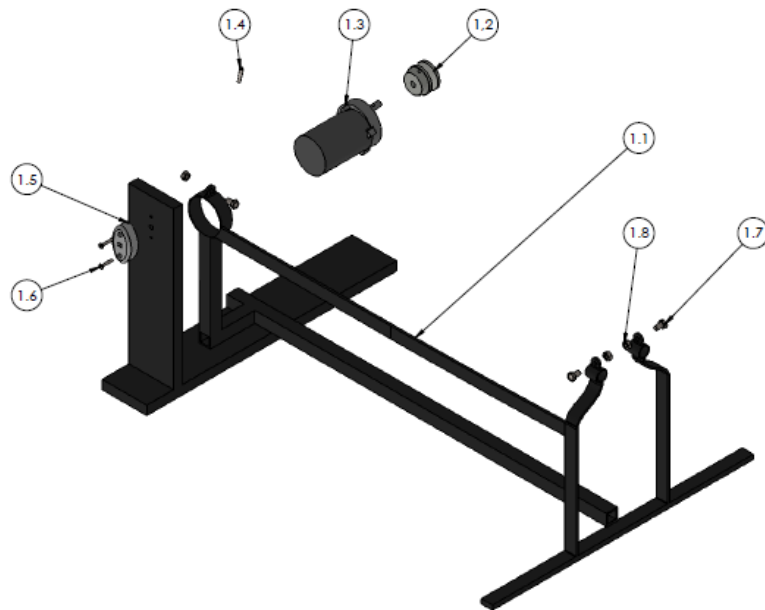


Figura 32. Montaje de la base fija en SolidWorks

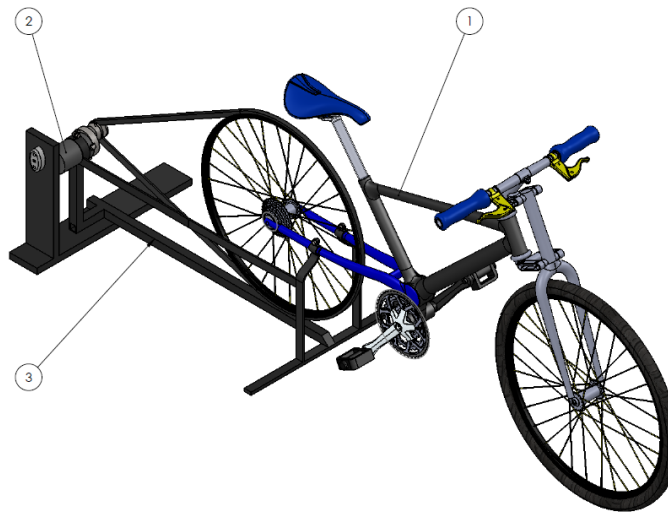


Tabla 9a. Tabla de elementos para la construcción de la base fija

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN
Polea	Diámetro: 5 cm, Material: SAE 1020

Generador eléctrico	Véase Anexo P
Correa	Trapezoidal A90 en V tipo A (véase Anexo Q)
Bicicleta	26 pulgada de diámetro del rin
Base fija	Material: Hierro
Toma corriente	Enchufe hembra
Tornillos	Véase Anexo J

Tabla 9b. Elementos que hacen parte de la base fija		
NÚMERO	ELEMENTO	UNIDADES
1	Bicicleta	1
2	Base fija	1
3	Generador eléctrico con la polea conducida	1
1.1	Base	1
1.2	Polea conducida	1
1.3	Generador eléctrico	1
1.4	Tornillo ajuste piñón	1
1.5	Tomacorriente hembra	1
1.6	Tornillo tomacorriente	2
1.7	Tornillo de ajuste	3

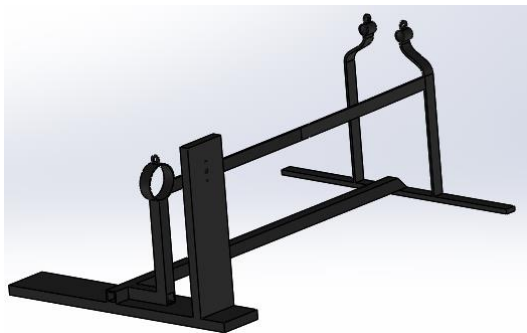
1.8	Tuerca del tornillo de ajuste	3
-----	-------------------------------	---

Realizamos un análisis estático para la base fija, para la polea conducida y el generador eléctrico según las fuerzas presentadas en el diseño.

Para la base fija la cual está hecha de hierro como muestra la figura 33, la analizamos con un usuario que pesa 140 [kgf], aplicando las fuerzas en los apoyos de la bicicleta como se muestra en la figura 34. Al momento de analizar el software nos simula que tendrá una falla máxima de 3,6 [cm] en desplazamiento generada por las fuerzas aplicada (véase figura 35), pero la bicicleta mantendrá uniforme la base fija sin que presente deformaciones.

En cuanto al análisis de tensiones (véase figura 36) nos muestra que presenta una máxima tensión en el mismo nodo de 323797 [N/m²] lo cual está un 41% por debajo del límite elástico.

Figura 33. Base fija



Propiedades:

Nombre:	Hierro dúctil
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
Límite elástico:	5.51485e+008 N/m ²
Límite de tracción:	8.61695e+008 N/m ²
Módulo elástico:	1.2e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.31
Densidad:	7100 kg/m ³
Módulo cortante:	7.7e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.1e-005 /Kelvin

Figura 34. Aplicación de fuerzas en la base fija

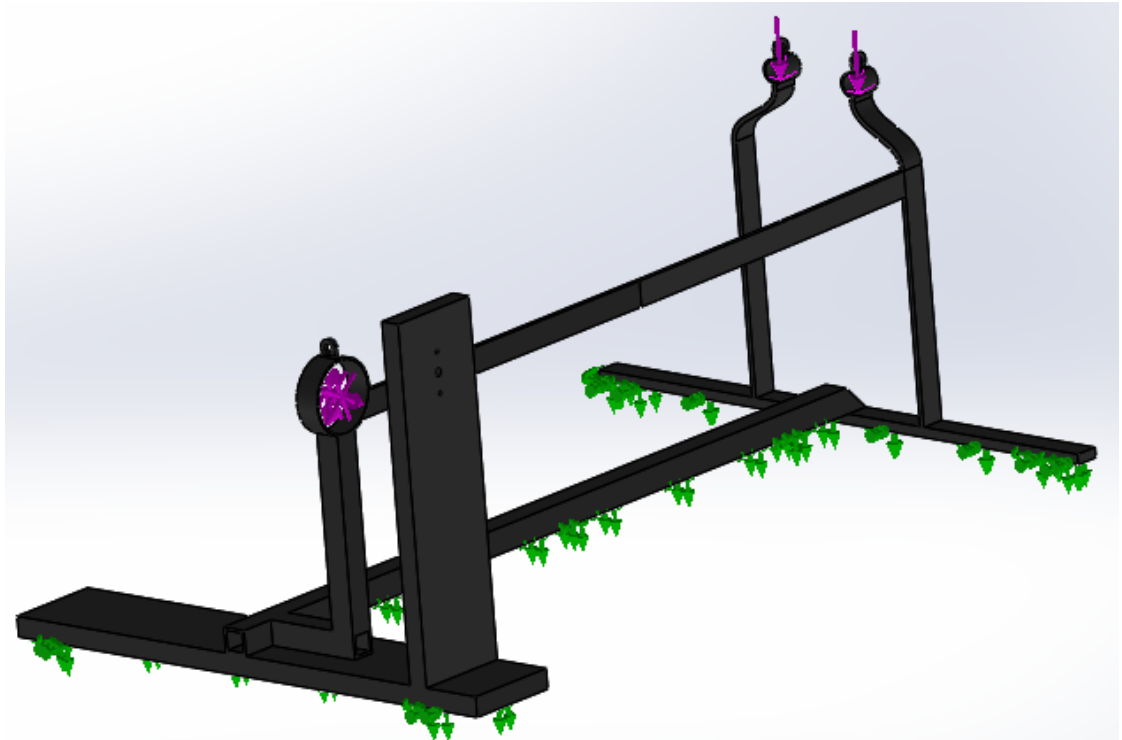


Figura 35. Análisis de desplazamiento

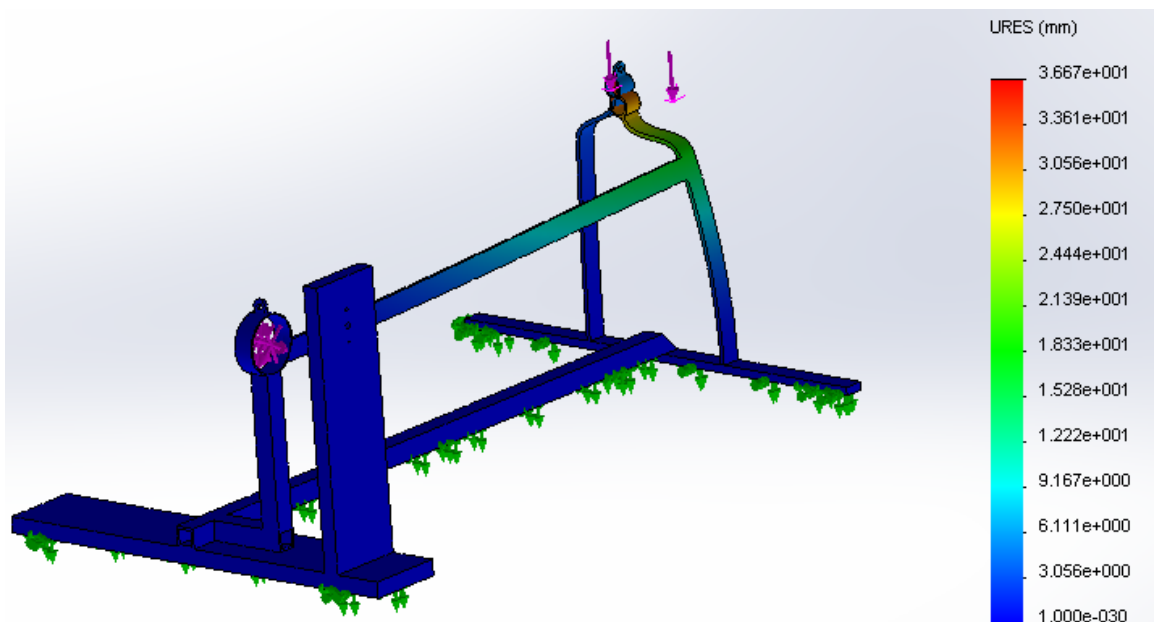
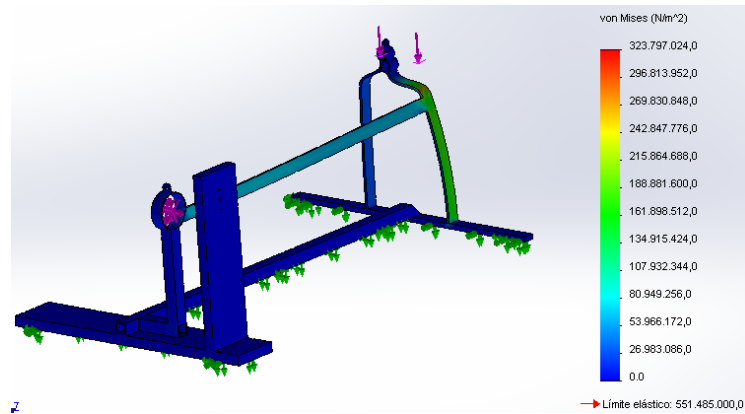
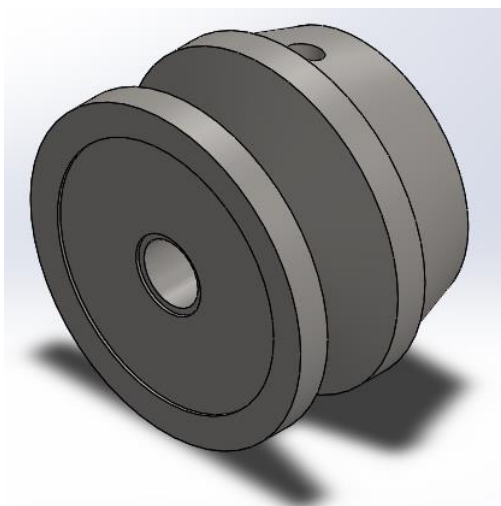


Figura 36. Analisis de tensiones



Se realizó un análisis estático para la polea conducida de material SAE 1020 como se muestra en la figura 37, aplicando una fuerza de torque máxima de 90,4 [N*m] deducida por la ecuación 1 (véase figura 38). Al usar la herramienta informática nos da como resultado que tiene una carga máxima por tensión de 648426 [N/m²] lo cual está un 99,82% por debajo del límite elástico (véase figura 39) y un desplazamiento máximo de $2,72 \times 10^{-5}$ [mm] de deformación (véase figura 40).

Figura 37. Polea conducida



Propiedades:

Nombre:	SAE 1020
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Von Mises
Límite elástico:	3.51571e+008 N/m ²
Límite de tracción:	4.20507e+008 N/m ²
Módulo elástico:	2e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.29
Densidad:	7900 kg/m ³
Módulo cortante:	7.7e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.5e-005 /Kelvin

$$T = F * d = (4520 \text{ N}) * (0,02 \text{ m}) = 90,4 \text{ [N * m]} \quad (1)$$

Figura 38. Aplicación de fuerzas en la polea conducida

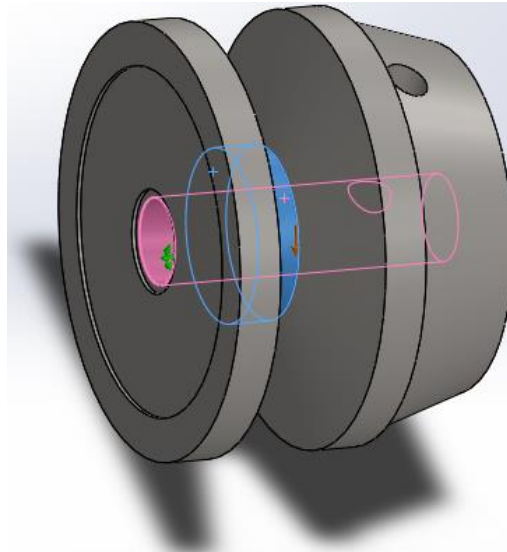


Figura 39. Análisis de tensiones

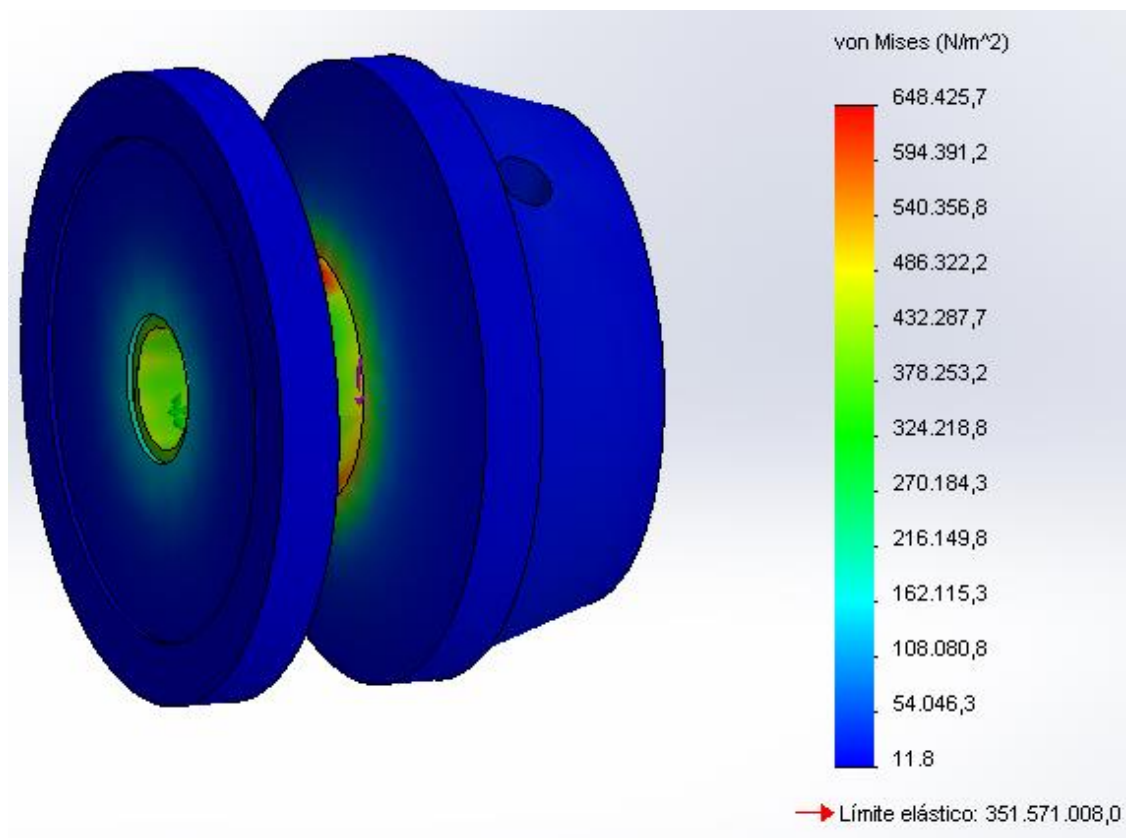
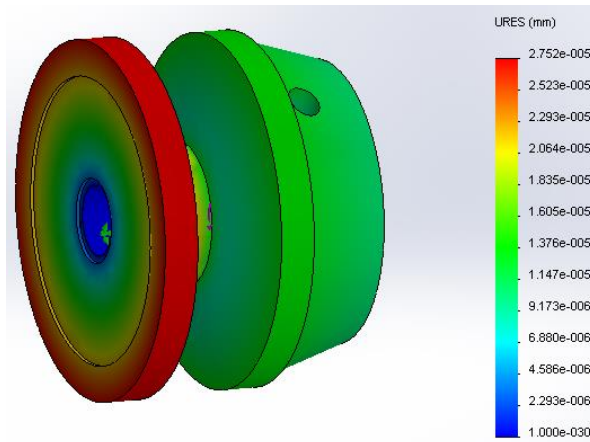
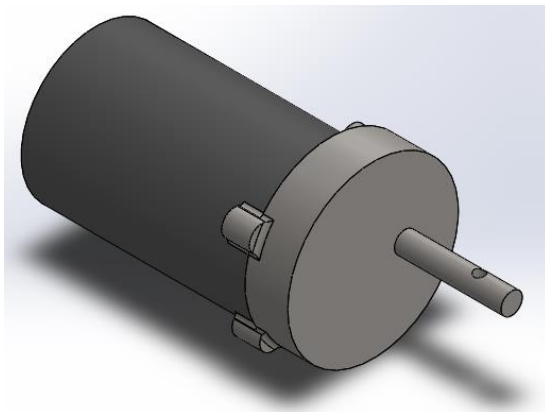


Figura 40. Análisis de desplazamiento



El generador eléctrico posee una variedad de materiales, pero la parte que necesitamos analizar está compuesta por acero como puede apreciar en la figura 41, aplicando una fuerza de torque máximo al eje de 90,4 [N*m] (antes deducida) como se muestra en la figura 42). Al usar SolidWorks nos arroja como resultado máximo por tensión de $1,2 \times 10^9$ [N/m²] lo cual está un 80% por debajo del límite elástico (véase figura 43) y un desplazamiento máximo de 1 [mm] de deformación como se puede apreciar en la figura 44.

Figura 41. Generador eléctrico



Propiedades:

Nombre:	Acero aleado
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Tensión máxima de von Mises
Límite elástico:	6.20422e+008 N/m ²
Límite de tracción:	7.23826e+008 N/m ²
Módulo elástico:	2.1e+011 N/m ²
Coefficiente de Poisson:	0.28
Densidad:	7700 kg/m ³
Módulo cortante:	7.9e+010 N/m ²
Coefficiente de dilatación térmica:	1.3e-005 /Kelvin

Figura 42. Aplicación de fuerzas en el generador eléctrico

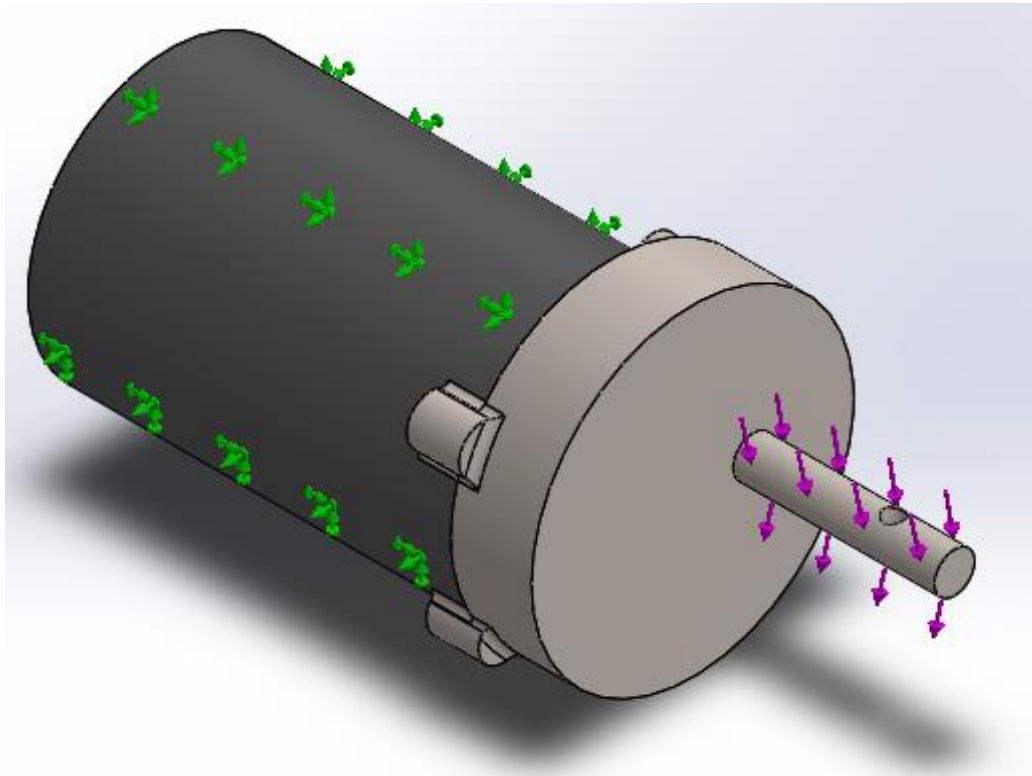


Figura 43. Análisis de tensiones

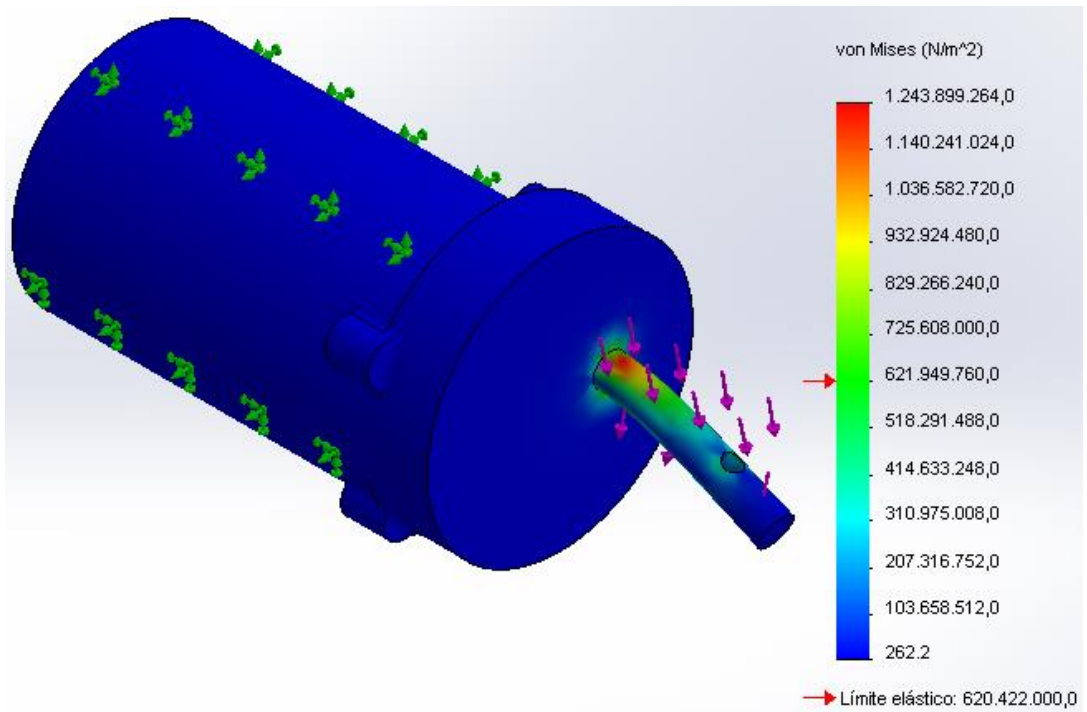
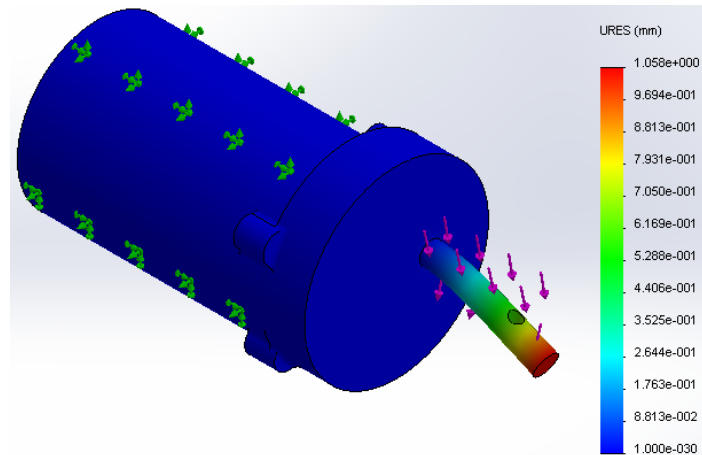


Figura 44. Análisis de desplazamiento



En el ensamble de la base fija con el generador y la polea como se muestra en la figura 45, se aplicaron las fuerzas que antes ya habíamos analizado (véase figura 46) para poder analizarlo con la herramienta informática. Los resultados para fueron: para un máximo por tensión de $1,44 \times 10^9$ [N*m²] como se muestra en la figura 47 y un desplazamiento máximo de 98 [mm] de deformación como se puede apreciar en la figura 48.

Figura 45. Ensamble del generador y polea conducida con la base fija

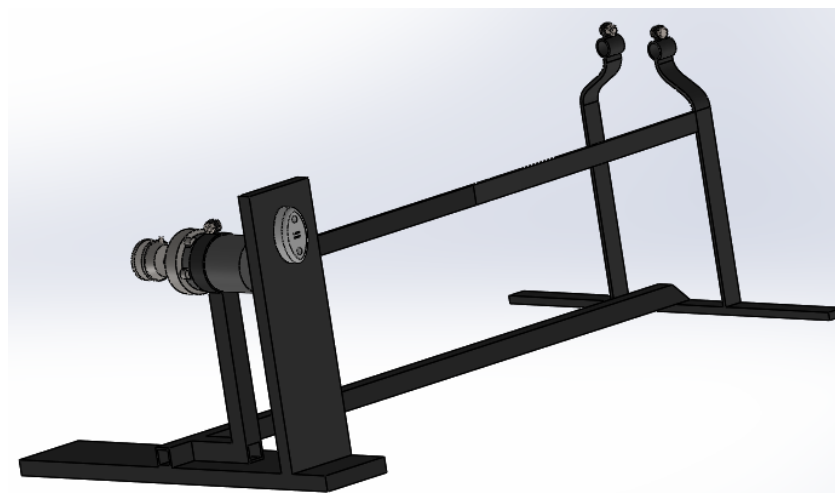


Figura 46. Aplicación de las fuerzas al ensamble de la base fija

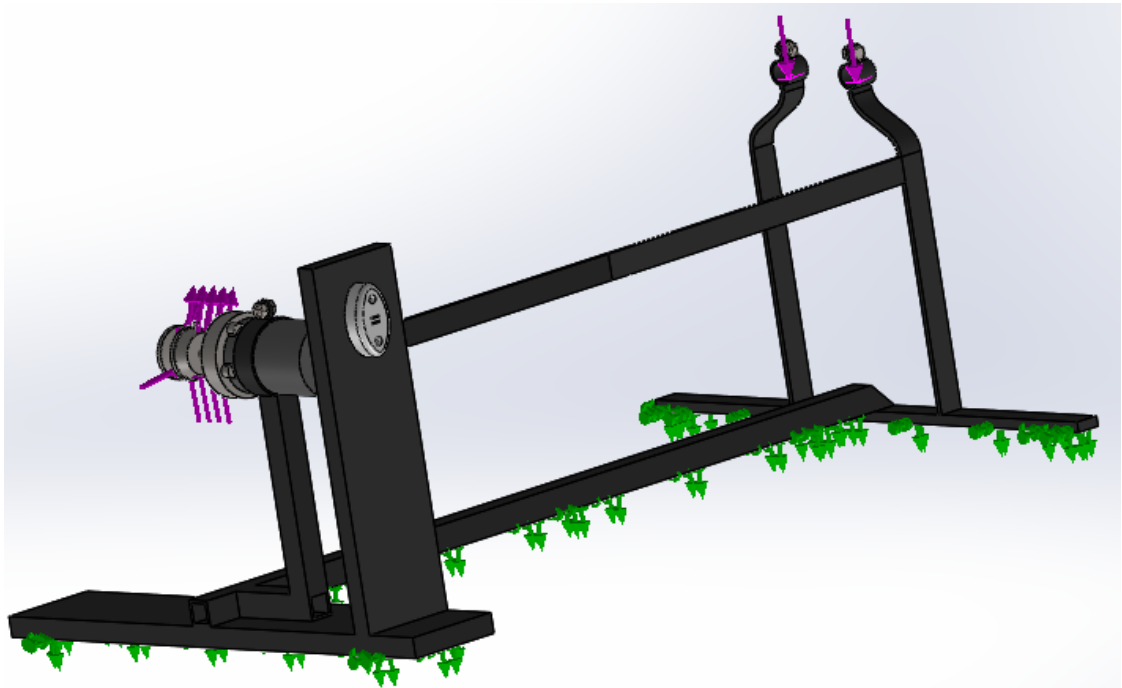


Figura 47. Análisis de tensión

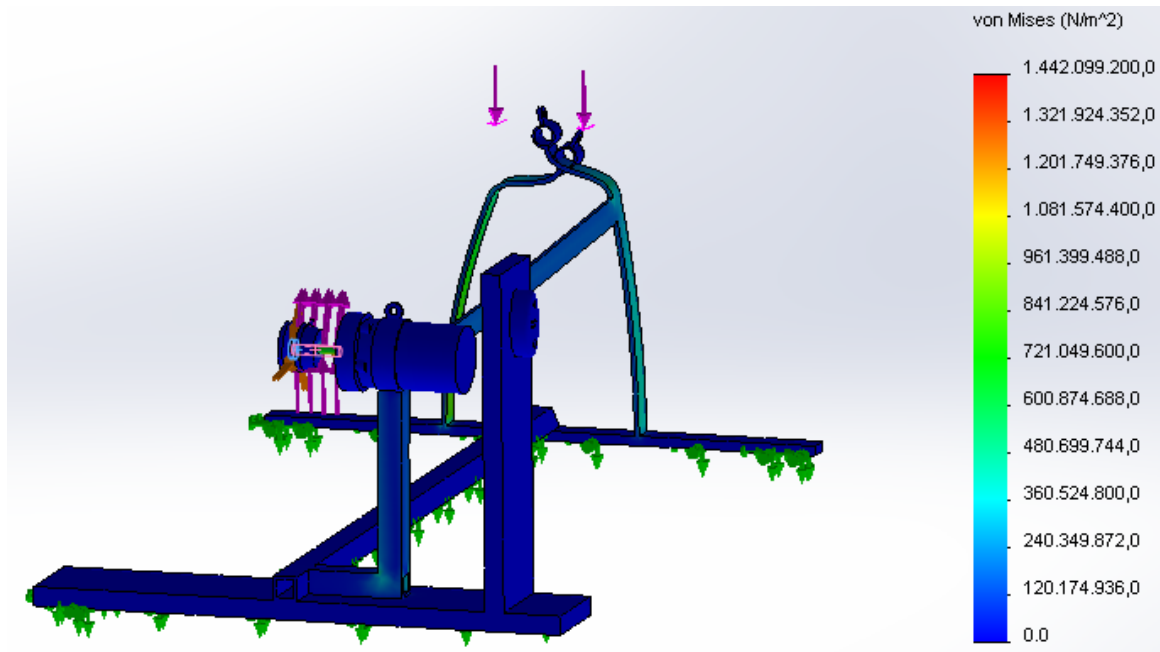
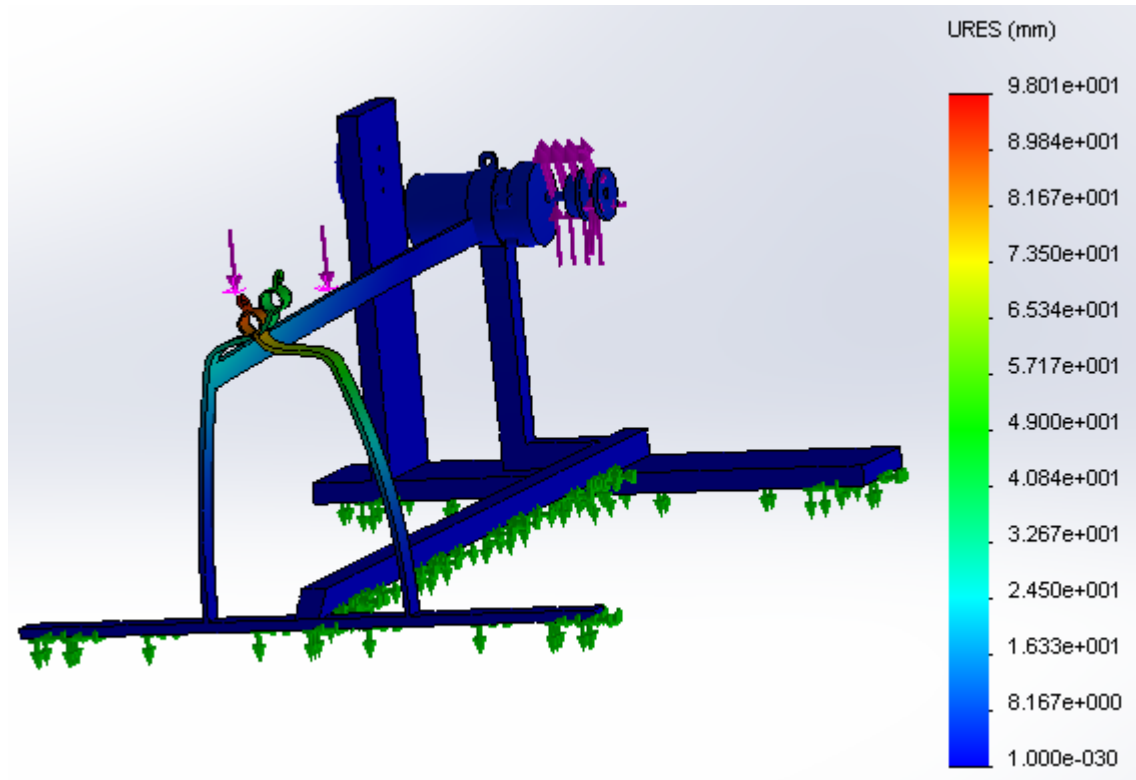


Figura 48. Análisis de deformación



Los resultados del análisis de simulación se puede observar en la tabla 10:

Tabla 10. Resumen de resultados del análisis de simulación		
Elemento	Carga máxima [N/m ²]	Desplazamiento Máximo [mm]
Polea conducida	648426	2,72x10 ⁻⁵
Base fija	323797	36
Generador eléctrico	1,2x10 ⁹	1

6. CONSTRUCCIÓN

En el ítem 6 de este trabajo se mostrará el paso a paso para la construcción de: el sistema mecánico, el inversor, el rectificador, el medidor de velocidad angular y distancia recorrida y el sistema de diagnóstico de la batería antes ya diseñado y seleccionado. De igual forma se presentará el ensamble total de todos los sistemas construidos, para luego si proceder a realizar pruebas de laboratorio.

6.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Después de seleccionar la mejor alternativa de diseño se procedió a la construcción de la base del sistema mecánico. Para la construcción física de la base fija se compraron los elementos que se habían observado en la tabla 9 y adicionalmente se compraron barras de hierro con un peso total de 10 [kg]. Para la elaboración de la base fija se realizaron los siguientes pasos:

1. La construcción de la base fija se realizó siguiendo el plano O1-O4-O1 (ver Anexo K).
2. Tornear la polea para acoplarla con el generador eléctrico (ver figura 49).
3. Asegurar el generador eléctrico en la base de hierro (ver figura 50).
4. Ubicar la bicicleta en el otro extremo de la base dejándola asegurada.
5. La correa se une al rin trasero de la bicicleta (para aprovechar el mecanismos de cadenas y usarla como polea conductora) con la polea conducida que va en el generador eléctrico, de tal forma que quede tensionada (ver figura 51).
6. La salida de corriente alterna que proporciona el generador eléctrico se suelda al enchufe hembra (ver figura 52).
7. Se pintó toda la base de color negro para su uniformidad.

En la figura 53 observamos el montaje físico mecánico de la base fija⁽¹⁾ junto a la bicicleta⁽²⁾ de 26 pulgadas; podemos detallar la base fija asegurando la bicicleta y el generador eléctrico⁽³⁾, y acoplada ambas con la correa A90⁽⁴⁾.

Figura 49. Polea torneada con prisionero para poder acoplarla al eje del generador eléctrico



Figura 50. Generador eléctrico asegurado a la base de hierro.



Figura 51. Base de hierro con la bicicleta ajustada, el generador eléctrico ajustado y la correa tensionada

Figura 52. Enchufe hembra con los cables de salida del generador eléctrico acoplado.



Figura 53. Montaje físico total de la base fija



6.2 CONSTRUCCIÓN DEL INVERSOR

Para la construcción del inversor se compraron los elementos que se especifican en la tabla 11. Luego con ayuda de algunos elementos especiales como: caudín, grabadora de laser (para la impresión del circuito impreso), estaño y la colaboración de cuerpo técnico en el área se procedió a la fabricación del inversor.

Tabla 11. Tabla de elementos para la construcción del inversor

ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Circuito integrado 555	1	Ver Anexo T
Transistor TIP 4013B	1	Ver Anexo U
Transistor TIP 3055	4	Ver Anexo V
Transistor TIP 125	2	Ver Anexo X
Resistencias	4	820Ω a ¼ W
Resistencias	4	1Ω a 1W
Resistencias	2	33Ω a 5W
Resistencias	1	0,75Ω a 5W
Resistencias	1	33KΩ a ¼ W
Resistencias	2	2,2KΩ a ¼ W
Resistencias	2	100Ω a ¼ W
Resistencias	2	5,6Ω a ¼ W
Resistencias	1	1KΩ a ¼ W
Condensadores	6	0,1μF (104)
Condensadores	1	100μF a 16V
Diodos	2	1N5407
Diodos	2	1N4007

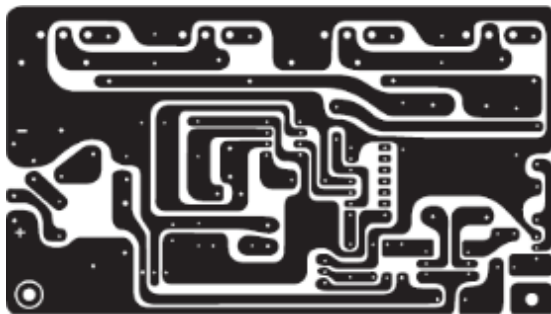
Circuito LM7805	1	Ver Anexo Y
Reóstato	1	100K
Relé	1	110V a 10 ^a
Fusible y porta-fusible	1	10 ^a
Transformador	1	12x12 a 10A
Baquelita	1	12x12 cm
Diodo led	2	Intermitentes
Batería	1	Ver Anexo S
Enchufe hembra	1	
Enchufe macho	1	
Interruptor	1	4 pines
Cable dúplex	2	Calibre 14

Para la elaboración del inversor artesanal se realizaron los siguientes pasos:

1. Imprimir el siguiente PCB (printed circuit board por sus siglas en inglés) del circuito construido (Figura 54a).
2. Quemar la baquelita con el PCB.
3. Abrir los orificios de la baquelita según el tamaño del componente.
4. Soldar los componentes electrónicos a la baquelita en la posición correcta (Figura 54b).
5. Soldar las salidas 12x12 del transformador a las entradas respectivas de la baquelita, el 0V al pin 4 del relé, y las salidas de 120V/220V AC a los pines 6 y 2 del relé (Figura 54c).

6. Soldar un pin del enchufe hembra al pin 6 y el otro al pin 2 del relé.
7. Soldar un pin del enchufe macho al pin 7 del relé y el otro al pin 4 del interruptor.
8. Soldar un pin del fusible al pin 3 del interruptor y el otro al neutro de la baquelita y al pin 4 del relé.
9. Soldar el pin negativo de la batería al pin respectivo de la baquelita, y el pin positivo al pin 1 del interruptor. En el siguiente esquema se muestra la numeración del interruptor doble (Figura 54d).

Figura 54a. PCB del circuito construido

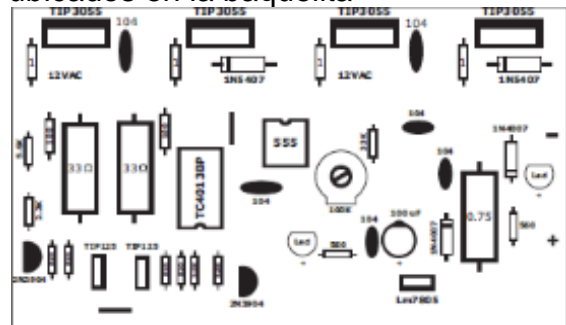


Fuente: INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA
Figura 54c. Conexiones al relé

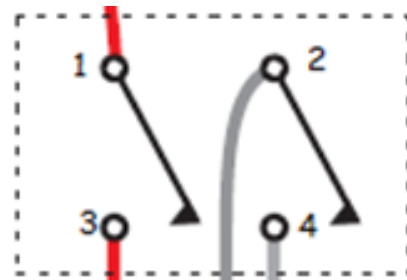


Fuente: INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA

Figura 54b. Componentes electrónicos ubicados en la baquelita



Fuente: INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA
Figura 54d. Conexiones del interruptor doble

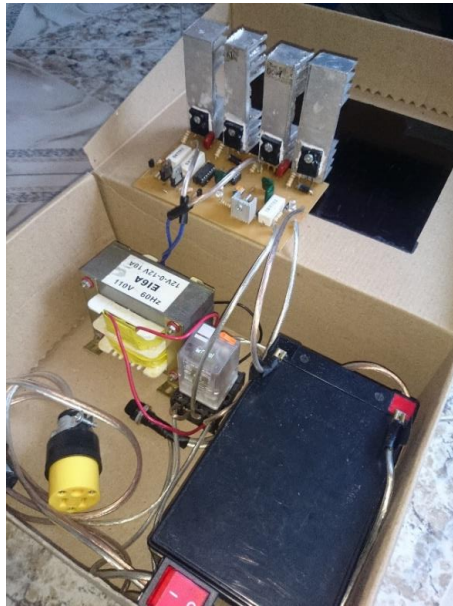


Fuente : Autores

El circuito que se tomó como base para la construcción del inversor se observó en la figura 21 (sin embargo en el Anexo Z se puede ver más en detalle: circuito del inversor, posición de los componentes, máscara de componentes, circuito impreso,

máscara antisoldante entre otros todos proporcionados por “construyasuvideorockola.com”). En la figura 55 se aprecia como quedo el inversor al momento de construirse conectado a la batería de 12 VDC.

Figura 55. Inversor conectado con la batería



6.3 CONSTRUCCIÓN DEL RECTIFICADOR

Para la construcción del inversor se compraron los elementos que se especifican en la tabla 12. Basándonos en el circuito mostrado en la figura 23 se procedió a quemar la baquelita con el PCB mostrado en la figura 22. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

1. Imprimir el PCB (ver figura 56) correspondiente al diseño antes empleado.
2. Mandar perforar la baquelita para luego soldar los componentes electrónicos que hacen parte del circuito.
3. Unir las entradas de la baquelita al transformador (ver figura 57).
4. Unir el transistor 2N3055 al disipador de calor (ver figura 58).

5. Acoplar las bananas de conexión al contenedor del rectificador.
6. Juntar al contenedor del rectificador el enchufe hembra para la conexión del generador eléctrico y la porta-fusible (ver figura 59).
7. Ensamblar el rectificador (ver figura 60).

Figura 56. PCB del rectificador

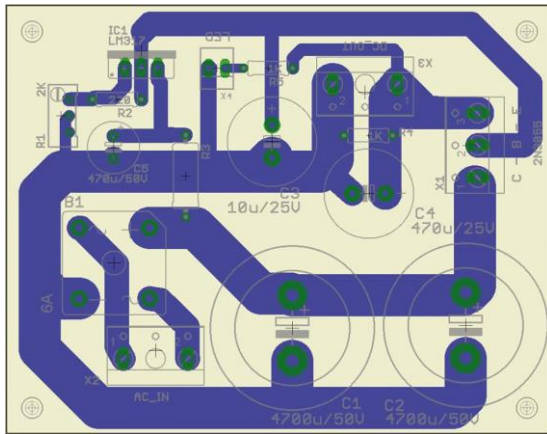


Figura 57. Baquelita junto al transformador



Figura 58. Disipador de calor junto al transistor 2N3055



Figura 59. Enchufe hembra al contenedor



Figura 60. Ensamble total del rectificador

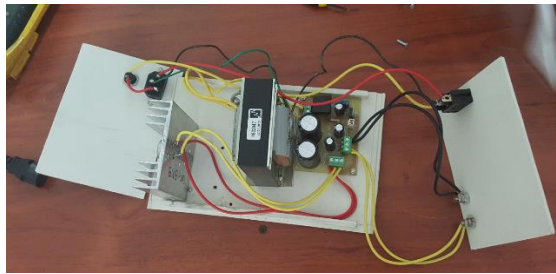


Tabla 12. Tabla de elementos para la construcción del rectificador

ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Transformador	1	12x12 a 4 ^a
LM317	1	Ver Anexo AC
Condensadores	2	4700 μ F a 50V
Condensadores	2	470 μ F a 50V
Condensadores	1	10 μ F a 25V
Resistencias	4	1 Ω a 1W
Resistencias	3	1K Ω a 5W
Resistencias	1	220 Ω a 5W
Potenciómetro	1	2K Ω
Transistor 2N3055	1	Ver Anexo AD
Puente rectificador	1	
Diodos Led	2	

Bananas de conexión	2	
Disipador de calor	1	Aluminio
Enchufe hembra	1	
Contenedor de aluminio	1	
Porta-fusible	1	
Fusible	1	2 [A]
Baquelita	1	12x12 [cm]

6.4 CONSTRUCCIÓN DEL MEDIDOR DE VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA

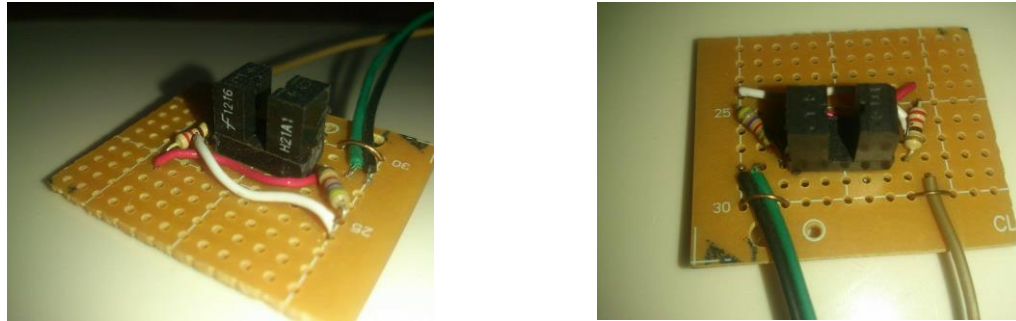
Para la construcción del medidor de velocidad y distancia recorrida se compraron los elementos que se especifican en la tabla 13. Basándonos en el circuito mostrado en la figura 26 se procedió a quemar la baquelita. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

1. En una baquelita universal se soldaron los elementos que componen el medidor de velocidad y distancia recorrida (ver figura 61).
2. Se realiza la respectiva conexión con la tarjeta Arduino.

Tabla 13. Tabla de elementos para la construcción el medidor de velocidad y distancia recorrida		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Optoacoplador GP15094HCZ0F	1	Ver Anexo AK

Baquelita Universal	1	3x3 [cm]
Resistencias	2	220Ω a 1W

Figura 61. Medidor de velocidad y distancia recorrida



6.5 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE DIAGNOSTICO DE BATERÍA

Para la construcción del sistema de diagnóstico de batería se compraron los elementos que se especifican en la tabla 14. Basándonos en el circuito mostrado en la figura 62a se procedió a quemar una baquelita universal. Los pasos que se realizaron fueron los siguientes:

Figura 62a. Circuito básico del divisor de tensión

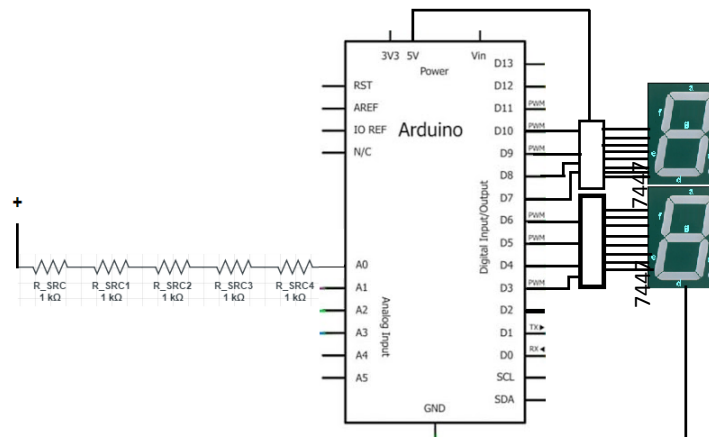


Tabla 14. Tabla de elementos para la construcción del sistema de diagnóstico de batería		
ELEMENTO	CANTIDAD	ESPECIFICACIÓN
Decodificador	2	7447
Display	2	Cátodo común
Resistencias	5	1000 Ω a ½ W
Resistencias	10	220 Ω a ½ W
Baquelita Universal	1	12x6 [cm]

1. Se sueldan todos los elementos a la baquelita universal siguiendo el circuito mostrado en la figura 62a (véase la figura 62b).
2. Se realizan las respectivas conexiones a la tarjeta Arduino (véase la figura 63).
3. Se conecta al computador mediante el puerto USB.

Figura 62b. Elementos soldados a la baquelita universal

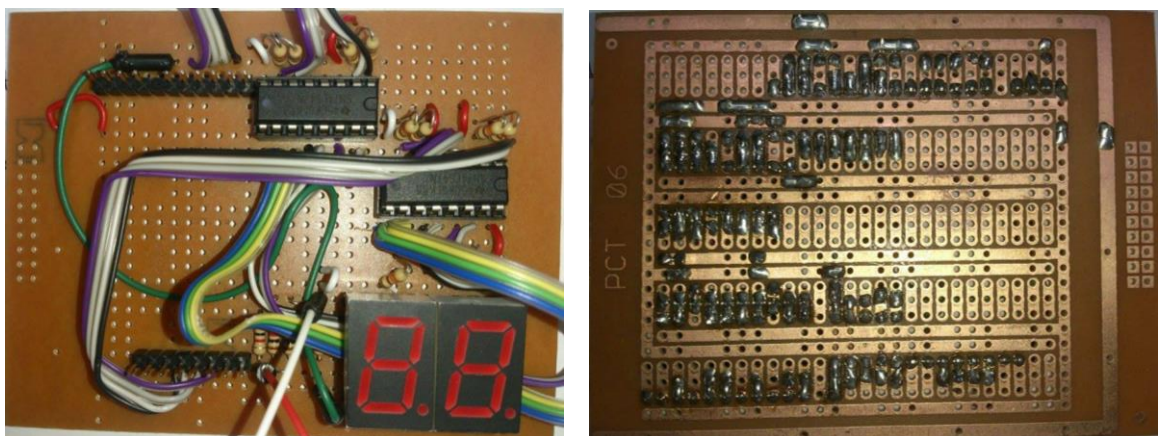
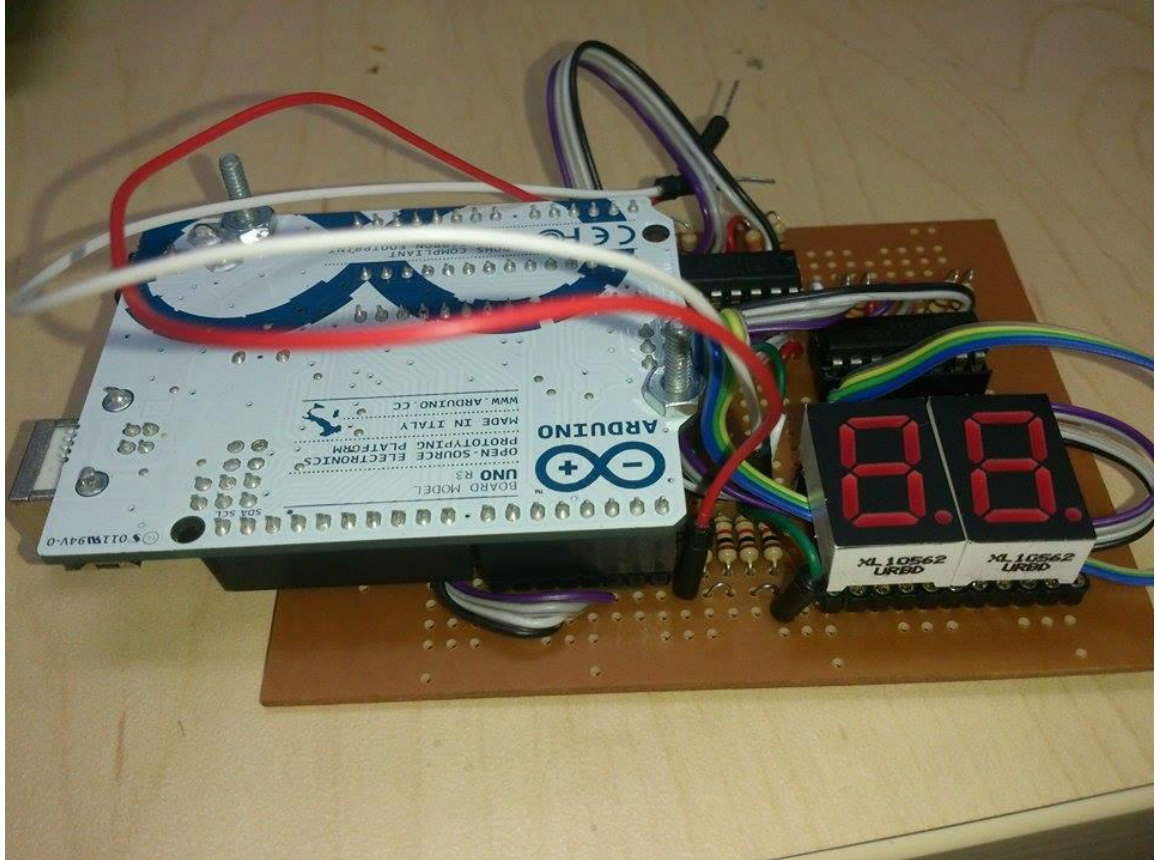


Figura 63. Baquelita conectada a la tarjeta Arduino



6.6 ENSAMBLE TOTAL DEL SISTEMA

Para el ensamble total solo es necesario conectar todos los dispositivos, la bicicleta con el generador eléctrico (véase figura 64), el generador eléctrico con el rectificador (véase figura 65), el rectificador con la batería (véase figura 66), la batería junto al inversor y al sistema de diagnóstico de batería (véase figura 67), el inversor a la carga (véase figura 68), el sistema de diagnóstico de batería y el medidor de velocidad y distancia recorrida al computador (véase figura 69) y todo el sistema queda como se muestra en la figura 70.

Figura 64. Bicicleta al generador eléctrico



Figura 65. Generador eléctrico al rectificador



Figura 66. Rectificador a la batería



Figura 67. Batería al inversor y al sistema de diagnóstico de la batería



Figura 68. Inversor a la carga



Figura 69. Conexiones al computador

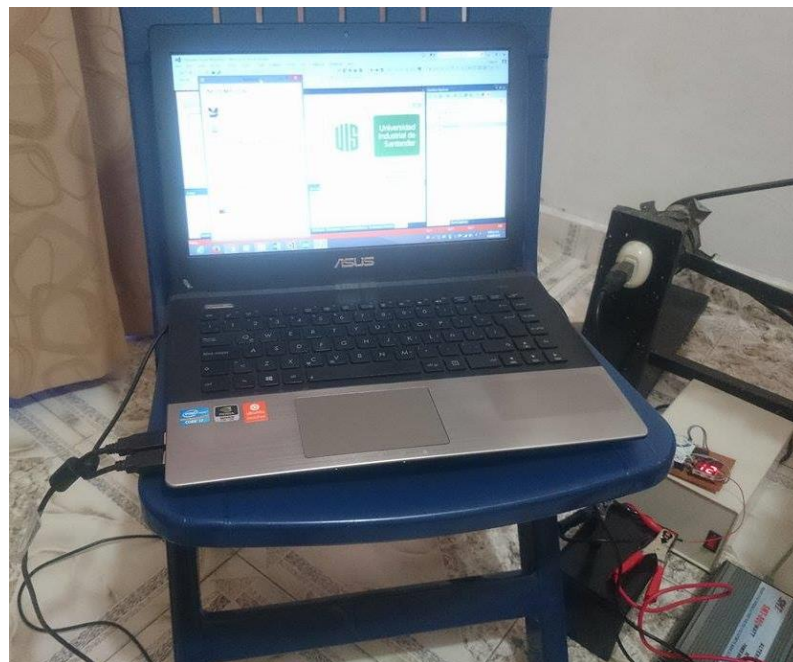


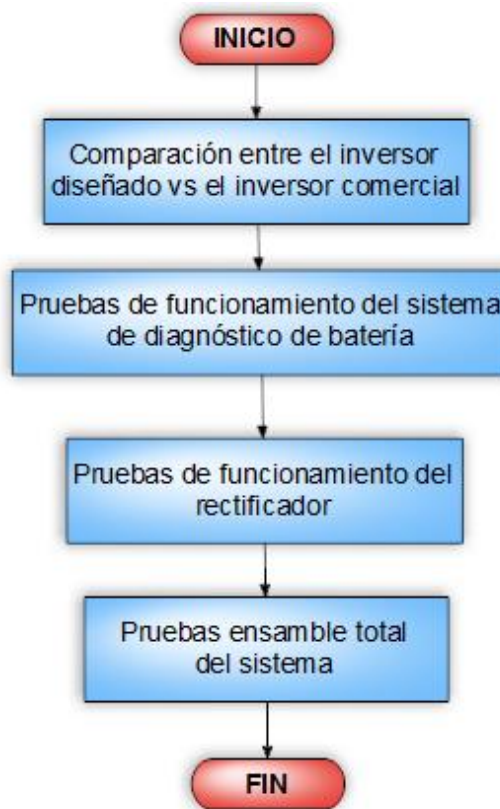
Figura 70. Ensamble total



7. PRUEBAS Y ENSAYOS

En este capítulo se realizarán las pruebas de funcionamiento independiente y de funcionamiento del ensamble total. Primero realizaremos el análisis del inversor diseñado vs el inversor comercial, para tomar una decisión de cual usar en el ensamble final. Luego se efectuarán las pruebas de funcionamiento de cada sistema eléctrico y de control; posterior a ello procederemos al empalme y a realizar las pruebas finales. En el diagrama de flujo 8 podemos detallar el procedimiento de las pruebas.

Diagrama de flujo 8. Estructura de las pruebas y ensayos



7.1 COMPARACIÓN INVERSOR DISEÑADO VS INVERSOR COMERCIAL

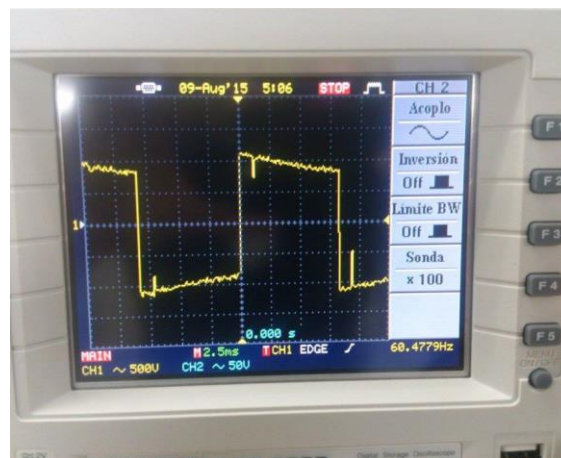
Para elección más adecuada del inversor se comprobaran en ambos la eficiencia, confiabilidad y rendimiento; estos parámetros se medirá la frecuencia, voltaje, forma de onda entregada, aprovechamiento de la energía acumulada por la batería (esta medición se realizará con una carga de 40, 45 y 60 [W]), seguridad y otros factores (en los cuales está incluido el tamaño, la disipación de calor etcétera). El protocolo para esta comparación se realiza de la siguiente forma:

Fecha: Junio 05 del 2015	Hora: 2:00 p.m.
Responsables:	
Luis Miguel Zabala Gualtero	
Luis Alejandro Peñaranda Rincón	
Objetivos:	
Comparar el funcionamiento del inversor diseñado con el inversor comercial	
Seleccionar el inversor más eficiente	
Equipos:	
Osciloscopio GW instek GOS-1102	
Metodología:	
1. Conectar el osciloscopio a la salida del inversor diseñado	
2. Verificar la onda que muestra a la salida del inversor	
3. Medir la frecuencia de salida del inversor	
4. Medir el voltaje de salida del inversor	
5. Conectar la batería a la alimentación del inversor y conectar diferentes cargas a la salida del inversor (40W, 45W y 60W)	
6. Medir cada treinta segundos el voltaje de salida del inversor	
7. Gráfica el voltaje medido a la salida del inversor con respecto al tiempo	
8. Desconectar el inversor diseñado	
9. Conectar el osciloscopio a la salida del inversor comercial	
10. Realizar los pasos del 2 al 8	
11. Comparar las gráficas y realizar una matriz para seleccionar el inversor que necesitamos	
Análisis de resultados:	

Con las gráficas mostradas más adelante del trabajo, se puede detallar que el inversor comercial es la mejor opción principalmente por su seguridad, la eficiencia del 98,55% con respecto al inversor diseñado de 82,93% y por el mayor aprovechamiento de la tensión de la batería

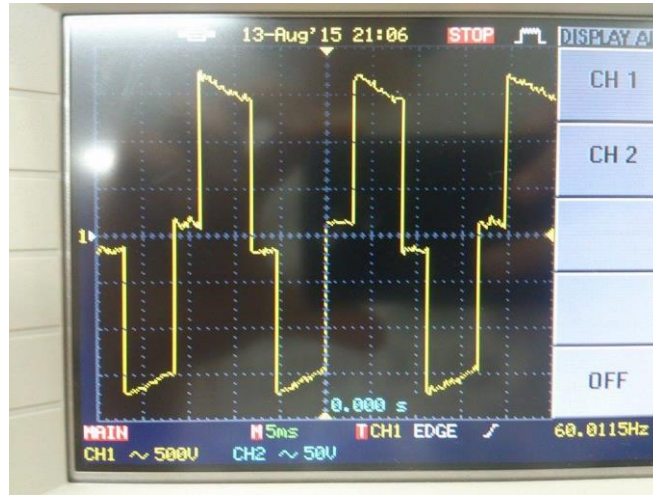
Primero verificaremos la forma de la onda y la frecuencia de salida del inversor diseñado (véase la figura 71) y el comercial (véase la figura 72) con ayuda de un osciloscopio de marca GW instek. En el primer caso, la frecuencia es de 60,48 [Hz] y el voltaje es de 110 VAC, lo que es un resultado muy bueno, ya que es lo que se espera del tratamiento de la onda, sin embargo, la onda es muy cuadrada y con mucho ruido.

Figura 71. Onda del inversor diseñado



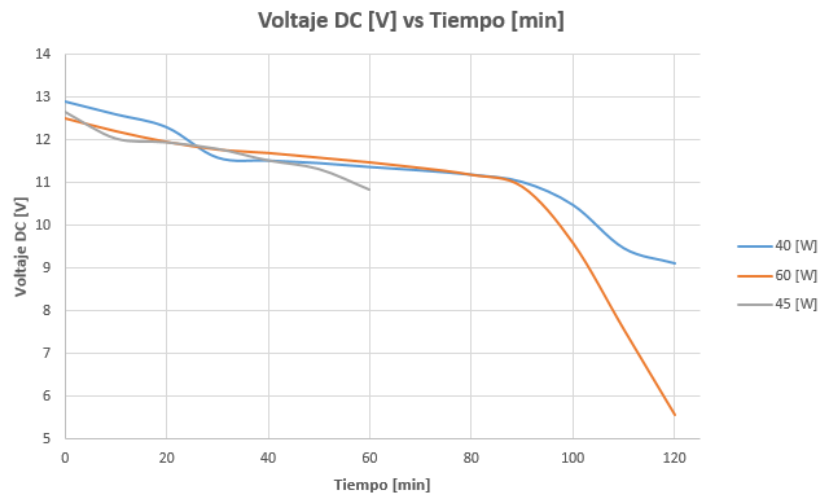
En el segundo caso, se usó un inversor SMT-400 Watt, el cual presento una frecuencia de salida de 60,01 [Hz] a un voltaje de 115 VAC, lo cual es lo adecuado para nuestros electrodomésticos o equipos industriales (carga que se va conectar), la onda (como se puede apreciar en la figura 72) es mucho más limpia que la del inversor diseñado. Sin embargo, ambas siguen siendo cuadradas, pero si trazamos una curva sinusoidal por cada una, la del inversor comercial da mucho más limpia.

Figura 72. Onda del inversor comercial



Ahora conectaremos tres diferentes cargas a los inversores (un cautín de 40W, un televisor de 45W y un bombillo de 60W), pero con la misma batería. Cada carga se pondrá con la batería cargada y se toman los voltajes de la batería y de la salida del inversor hasta que se descargue (o se apague la carga). En las figuras 73 y 74 se observan las gráficas de respuesta del inversor diseñado y en las figuras 75 y 76 del inversor comercial.

Figura 73. Gráfica de voltaje DC de la batería [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor diseñado



Comparando las curvas de respuesta, tenemos que el inversor comercial aprovecha la carga de la batería un 99% durante el tiempo de descarga (esto se debe a los integrados que presenta su circuito, ya que poseen un DC-DC para mantener la potencia de salida), a diferencia del inversor diseñado que aprovecha la carga un 83% durante un corto periodo de tiempo, después de este tiempo, el voltaje empieza a decaer para poder mantener la frecuencia de 60 [Hz] (sacrifica voltaje por frecuencia y amperaje, pero es afecta en la potencia de salida).

Figura 74. Gráfica de voltaje AC entregado [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor diseñado

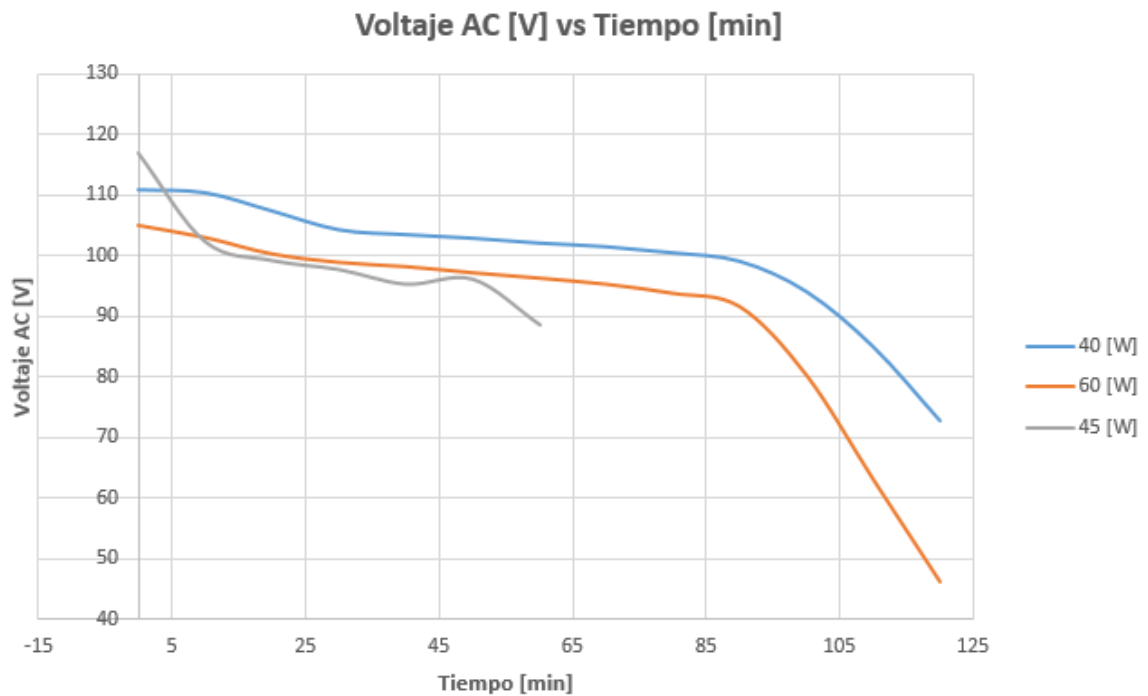


Figura 75. Gráfica de voltaje DC de la batería [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor comercial

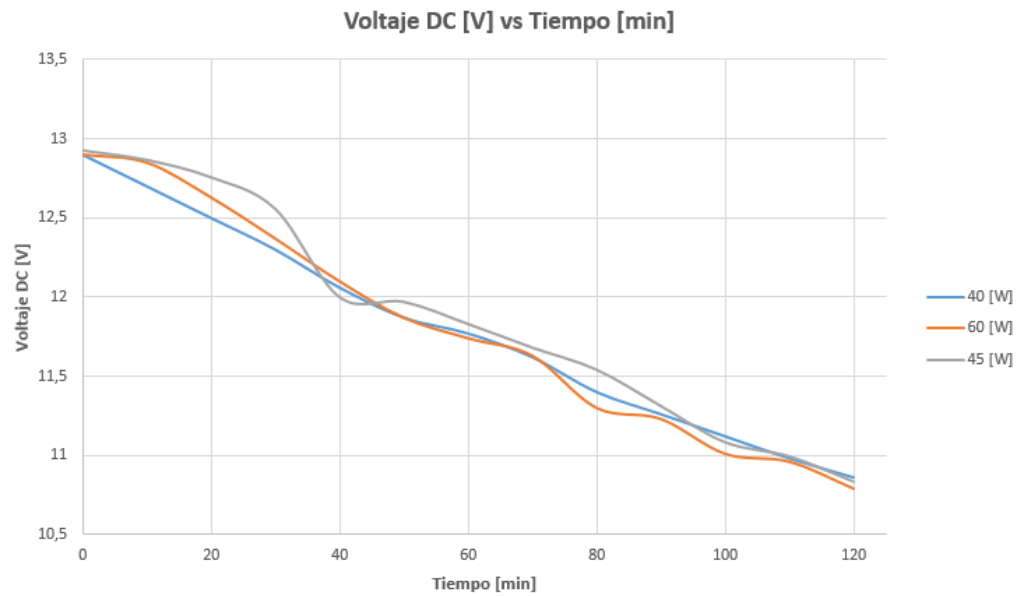
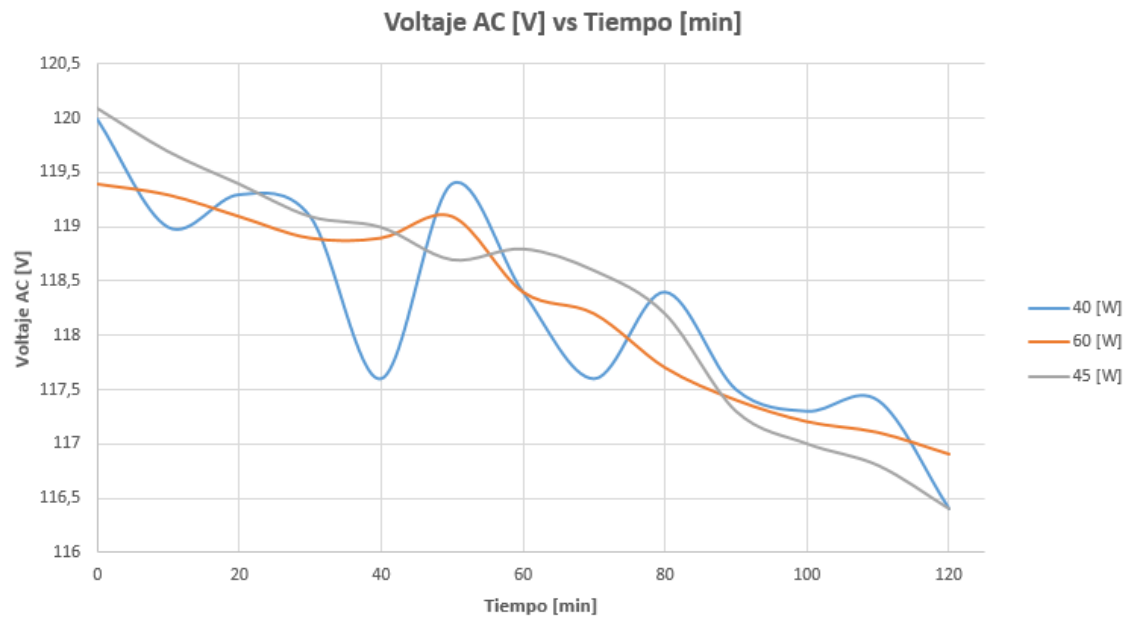


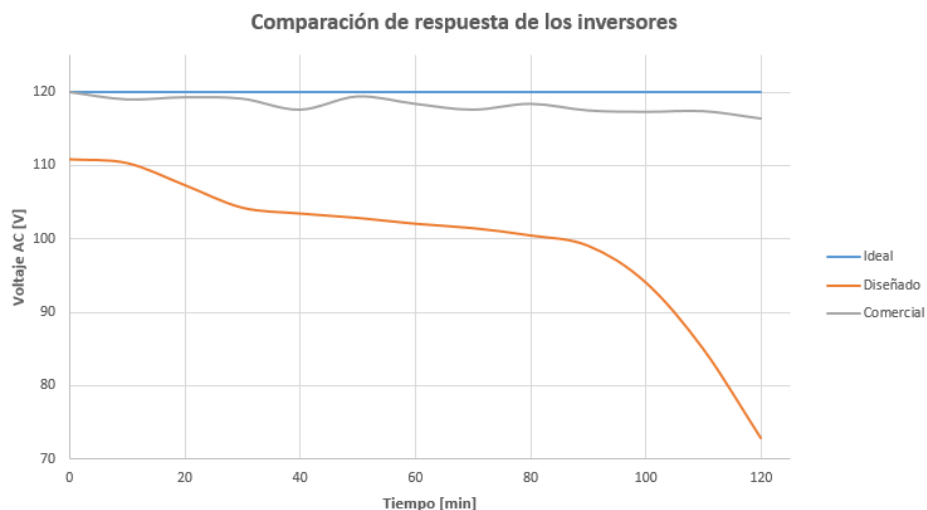
Figura 76. Gráfica de voltaje AC entregado [V] vs el tiempo de descarga [min] con el inversor comercial



En cuanto a la seguridad, tenemos que el inversor diseñado tiene protección contra los picos de corriente, sin embargo, no posee alguna protección contra las corrientes residuales, en cuanto a la temperatura, este inversor no se sobrecalienta ya que cuenta con un disipador de aletas (el material de las aletas es aluminio) y esto permite que no se necesite ningún tipo de ventilación forzada. En cuanto al inversor comercial, este posee protección para los picos de corriente, para las corrientes residuales y para la temperatura, igualmente, posee un ventilador para enfriar el sistema eléctrico mediante convección forzada, esto hace que utilice energía de la batería para auto-enfriarse (energía perdida).

Para medir la eficiencia se detalla la gráfica de comparación entre la respuesta de aprovechamiento de la batería para ambos inversores con la carga de 40 W (véase la figura 77), en la cual podemos apreciar que la curva que más se acerca a la ideal es la respuesta que genera el inversor comercial.

Figura 77. Comparación entre las respuestas de aprovechamiento de la batería por los inversores y la ideal con una carga de 40 [W]



Se espera que la eficiencia a 120 VAC, con una frecuencia de 60 [Hz] se mantenga constante durante todo el tiempo mientras la carga se encuentre conectada (esto se espera mientras la batería tenga carga hasta que se descargue completamente). Tan solo con 2 horas de análisis se pudo detallar en las gráficas (véase las figura 77) que la eficiencia del inversor comercial (eficiencia del 98,55% con respecto a la ideal) es superior que la del inversor diseñado (eficiencia del 82,98% con respecto a la ideal).

Por último, podemos definir que el inversor comercial es de menor peso, tamaño y disipa el calor de una forma más fácil a diferencia del inversor diseñado que es pesado y grande, sin embargo, disipa el calor de manera expedita. En la tabla 14 se puede detallar un cuadro comparativo entre el inversor diseñado y el inversor comercial, donde se ponderará con un puntaje del 0 al 5 los anteriores puntos analizados.

Tabla 15. Cuadro comparativo de los inversores		
PARÁMETRO	INVERSOR DISEÑADO	INVERSOR COMERCIAL
Voltaje	5	5
Frecuencia	5	4
Eficiencia	4	5
Seguridad	3	5
Otros	3	5
TOTAL	20	24

Gracias a la tabla 15 se logró seleccionar para las pruebas finales (véase en el ítem 6.5) el inversor comercial principalmente por su seguridad, eficiencia y aprovechamiento de la carga de la batería.

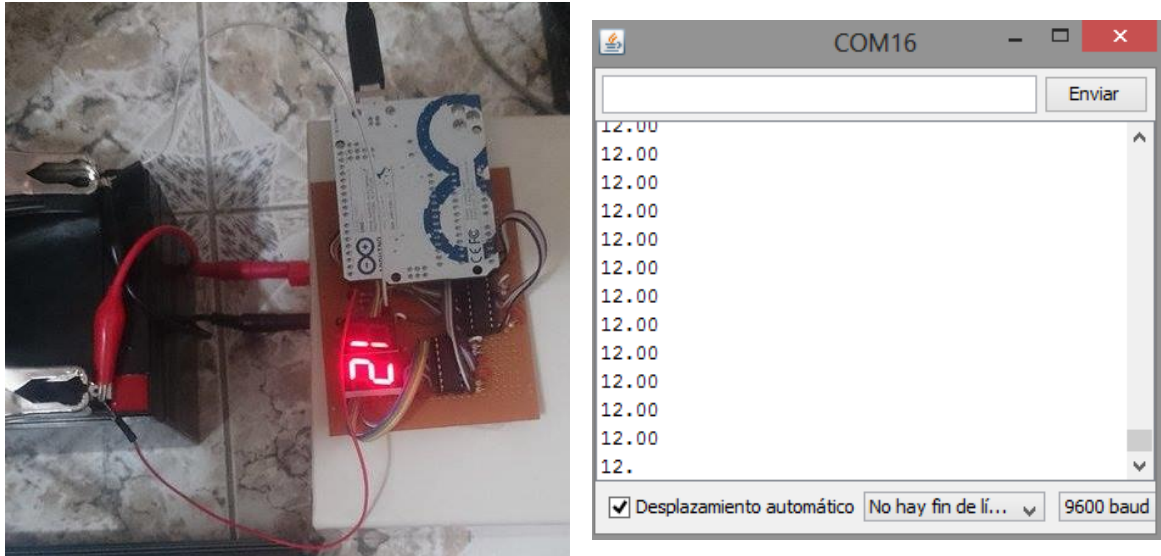
7.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE BATERÍA

Para comprobar el sistema de diagnóstico de batería, conectaremos el sistema a la batería de 12VDC/12Ah, el cual nos muestra el valor entero por debajo del voltaje de la batería (véase la figura 78), la prueba con la IHM se verán cuando se realicen las pruebas del software BioExLU² (ítem 7.5), en este sí mostrará el valor real (un valor flotante) del voltaje de la batería. Para tener una idea más global de la prueba se presenta el siguiente protocolo:

Fecha: Junio 08 del 2015	Hora: 8:00 a.m.
Responsables:	
Luis Miguel Zabala Gualtero	
Luis Alejandro Peñaranda Rincón	
Objetivos:	
Comprobar el funcionamiento del sistema de diagnóstico de batería	
Equipos:	
Tarjeta Arduino UNO	
Multímetro UNI-T UT70A	
Metodología:	
1. Conectamos la tarjeta Arduino a la baquelita (sistema de diagnóstico)	
2. Conectamos los respectivos cables a la batería de 12V/12Ah	
3. Conectamos la tarjeta Arduino al computador	
4. Abrimos la interface de la tarjeta Arduino y abrimos el monitor serial	
5. Revisamos el valor de tensión que nos muestra	
6. Comprobamos que sea correcta con la ayuda de un multímetro (aquí solo comparamos el valor de tensión que de la tarjeta Arduino con la que del multímetro)	
Análisis de resultados:	

Se puede comprobar que el valor proporcionado por la tarjeta Arduino es igual a la medida proporcionada por el multímetro, lo que nos indica que el sistema está funcionando correctamente.

Figura 78. Prueba del sistema de diagnóstico de batería



7.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MEDIDOR DE VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA

El siguiente protocolo muestra a grandes rasgos como se realizó las pruebas de funcionamiento del medidor de velocidad y distancia recorrida:

Fecha: Junio 08 del 2015	Hora: 2:00 p.m
Responsables:	
Luis Miguel Zabala Gualtero	
Luis Alejandro Peñaranda Rincón	
Objetivos:	
Comprobar el funcionamiento del medidor de velocidad y distancia recorrida	
Equipos:	
Tarjeta Arduino UNO	
Tacómetro digital EXTECH 461920	
Metodología:	

1. Conectamos la tarjeta Arduino a la baquelita
2. Ubicamos el medidor de velocidad y distancia recorrida de tal manera que las muescas adheridas a la llanta trasera pasen por medio del optoacoplador sin ninguna interrupción
3. Conectamos la tarjeta Arduino al computador
4. Abrimos la interface de la tarjeta Arduino y abrimos el monitor serial
5. Empezamos a pedalear la bicicleta para que la llanta trasera empiece a girar
6. Comprobamos que la lectura proporcionada por el Arduino sea muy parecida o igual a un tacómetro
Análisis de resultados:
Se pudo comprobar que el valor proporcionado por la tarjeta Arduino es muy parecida a la medida proporcionada por el tacómetro, adicionalmente, la medida de la tarjeta Arduino es cuasi-continua lo que nos indica que el funcionamiento del medidor es correcta.

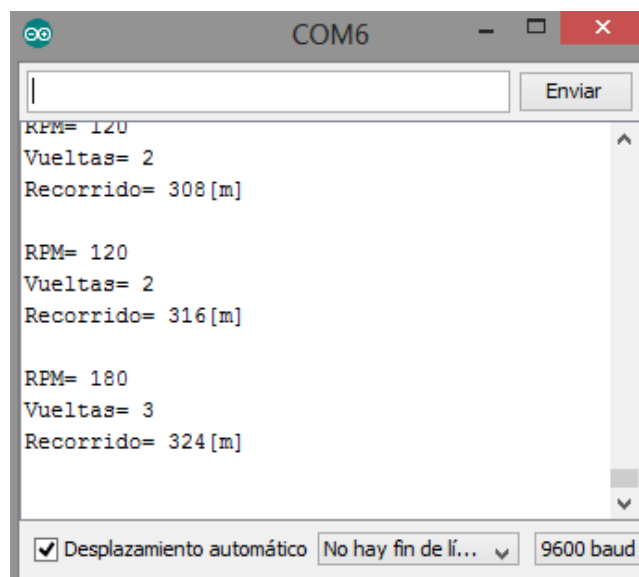
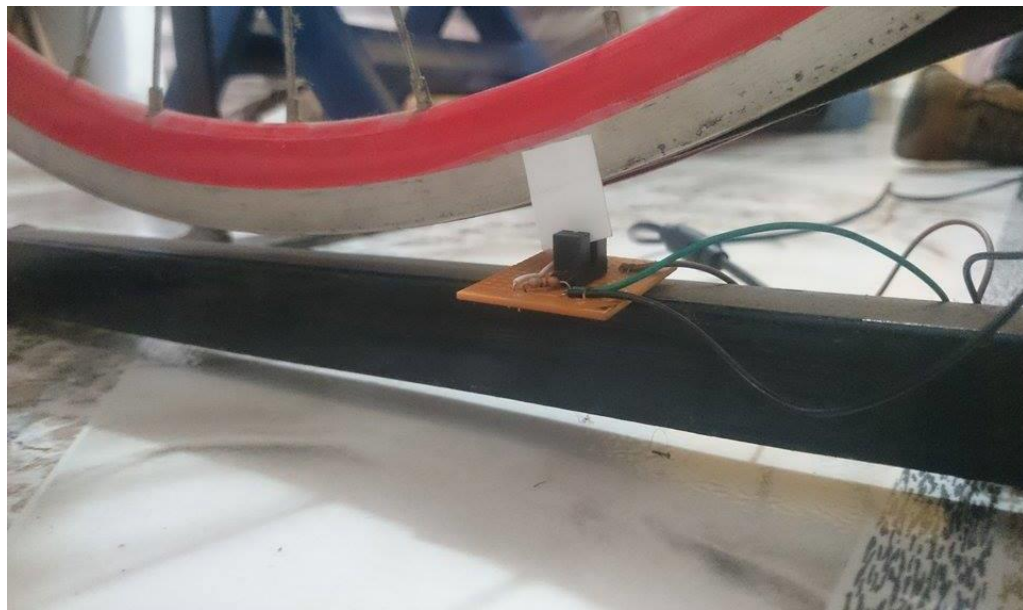
Para que el medidor de velocidad y distancia recorrida funcione, es necesario adherirle a la polea conductora (llanta trasera de la bicicleta) un elemento (una pequeña muesca de cartón) que pase cada vez que dé una vuelta por el optoacoplador de herradura como se muestra en la figura 79.

Figura 79. Elemento adherido a la llanta trasera



Se pone a girar la llanta trasera y los resultados que proporcionará la tarjeta Arduino se pueden observar en la figura 80. La prueba con la IHM se verán cuando se realicen las pruebas del software BioExLU² (ítem 6.5) ya que la comunicación serial con el software BioExLU² permite la visualización de los datos.

Figura 80. Prueba del medidor de velocidad y distancia recorrida



7.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR

El rectificador se diseñó con el fin de eliminar la onda y aparte regular el voltaje de salida del generador eléctrico para mantenerlo en 12VDC. Para realizar la prueba de funcionamiento del rectificador es necesario seguir el siguiente protocolo:

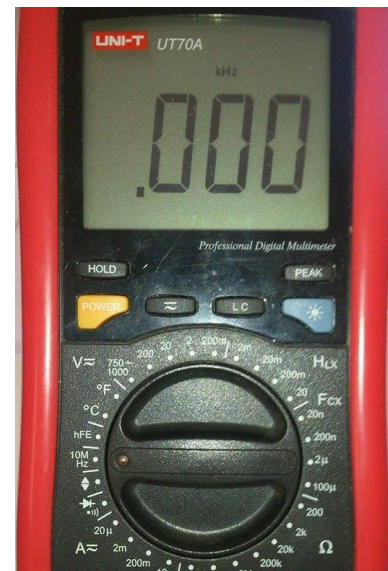
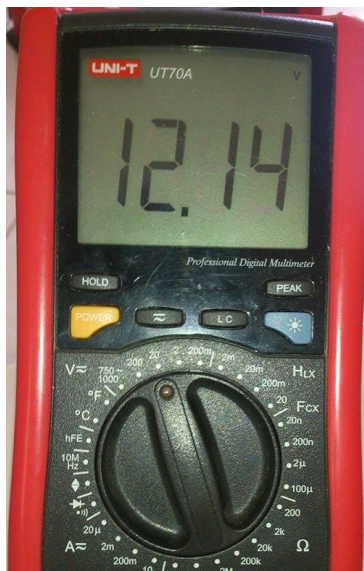
Fecha: Junio 09 del 2015	Hora: 8:00 a.m
Responsables:	
Luis Miguel Zabala Gualtero	
Luis Alejandro Peñaranda Rincón	
Objetivos:	
Comprobar el funcionamiento del rectificador	
Equipos:	
Multímetro UNI-T UT70A	
Metodología:	
1. Conectamos la alimentación del rectificador a la salida del generador eléctrico	
2. Conectamos el multímetro a la salida del rectificador	
3. Empezamos a pedalear la bicicleta para que el generador eléctrico empiece a generar energía eléctrica	
4. Medimos tensión con el multímetro	
5. Comprobamos con diferentes revoluciones al pedaleo que el multímetro marque 12 VDC	
Análisis de resultados:	
Rectificamos que si se pedalea a más de una revolución por minuto se logra obtener a la salida del rectificador 12VDC, esto demuestra que el sistema funciona correctamente	

Para esta prueba, conectamos la entrada del rectificador a la salida del generador eléctrico y obtenemos que pedaleando suave o rápido se tiene un voltaje constante de 12VDC como se observa en la figura 81 y 82.

Figura 81. Conexión del rectificador al generador eléctrico



Figura 82. Pruebas del rectificador



7.5 PRUEBAS DEL ENSAMBLE TOTAL

En esta parte del capítulo revisaremos el funcionamiento de todo el sistema, pero para ello necesitamos medir diferentes parámetros como: la potencia generada, el voltaje del generador eléctrico con respecto al pedaleo proporcionado por el usuario y el aprovechamiento del sistema eléctrico (antes escogido para las pruebas finales) en la carga y descarga de la batería. Para poder realizar estas pruebas es necesario

que el usuario de prueba pedalee a diferentes ritmos, durante varios tiempos y que la carga sea la misma. Por último se realizará una prueba con el software funcionando en conjunto, para verificar el comportamiento del sistema. Siguiendo lo anterior, tenemos el siguiente protocolo:

Fecha: Junio 13 del 2015	Hora: 10:00 a.m.
Responsables:	
Luis Miguel Zabala Gualtero	
Luis Alejandro Peñaranda Rincón	
Objetivos:	
Medir la potencia eléctrica generada variando la velocidad angular de pedaleo	
Medir la tensión generada variando la velocidad angular de pedaleo	
Medir el aprovechamiento del sistema eléctrico	
Revisar el sistema total con la IHM	
Equipos:	
Multímetro UNI-T UT70A	
Tarjeta Arduino UNO	
Metodología:	
1. Instalamos el sistema mecánico	
2. Conectamos el multímetro a la salida del generador eléctrico	
3. Empezamos a pedalear la bicicleta para que el generador eléctrico empiece a generar energía eléctrica	
4. Medimos tensión con el multímetro	
5. Tomamos los datos según la tabla A de la recolección de datos (tabla 16)	
6. Graficamos los datos de la tensión con respecto a la velocidad angular y la potencia eléctrica con respecto a la velocidad angular	
7. De las gráficas sacamos las ecuaciones de potencia eléctrica para compararla con respecto a los valores teóricos según la tabla B de la recolección de datos	
8. Conectamos el sistema mecánico al sistema eléctrico	
9. Conectamos el multímetro a la batería (descargada completamente)	
10. Empezamos a pedalear con una velocidad angular de 66 r.p.m en intervalos de 15 minutos hasta que se cumplan tres horas	
11. Medimos la tensión de la batería cada minuto durante el procedimiento	

12. Graficamos los datos tomados
13. Conectamos a la salida del inversor una carga de 100W y medimos cada minuto con el multímetro la tensión de la batería
14. Graficamos los datos tomados
15. Comparamos los valores calculados con los valores teóricos
16. Conectamos los sistemas de adquisición al computador
17. Abrimos la IHM y damos seleccionamos el botón BioExLU2
18. Revisamos que la interface esté funcionando correctamente

Recolección de datos:

TABLA A

Z_4/Z_3	ω_4 [R.P.M]	V-AC [V]	Pote [W]
42/14			

TABLA B

Z_4/Z_3	$\omega_{4teórica}$ [r.p.m]	$\omega_{4experimental}$ [r.p.m]	%Error
42/14			
42/16			

Análisis de resultados:

Comprobamos que la tensión media con más de 66 revoluciones por minuto es de 110 VAC y la potencia eléctrica es superior a 350W

El error presentado en la potencia eléctrica generada de 350W no supera el 23% en el peor de los casos cuando se encuentra la relación más alta de engranajes, ya que está dando más potencia eléctrica que la calculada

El aprovechamiento de la carga y descarga de la batería da aproximadamente como el fabricante lo anuncia de unas 3 horas

La IHM ensamblada al sistema total funciona correctamente

En la figura 83 se puede apreciar como quedo el ensamble del sistema mecánico y como lo conectamos a un multímetro para poder medir el voltaje entregado. Con ayuda del medidor de velocidad tomamos las revoluciones por minuto que lleve el pedal y con la intensidad nominal del generador de 3,2 [A] calcularemos la potencia con diferentes ω_4 (velocidad angular del pedaleo) basándonos en la ecuación 24. En la tabla 16 podemos detallar los valores tomados (solo cuatro para cada relación, ya que son las más importantes), según la relación del plato con el piñón (Z_4/Z_3). En este capítulo solo mostraremos la relación con el plato de 42 dientes, sin embargo, en el manual del BioExLU² se detallarán todas las relaciones.

Figura 83. Conexión del sistema mecánico



$$Pote = V * I \quad (24)$$

Tabla 16. Voltaje y potencia eléctrica proporcionada según el pedaleo			
Z_4/Z_3	ω_4 [R.P.M]	V-AC [V]	Pote [W]
42/14	4	9,8	31,36
	66	110	352
	100	160,4	513,16

	200	174	556,8
42/16	4	7,4	23,68
	54	91,1	291,52
	75	120	384
	200	167,4	535,68
42/18	5	9,8	31,36
	43	68,4	218,88
	86	110,7	354,24
	200	158,1	505,92
42/21	5	6,4	20,48
	60	80,9	258,88
	75	90,8	290,88
	200	127,8	408,96
42/24	9	8,3	26,56
	86	86,6	277,12
	120	113,5	363,2
	200	128,3	410,56
42/27	9	4,2	13,44

	75	69,3	221,76
	150	115,4	369,28
	200	126,9	406,08

En la figura 84 podemos observar una gráfica de el voltaje con respecto a la velocidad angular en el pedal y en la figura 85 una gráfica de la potencia eléctrica con respecto a la velocidad angular en el pedal.

Figura 84. Gráfica del voltaje en corriente alterna [V] vs la velocidad angular proporcionada por el usuario [r.p.m]

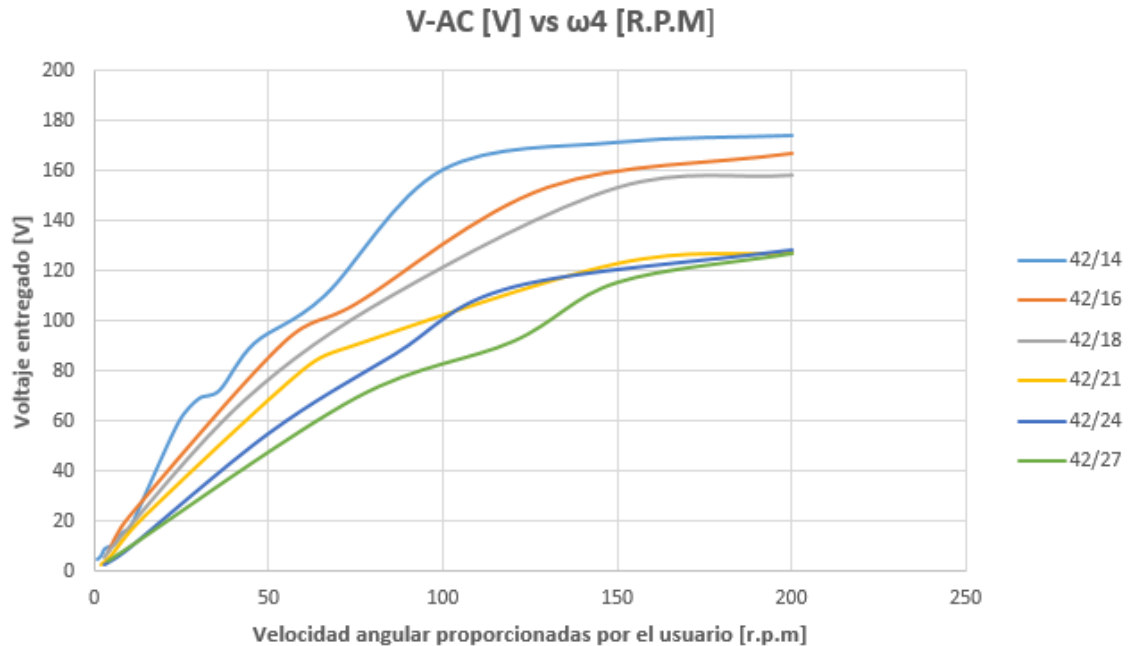
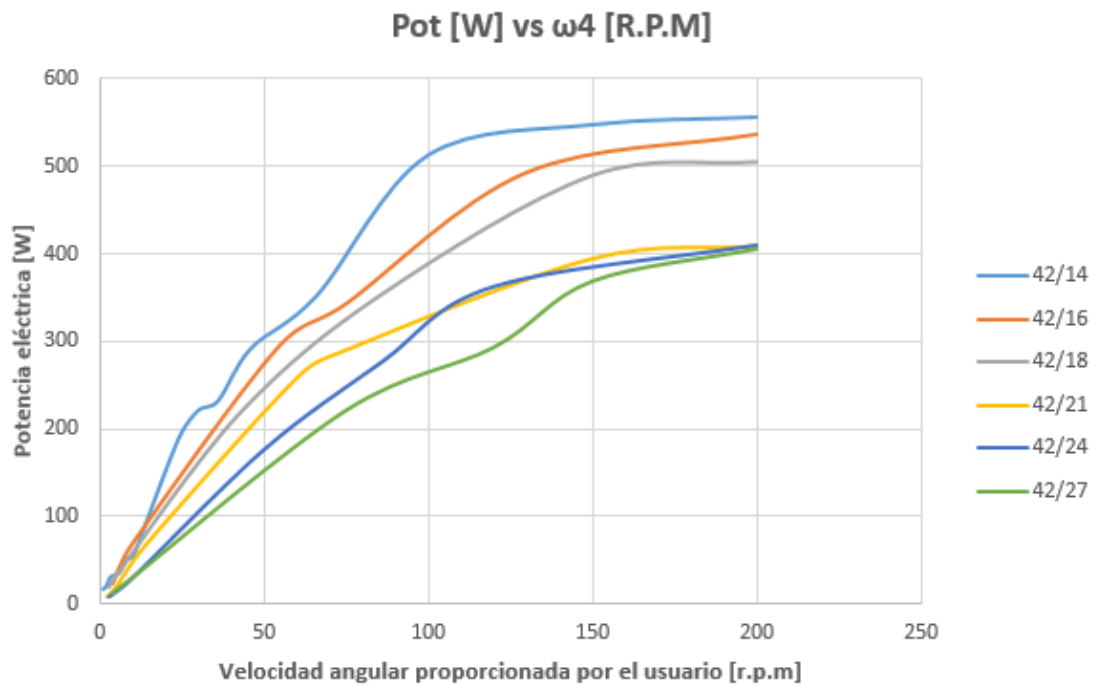


Figura 85. Gráfica de la potencia eléctrica [W] vs la velocidad angular proporcionada por el usuario [r.p.m]



Ahora se muestra las tendencias polinómicas de la potencia eléctrica con la respectiva regresión lineal para cada ecuación. La ecuación de la potencia eléctrica característica para $Z_4/Z_3 = 42/14$:

$$Pote = (3 * 10^{-7} * \omega^4) - (9 * 10^{-5} * \omega^3) - (0,0188 * \omega^2) + (7,3623 * \omega) - 1,1228$$

$$R^2 = 0,9948$$

Para $Z_4/Z_3 = 42/16$:

$$Pote = -(0,0144 * \omega^2) + (5,3725 * \omega) + 5,5436$$

$$R^2 = 0,9994$$

Para $Z_4/Z_3 = 42/18$:

$$Pote = (-6 * 10^{-7} * \omega^4) + (3 * 10^{-4} * \omega^3) - (0,0492 * \omega^2) + (6,7884 * \omega) - 1,2086$$

$$R^2 = 1$$

Para $Z_4/Z_3 = 42/21$:

$$Pote = (-4 * 10^{-9} * \omega^4) + (5 * 10^{-5} * \omega^3) - (0,0287 * \omega^2) + (5,8872 * \omega) - 6,2904$$

$$R^2 = 0,9997$$

Para $Z_4/Z_3 = 42/24$:

$$Pote = (-0,0114 * \omega^2) + (4,3814 * \omega) - 9,3565$$

$$R^2 = 0,9985$$

Para $Z_4/Z_3 = 42/27$:

$$Pote = -(0,00677 * \omega^2) + (3,3881 * \omega) - 0,5357$$

$$R^2 = 0,9968$$

En la tabla 17 una comparación con respecto a la tabla 5 (velocidad angular requerida por el usuario según el piñón) para saber el porcentaje de error de la experimentación con respecto a la teoría (teniendo en cuenta la ecuación 25) cuanto se debería obtener 350 [W], o sea, una corriente alterna de 110 [V] y una intensidad aproximada de 3,2 [A].

$$\%Error = \frac{Teoría - Experimentación}{Teoría} * 100 \quad (25)$$

La tabla 17 nos muestra el pedaleo necesario para generar 350 [W] con el generador eléctrico, sin embargo, este va conectado al rectificador que nos regulara el voltaje y siempre nos entregará a la salida 12 [VDC] siempre y cuando el generador entregue más de 12 [VAC] (para esto solo es necesario que el pedaleo sea aproximadamente con 6 r.p.m).

Tabla 17. Comparación de la velocidad angular de pedaleo teórica vs experimental para una potencia eléctrica de 350 [W]			
Z_4/Z_3	$\omega_{4teórica}$ [r.p.m]	$\omega_{4experimental}$ [r.p.m]	%Error
42/14	75,87	58,34	23,11
42/16	86,7	70,6	18,6
42/18	97,54	82,25	15,66
42/21	113,8	103,1	9,4
42/24	130,06	118,6	8,81
42/27	146,31	145,1	0,83

Para la carga de la batería, el fabricante nos brinda una gráfica característica de la carga de la batería a un cierto voltaje e intensidad (véase la figura 86). Tenemos por el fabricante que cargando la batería a 25°C un voltaje de 12V y una intensidad de 1,12A constantes esta se cargará en 10 horas, o con un voltaje de 12V a 3,06A constantes la misma se cargaría en 3 horas (véase la figura 87).

Figura 86. Gráfica de la carga característica de la batería

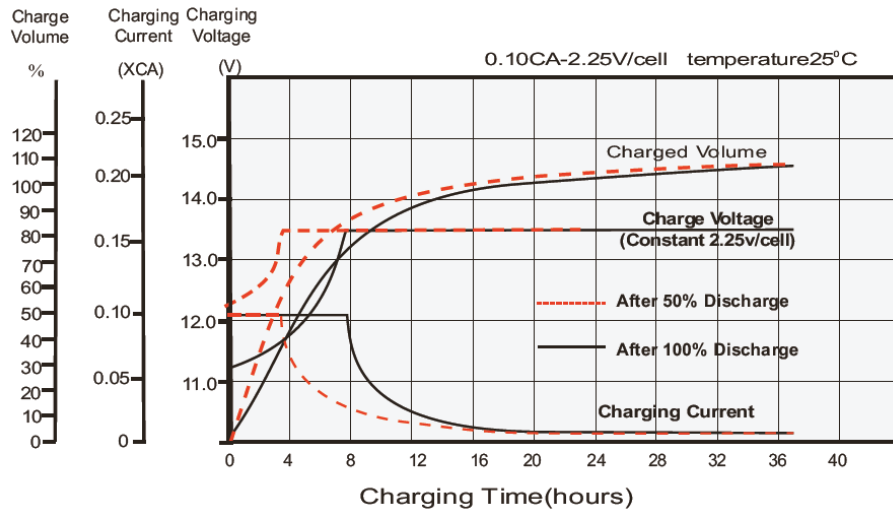


Figura 87. Capacidad de la batería

12.0 Ah / 0,60A (20hr,1.80V/cell,25°C/77°F)

11.2 Ah / 1.12A (10hr,1.80V/cell,25°C/77°F)

10.2 Ah / 2.04A (5hr,1.75V/cell,25°C/77°F)

9.2 Ah / 3.06A (3hr,1.75V/cell,25°C/77°F)

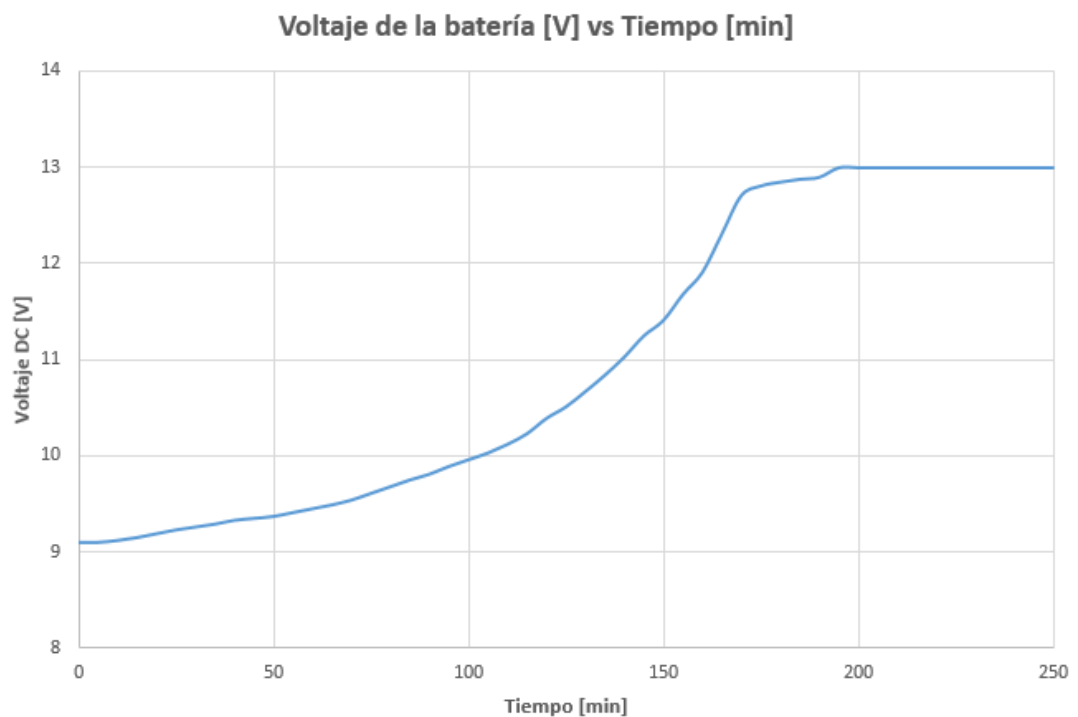
7.54 Ah / 7.54A (1hr,1.60V/cell,25°C/77°F)

Fuente: Datasheet de la batería nx S 12V 12Ah (véase el Anexo S)

Según la gráfica de la carga característica de la batería, con un voltaje de 12V y 3A se espera que en aproximadamente 3 horas (véase la figura 86) de suministro de energía constante esta se cargue completamente en el estado ideal. En nuestro, el suministro se dará en la ciudad de Bucaramanga, con una temperatura promedio

de 25°C⁴⁰ (para el día de la prueba de carga de la batería), con un voltaje promedio de carga de 12,2 V e intensidad promedio de 3 [A] (proporcionado por el rectificador de una manera constante), con un pedaleo promedio de 66 r.p.m (este pedaleo se realizó en intervalos de 15 minutos aproximadamente) y la combinación de $Z_4/Z_3=42/14$ se obtuvo la respuesta mostrada en la figura 88, lo que representa una carga de la batería completa en 3 horas y 15 minutos aproximadamente, lo que significa un error del 8,33% referente al dato teórico.

Figura 88. Gráfica de Carga [V] vs Tiempo [min]

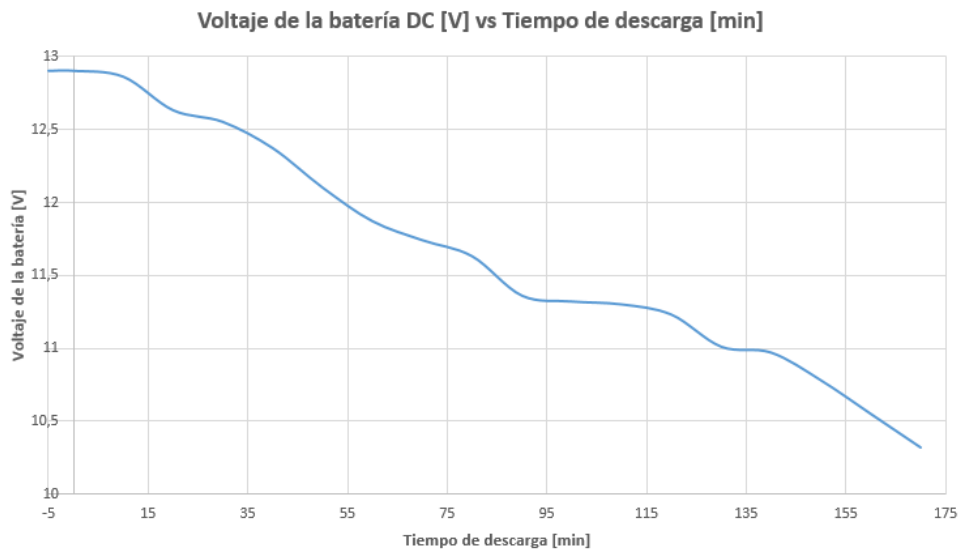


Posterior a las pruebas de carga de la batería, se realizaron las de descarga total pero ahora con una potencia a la salida de 100 [W] (un ventilador de 60 W y un

⁴⁰ Temperatura tomada el día 14/08/2015 en la ciudad de Bucaramanga-Colombia a las 2:00 p.m.

cautín de 40 W), en la figura 89 podemos detallar la curva del voltaje de la batería contra el tiempo de descarga en minutos, la cual nos muestra que la batería se descarga completamente en aproximadamente 170 minutos de funcionamiento.

Figura 89. Gráfica del Voltaje de la batería [V] vs Tiempo de descarga [min]



Ya con esta respuesta de duración de la batería nos disponemos a realizar las pruebas del software BioExLU² (véase la figura 90). Primero rectificamos que la función de “Velocidad necesaria” dé como resultado valores similares a los cálculos en el ítem 4.1.1; usando los datos de diseño se ejecutó la función con la opción CALCULAR (véase la figura 91) y comparándolos con los calculados como se muestra en la tabla 18, los errores que nos dan son menor del 0,5% por lo que se considera una herramienta muy cercana a la teoría, pero si la comparamos ahora con la realidad nos va dar un error cercano al 10% como se observó en la tabla 17.

Ahora cambiamos los valores de diseño, lo que deseamos es una potencia eléctrica de 400 [W] con los mismos valores mecánicos del ejemplo anterior. Por consiguiente, usamos el botón CALCULAR2 y nos genera los resultados mostramos en la figura 92.

Tabla 18. Comparación entre valores calculados y entregados por la función

Dato	Función	Teórico	Error %
Potm	469,3 [W]	467 [W]	0,49
Pote	351,7 [W]	350 [W]	0,49
ω_4	75,67 r.p.m	75,87 r.p.m	0,26

Figura 90. Funcionamiento de la pantalla inicial del software BioExLU²



Figura 91. Funcionamiento de la función “Velocidad Necesaria” con el botón “CALCULAR”

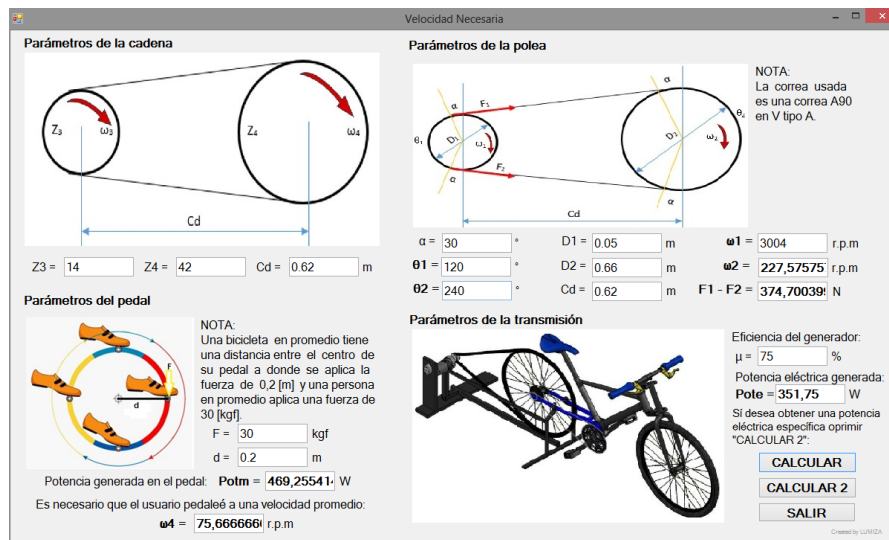
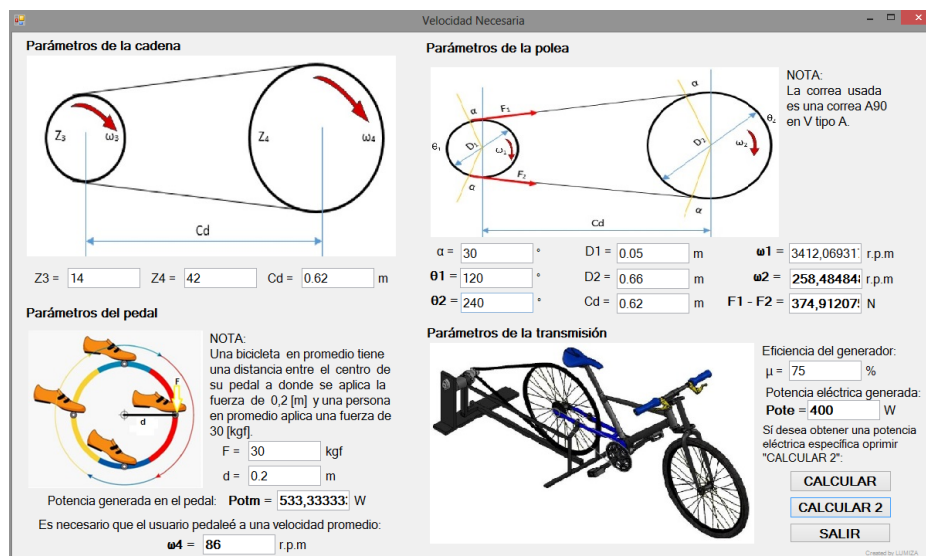


Figura 92. Funcionamiento de la función “Velocidad Necesaria” con el botón “CALCULAR2”



Por último realizamos las pruebas de la función BioExLU². Usamos los distintos métodos de cálculo para un usuario hombre, con 75 [kg] de peso, 23 años de edad, ritmo cardiaco a la hora de ejercitarse de 90 pulsos/min y una duración de ejercicio 15 minutos, generando los resultados mostrados en las figuras 93, 94, 95 y 96. Igualmente aquí podemos observar que la comunicación con la máquina es buena (aunque demora un segundo en realizar todos los cálculos) ya que muestra el voltaje real de la batería, la velocidad recorrida entre los otros cálculos de interés para el usuario.

Figura 93. Funcionamiento de software BioExLU² utilizando el método de cálculo “Cooper”

Figura 94. Funcionamiento de software BioExLU² utilizando el método de cálculo “Rockport”

BioExLU2

INFORMACIÓN

Genero: Hombre Mujer

Peso: 75 Kg Edad: 23 Años

Tiempo: 15 min Ritmo Cardíaco: 90 pulsos/min

SELECCIÓN DE CÁLCULO

Cooper SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE VOLTAJE
COM6

Rockport

Lug Logger MEDIDOR DE VELOCIDAD ANGULAR
COM16

Ruffier

RESULTADOS

Calorías: -271.08223804971 VO₂máx: -11.28772635814E ml/Kg/min

Velocidad: 2.8 m/s Revoluciones por minuto: 82 r.p.m

Distancia: 11 m Batería: 12.28 VDC

Salir

Create by LUMIZA

BioExLU2

INFORMACIÓN

Genero: Hombre Mujer

Peso: 75 Kg Edad: 23 Años

Tiempo: 15 min Ritmo Cardíaco: 90 pulsos/min

SELECCIÓN DE CÁLCULO

Cooper SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE VOLTAJE
COM6

Rockport

Lug Logger MEDIDOR DE VELOCIDAD ANGULAR
COM16

Ruffier

RESULTADOS

Calorías: -244.82223804971 VO₂máx: 54.1 ml/Kg/min

Velocidad: 2.5 m/s Revoluciones por minuto: 72 r.p.m

Distancia: 54 m Batería: 12.00 VDC

Salir

Create by LUMIZA

Figura 95. Funcionamiento de software BioExLU² utilizando el método de cálculo “Lug Logger”

Figura 96. Funcionamiento de software BioExLU² utilizando el método de cálculo “Ruffier”

The screenshot shows the BioExLU2 software interface with the following data and settings:

- INFORMACIÓN:**
 - Genero: Hombre Mujer
 - Peso: 75 Kg
 - Edad: 23 Años
 - Tiempo: 15 min
 - Ritmo Cardíaco: 90 pulsos/min
- SELECCIÓN DE CÁLCULO:**
 - Cooper: SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE VOLTAJE: COM6
 - Rockport:
 - Lug Logger:** MEDIDOR DE VELOCIDAD ANGULAR: COM16
 - Ruffier:
- RESULTADOS:**
 - Calorías: -284.01023804971
 - VO2máx: -43.679 ml/Kg/min
 - Velocidad: 2.4 m/s
 - Revoluciones por minuto: 67 r.p.m
 - Distancia: 120 m
 - Batería: 12.67 VDC

Buttons: Salir

Footer: Create by LUMIZA

The screenshot shows the BioExLU2 software interface with the following data and settings:

- INFORMACIÓN:**
 - Genero: Hombre Mujer
 - Peso: 75 Kg
 - Edad: 23 Años
 - Tiempo: 15 min
 - Ritmo Cardíaco: 90 pulsos/min
- SELECCIÓN DE CÁLCULO:**
 - Cooper: SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE VOLTAJE: COM6
 - Rockport:
 - Lug Logger:
 - Ruffier:** MEDIDOR DE VELOCIDAD ANGULAR: COM16
- RESULTADOS:**
 - Calorías: -277.14223804971
 - VO2máx: -26.47 ml/Kg/min
 - Velocidad: 0 m/s
 - Revoluciones por minuto: 0 r.p.m
 - Distancia: 120 m
 - Batería: 12.47 VDC

Buttons: Salir

Footer: Create by LUMIZA

8. CONCLUSIONES

Alrededor del mundo encontramos 6 tesis de maestría, 5 tesis de pregrado, 8 artículos científicos y 2 proyectos de curso existen muy sobresalientes, referente a la generación de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta. Específicamente, existen proyectos donde muestran el diseño para la implementación de generadores eléctricos y dínamos a bicicletas fijas para almacenar la energía eléctrica (pero pocos proyectos han sido implementados), siendo este mecanismo el más óptimo para la transformación de energía mecánica a eléctrica.

Se demostró matemáticamente que el mejor sistema mecánico es la alternativa uno, esto gracias a las relaciones que existen entre la polea del generador eléctrico y el rin trasero de la bicicleta que funciona como polea conductora, dando en la matriz un valor de 15 a la segunda y tercera alternativa que obtuvieran 9 y 11 respectivamente. Igualmente, la transmisión de potencia proporcionada de la bicicleta ayuda a que el usuario pedalee desde 1 r.p.m. para obtener un voltaje de 12VDC que cargue la batería.

Se comprobó experimentalmente que el inversor que mejor aprovecha la carga de la batería es el comercial con un 98,55% de eficiencia, ya que este usa unos integrados que filtran la onda de una mejor forma y mantienen el voltaje de salida constante mientras la batería se descarga. A diferencia del inversor diseñado con un 82,93% de eficiencia, que aunque mantiene la frecuencia constante lo sacrifica por el voltaje de salida, haciendo que la carga de la batería caiga de una manera

más rápida a medida que se descarga; esto se debe a que el inversor diseñado presenta muchas pérdidas porque usa un transformador.

Teniendo en cuenta parámetros iniciales como: fuerza promedio en la aplicación del pedaleo de 30 [kgf], una distancia del pedal al eje de 20 [cm], una velocidad angular de 6,8 r.p.s, se logró diseñar un sistema usando una bicicleta fija para la transformación de energía mecánica a eléctrica con 600 [W] de potencia en máximo, 60 [Hz], 120 [VAC] y una onda cuadrada con grandes rasgos senoidales. Sin embargo, la potencia máxima posible que se puede usar (potencia constante entregada por el inversor) es de 400 [W].

Gracias a la ayuda del rectificador que regula el voltaje de salida del generador eléctrico, el usuario puede pedalear (en cualquier combinación de engranajes) más de 6 r.p.m y este entregará 12,4 [VDC] que es lo apropiado para cargar la batería. Obviamente si se pedalea más rápido, la intensidad que puede entregar el rectificador aumenta hasta un máximo de 3,5 [A], por lo que la batería se puede cargar en un tiempo mínimo de 2 horas y 30 minutos.

El tiempo de descarga de la batería depende de la carga que se use, por ejemplo, con una carga de 100 [W] el inversor mantiene en funcionamiento durante más de 2 horas y 30 minutos, sin que la carga sufra algún daño.

El software para calcular la velocidad necesaria y potencia generada presento un error por debajo del 0,5% con respecto a los valores que dan las ecuaciones teóricas. Sin embargo, presenta (igual que la teoría) un error máximo del 23% con respecto a la realidad.

El uso de la tarjeta Arduino como sistema de adquisición fue aceptable para los sistemas de control, ya que presentó bastante facilidad para la comunicación serial con el software BioExLU² elaborado en Visual Studio 2013. Sin embargo, la estabilidad de la tarjeta Arduino es un poco baja, debido que necesita entregar datos en tiempo real y esto genera que la comunicación se pierda fácilmente.

La interfaz hombre-máquina elaborada fue muy eficiente gracias al uso de cálculos para establecer las calorías y la cantidad de oxígeno máxima ($VO_{2m\acute{a}x}$) gastada por el usuario. Igualmente, para el muestreo de la velocidad angular, la velocidad, la distancia recorrida y el voltaje actual de la batería. Sin embargo, por cuestiones de comunicación con la tarjeta Arduino no fue un 100% estable.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para prolongar la vida útil de la batería se recomienda que el pedaleo sea como mínimo de 6 r.p.m y para cargarla rápido un pedaleo promedio de 66 r.p.m.

Para futuros arreglos e implementación del proyecto se recomienda cambiar la tarjeta Arduino para la adquisición por un PLC ya que posee una estabilidad superior y esto permite que la comunicación con el software BioExLU² o algún software para muestreo sea mejor.

Se pueden implementar baterías con mayor capacidad para que la duración de la carga sea más alta. Para esto, se podría cambiar la batería de ácido por una batería de Litio, aunque esta es más costosa.

Se recomienda que se diseñen diferentes mecanismos de ejercicio y se implementen el sistema eléctrico y de control en ellos para construir un gimnasio semi-sostenible. Aunque es poco posible que sea 100% auto-sostenible, sí se puede reducir el consumo de energía eléctrica en un gran porcentaje y de esta forma contribuir a la disminución de la huella de carbono en el mundo.

Construir un banco para la medición de voltaje en la batería, en la salida del sistema mecánico y del generador eléctrico, en la entrega del rectificador y del inversor para poder realizar pruebas académicas. Igualmente un banco en la comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

ALHADRADIGITAL. Revista Cultural del IES ALHADRA. La ciencia de la bicicleta [En línea]. [España, Almería] Mayo, 2008. [Consultado: 18/07/2015] Disponible en: <URL: <https://alhadradigital.wordpress.com/2008/05/08/273/>>

ÁLVAREZ, Fernando. High Efficiency Electric Generator for Chain-less Bicycle. Tesis de Electric. Department of Electrical Engineering, Electronics, Computers and Systems. España: Oviedo Universidad de Oviedo, 2014. 67 p.

ÁLVAREZ, Julio. Transformadores [En línea], 2009. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://www4.frba.utn.edu.ar/html/Electrica/archivos/electrotecnica_y_maquinas_electricas/apuntes/7_transformador.pdf>

ÁREA TECNOLOGÍA. La Dínamo y el Alternador [En línea], 2014. [Consultado 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://www.areatecnologia.com/La_dinamo.htm>

ANDREW, Pytel. Engineering Mechanics Dynamics. USA. Editorial SI Edition, 3ra Edición. Stamford, 2010. 651 p.

BEHRINGER, Rolf. Kooperative Bildung für Erneuerbare Energie an der PH Freiburg. Proyecto de física. Alemania: Freiburg, 2007. 22 p.

BENÍTEZ, Yennifer. GONZÁLEZ, Juan. ROSERO, Javier. Producción Energética en un Modelo para Gimnasios Colombianos. Artículo Académico. Facultad de Ingeniería. Colombia: Bogotá Universidad Nacional de Colombia, 2013. 8 p.

BIN BAHARIN, Mohd Aizat. Solar Bicycle. Tesis of master. Malaysia: Malaysia Pahang. Faculty of Electrical and Eletronics Engineering. University, 2010. 24 p.

CARDINALI, Luciano. SANTOMASSIMO, Saverio. STEFANONI, Marco. Design and realization of a 300 W fuel cell generator on an electric bicycle. Artículo científico, Journal of Power Sources. Italia: Roma. Advanced Energy Technologies Division. 2002. 4 p.

CARMONA, Abraham. ORTEGA, Andrés. SÁNCHEZ, Abraham. Generación de Energía Eléctrica por Pedaleo. Tesis de Ingeniero Mecatrónico. México: Ciudad de México. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. 170 p.

CARRANZA, Lorena. RUIZ, William. Proyecto Física Eléctrica Generador de Electricidad Ecológico. Proyecto de física. Colombia: Bogotá. Física Eléctrica: Escuela Colombiana de Carreras Industriales, 2013. 12 p.

CONSTRUYA SU VIDEO ROCKOLA. INVERSOR DE VOLTAJE DC/AC Y CARGADOR DE BATERÍA [En Línea], 2012. [Consultado: 21/08/2014] Disponible en: <URL: http://construyasuvideorockola.com/proyecto_inversor_01.php>

DONSKOI, D.D. Biomecánica con fundamentos de la técnica deportiva. La Habana, Playa, Cuba. Editorial Pueblo y Educación, 1971. 306 p.

FOGELBERG, Fabian. Solar Powered Bike Sharing System with Electric Bikes. Master thesis. Sweden: Göteborg. Department of Energy and Environment. Division of Wnvironmental System Analysis. Chalmers University of Technolog, 2014. 81 p.

G-SE. La técnica de pedaleo [En línea]. [Consultado: 18/07/2015] Disponible en: <URL: <http://g-se.com/es/entrenamiento-en-ciclismo/blog/la-tecnica-de-pedaleo>>

GONZÁLEZ, Hernando. VALCÁRCEL, Justo. SÁNCHEZ, Alejandra. Diseño y Construcción de un Generador Eólico de Energía Eléctrica Continua. Artículo Académico. Colombia: Neiva. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Surcolombiana, 2011. 8 p.

HARVARD HEALTH PUBLICATIONS. Harvard Medical School. Trusted advice for a healthier life. Calories burned in 30 minutes for people of three different weights [online]. [Boston, MA. E.U] Harvard, July 2004. [cited: 3 May 2015] Disponible en: <http://www.health.harvard.edu/newsweek/Calories-burned-in-30-minutes-of-leisure-and-routine-activities.htm>

HIDALGO, Diego. Diseño de la Investigación para la Generación de Energía Eléctrica Mediante una Bicicleta Estacionaria en un Gimnasio del Municipio de Villanueva y su Impacto en el Ambiente. Tesis de Ingeniero Civil. Guatemala: San

Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Estudios de Ingeniería Civil: Universidad San Carlos de Guatemala, 2013. 61 p.

INDEXMUNDI. Precios de mercancías [En línea], 2015- [Consultado: 07/07/2015]
Disponibile en: >URL: <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/>>

J.J. Hwang, D.Y. Wang, N.C. Shih, D.Y. Lai y C.K. Chen. Development of fuel-cell-powered electric bicycle. Artículo científico, Journal Of Power Sources. Taiwan: Changhua. Research Center for Advanced Science and Technology. Mingdao University. 2004. 6 p.

LEARV, Jonathan. Design of a Novel Product Using Waste Material. Master thesis. England: Sheffield. Master of Engineering. The University of Sheffield, 2008. 90 p.

LOAIZA, Claudia. Diseño de dispositivos para el aprovechamiento de energía humana: Diseño de un generador de flujo axial activado a manivela. Tesis de Ingeniera Electrónica. Ecuador: Loja. Facultad de Ingeniería, Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Técnica Particular de Loja. 2011. 134 p.

LOPER, Orlar E.; TEDSEN, Edgar. Direct Current Fundamentals. New York USA, Delmar Publishers Inc, 6ta Edición. 2000. 476 p.

LÓPEZ, Ismael. Ejemplos de cálculo VO₂máx [en línea]. [Madrid, España] 2010. [Consultado: 10/11/2014] Disponible en: <URL: https://ismaelcaracol.files.wordpress.com/2010/09/ejemplo-de-calculo_vo2max.pdf>

M, Angel. ¿Cómo es una bicicleta de spinning? Partes de una bicicleta de spinning? [En línea], 2010 [Consultado: 21/01/2015] Disponible en: <URL: <http://www.foroindoor.com/como-es-una-bicicleta-de-spinning-partes-de-una-bicicleta-de-spinning/>>

MCGRAW-HILL. Rectificadores y Filtros [En línea]. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171624.pdf>>

MANKODI, Harsh. Analysis of a Treadmill Based Human Power Electricity Generator. USA: Minnesota. Mechanical Engineering. University of Minnesota, 2012. 120 p.

MAPFRE. Baterías AGM para vehículos Stop&Start [en línea]. [Madrid, España] 2015. [Consultado: 05/10/2015] Disponible en: <URL: http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1068384>

NFB. Baterías Alcalinas Níque-Cadmio [En línea], [México D.F, México] 2015. [Consultado: 23/01/2015] Disponible en <URL: <http://www.nfb.com.mx/productos-baterias-alcalinas-niquel-cadmio.html>>

NÚÑEZ, Carlos. FLÓREZ, Julián. Diseño de un Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Estáticas. Tesis de Ingeniería Eléctronica. Colombia: Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Estudios de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones: Universidad Industrial de Santander, 2011. 77 p.

OSORIO, Artur. Generador eléctrico accionado por fuerza humana: una nueva alternativa de generación de energía. México: Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2007.

PÉREZ, Richard A. The Complete Battery Book. USA. Blue Ridge Summit, Tab Books Inc, 1ra Edición. 1985. 185 p.

PÉREZ, Pedro. LLANA, Salvador. Biomecánica básica, aplicabilidad a la actividad física y el deporte. Barcelona, España. Editorial Paidotribo, 1ra Edición, 2015. 681 p.

PELZ, Bradley. FEIEREISEN, Jeffrey. Bicycle powered generator for the University Farm. USA: St. Louis. Electricla and Systems Engineering Department. School of Engineering and Applied Science, Washington University in St. Louis, 2010. 39 p.

PICAZO, Luis. Como pedalear correctamente [en línea]. [Consultado: 21/01/2015] Disponible en: <URL: <http://nosinmibici.com/2010/12/09/como-pedalear-correctamente>>. España. 2010.

RODAS. Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla. PILAS Y ACUMULADORES [en línea], [Sevilla, España] 2010. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://rodas.us.es/file/8763a8ca-1a60-6545-12d8-ceb31383e7d0/1/tema5_ims_SCORM.zip/page_06.htm>

QUIMINET. La bicicleta fija y sus beneficios-Bicicleta fija para bajar de peso [En línea], 2011. [Consultado: 21/01/2015] Disponible en: <URL: <http://www.quiminet.com/articulos/la-bicicleta-fija-y-sus-beneficios-bicicleta-fija-para-bajar-de-peso-2555681.htm>>

R.C, Hibbeler. Ingeniería Mecánica Dinámica. Naucalpan de Juárez, Estado de México. Editorial Prentice Hall, 12va Edición, Pearson 2010. 732 p.

SANJAY, Samuel. Harvesting Electrical Energy from a Stationary Bike: An Experimental Approach. Master of Engineering thesis. New Zeland: Palmerston North. School of Engineering and Advanced Technology. Massey University, 2014. 163 p.

SEARS, Zemansky. Física Universitaria vol1. Santa Barbara, USA. Editorial Prentice Hall, 12va Edición, Pearson, 2009. 708 p.

SONG Yin y YUEHONG Yin. Implementation of the interactive Bicycle Simulator with Its Functional Subsystems. Artículo científico, ASME. China: Shanghai. Research Institute of Robotics. Shanghai Jiao Tong University. 2007. 7 p.

SUHALKA, Rajneesh. KHANDELWAL, Mahesh. SHARMA, Krishna. SANGHI, Abhishek. Generation of Electrical. Power Using Bicycle Pedal. Scientific article. India: Jaipur. Nath University and YIT, 2014. 5 p.

TEAT, Jesse. Short Range Electric Vehicle Motor Controller. Master of Science. New Zealand: Dunedin. University of Otago, 2011. 89 p.

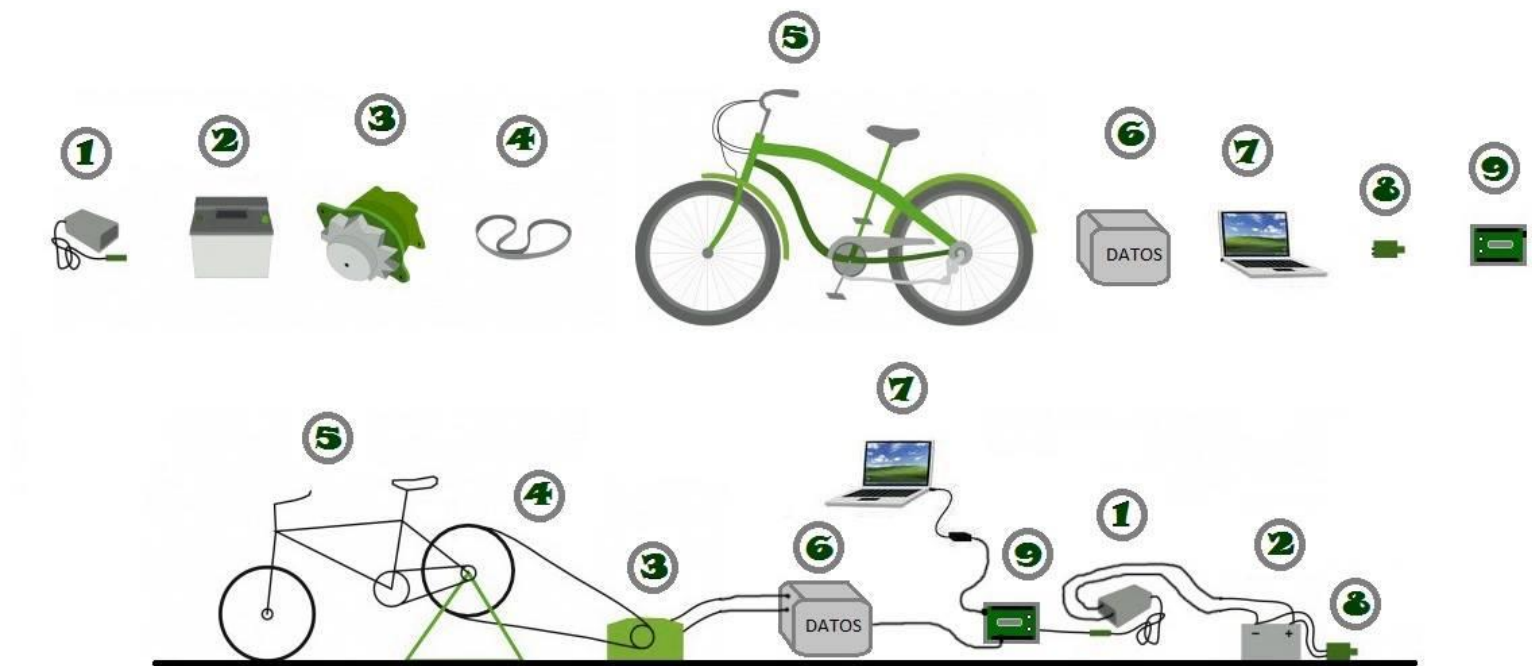
VON, K. MACAL, T. Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas estáticas. Artículo científico. Colombia: Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2011. 10 p.

WARNER, Patrick, HARDING, Michael H., WU, Mu-Chuan. MECANISMO DE EMBRAGUE DE RUEDA LIBRE PARA EL TREN ACCIONADOR DE UNA BICICLETA, UNA BICICLETA DE EJERCICIO Y UN BASTIDOR [En Línea], 2004 [Consultado: 11/07/2015] Disponible en: <URL: <http://patentados.com/invento/mecanismo-de-embrague-de-rueda-libre-para-el-tren-accionador-de-una-bi.html>>

ANEXOS

ANEXO A. ESQUEMA BÁSICO DE LA CONEXIÓN DEL SISTEMA

Figura 97. Esquema básico de la conexión del sistema



- | | |
|-------------|------------------------|
| ① Inversor | ⑥ Adquisición de datos |
| ② Batería | ⑦ Computador |
| ③ Generador | ⑧ Conector carga |
| ④ Correa | ⑨ Arduino |
| ⑤ Bicicleta | |

Fuente: <http://epcnc2012.blogspot.com/2012/10/bicicleta-generadora-de-energia.html> Modificada por autores

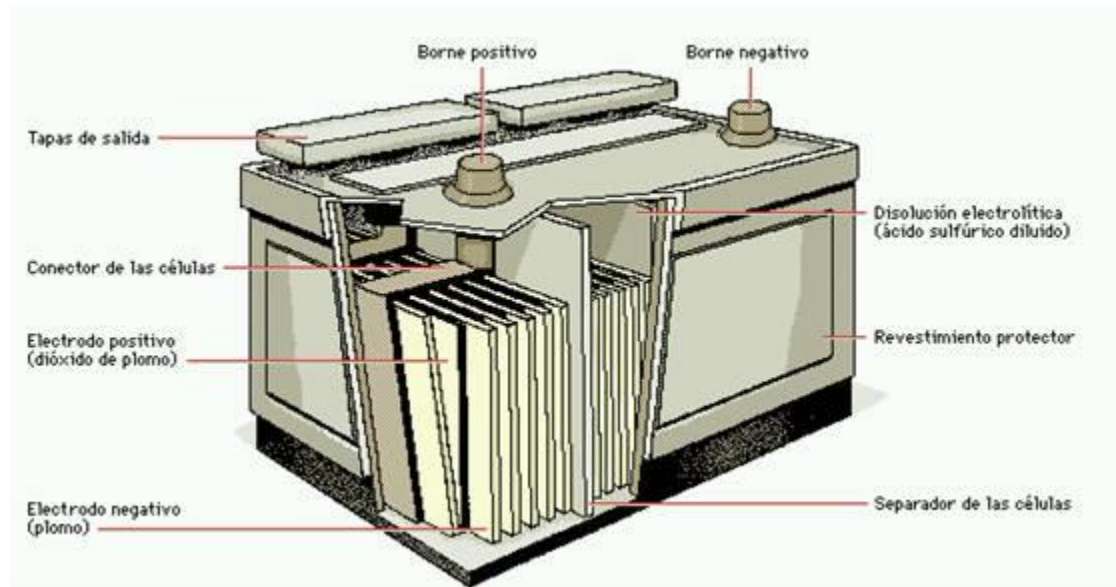
La figura 97 muestra el procedimiento básico de la conexión:

1. La bicicleta (5) va acoplada al generador eléctrico (3) por medio de la correa (4).
2. Unos sistemas de adquisición (6) van a capturar los datos proporcionados por el rin de la bicicleta (5) y la potencia eléctrica generada por el generador eléctrico (3).
3. Con una tarjeta Arduino (9) leemos los valores proporcionados por los sistemas de adquisición de datos (6) y los mostramos en el computador (7).
4. Con la tarjeta Arduino (9) controlaremos la carga de la batería (2) midiendo el voltaje y esta a su vez irá conectada al inversor (1).
5. Por último, con el inversor (1) alimentaremos los electrodomésticos desde el conector de carga (8).

ANEXO B. BATERÍAS DE PLOMO-ÁCIDO⁴¹

Es la batería más popular desde 1915, ha sido determinada en el desarrollo del automóvil como medio de transporte.⁴²

Figura 98. Batería de plomo-ácido



Fuente Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla.
PILAS Y ACUMULADORES

Está constituida por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico en el elemento metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico.

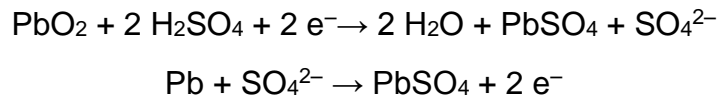
Su funcionamiento es el siguiente:

⁴¹ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

⁴² RODAS. Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla. PILAS Y ACUMULADORES [en línea], [Sevilla, España] 2010. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://rodas.us.es/file/8763a8ca-1a60-6545-12d8-ceb31383e7d0/1/tema5_ims_SCORM.zip/page_06.htm>

Carga: Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo pierde electrones o se reduce a plomo metal en el polo negativo (cátodo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (PbO₂). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en la superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortarían la duración del acumulador.

Descarga: Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo, que ahora funciona como cátodo, se reduce a sulfato de plomo, mientras que el plomo elemental se oxida en el ánodo para dar igualmente sulfato de plomo. Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Se trata, por lo tanto, de una conmutación. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes:



En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

Ciclos y vida: No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que la batería se ha «sulfatado» y es necesario sustituirla por otra nueva. Las baterías de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización.

Ventajas:

- Bajo costo.
- Fácil fabricación.

Desventajas:

- No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil.
- Altamente contaminantes.
- Baja densidad de energía: 30 Wh/kg.
- Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo; por esta razón su uso en automóviles eléctricos se considera poco lógico por los técnicos electrónicos con experiencia. Su uso se restringe por esta razón.

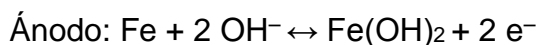
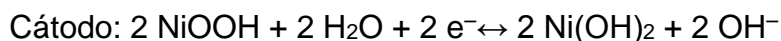
Características:

- Voltaje proporcionado: 2 V/elemento. Cuando varias celdas se agrupan para formar una batería comercial, reciben el nombre de vasos, que se conectan en serie para proporcionar un mayor voltaje. Dichos vasos se contienen dentro de una caja de polipropileno copolímero de alta densidad con compartimientos estancos para cada celda. La tensión suministrada por una batería de este tipo se encuentra normalizada en 12 voltios si posee 6 elementos o vasos para vehículos ligeros y 24 Voltios para vehículos pesados con 12 vasos. En algunos vehículos comerciales y agrícolas antiguos todavía se utilizan baterías de 6 voltios, de 3 elementos o vasos.
- Densidad de energía: 30 Wh/kg.

ANEXO C. BATERÍAS DE NÍQUEL-HIERRO (Ni-Fe)⁴³

La batería de níquel-hierro, también denominada de ferroníquel, fue inventada por Waldemar Jungner en 1899, posteriormente desarrollada por Thomas Alva Edison y patentada en 1903. En el diseño original de Edison el cátodo estaba compuesto por hileras de finos tubos formados por láminas enrolladas de acero niquelado, estos tubos están rellenos de hidróxido de níquel u oxi-hidróxido de níquel (NiOOH). El ánodo se componía de cajas perforadas delgadas de acero niquelado que contienen polvo de óxido ferroso (FeO). El electrolito es alcalino, una disolución de un 20 % de potasa cáustica (KOH) en agua destilada.

Carga y descarga: Los electrodos no se disuelven en el electrolito, las reacciones de carga/descarga son completamente reversibles y la formación de cristales de hierro preserva los electrodos por lo cual no se produce efecto memoria lo que confiere a esta batería gran duración. Las reacciones de carga y descarga son las siguientes:



Ventajas:

- Bajo costo
- Fácil fabricación
- Admite sobrecargas, repetidas descargas totales e incluso cortocircuitos sin pérdida significativa de capacidad.
- No es contaminante, no contiene metales pesados y el electrolito diluido se puede usar en aplicaciones agrícolas.
- Muy larga vida útil, algunos fabricantes hablan de más de 100 años de esperanza de vida en los electrodos y 1000 ciclos de descarga 100% en ele

⁴³ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

electrolito. El electrolito se debe cambiar cada 20 años según instrucciones de uso redactadas por el propio Edison.

- Compuesta de elementos abundantes en la corteza de la tierra (hierro, níquel, potasio).
- Funciona en un mayor rango de temperaturas, entre -40°C y 46°C .

Desventajas:

- Solo posee una eficiencia del 65%.

Características:

- Voltaje proporcionado: 1,2 a 1,4 V
- Densidad de energía: 40 Wh/kg
- Energía/Volumen: 30 Wh/kg
- Potencia/Peso: 100 W/kg

ANEXO D. BATERÍAS DE NIQUEL-CADMIO (Ni-Cd)⁴⁴

Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 Wh/kg, lo que hace que tengan poca capacidad.

Ventajas:

- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena.

Desventajas:

- Efecto memoria muy alto.
- Densidad de energía baja.

Características:

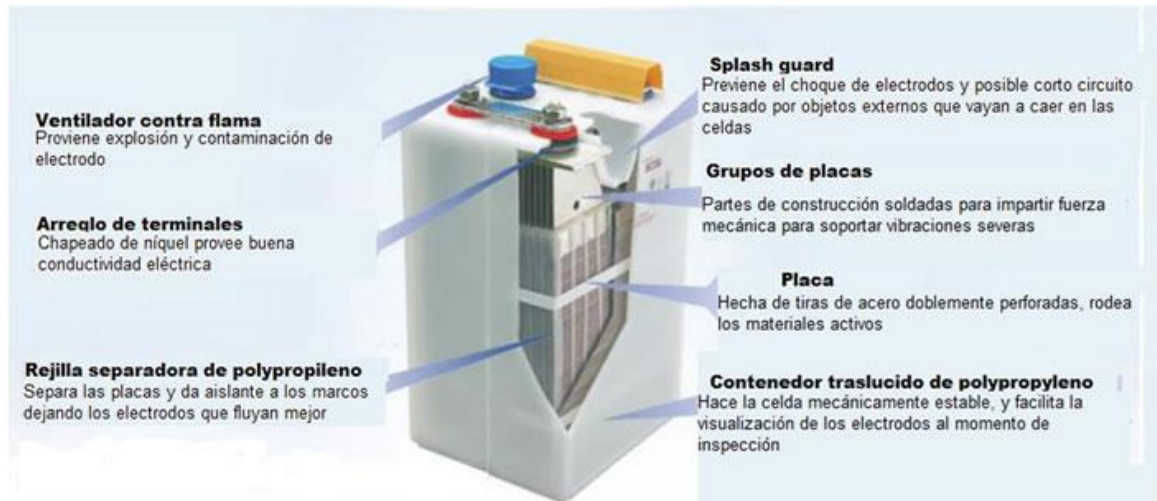
- Voltaje proporcionado: 1,2 V
- Densidad de energía: 50 Wh/kg
- Capacidad usual: 0,5 a 1,0 A (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy alto

La construcción de las baterías Níquel Cadmio y sus características superiores las hacen un producto hecho para cualquier aplicación⁴⁵

⁴⁴ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

⁴⁵ NFB. Baterías Alcalinas Níquel-Cadmio [En línea], [México D.F, México] 2015. [Consultado: 23/01/2015] Disponible en <URL: <http://www.nfb.com.mx/productos-baterias-alcalinas-niquel-cadmio.html>>

Figura 99. Construcción de batería Ni-Cd



Fuente: <http://www.nfb.com.mx/productos-baterias-alcaldas-niquel-cadmio.html>

ANEXO E. BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO (Ni-MH)⁴⁶

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico.

Ventajas:

- Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria.

Desventajas:

- No admiten bien el frío extremo, reduciendo drásticamente la potencia eficaz que puede entregar.

Características:

- Voltaje proporcionado: 1,2 V
- Densidad de energía: 80 Wh/kg
- Capacidad usual: 0,5 a 2,8 A
- Efecto memoria: bajo

⁴⁶ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

ANEXO F. BATERÍAS DE IONES DE LITIO (Li-ion)⁴⁷

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas y sufren mucho cuando éstas suceden; por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva como la descarga completa.

Ventajas:

- Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil.
- Altas densidad de capacidad.

Desventajas:

- No admiten bien los cambios de temperatura.
- No admiten descargas completas y sufren mucho cuando éstas suceden.

Características:

- Voltaje proporcionado.
- A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V dependiendo del fabricante.
- A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V dependiendo del fabricante.
- A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda).
- Densidad de energía: 115 Wh/kg
- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy bajo

⁴⁷ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

ANEXO G. BATERÍAS DE POLÍMERO LITIO (LiPo)⁴⁸

Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior.

Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 V, voltaje máximo 4,2 y mínimo 3,0. Este último debe respetarse rigurosamente ya que la pila se daña irreparablemente a voltajes menores a 3 voltios. Se suele establecer la siguiente nomenclatura XSYP que significa X celdas en serie, e Y en paralelo. Por ejemplo 3s2p son 2 baterías en paralelo, donde cada una tiene 3 celdas o células. Esta configuración se consigue conectando ambas baterías con un cable paralelo.

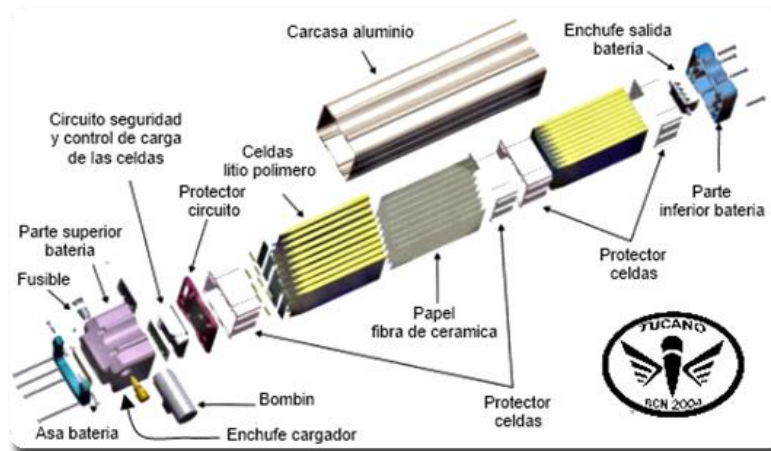
Ventajas:

- Mayor densidad de carga, por tanto tamaño reducido.
- Buena tasa de descarga, bastante superior a las de iones de litio.

Desventajas:

- Quedan casi inutilizadas si se descargan por debajo del mínimo de 3 voltios.

Figura 100. Diseño del interior de una batería de Litio Polímero

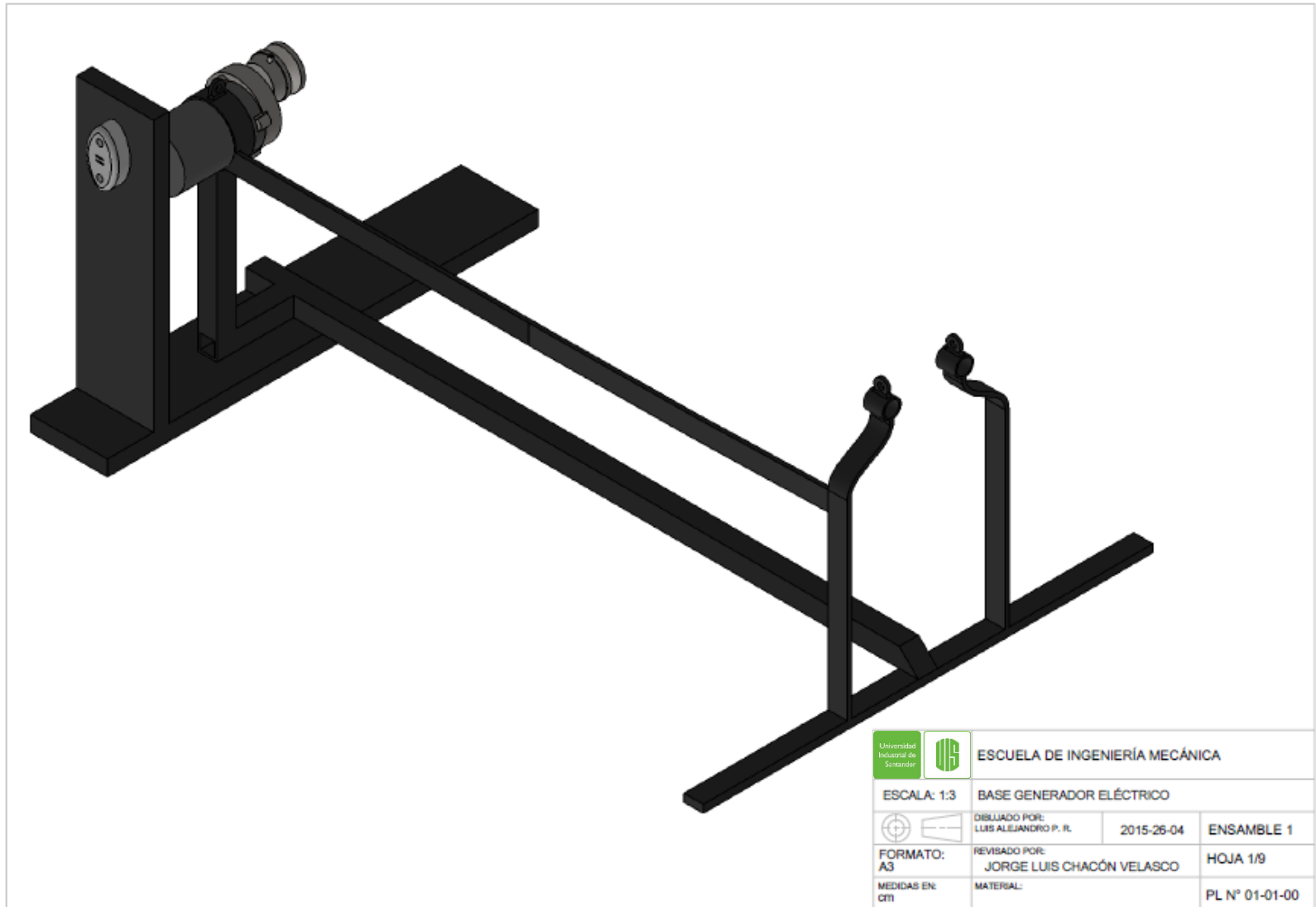


Fuente:

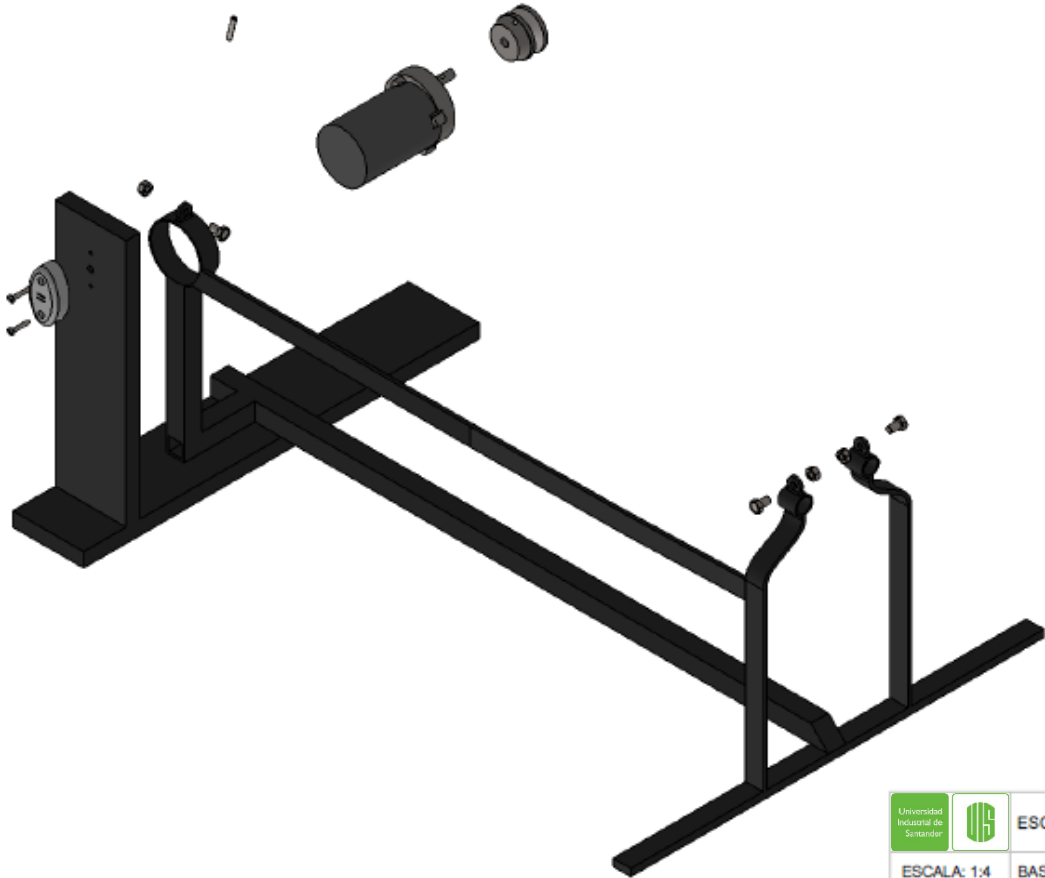
http://tucanobikes.com/las_baterias_de_las_bicicletas_electricas_tucano.ws




⁴⁸ WIKIPEDIA. Batería Eléctrica [En línea], 2015. [Consultado: 22/01/2015] Disponible en: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_eléctrica>

ANEXO H. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO

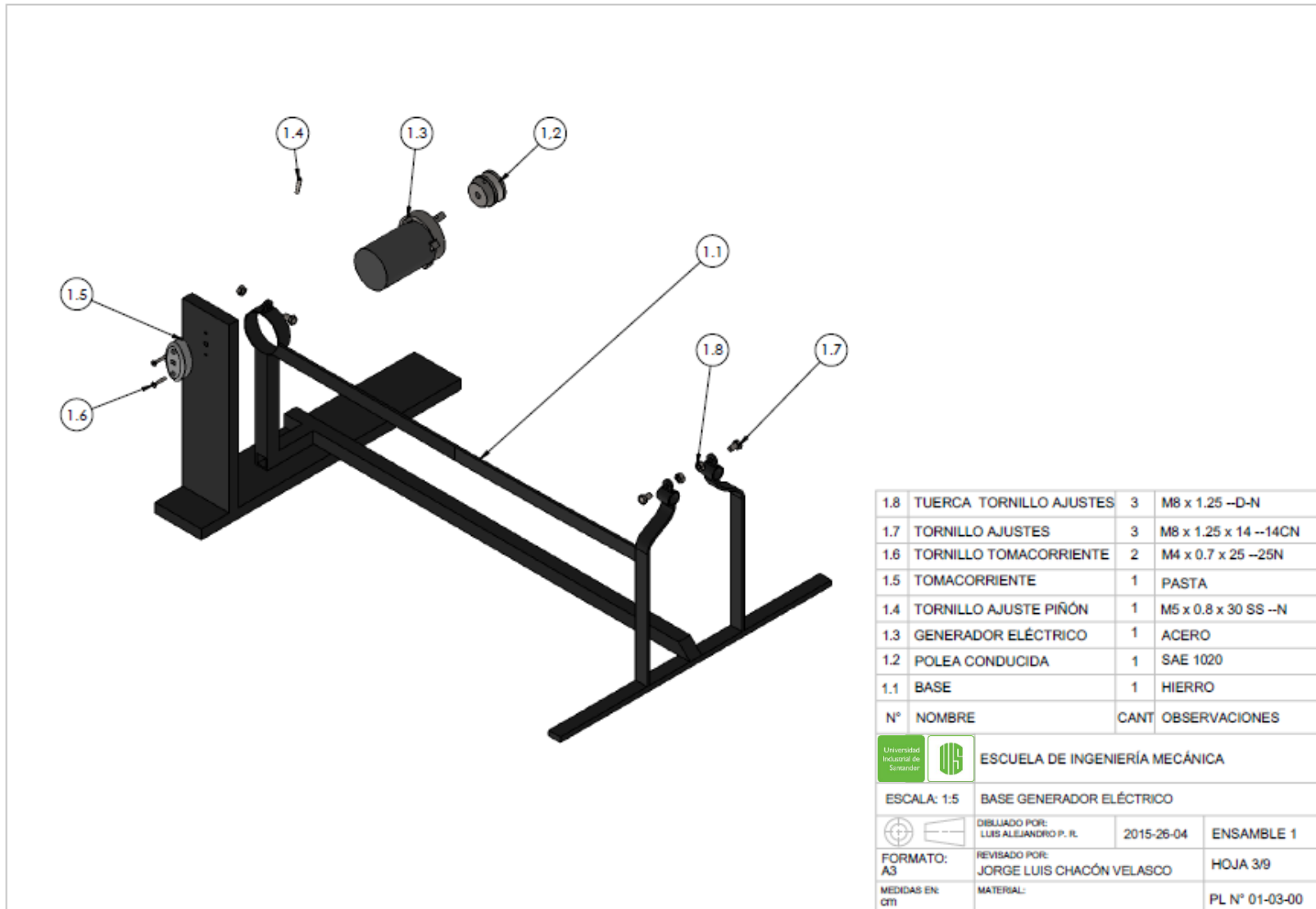


ANEXO I. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO EN EXPLOSIÓN

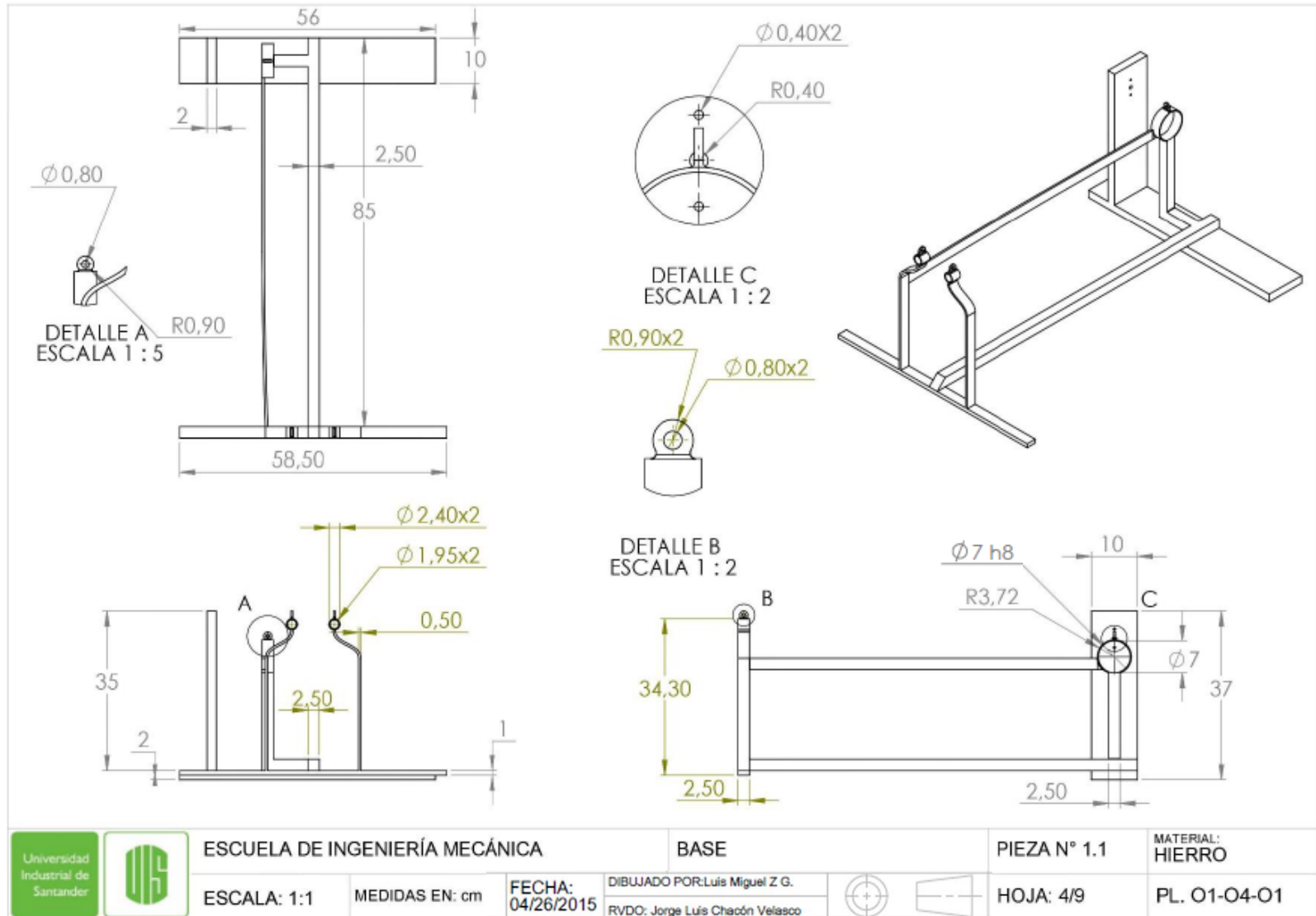


 		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA: 1:4		BASE GENERADOR ELÉCTRICO EN EXPLOSIÓN	
	DIBUJADO POR: LUIS ALEJANDRO P. R.	2015-26-04	ENSAMBLE 1
FORMATO: A3	REVISADO POR: JORGE LUIS CHACÓN VELASCO	HOJA 2/9	
MEDIDAS EN: CM	MATERIAL:	PL N° 01-02-00	

ANEXO J. BASE DEL GENERADOR ELÉCTRICO EN EXPLOSIÓN

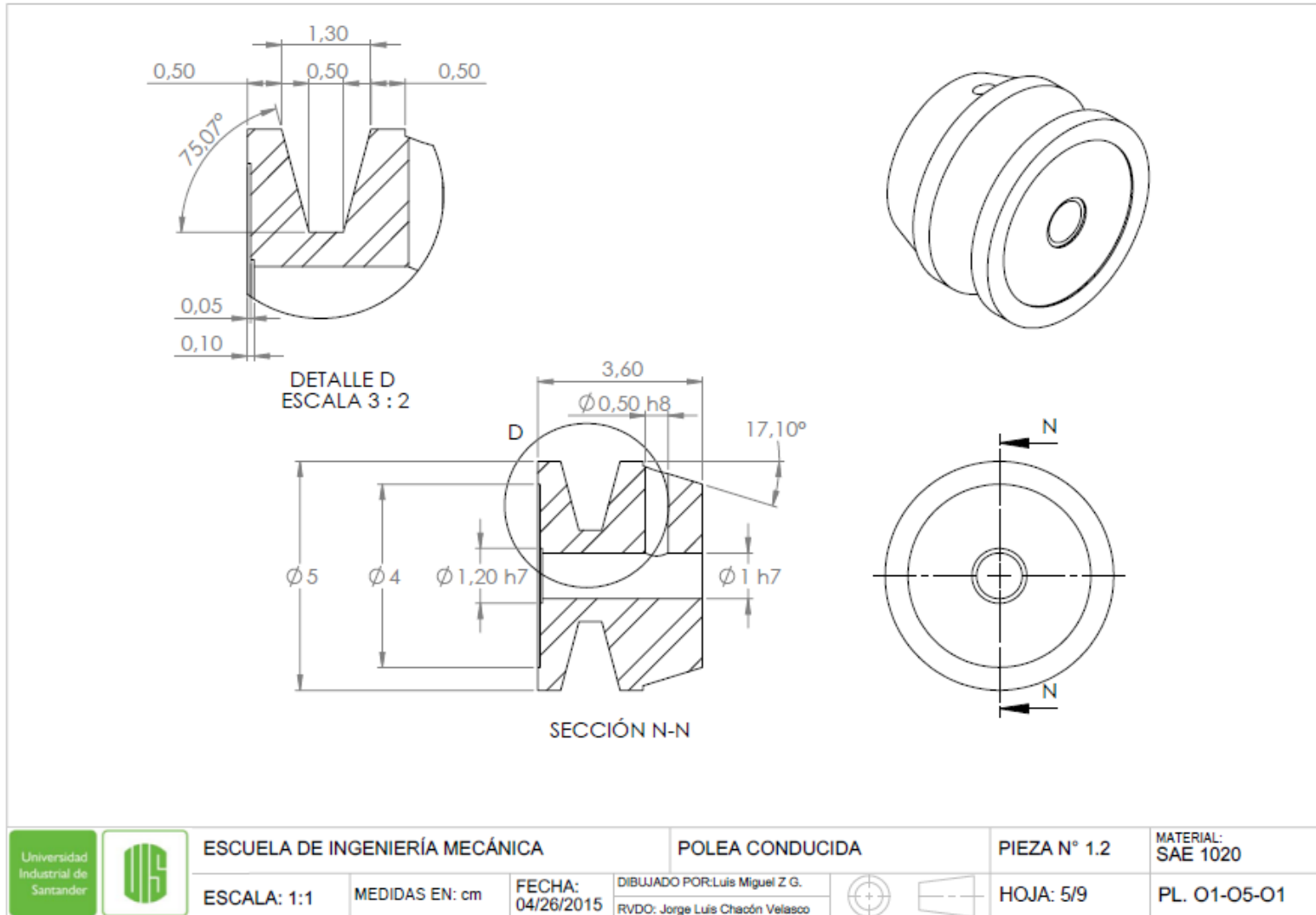


ANEXO K. BASE FIJA

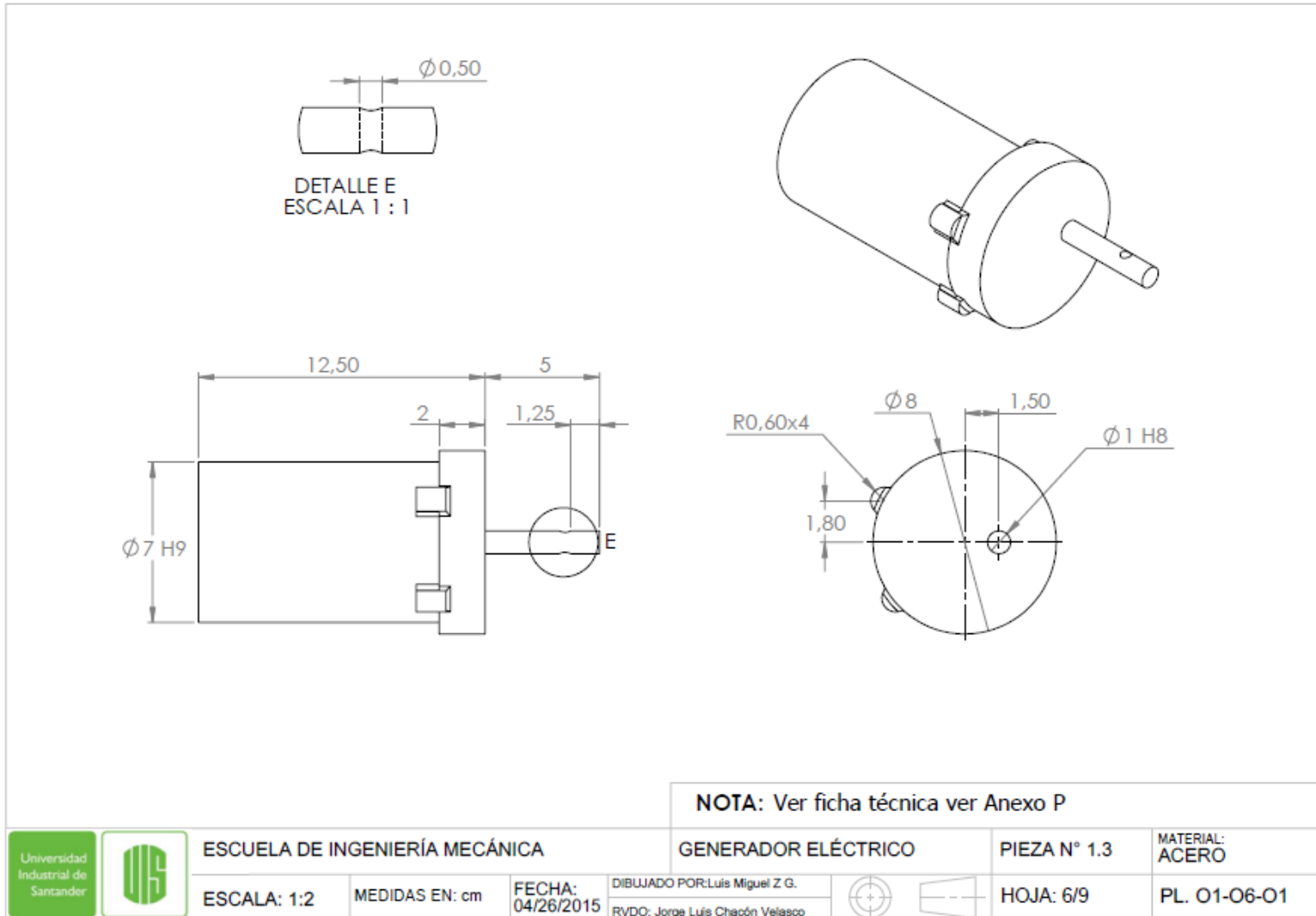


		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		BASE		PIEZA N° 1.1	MATERIAL: HIERRO
		ESCALA: 1:1	MEDIDAS EN: cm	FECHA: 04/26/2015	DIBUJADO POR: Luis Miguel Z. G. RVDO: Jorge Luis Chacón Velasco	 	HOJA: 4/9

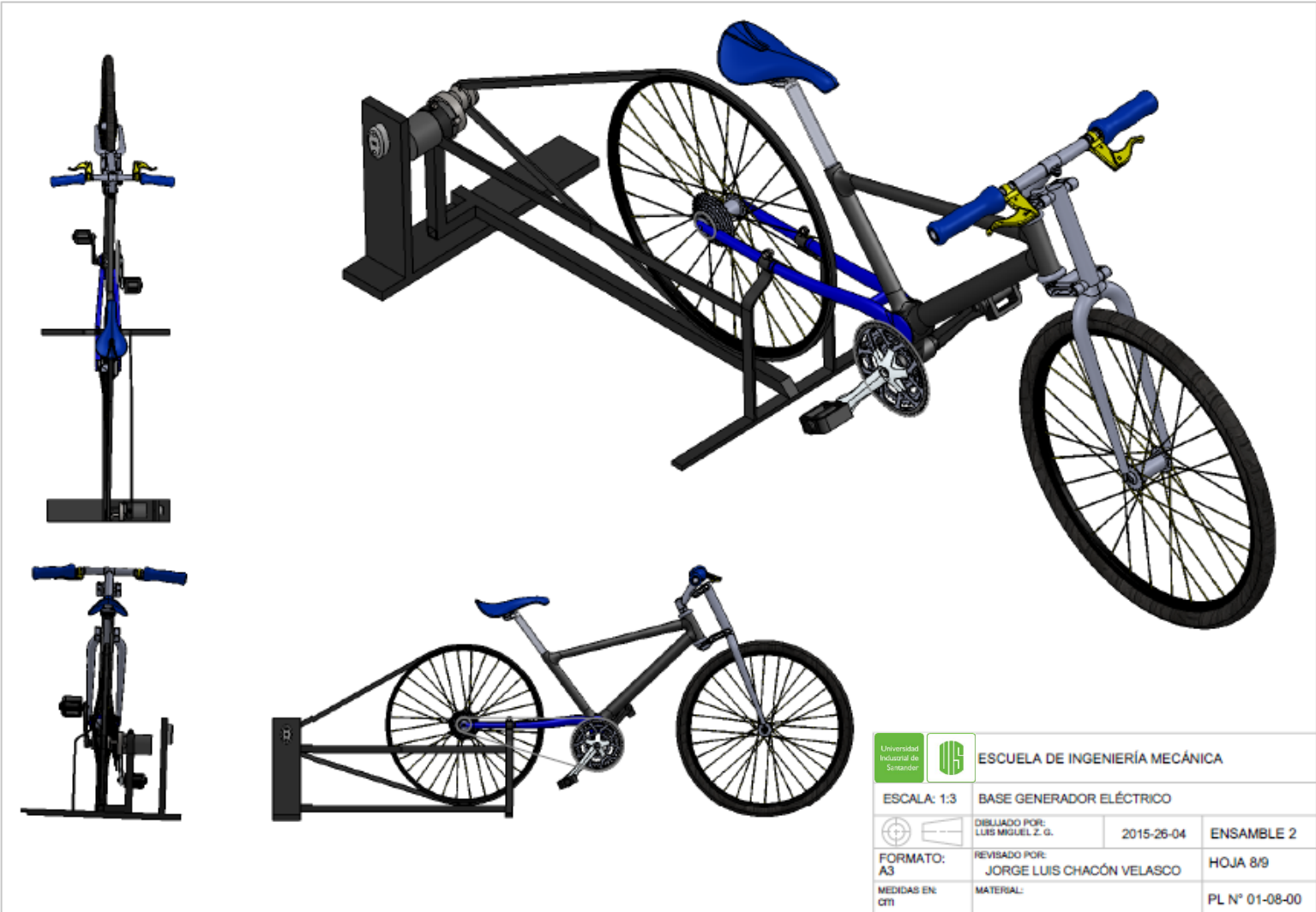
ANEXO L. POLEA CONDUCTIDA



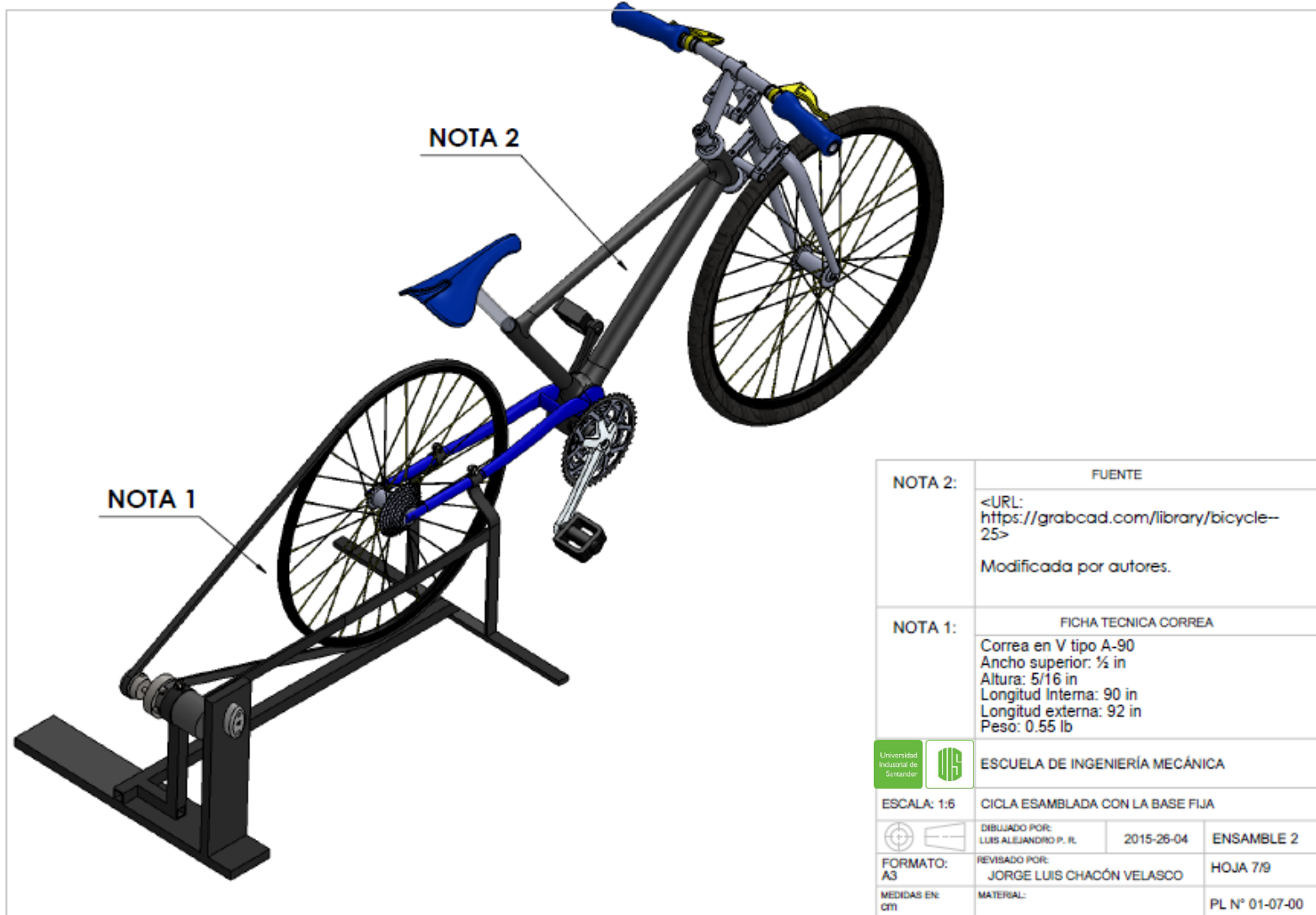
ANEXO M. GENERADOR ELÉCTRICO



ANEXO N. ENSAMBLE DE LA BICICLETA CON LA BASE FIJA Y EL GENERADOR ELÉCTRICO EN VARIAS VISTAS



ANEXO O. ENSAMBLE DE LA BICICLETA CON LA BASE FIJA Y EL GENERADOR ELÉCTRICO



ANEXO P. FICHA TÉCNICA DEL GENERADOR ELÉCTRICO

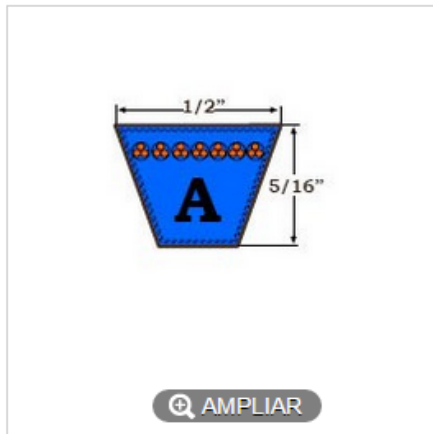
El siguiente cuadro es una ficha técnica de un motor de máquina de coser modificado por los autores de este proyecto, ya que se caracterizó el generador eléctrico que estamos usando (esto se debe a que no se tiene las características específicas del equipo)

FICHA TÉCNICA		GENERADOR ELÉCTRICO	
Lugar del origen:	China (Continental)	Tipo:	Motor servo
Fase:	Monofásico	Frecuencia:	2500-4500rpm
Certificación:	CE	Eficiencia:	IE 3
Marca:	Desconocida	De potencia de salida:	300/600w
Voltaje ac:	110-120v	Bajo consumo de energía:	Afirmativa
Número de Modelo:	Ks003/500	Aplicación:	Coser equipo industrial
Característica:	A prueba de explosiones	Serie:	2p

Fuente: <http://spanish.alibaba.com/product-gs/industrial-sewing-machine-servo-motor-energy-saving-80-90-than-clutch-motor-60063553030.html>
modificada por autores

ANEXO Q. FICHA TÉCNICA CORREA A90 EN V TIPO A

A90 Correa en V tipo A




Correa en V tipo A
Ancho superior: 1/2 in
Altura: 5/16 in
Longitud Interna: 90 in
Longitud externa: 92 in
Peso: 0.55 lb

Cantidad

Disponibilidad: **DISPONIBLE**

\$4.50

 Añadir al carrito



★★★★★ Rating 0.0 | 0 Comentarios | [Escribe un comentario](#)

» Recibir un precio especial «

 Imprimir

Más

Ficha técnica

Reference: A-90

Descripción: A-90 Correa en V clásica

Longitud: 90 in longitud interna, 92 in longitud externa

Ancho superior: 1/2 in

Altura: 5/16 in

Peso 0.55 lb

Material: Caucho con refuerzo en cable de poliéster, cubierto con una capa de tela de algodón-poliéster resistente a la abrasión.

Resistencia a la temperatura: -35C a +70C

Uso recomendado: Maquinaria Agrícola e Industrial

Diametro de polea recomendado: 71 mm (2-3/4 in)

Otras características: Resistencia limitada a la grasa, antiestáticas.

Fuente: <http://www.gprindustrial.com/es/correas-en-v-tipo-a/103-a90-classic-vbelt.html>

ANEXO R. CÓDIGO DE SOFTWARE PARA CALCULAR LA VELOCIDAD NECESARIA Y LA DISTANCIA RECORRIDA

//Realizado por: Luis Miguel Zabala Gualtero y Luis Alejandro Peñaranda Rincón

```
Public Class Velocidad_Necesaria
```

```
//Para el botón CALCULAR
```

```
Public Class Velocidad_Necesaria
```

```
    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
Button1.Click  
        omega1.Text = Val(F.Text) * (3004 / 30)  
        omega2.Text = Val(omega1.Text) * (Val(D1.Text) / Val(D2.Text))  
        omega4.Text = (Val(Z3.Text) / Val(Z4.Text)) * (Val(omega2.Text))  
        Potm1.Text = Val(F.Text) * Val(d.Text) * (Val(omega1.Text) / (60 * 2 *  
3.14)) * 9.81  
        Pote.Text = (Val(miu.Text) / 100) * Val(Potm1.Text)  
        DF.Text = (Val(Potm1.Text)) / ((Val(omega1.Text) / 60) * (Val(D1.Text) / 2))  
        theta1.Text = 180 - (Val(alfa.Text) * 2)  
        theta2.Text = 180 + (Val(alfa.Text) * 2)  
    End Sub
```

```
//Para el botón CALCULAR 2
```

```
    Private Sub Calcular2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
Calcular2.Click  
        Potm1.Text = Val(Pote.Text) / (Val(miu.Text) / 100)  
        omega1.Text = (Val(Potm1.Text) * 60 * 2 * 3.14) / (Val(d.Text) * Val(F.Text)  
* 9.81)  
        omega2.Text = Val(omega1.Text) * (Val(D1.Text) / Val(D2.Text))  
        omega4.Text = (Val(Z3.Text) / Val(Z4.Text)) * (Val(omega2.Text))  
        DF.Text = (Val(Potm1.Text)) / ((Val(omega1.Text) / 60) * (Val(D1.Text) / 2))  
        theta1.Text = 180 - (Val(alfa.Text) * 2)  
        theta2.Text = 180 + (Val(alfa.Text) * 2)  
    End Sub
```

```
//Para el botón Salir
```

```
    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
Button2.Click  
        Me.Close()  
    End Sub
```

```
    Private Sub Velocidad_Necesaria_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles  
MyBase.Load
```

```
    End Sub  
End Class
```

ANEXO S. DATASHEET BATERÍA DE 12VDC/12Ah

Battery specification / Fiche technique



AGM LEAD ACID BATTERY S 12V-12Ah FR

Part No: AMP9038



MAIN INFORMATION / INFORMATIONS GÉNÉRALES

BRAND / MARQUE	NX
TECHNOLOGY / TECHNOLOGIE	AGM Lead acid
NOMINAL VOLTAGE / TENSION NOMINALE	12V
NOMINAL CAPACITY / CAPACITÉ NOMINALE	12Ah (20hr)
DIMENSIONS (± 2 mm) / DIMENSIONS (± 2 mm)	
• Length / Longueur	151 ± 2mm (5.95 inches)
• Width / Largeur	98 ± 1mm (3.86 inches)
• Height / Hauteur	95 ± 1mm (3.74 inches)
• Total height with terminals / Hauteur totale (avec cosSES)	101 ± 2mm (3.98 inches)
WEIGHT (± 2 %) / POIDS (± 2 %)	Approx. 3.40kg (7.49lbs)
TERMINAL / TYPE DE COSSES	T2
CASING / TYPE DE BAC	UL94 V-0 (Flame retardant)
COLOR / COULEUR DE BAC	Black top and black case

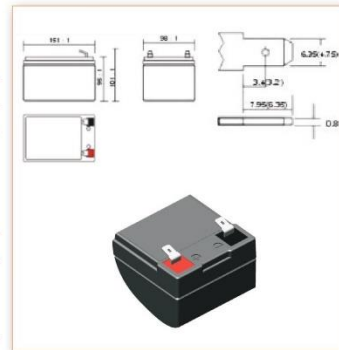


TECHNICAL INFORMATION / INFORMATIONS TECHNIQUES

CAPACITY / CAPACITÉ	12.0 Ah / 0.60A (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F) 11.2 Ah / 1.12A (10hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F) 10.2 Ah / 2.04A (5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F) 9.2 Ah / 3.06A (3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F) 7.54 Ah / 7.54A (1hr, 1.60V/cell, 25°C/77°F)
DISCHARGE CURRENT / COURANT DE DÉCHARGE	180A (5S)
INTERNAL RESISTANCE / RÉSISTANCE INTERNE	Approx 14mΩ
OPERATING TEMPERATURE RANGE / PLAGE DE TEMPÉRATURE	
• Discharging / Décharge	-15° ~ -50°C (5 ~ -122°F)
• Charging / Charge	0° ~ 40°C (32 ~ 104°F)
• Storage / Stockage	-15° ~ 40°C (5 ~ 104°F)
NOMINAL OPERATING TEMPERATURE / TEMPÉRATURE D'UTILISATION	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
CAPACITY VS TEMPERATURE / CAPACITÉ SELON LA TEMPÉRATURE	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%

T2 / Terminal

Unité : mm / Unit: inches



APPLICATIONS

- All purpose / Tout usage
- UPS / Onduleur
- Emergency light / Éclairage de secours
- Railway signal / Signalisation ferroviaire
- Alarm and security system / Alarme et sécurité
- Aircraft signal / Signal d'avion
- Electronic devices and equipment / Appareils et équipements électroniques
- Emergency backup / Alimentation de secours
- Power supply / Réserve d'énergie



www.enix-energies.com • Date : 25-03-2014 • Rev.No : A1

1 / 2

OUTLINE SAFETY WARNING: USE ONLY WITH THE ALLOWED PARAMETERS. Do not short circuit or over-load the battery. Charge only using an approved charger designed specifically to charge this battery. Do not heat above maximum temperatures indicated. Never crush, mutilate, puncture or abuse the battery. Do not dismantle the pack or disable any of the protective devices or circuits. DO NOT USE THE BATTERY IF YOU SUSPECT IT MAY BE FAULTY OR DAMAGED.

© Copyright Enix Energies 2005. NB: This document and the product design are the intellectual property of Enix Energies. No document or design may be copied or used for commercial purposes without written permission of Enix Energies. Users must satisfy themselves, by means of testing etc, that products are suitable for their application. Data in this document is for general guidance only. consult cell manufacturers data for definitive information. Information is given free of charge and in good faith, but no responsibility can be accepted for any errors or omission or costs or losses or liabilities arising from the use of this information. All business is conducted to Enix Energies terms and conditions only.

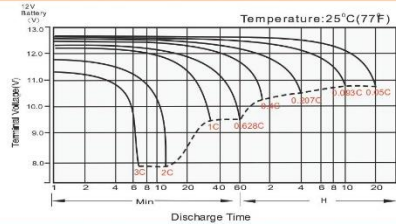
CONSTANT CURRENT DISCHARGE (AMPERES) AT 25°C
TABLE DE DÉCHARGE À COURANT ET PUISSANCE CONSTANTS (A) À 25°C

F.V/Temp	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	22.9	17.5	14.5	12.6	9.72	7.16	6.03	3.57	2.79	2.27	1.85	1.61	1.30	1.08	0.594
1.80V/cell	30.7	22.4	17.6	14.9	11.5	8.33	6.76	3.90	3.00	2.42	1.99	1.72	1.37	1.12	0.600
1.75V/cell	34.6	24.6	19.2	16.0	11.9	8.64	7.07	4.04	3.06	2.48	2.04	1.77	1.40	1.15	0.606
1.70V/cell	38.1	26.9	20.5	16.8	12.4	8.99	7.29	4.14	3.15	2.54	2.09	1.81	1.42	1.17	0.617
1.65V/cell	42.0	29.0	21.8	17.8	13.1	9.21	7.46	4.20	3.28	2.63	2.15	1.85	1.44	1.19	0.625
1.60V/cell	46.3	31.5	23.3	19.0	13.8	9.60	7.54	4.38	3.38	2.71	2.22	1.89	1.45	1.21	0.629

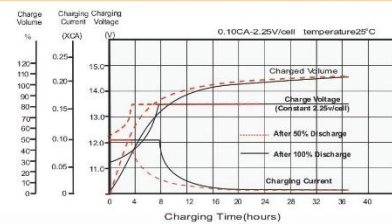
CONSTANT POWER DISCHARGE (WATTS) AT 25°C
DÉCHARGE À PUISSANCE CONSTANTE (WATTS) À 25°C

F.V/Temp	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	41.8	32.4	27.1	23.7	18.5	13.8	11.6	6.93	5.44	4.44	3.63	3.16	2.56	2.14	1.18
1.80V/cell	55.5	40.9	32.3	27.6	21.5	15.9	13.0	7.51	5.82	4.71	3.88	3.37	2.71	2.21	1.19
1.75V/cell	61.2	44.3	34.9	29.4	22.2	16.3	13.5	7.76	5.91	4.80	3.97	3.46	2.75	2.26	1.20
1.70V/cell	65.6	47.1	36.7	30.7	22.9	16.9	13.9	7.94	6.06	4.92	4.06	3.52	2.78	2.31	1.22
1.65V/cell	71.3	50.4	38.7	32.3	24.0	17.2	14.1	8.01	6.29	5.07	4.16	3.59	2.82	2.35	1.23
1.60V/cell	76.8	53.5	40.8	34.1	25.2	17.8	14.2	8.31	6.45	5.21	4.28	3.65	2.48	2.37	1.24

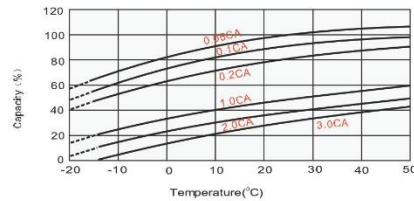
DISCHARGE CHARACTERISTICS
CARACTÉRISTIQUES DE DÉCHARGE



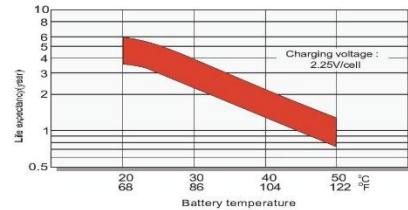
FLOAT CHARGING CHARACTERISTICS
CARACTÉRISTIQUES DE CHARGE EN FLOATING



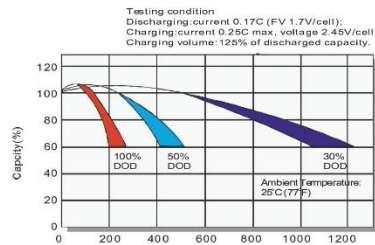
TEMPERATURE EFFECTS IN RELATION TO BATTERY CAPACITY
EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR LA BATTERIE



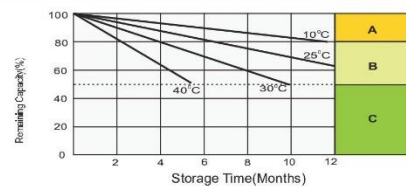
EFFECT OF TEMPERATURE ON LONG TERM FLOAT LIFE
EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR LA DURÉE DE VIE EN FLOATING



CYCLE LIFE IN RELATION TO DEPTH OF DISCHARGE
CYCLE DE VIE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE LA DÉCHARGE



SELF DISCHARGE CHARACTERISTICS
RELATION ENTRE LA CAPACITÉ ET LE TEMPS DE STOCKAGE



OUTLINESAFETYWARNING:USEONLYWITHTHEALLOWEDPARAMETERS.Donotshortcircuitorover-leadthebattery.Chargeonlyusinganapprovedchargerdesignedspecificallytocharge>thisbattery.Donotheatabove maximum temperatures indicated. Never crush, mutilate, puncture or abuse the battery. Do not dismantle the pack or disable any of the protective devices or circuits. DO NOT USE THE BATTERY IF YOU SUSPECT IT MAY BE FAULTY OR DAMAGED.

© Copyright Enix Energies 2005. NB: This document and the product design are the intellectual property of Enix Energies. No document or design may be copied or used for commercial purposes without written permission of Enix Energies. Users must satisfy themselves, by means of testing etc., that products are suitable for their application. Data in this document is for general guidance only; consult cell manufacturers data for definitive information. Information is given free of charge and in good faith, but no responsibility can be accepted for any errors or omission or costs or losses or liabilities arising from the use of this information. All business is conducted to Enix Energies terms and conditions only.

ANEXO T. DATASHEET CIRCUITO 555

NE555 LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

SINGLE TIMER

DESCRIPTION

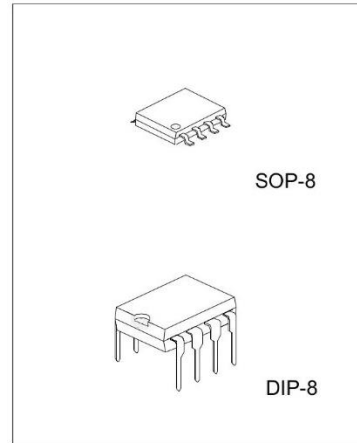
The Contek NE555 is a highly stable timer integrated circuit. It can be operated in Astable mode and Monostable mode. With monostable operation, the time delay is controlled by one external and one capacitor. With a stable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor.

FEATURES

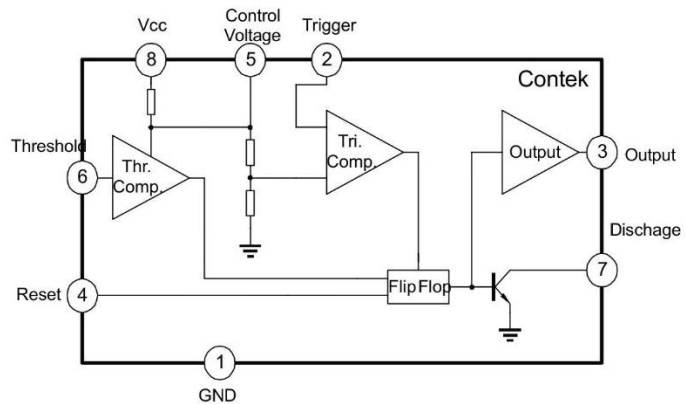
- *High current driver capability(=200mA)
- *Adjustable duty cycle
- *Timing from μSec to Hours
- *Turn off time less than $2 \mu\text{Sec}$.

APPLICATIONS

- *Precision timing
- *Pulse generation
- *Time delay generation



BLOCK DIAGRAM



Contek Microelectronics Co.,Ltd.

<http://www.contek-ic.com> E-mail:sales@contek-ic.com

1

NE555

LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(Ta=25 C)

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage	Vcc	16	V
Power Dissipation	Pd	600	mW
Lead Temperature	Tlead	300	C
Operating Temperature	Topr	0 to 70	C
Storage Temperature	Tstg	-65 to 150	C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS(Ta=25 C ,Vcc=5 ~ 15V)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Supply voltage	Vcc		4.5		16	V
Supply Current (Note 1)	Icc	Vcc=5V,RL=		3	6	mA
		Vcc=15V,RL=		7.5	15	mA
Timing Error(monostable)						
Initial Accuracy(Note 2)	ACCUR	RA=1k to 100k $\mu\Omega$		1.0	3.0	%
Drift with Temperature	$\Delta t/\Delta T$	C=0.1 μF		50		ppm/ C
Drift with Supply Voltage	$\Delta t/\Delta V_{cc}$			0.1	0.5	%/V
Timing Error(astable)						
Initial Accuracy(Note 2)	ACCUR	RA=1k to 100k $\mu\Omega$		2.25		%
Drift with Temperature	$\Delta t/\Delta T$	C=0.1 μF		150		ppm/ C
Drift with Supply Voltage	$\Delta t/\Delta V_{cc}$			0.3		%/V
Control Voltage	Vc	Vcc=15V	9.0	10.0	11.0	V
		Vcc=5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	VTH	Vcc=15V		10.0		V
		Vcc=5V		3.33		V
Threshold Current(Note 3)	ITH			0.1	0.25	μA
Trigger Voltage	Vtr	Vcc=5V	1.1	1.67	2.2	V
		Vcc=15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	Itr	Vtr=0		0.01	2.0	μA
Reset Voltage	Vrst		0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	Irst			0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	VOL	Vcc=15V				
		Isink=10mA		0.06	0.25	V
		Isink=50mA		0.3	0.75	V
		Vcc=5V				
High Output Voltage	VOH	Isink=5mA		0.05	0.35	V
		Vcc=15V				
		Isource=200mA		12.5		V
		Isource=100mA	12.75	13.3		V
		Vcc=5V				
		Isource=100mA	2.75	3.3		V
Rise Time of Output	tR			100		nSec
Fall Time of Output	tF			100		nSec
Discharge Leakage Current	ILKG			20	100	nA

Note 1:Supply current when output is high is typically 1mA less at Vcc 5V.

Note 2:Tested at Vcc=5.0V and Vcc=15V.

Note 3:this will determine the maximum value of RA+RB for 15V operation, The maximum total is R=20M Ω , and for 5V operation the maximum total is R=6.7M Ω .



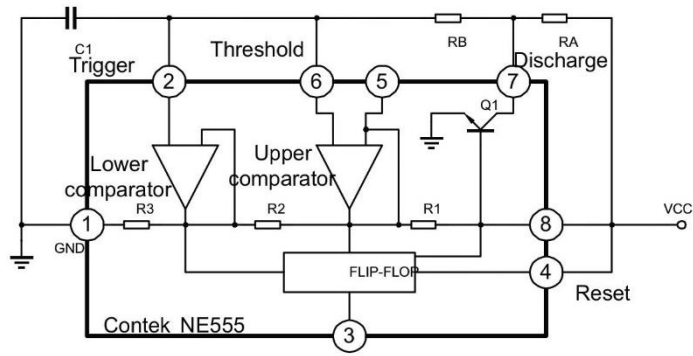
Contek Microelectronics Co.,Ltd.

2

<http://www.contek-ic.com> E-mail:sales@contek-ic.com

NE555 LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

APPLICATION CIRCUIT



APPLICATION NOTES

The application circuit shows astable mode configuration.

Pin 6 (Threshold) is tied to Pin 2 (Trigger) and Pin 4 (Reset) is tied to Vcc (Pin 8). The external capacitor C1 of Pin 6 and Pin 2 charges through RA, RB and discharges through RB only. In the internal circuit of Contek NE555, one input of the upper comparator is at voltage of $\frac{2}{3}V_{cc}$ ($R1=R2=R3$), another input is connected to Pin 6. As soon as C1 is charging to higher than $\frac{2}{3}V_{cc}$, transistor Q1 is turned ON and discharge C1 to collector voltage of transistor Q1. Therefore, the flip-flop circuit is reset and output is low. One input of lower comparator is at voltage of $\frac{1}{3}V_{cc}$, discharge transistor Q1 turn off and C1 charges through RA and RB. Therefore, the flip-flop circuit is set output high. That is, when C1 charges through RA and RB, output is high and when C1 discharge through RB, output is low. The charge time (output is high) t_1 is $0.693 \cdot 3(RA+RB) \cdot C1$ and the discharge time (output is low) T_2 is $0.693 \cdot 3RB \cdot C1$.

$$\ln \frac{V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}}{V_{cc} - \frac{2}{3}V_{cc}} = 0.693$$

$$T_1 = 0.693 \cdot (RA+RB) \cdot C1$$

$$T_2 = 0.693 \cdot RB \cdot C1$$

Thus the total period time T is given by

$$T = T_1 + T_2 = 0.693(RA + 2RB) \cdot C1$$

Then the frequency of astable mode is given by

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(RA + RB) \cdot C1}$$

The duty cycle is given by

$$D.C. = \frac{T_2}{T} = \frac{RB}{RA + 2RB}$$



Contek Microelectronics Co., Ltd.

<http://www.contek-ic.com> E-mail: sales@contek-ic.com

3

ANEXO U. TIP 4013



October 1987
Revised March 2002

CD4013BC Dual D-Type Flip-Flop

CD4013BC Dual D-Type Flip-Flop

General Description

The CD4013B dual D-type flip-flop is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. Each flip-flop has independent data, set, reset, and clock inputs and "Q" and "Q" outputs. These devices can be used for shift register applications, and by connecting "Q" output to the data input, for counter and toggle applications. The logic level present at the "D" input is transferred to the Q output during the positive-going transition of the clock pulse. Setting or resetting is independent of the clock and is accomplished by a high level on the set or reset line respectively.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- High noise immunity: 0.45 V_{DD} (typ.)
- Low power TTL: fan out of 2 driving 74L compatibility: or 1 driving 74LS

Applications

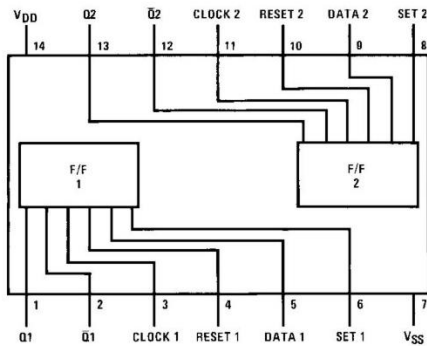
- Automotive
- Data terminals
- Instrumentation
- Medical electronics
- Alarm system
- Industrial electronics
- Remote metering
- Computers

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4013BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4013BCSJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
CD4013BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



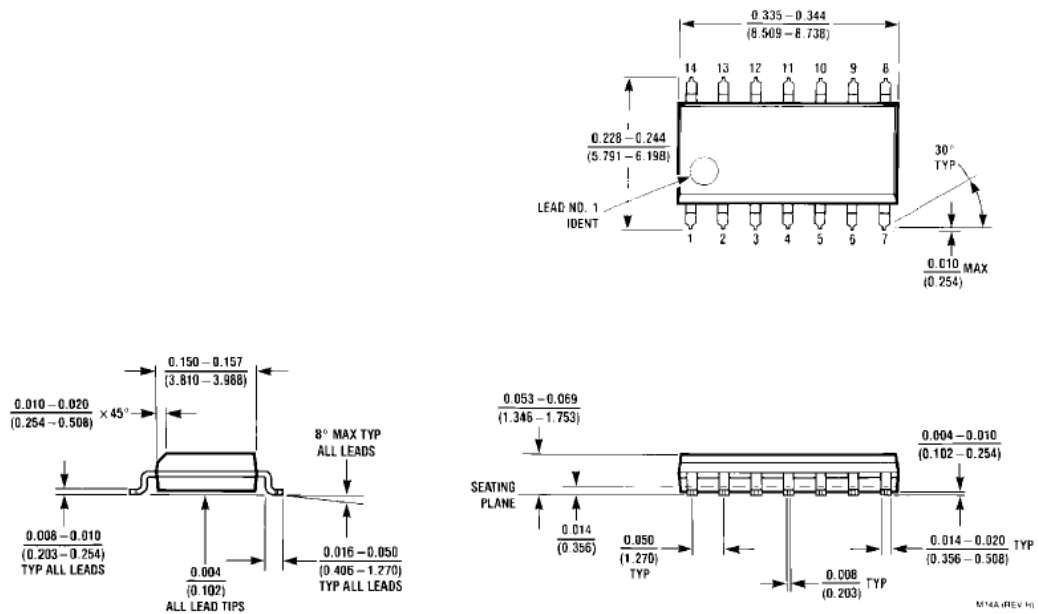
Top View

Truth Table

CL (Note 1)	D	R	S	Q	\bar{Q}
↗	0	0	0	0	1
↘	1	0	0	1	0
↔	X	0	0	Q	\bar{Q}
X	X	1	0	0	1
X	X	0	1	1	0
X	X	1	1	1	1

No Change
x Don't Care Case
Note 1: Level Change

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



**14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
Package Number M14A**

ANEXO V. DATASHEET TIP 3055

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

Complementary Silicon Power Transistors

Designed for general-purpose switching and amplifier applications.

Features

- DC Current Gain –
 $h_{FE} = 20-70 @ I_C$
 $= 4.0 A_{dc}$
- Collector-Emitter Saturation Voltage –
 $V_{CE(sat)} = 1.1 V_{dc} (Max) @ I_C$
 $= 4.0 A_{dc}$
- Excellent Safe Operating Area
- These are Pb-Free Devices*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CEO}	60	Vdc
Collector - Emitter Voltage	V_{CER}	70	Vdc
Collector - Base Voltage	V_{CB}	100	Vdc
Emitter - Base Voltage	V_{EB}	7.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	1.5	A _{dc}
Base Current	I_B	7.0	A _{dc}
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	90 0.72	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ C$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.39	$^\circ C/W$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	35.7	$^\circ C/W$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

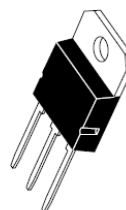
*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



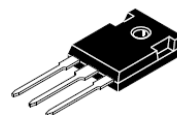
ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

**15 AMPERE
POWER TRANSISTORS
COMPLEMENTARY SILICON
60 VOLTS, 90 WATTS**



SOT-93 (TO-218)
CASE 340D
STYLE 1



TO-247
CASE 340L
STYLE 3

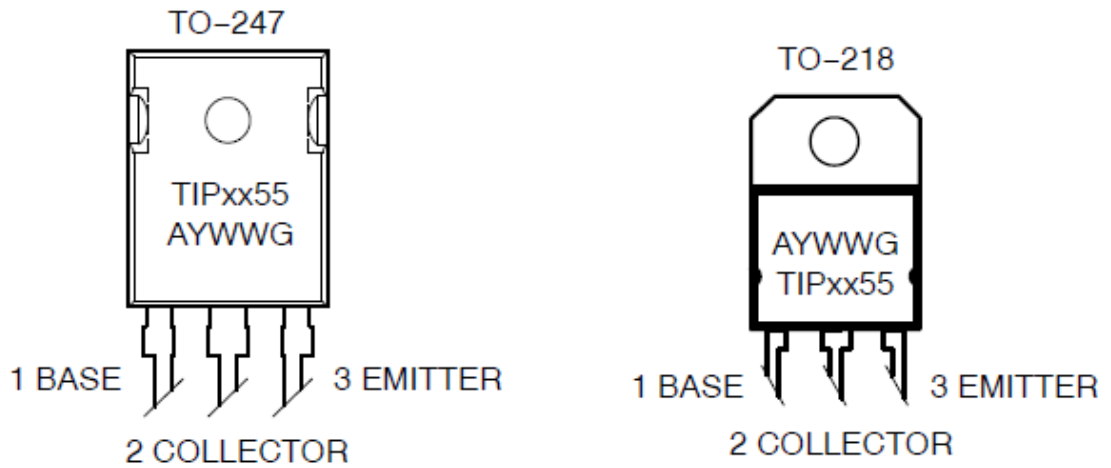
NOTE: Effective June 2012 this device will be available only in the TO-247 package. Reference FPCN# 16827.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 2 of this data sheet.

TIP3055 (NPN), TIP2955 (PNP)

MARKING DIAGRAMS



TIPxx55 = Device Code
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
G = Pb-Free Package

ANEXO X. DATASHEET TIP 125

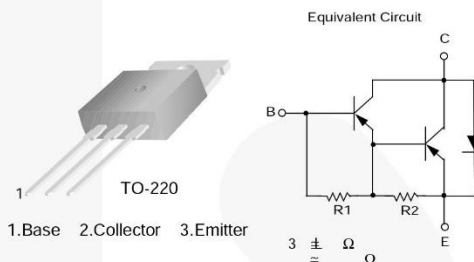


November 2014

TIP125 / TIP126 / TIP127 PNP Epitaxial Darlington Transistor

Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP120 / TIP121 / TIP122



Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP125	TIP125	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP125TU	TIP125	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP126	TIP126	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP126TU	TIP126	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP127	TIP127	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP127TU	TIP127	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP125	-60
		TIP126	-80
		TIP127	-100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP125	-60
		TIP126	-80
		TIP127	-100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	-8	A
I_B	Base Current (DC)	-120	mA
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Thermal Characteristics

Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_C	Collector Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	65	

Electrical Characteristics

Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	TIP125	$I_C = -100\text{ mA}, I_B = 0$	-60	V
		TIP126		-80	
		TIP127		-100	
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	TIP125	$V_{CE} = -30\text{ V}, I_B = 0$	-2	mA
		TIP126	$V_{CE} = -40\text{ V}, I_B = 0$	-2	
		TIP127	$V_{CE} = -50\text{ V}, I_B = 0$	-2	
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	TIP125	$V_{CB} = -60\text{ V}, I_E = 0$	-1	mA
		TIP126	$V_{CB} = -80\text{ V}, I_E = 0$	-1	
		TIP127	$V_{CB} = -100\text{ V}, I_E = 0$	-1	
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = -5\text{ V}, I_C = 0$		-2	mA
h_{FE}	DC Current Gain ⁽¹⁾	$V_{CE} = -3\text{ V}, I_C = -0.5\text{ A}$	1000		
		$V_{CE} = -3\text{ V}, I_C = -3\text{ A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾	$I_C = -3\text{ A}, I_B = -12\text{ mA}$		-2	V
		$I_C = -5\text{ A}, I_B = -20\text{ mA}$		-4	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage ⁽¹⁾	$V_{CE} = -3\text{ V}, I_C = -3\text{ A}$		-2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = -10\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 0.1\text{ MHz}$		300	pF

Note:

1. Pulse test: $p_w \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

ANEXO Y. DATASHEET LM7805



LM78XX / LM78XXA — 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

LM78XX / LM78XXA

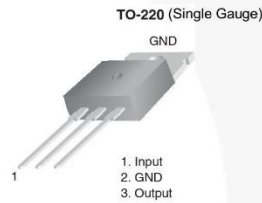
3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator

Features

- Output Current up to 1 A
- Output Voltages: 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24 V
- Thermal Overload Protection
- Short-Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

The LM78XX series of three-terminal positive regulators is available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down, and safe operating area protection. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components for adjustable voltages and currents.



Ordering Information⁽¹⁾

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature	Packing Method
LM7805CT	±4%	TO-220 (Single Gauge)	-40°C to +125°C	Rail
LM7806CT				
LM7808CT				
LM7809CT				
LM7810CT				
LM7812CT				
LM7815CT				
LM7818CT				
LM7824CT				
LM7805ACT				
LM7809ACT				
LM7810ACT				
LM7812ACT				
LM7815ACT				

Note:

1. Above output voltage tolerance is available at 25°C.

Block Diagram

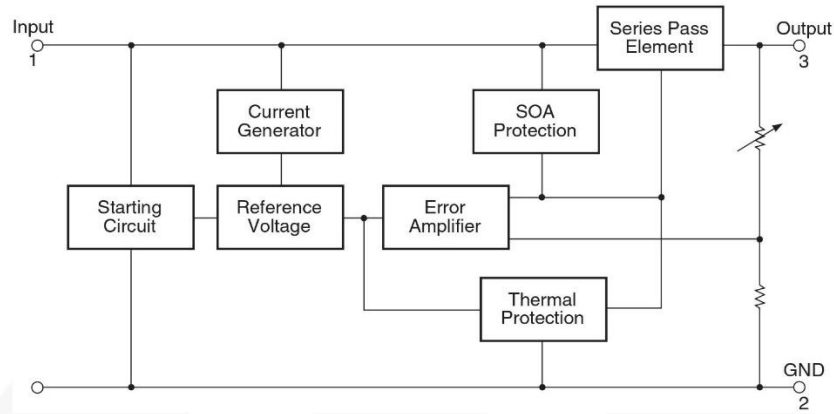


Figure 1. Block Diagram

Absolute Maximum Ratings

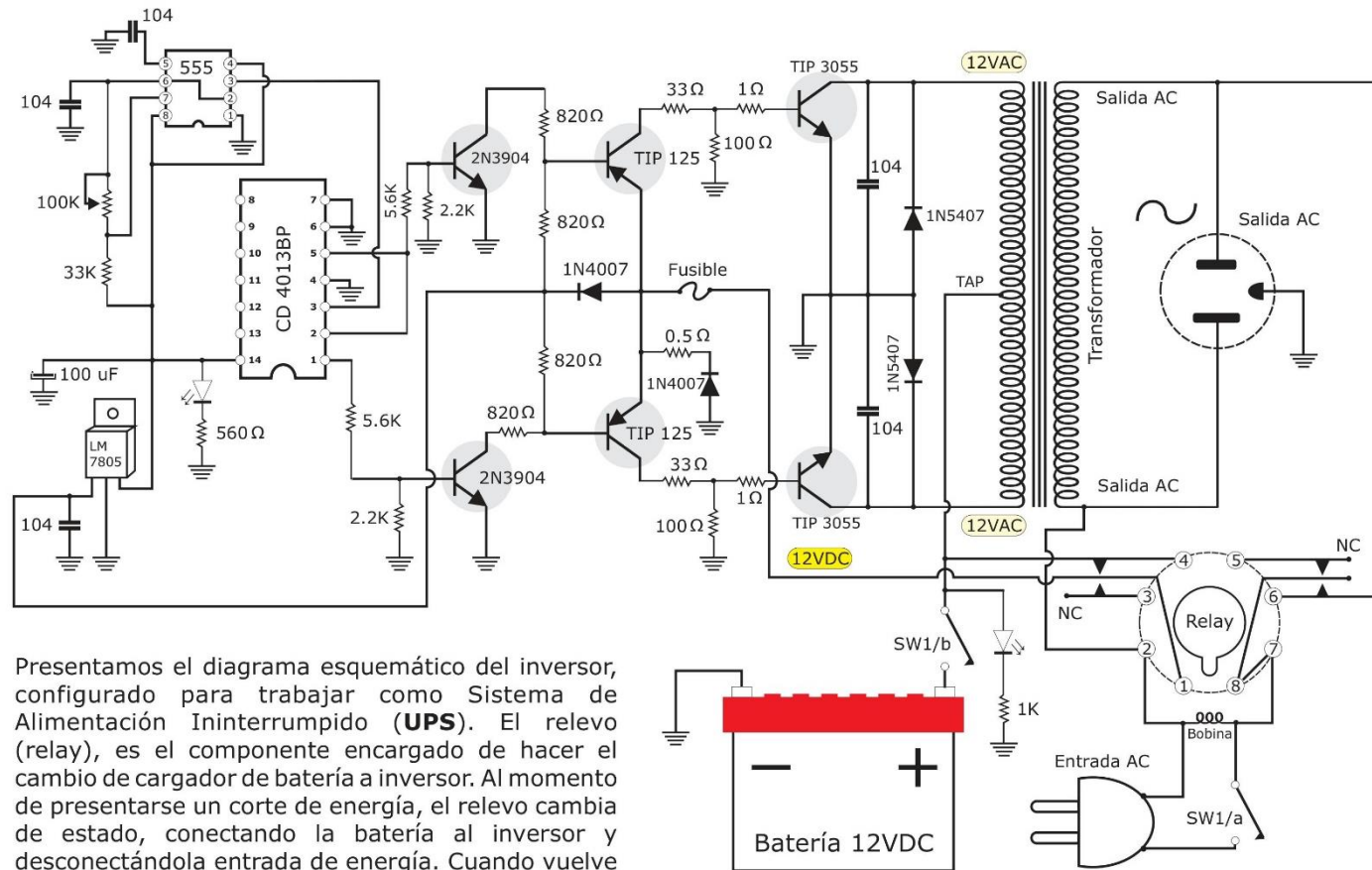
Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit	
V_I	Input Voltage	$V_O = 5\text{ V to }18\text{ V}$	35	V
		$V_O = 24\text{ V}$	40	
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-Case (TO-220)	5	$^\circ\text{C/W}$	
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-Air (TO-220)	65	$^\circ\text{C/W}$	
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^\circ\text{C}$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$	

ANEXO Z. CONSTRUCCIÓN DEL INVERSOR

Inversor DC/AC y cargador de batería

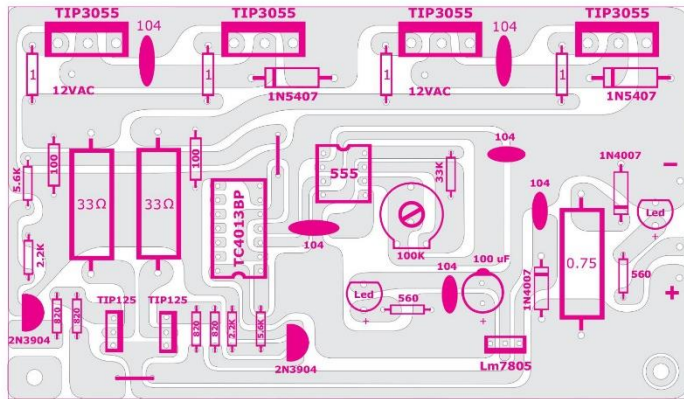
1



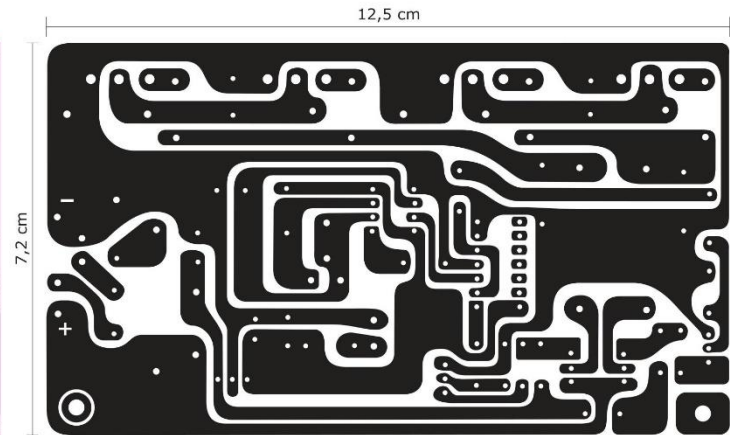
Presentamos el diagrama esquemático del inversor, configurado para trabajar como Sistema de Alimentación Ininterrumpido (**UPS**). El relve (relay), es el componente encargado de hacer el cambio de cargador de batería a inversor. Al momento de presentarse un corte de energía, el relve cambia de estado, conectando la batería al inversor y desconectándola entrada de energía. Cuando vuelve el suministro de energía, el relve se activa, desconectando el circuito del inversor, y conectando el transformador junto con dos diodos, volviendo a cargar la batería.

Construyasuvideorockla.com

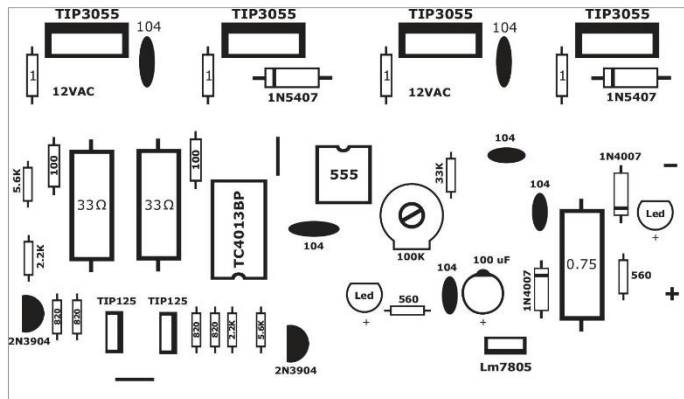
Inversor DC/AC y cargador



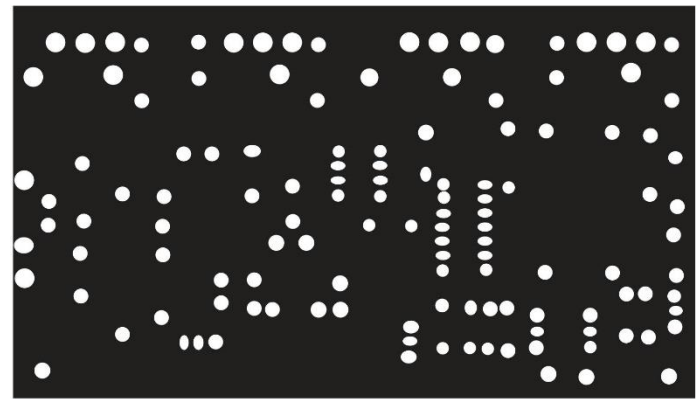
Posición de los componentes



Circuito impreso (PCB)

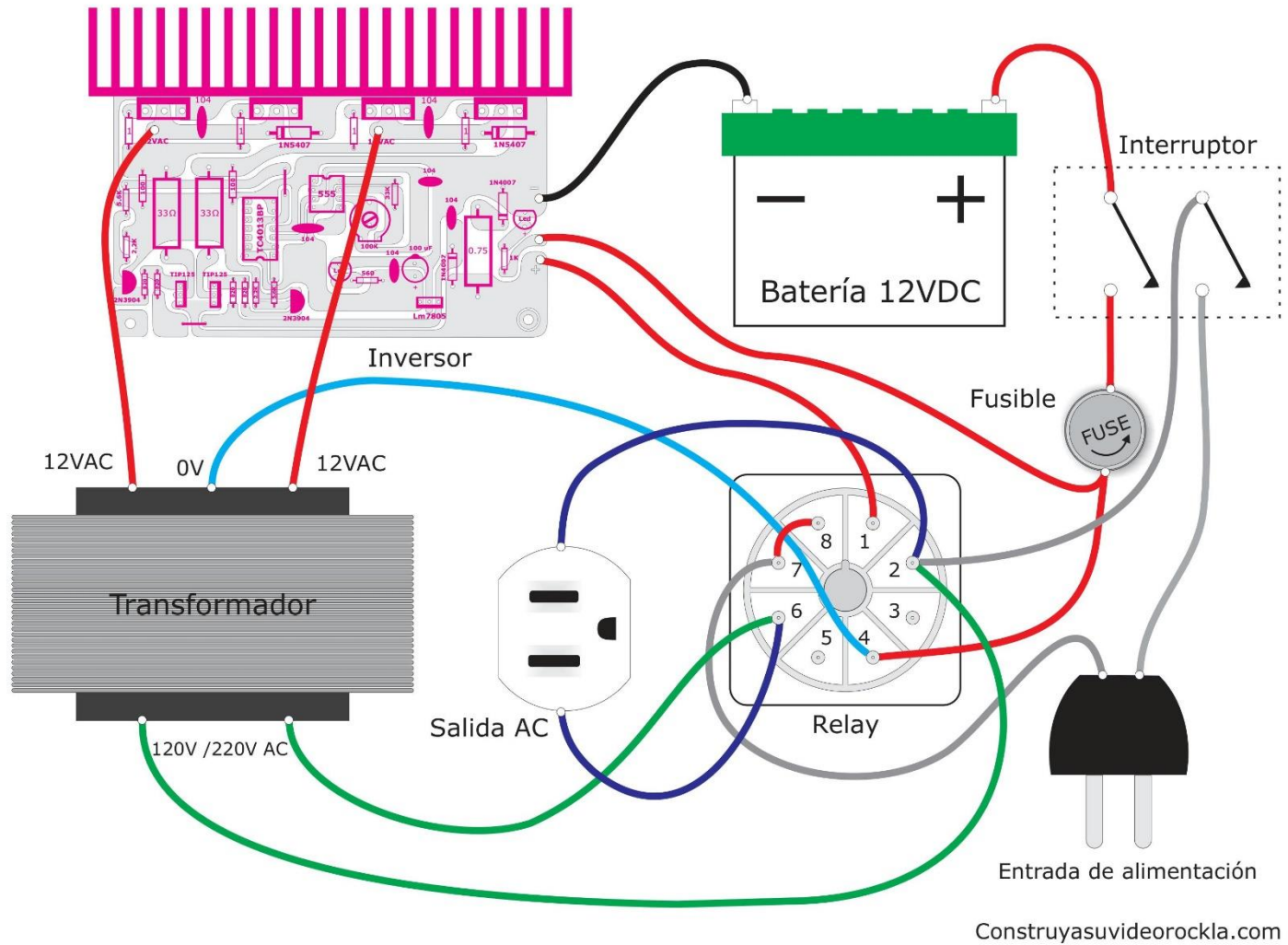


Máscara de componentes



Máscara de antisoldante

Diagrama de conexión del inversor con sistema automático de carga



Lista de materiales

Circuitos integrados

1 555
1 CD 4013BP

Transistores

4 TIP3055
2 TPI 125
2 2N3904

Resistencias

4 R 820 ohmios a 1/4W
4 R 1 ohmio a 1W
2 R 33 ohmios a 5W
1 R 0.75 ohmios a 5W
1 R 33K a 1/4W
2 R 2.2K a 1/4W
2 R 100 ohmios a 1/2W
2 R 5.6K a 1/4W
1 R 560 ohmios a 1/4W
1 R 1K a 1/4W

Condensadores

6 C 0.1 uF (104) poliester
1 C 100 uF a 16V

Diodos

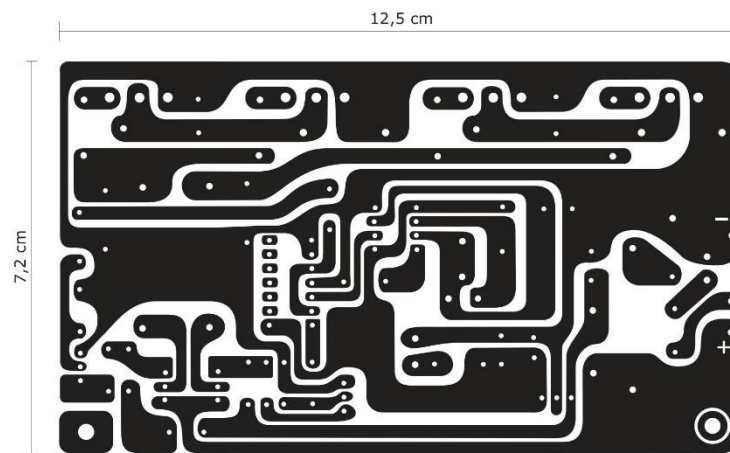
2 1N5407
2 1N4007

Varios

1 relevo (Relay) de 110V o 220V dependiendo del voltaje de salida del transformador, a 10 amperios como mínimo.
4 Aislantes de mica con sus respectivos pasa muros y tornillos.
1 porta fusible y fusible de 10 amperios
1 Regulador Lm7805
1 reóstato de 100K
2 LEDs, uno intermitente y el otro normal.
1 disipador de aluminio
1 clavija macho
1 toma sencilla o doble
1 metro de cable 1x 16 o 1x14
1 metro de cable 2x 16
1 interruptor doble de 10 amperios 250 voltios
1 transformador de 12x12 voltios, 8 amperios o más.

La construcción del **transformador** para este inversor, se realiza usando un núcleo de 3.2 centímetros, por 4 cm. Como la función de este transformador es la de elevar y no la de reducir el voltaje, se hace al contrario que los transformadores convencionales. Primero se hace el devanado secundario, que ahora será el primario. Debe ser de 12x12 voltios, que equivale a 24 voltios con **TAP** central. Debemos dar 78 vueltas de alambre calibre 16 o 14, deteniéndonos en la vuelta 39, para sacar el TAP central y luego dar las otras 39 vueltas. El devanado secundario o de salida, depende del voltaje que queramos que entregue el inversor. Para un voltaje de salida de 120 voltios AC, se deben dar 393 vueltas de alambre calibre 23. Para un voltaje de salida de 220VAC, se deben dar 720 vueltas de alambre calibre 25, según la tabla **AWG**.

Circuito impreso (PCB) en modo espejo para imprimir con la técnica de panchado



Construyasuvideorockla.com

ANEXO AA. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR COMERCIAL

Este convertidor de corriente se conecta directamente a una batería de 12 voltios para el instante de alimentación de CA 115 voltios. Televisores de energía, la electrónica y otros pequeños electrodomésticos sin complicaciones. Este inversor produce energía limpia, cómoda, manteniendo electrodomésticos activos durante horas. Ya sea que esté de encender el televisor para ver el gran juego en el camping o el equipo de sonido en el picnic de la compañía, este inversor es una gran fuente de energía portátil.

- Alta capacidad de reacción para los productos que requieren potencia de hasta 800 vatios para comenzar
- Continuo potencia de hasta 400 vatios
- Protección de baja / alta tensión, las altas temperaturas bajas / corrientes bajas / altas
- Onda sinusoidal modificada de la eficiencia hasta el 87%
- Puerto USB
- Cables de entrada de servicio pesado con pinzas de cocodrilo
- Protección contra cortocircuito y sobrecarga
- Indicador LED

Entrada: 12 VDC

Salida: 115 VAC


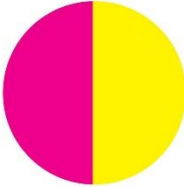


Potencia continua: 400 W

Potencia máxima: 800 W

Eficiencia: 87%

Fuente: <http://www.harborfreight.com/400-watt-continuous-800-watt-peak-power-inverter-66814.html>

ANEXO AB. SAE 1020

 PROMECOL LTDA.		SAE 1020							
COMPOSICIÓN QUÍMICA		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
		0.18/0.23	0.30/0.60	0.040	0.050	0.15/0.30			
PROPIEDADES MECÁNICAS									
Estado del material	Resistencia a la tracción Kg/mm2	Límite elástico Kg/mm2	Alargamiento %		Reducción de área	Dureza Brinell aprox.			
Laminado en caliente	40	31	25		41	40/180			
Calibrado	55	38	15		30	180/220			
TRATAMIENTO TÉRMICO									
TRATAMIENTO		TEMPERATURA °C			ENFRIAMIENTO				
Forja		1000-1200°C			Arena seca				
Normalizado		890-920°C			Aire				
Recocido Subcrítico		860-720°C			Horno				
Cementación		900-930°C			Horno/Agua				
Temple Capa Cementada		760-800°C			Agua				
Revenido Capa Cementada		150-200°C			Aire				
CARACTERÍSTICAS:									
<p>Acero estructural de bajo carbono, puede utilizarse en estado laminado en caliente, cementado o estirado en frío (calibrado) utilizado en elementos de maquinaria que requieren gran tenacidad, junto con una dureza no muy alta, posee buena ductilidad y soldabilidad.</p>									
APLICACIONES:									
<p>Utilizado en partes de vehículos y maquinaria que no estén sometidos a grandes esfuerzos mecánicos. Los más usuales son ejes, pasadores, eslabones para cadena, Bidas, Clavos de ferrocarril, tornillería grado 2 (corriente) grapas etc.</p>									
PERFILES USUALES			3/32" hasta 6"						
			1/4" hasta 2"						
			3/16" hasta 2"						
			3/4" X 3/16" hasta 3" X 3/4"						

ANEXO AC. DATASHEET LM317



LT117A/LT317A
LM117/LM317

Positive Adjustable
Regulator

FEATURES

- *Guaranteed* 1% Output Voltage Tolerance
- *Guaranteed* max. 0.01%/V Line Regulation
- *Guaranteed* max. 0.3% Load Regulation
- Min. 1.5A Output Current
- 100% Burn-in in Thermal Overload

APPLICATIONS

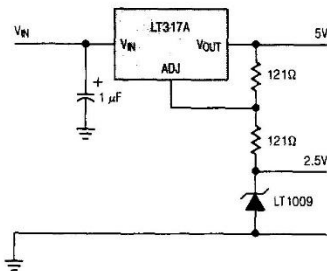
- Wide Range Power Supplies
- Constant Current Supplies
- Voltage Programmable Supplies

DESCRIPTION

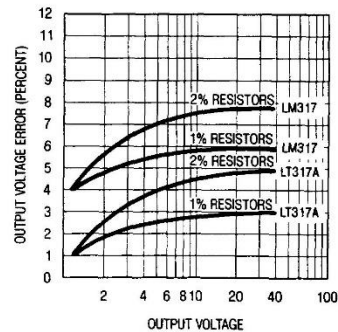
The LT117A Series are 3-terminal positive adjustable voltage regulators which offer improved performance over earlier devices. A major feature of the LT117A is the output voltage tolerance is guaranteed at a maximum of $\pm 1\%$, allowing an overall power supply tolerance to be better than 3% using inexpensive 1% resistors. Line and load regulation performance has been improved as well. Additionally, the LT117A reference voltage is guaranteed not to exceed 2% when operating over the full load, line and power dissipation conditions. The LT117A adjustable regulators offer an improved solution for all positive voltage regulator requirements with load currents up to 1.5 amps.

4

Regulator with Reference



Output Voltage Error



4-137

LT117A/LT317A
LM117/LM317

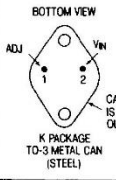
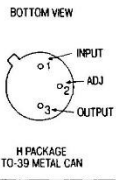
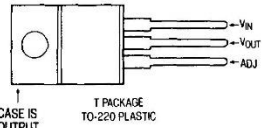
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Dissipation Internally Limited
 Input to Output Voltage Differential 40V
 Operating Junction Temperature Range
 LT117A/LM117 -55°C to 150°C
 LT317A/LM317 0°C to 125°C
 Storage Temperature Range
 LT117A/LM117 -65°C to 150°C
 LT317A/LM317 -65°C to 150°C
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) 300°C

PRECONDITIONING:

100% THERMAL LIMIT BURN-IN

PACKAGE/ORDER INFORMATION

 <p>BOTTOM VIEW K PACKAGE TO-3 METAL CAN (STEEL)</p>	<p>ORDER PART NO. LT117AK LT317AK LM117K LM317K</p>	 <p>BOTTOM VIEW H PACKAGE TO-39 METAL CAN</p>	<p>ORDER PART NO. LT117AH LT317AH LM117H LM317H</p>
 <p>T PACKAGE TO-220 PLASTIC</p>	<p>ORDER PART NO. LT317AT LM317T</p>		

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (See Note 1) LT117A/LM117

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LT117A			LM117			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{REF}	Reference Voltage	$I_{OUT} = 10mA$, $T_J = 25^\circ C$	1.238	1.250	1.262				V
		$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$ $10mA \leq I_{OUT} \leq I_{max}$, $P \leq P_{max}$	● 1.225	1.250	1.270	1.20	1.25	1.30	V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}$	Line Regulation	$3V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$, (See Note 2)		0.005	0.01	0.01	0.02		%/V
			●	0.01	0.02	0.02	0.05		%/V
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta I_{OUT}}$	Load Regulation	$10mA \leq I_{OUT} \leq I_{max}$, (See Note 2) $V_{OUT} \leq 5V$ $V_{OUT} \geq 5V$		5	15	5	15		mV
			●	0.1	0.3	0.1	0.3		%
		$V_{OUT} \leq 5V$ $V_{OUT} \geq 5V$	●	20	50	20	50		mV
			●	0.3	1	0.3	1		%
	Thermal Regulation	$T_A = 25^\circ C$, 20msec Pulse		0.002	0.02	0.03	0.07		%/W
	Ripple Rejection	$V_{OUT} = 10V$, $f = 120Hz$ $C_{ADJ} = 0$	●	65		65			dB
		$C_{ADJ} = 10\mu F$	●	66	80	66	80		dB
I_{ADJ}	Adjust Pin Current		●	50	100	50	100		μA
ΔI_{ADJ}	Adjust Pin Current Change	$10mA \leq I_{OUT} \leq I_{max}$ $2.5V \leq (V_{IN} - V_{OUT}) \leq 40V$	●	0.2	5	0.2	5		μA
I_{min}	Minimum Load Current	$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$	●	3.5	5	3.5	5		mA
	Current Limit	$(V_{IN} - V_{OUT}) \leq 15V$ K Package H Package	●	1.5	2.2	1.5	2.2		A
			●	0.5	0.8	0.5	0.8		A
		$(V_{IN} - V_{OUT}) = 40V$, $T_J = 25^\circ C$ K Package H Package		0.3	0.5	0.3	0.4		A
				0.15	0.2	0.15	0.2		A
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta Temp}$	Temperature Stability	$-55^\circ C \leq T_J \leq +150^\circ C$		1	2	1			%
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta Time}$	Long Term Stability	$T_A = 125^\circ C$		0.3	1	0.3	1		%
e_n	RMS Output Noise (% of V_{OUT})	$T_A = 25^\circ C$, $10Hz \leq f \leq 10kHz$		0.001		0.001			%
θ_{JC}	Thermal Resistance Junction to Case	H Package K Package		12	15	12	15		$^\circ C/W$
				2.3	3	2.3	3		$^\circ C/W$

ANEXO AD. DATASHEET TRANSISTOR 2N3055



COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

... designed for use in general-purpose amplifier and switching applications

FEATURES:

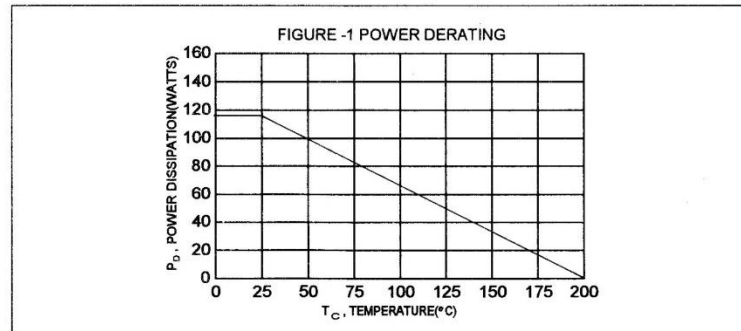
- * Power Dissipation - $P_D = 115W @ T_C = 25^\circ C$
- * DC Current Gain $hFE = 20 \sim 70 @ I_C = 4.0 A$
- * $V_{CE(sat)} = 1.1 V (Max.) @ I_C = 4.0 A, I_B = 400 mA$

MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	Rating	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	V
Collector-Emitter Voltage	V_{CER}	70	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	100	V
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	7.0	V
Collector Current-Continuous	I_C	15	A
Base Current	I_B	7.0	A
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ C$ Derate above $25^\circ C$	P_D	115 0.657	W W/ $^\circ C$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +200	$^\circ C$

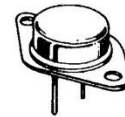
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.52	$^\circ C/W$

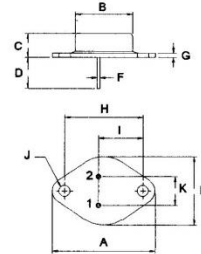


NPN	PNP
2N3055	MJ2955

15 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60 VOLTS
115 WATTS



TO-3



PIN 1. BASE
2. EMITTER
COLLECTOR (CASE)

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	38.75	39.96
B	19.28	22.23
C	7.96	9.28
D	11.18	12.19
E	25.20	26.67
F	0.92	1.09
G	1.38	1.62
H	29.90	30.40
I	16.64	17.30
J	3.88	4.36
K	10.67	11.18

ANEXO AE. CÓDIGO DEL MEDIDOR DE LA VELOCIDAD ANGULAR Y DE LA DISTANCIA RECORRIDA

```
//*****Medidor de Velocidad y Distancia Recorrida*****
//*****Luis Miguel Zabala Gualtero*****
//*****Luis Alejandro Peñaranda Rincón*****
//*****
*
  DECLARACION DE VARIABLES
*****/
volatile int vueltas;
volatile long time;
volatile byte contador;
long time0;
long deltatime;
double timer;
int intervalo=1000;
long rpm;
long recorrido;
const long a=4.149415;
long T;
const double pi=3.1416;

/*****
*
  CONFIGURACION ARDUINO
*****/
void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Iniciamos la comunicacion serial
  attachInterrupt(0, encoder1, FALLING);
}
/*****
*
  PROGRAMA PARA EL ENCODER
*****/
void encoder1() //Libreria para leer el encoder
{
  contador++;
  time=millis();
}
/*****
*
  PROGRAMA PRINCIPAL
*****/
void loop()
{
  if(millis()-timer>intervalo)
  {
    if(vueltas!=0) //Condición por sí existe una vuelta
    {
      recorrido=recorrido+(a*vueltas);
    }
  }
}
```

```

}

//Cálculo para el contador
vueltas=contador;
rpm=vueltas*60;
if (Serial.available())
{
  lectura = Serial.read();
  if (lectura == '0')
  {
    //Imprimir las RPM
    Serial.print("RPM= ");
    Serial.println((rpm));
    timer=millis();
    contador=0;
    //Imprimir las vueltas por segundo
    Serial.print("Vueltas= ");
    Serial.print(vueltas);
    Serial.println("\t");
    //Imprimir el recorrido
    Serial.print("Recorrido= ");
    Serial.print(recorrido);
    Serial.print("[m] ");
    Serial.println("\t");
    Serial.println("\t");
  }
  else if (lectura == '1')
  {
  }
}
}
}
}

```

ANEXO AF. CÓDIGO DEL SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE LA BATERÍA

```
//*****Sistema de Diagnóstico de la Batería*****
//*****Luis Miguel Zabala Gualtero*****
//*****Luis Alejandro Peñaranda Rincón*****
/*****
*       DECLARACION DE VARIABLES
*****/
float Valor=0, Voltaje=0,Peso=0;
int j,Unidad, Decena;
int valor;

/*****
*       CONFIGURACION ARDUINO
*****/
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  for (j=2;j<=5;j++)
  {
    pinMode(j,OUTPUT);
    pinMode(j+13,OUTPUT);
  }
}
/*****
*       PROGRAMA PRINCIPAL
*****/
void loop()
{
  Peso=analogRead(Valor);
  Voltaje=5*map(Peso,0,1023,0,5);

  if (Serial.available())
  {
    //Se muestra el valor por el Serial del PC
    if (valore == '2')
    {
      Serial.print("Voltaje= ");
      Serial.println(Voltaje);
      delay(500);
    }
    else if (valore == '1')
    {
    }
  }

  //Inicia el valor del voltmetro en 00
  if (Voltaje<=0)
  {
    //Limpiamos antes de mostrar los nuevos números
  }
}
```

```

    Seleccion(0, 0);
    Seleccion(0, 13);
}
else
{
    // Entramos el numero en la posicion de cada display
    Decena=Voltaje/10;
    Unidad=Voltaje-(Decena*10);
    // Se muestra el valor en los displays
    Seleccion(Unidad, 0);
    Seleccion(Decena, 13);
}
}
}
}
/*****
*      SUBROUTINAS PARA LA POSICION DEL NÚMERO
*****/
void Seleccion (int Valor,int Posicion)
{
    switch(Valor)
    {
        case 0:
            CERO (Posicion);
            break;
        case 1:
            UNO(Posicion);
            break;
        case 2:
            DOS (Posicion);
            break;
        case 3:
            UNO(Posicion);
            DOS (Posicion);
            break;
        case 4:
            CUATRO (Posicion);
            break;
        case 5:
            CUATRO (Posicion);
            UNO(Posicion);
            break;
        case 6:
            CUATRO (Posicion);
            DOS (Posicion);
            break;
        case 7:
            CUATRO (Posicion);
            DOS (Posicion);
            UNO (Posicion);
            break;
    }
}

```

```

    case 8:
        OCHO (Posicion);
        break;
    case 9:
        OCHO (Posicion);
        UNO(Posicion);
        break;
}
}

/*****
*           SUBROUTINAS PARA LOS NÚMEROS
*****/

void CERO (int j)
{
    digitalWrite(2+j,LOW);
    digitalWrite(3+j,LOW);
    digitalWrite(4+j,LOW);
    digitalWrite(5+j,LOW);
}

void UNO (int j)
{
    digitalWrite(2+j,HIGH);
}

void DOS (int j)
{
    digitalWrite(5+j,LOW);
}

void CUATRO (int j)
{
    digitalWrite(4+j,HIGH);
}

void OCHO (int j)
{
    digitalWrite(3+j,HIGH);
}

```

ANEXO AG. CÓDIGO DEL SOFTWARE BioExLU²

```
//Realizado por: Luis Miguel Zabala Gualtero y Luis Alejandro Peñaranda Rincón
Imports System.IO
Imports System.IO.Ports
Imports System.Threading

Public Class BioExLU2
    Shared _continue As Boolean
    Shared _serialPort As SerialPort
    Dim lectura As String
    Dim valor As String

    Private Sub BioExLU2_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
        Puerto.Items.Clear()
        Puerto2.Items.Clear()

        For Each PuertoDisponible As String In My.Computer.Ports.SerialPortNames
            Puerto.Items.Add(PuertoDisponible)
            Puerto2.Items.Add(PuertoDisponible)
        Next

        If Puerto.Items.Count > 0 Then
            Puerto.Text = Puerto.Items(0)
        Else
            Puerto.Items.Clear()
            Puerto.Text = ""
        End If

        If Puerto2.Items.Count > 0 Then
            Puerto2.Text = Puerto2.Items(1)
        Else
            Puerto2.Items.Clear()
            Puerto2.Text = ""
        End If
        SerialPort2.Close()
        SerialPort1.PortName = Puerto.Text

        SerialPort1.Close()
        SerialPort2.PortName = Puerto2.Text

        Timer1.Enabled = True
    End Sub

    Private Sub CalcularCooper_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
CalcularCooper.Click
        SerialPort1.Open()
        SerialPort1.Write("0")
        lectura = SerialPort1.ReadLine
        salida1.Text = lectura
        SerialPort1.Close()

        SerialPort2.Open()
```

```

SerialPort2.Write("2")
valor = SerialPort2.ReadLine
Bateria.Text = valor
SerialPort2.Close()

Velocidad.Text = lectura * ((2 * 3.14159265358979) / 60)

Distancia.Text = lectura * (2 * 3.14159265358979) + Val(Distancia.Text)

VO2max.Text = (Val(Distancia.Text) - 504.9) / 44.73
If Hombre.Checked Then Calorias.Text = (0.634 * Val(Ritmo.Text)) + (0.404 *
Val(VO2max.Text)) + (0.179 * Val(Peso.Text)) + (0.271 * Val(Edad.Text)) - ((95.7735
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
If Mujer.Checked Then Calorias.Text = (0.45 * Val(Ritmo.Text)) + (0.38 *
Val(VO2max.Text)) + (0.0468 * Val(Peso.Text)) + (0.274 * Val(Edad.Text)) - ((59.3954
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
End Sub

Private Sub CalcularLug_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
CalcularLug.Click
SerialPort1.Open()
SerialPort1.Write("0")
lectura = SerialPort1.ReadLine
salida1.Text = lectura
SerialPort1.Close()

SerialPort2.Open()
SerialPort2.Write("2")
valor = SerialPort2.ReadLine
Bateria.Text = valor
SerialPort2.Close()

Velocidad.Text = lectura * ((2 * 3.14159265358979) / 60)

Distancia.Text = lectura * (2 * 3.14159265358979) + Val(Distancia.Text)

VO2max.Text = 31.025 + (3.238 * Val(Velocidad.Text)) - (3.248 *
Val(Edad.Text)) + (0.1536 * Val(Velocidad.Text) * Val(Edad.Text))
If Hombre.Checked Then Calorias.Text = (0.634 * Val(Ritmo.Text)) + (0.404 *
Val(VO2max.Text)) + (0.179 * Val(Peso.Text)) + (0.271 * Val(Edad.Text)) - ((95.7735
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
If Mujer.Checked Then Calorias.Text = (0.45 * Val(Ritmo.Text)) + (0.38 *
Val(VO2max.Text)) + (0.0468 * Val(Peso.Text)) + (0.274 * Val(Edad.Text)) - ((59.3954
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
End Sub

Private Sub CalcularRockport_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
CalcularRockport.Click
SerialPort1.Open()
SerialPort1.Write("0")
lectura = SerialPort1.ReadLine
salida1.Text = lectura
SerialPort1.Close()

SerialPort2.Open()

```

```

SerialPort2.Write("2")
valor = SerialPort2.ReadLine
Bateria.Text = valor
SerialPort2.Close()

Velocidad.Text = lectura * ((2 * 3.14159265358979) / 60)

Distancia.Text = lectura * (2 * 3.14159265358979) + Val(Distancia.Text)

If Hombre.Checked Then V02max.Text = 132.6 - (0.17 * Val(Peso.Text)) - (0.39
* Val(Edad.Text)) + (6.31) - (3.27 * Val(Tiempo.Text)) - (0.156 * Val(Ritmo.Text))
If Mujer.Checked Then V02max.Text = 132.6 - (0.17 * Val(Peso.Text)) - (0.39
* Val(Edad.Text)) - (3.27 * Val(Tiempo.Text)) - (0.156 * Val(Ritmo.Text))
If Hombre.Checked Then Calorias.Text = (0.634 * Val(Ritmo.Text)) + (0.404 *
Val(V02max.Text)) + (0.179 * Val(Peso.Text)) + (0.271 * Val(Edad.Text)) - ((95.7735
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
If Mujer.Checked Then Calorias.Text = (0.45 * Val(Ritmo.Text)) + (0.38 *
Val(V02max.Text)) + (0.0468 * Val(Peso.Text)) + (0.274 * Val(Edad.Text)) - ((59.3954
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
End Sub

Private Sub Ruffier_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Ruffier.Click
SerialPort1.Open()
SerialPort1.Write("0")
lectura = SerialPort1.ReadLine
salida1.Text = lectura
SerialPort1.Close()

SerialPort2.Open()
SerialPort2.Write("2")
valor = SerialPort2.ReadLine
Bateria.Text = valor
SerialPort2.Close()

Velocidad.Text = lectura * ((2 * 3.14159265358979) / 60)

Distancia.Text = lectura * (2 * 3.14159265358979) + Val(Distancia.Text)

If Hombre.Checked Then V02max.Text = 11.33 - (0.42 * Val(Ritmo.Text))
If Mujer.Checked Then V02max.Text = 65.81 - (0.1847 * Val(Ritmo.Text))
If Hombre.Checked Then Calorias.Text = (0.634 * Val(Ritmo.Text)) + (0.404 *
Val(V02max.Text)) + (0.179 * Val(Peso.Text)) + (0.271 * Val(Edad.Text)) - ((95.7735
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
If Mujer.Checked Then Calorias.Text = (0.45 * Val(Ritmo.Text)) + (0.38 *
Val(V02max.Text)) + (0.0468 * Val(Peso.Text)) + (0.274 * Val(Edad.Text)) - ((59.3954
* Val(Tiempo.Text)) / 4.184)
End Sub

Private Sub Salir_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Salir.Click
Me.Close()
End Sub
End Class

```

ANEXO AH. LA BIOMECÁNICA EN EL CICLISMO

22 LA BIOMECÁNICA EN EL CICLISMO

Zaroso, M.¹, Dr. Pérez, P.² y Dr. Llana, S.²

1. Departamento de Fisiología (Universitat de València)

2. Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (Universitat de València)

RESUMEN

En este capítulo se ofrece una visión general sobre el ciclismo desde una perspectiva biomecánica. La literatura científica en este campo es muy extensa, y existen, además, una gran diversidad de contenidos relacionados con la biomecánica del ciclismo. De este modo, se ha intentado abarcar todos estos contenidos agrupándolos en los siguientes apartados. En primer lugar, se hará un breve repaso a la evolución de la bicicleta y las principales novedades mecánicas que se fueron introduciendo, así como los principales tipos de bicicleta que existen actualmente. A continuación se repasarán los principios físicos relacionados con el sistema bicicleta-ciclista, y en los últimos apartados se incidirá en las principales áreas de interés de la biomecánica en el ciclismo: la eficiencia del pedaleo y la maximización de la potencia, la disminución de las resistencias, el confort y la prevención de lesiones.

1. LA BICICLETA EN EL DEPORTE Y LA ACTIVIDAD FÍSICA

1.1. Historia de la bicicleta

Los orígenes de la bicicleta que conocemos actualmente datan de finales del siglo XVIII, cuando un noble francés, el conde Sivrac, diseñó un nuevo sistema de transporte conocido como *célérifère*, colocando una estructura de madera entre dos ruedas que se encontraban dispuestas una delante de la otra (figura 1a). Durante todo el siglo XIX, la combinación de la necesidad de movilidad a un precio asequible en un entorno urbano y los avances tecnológicos de la época produjeron una rápida evolución de la bicicleta, desde los arcaicos y pesados modelos, hacia un vehículo con el que se podían alcanzar unas velocidades de desplazamiento elevadas y una mejor economía en el desplazamiento y el confort. Muestra de ello son los importantes avances que se desarrollaron a lo largo de este siglo, plasmados en el diseño de diferentes prototipos, cuya evolución reflejaremos a continuación (Kyle, 1995).

En 1817 apareció el *hobby horse*, también llamado la "draisiana" (figura 1b) en honor a su inventor, el varón Karl von Drais. Consistía en dos ruedas de madera unidas por una viga de madera en la que se fijaba el sillín, el manillar y un soporte para pecho y brazos. También se le llamó "máquina para correr" porque la propulsión se conseguía con un movimiento alterno de las piernas empujando sobre el suelo, de forma similar a la marcha o la carrera. Este vehículo supuso poco más que un divertido juguete para la gente pudiente de la época, pero nunca se utilizó como un verdadero medio de transporte.

Cuatro años después, en 1821, Louis Gompertz desarrolló un vehículo de dos ruedas propulsado y dirigido mediante una palanca con engranajes en la rueda delantera que se accionaba con el movimiento de los brazos (figura 1c). En 1839 se utilizaron por primera vez los pedales cuando un herrero escocés, Kirkpatrick MacMillan, ideó una forma de propulsión similar a la de Gompertz, pero utilizando las piernas; éste fue el primer intento de utilizar la potencia producida por las piernas para hacer girar las ruedas directamente a través de un sistema formado por el pedal y la biela (figura 1d).

El primer modelo que fue realmente popular y tuvo un gran éxito comercial fue el *boneshaker* (figura 1e), que apareció alrededor de 1860. El térmi-

no *boneshaker* se utilizó para designar a aquellos velocípedos con ruedas de madera y llantas metálicas, para distinguirlos de modelos posteriores que iban equipados con neumáticos de goma recubriendo la llanta metálica. El avance tecnológico más importante fue la adición de pedales y bielas a la rueda delantera; además, tenía un mecanismo de dirección bastante primitivo, por lo que era necesaria una gran habilidad para utilizar este vehículo. Hacia el año 1868, algunos modelos incluyeron unas bielas que podían ser ajustadas a la longitud de la pierna del ciclista.

A principios de 1870 los fabricantes de velocípedos comenzaron a hacer más grande la rueda delantera (figura 1f) y utilizaron materiales mejores y más ligeros. Las razones de este cambio en el diseño fueron encaminadas a que cada pedalada se tradujera en una mayor distancia de movimiento. El principal material empleado en su construcción era el acero, con lo que el peso se quedó en poco más de la mitad que el de los velocípedos, y tenían ruedas con neumáticos de goma maciza (no hueca). Aunque el propósito de su diseño fue mejorar la eficiencia y seguridad de los velocípedos, eran bicicletas difíciles de controlar.

En el año 1885, el inglés John Kemp Satrle diseñó el modelo conocido con el nombre de *rover* (figura 1g), introduciendo como principal novedad la transmisión por cadena a la rueda trasera. Sin embargo, este modelo tenía una serie de aspectos negativos como un mayor peso y la vibración provocada por la utilización de neumáticos macizos; así, se le fueron añadiendo una serie de sistemas de suspensión en el sillín e incluso en el cuadro.

En las postrimerías del siglo XIX aparece el modelo *pneumatic-tyred safety* o *safety PTS* (figura 1h). La principal novedad fue la introducción de neumáticos de goma huecos rellenos de aire comprimido, inventados por James Boyd Dunlop en 1888. Este hecho constituyó un gran avance, ya que este tipo de ruedas absorbían mucho mejor la vibración producida por las irregularidades del terreno que el modelo anterior.

PUNTO CLAVE

Tal y como puede observarse, fue en el siglo XIX cuando se desarrollaron todos los elementos que configuran las características básicas de las bicicletas que conocemos actualmente.

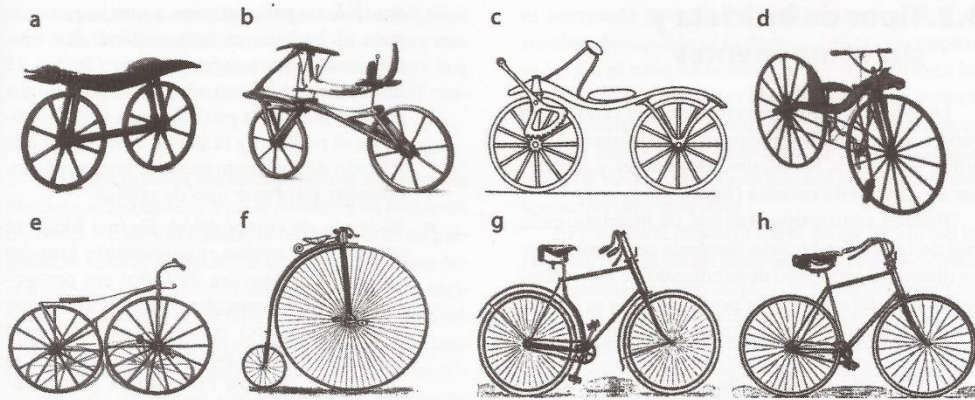


Figura 1. La evolución de la bicicleta en el siglo XIX. a, célérifère, b, draisiana, c, modelo de Gompertz, d, modelo de MacMillan, e, boneshaker, f, high wheeler, g, rover y h, safety PTS.

A partir de este momento, los cambios en el diseño se debieron principalmente a variaciones en la forma o en los materiales para que hiciesen la bicicleta más ligera y nuevos diseños en algunos de sus componentes (ruedas, platos, manillares...), de forma que no se volverían a producir importantes cambios en el diseño de la bicicleta hasta pasados tres cuartos de siglo.

El ciclismo fue adquiriendo popularidad en Europa durante la primera mitad del siglo XX, pero en EE.UU. su importancia fue disminuyendo paulatinamente entre 1900 y 1910 por la aparición del automóvil, que se convirtió en el medio de transporte más utilizado; en Europa, no obstante, el ciclismo se mantuvo como una actividad popular tanto en la vertiente competitiva como actividad recreativa (cicloturismo). Hacia 1960 se produce en EE.UU. un nuevo *boom* en el mundo de la bicicleta, motivado principalmente por la incipiente con-

ciencia sobre el valor del ejercicio y la ventaja de un medio de transporte energéticamente eficiente y comprometido con el medio ambiente. Así, aparecen modelos muy similares a las bicicletas actuales de carretera (figura 2a), con un diseño de manillar que permitía el pedaleo en diferentes posiciones, neumáticos más estrechos, cambio de velocidades y un sillín más estrecho. Las bicicletas de montaña (figura 2b) aparecieron a finales de la década de 1980, contando como principales características un cuadro más pesado y resistente, ruedas más anchas, suspensión y manillares que permiten el pedaleo en una posición vertical. En los últimos años ha aparecido un nuevo modelo de bicicleta, la bicicleta híbrida (figura 2c), como respuesta a las demandas de los consumidores, muchos de ellos descontentos tanto con la fragilidad y la incomodidad de las bicicletas de carretera como con las pesadas bicicletas de montaña.



Figura 2. Bicicleta de carretera (a), bicicleta de montaña (b) y bicicleta híbrida (c).

1.2. Tipos de bicicleta y sus componentes

La bicicleta moderna consiste en un cuadro con varios componentes principales que incluyen el manillar, los frenos, las ruedas, los pedales y el sistema de cambio de marcha (figura 3).

Existen cuatro tipos básicos de bicicleta, cada una de las cuales ha sido diseñada para satisfacer un diferente propósito dependiendo de las necesidades y preferencias del tipo de uso que se le va a dar. Estos cuatro tipos principales son (Burke, 1994):

- Bicicleta de paseo. Se utiliza para recorrer distancias cortas o realizar paseos por el campo y desplazamientos por la ciudad. Existen varios diseños, pero todos ellos tienen en común la priorización de la comodidad y la facilidad en el manejo.
- Bicicleta de montaña. Es una bicicleta pensada para utilizarla en terrenos agrestes, por lo que la resistencia de sus partes es un punto principal. Se trata de una bicicleta de fácil manejo y que da al ciclista un mayor

control, en parte gracias a que la posición para el pedaleo es más vertical. Por ello, son ideales para salidas cortas (de 5 a 15 km), pero no son tan adecuadas para largos rodajes porque la posición más vertical durante el pedaleo y la mayor resistencia a la fricción de los neumáticos la hacen más ineficiente para este tipo de salidas.

- Bicicleta de competición. Es una bicicleta de cuadro y ruedas relativamente grandes en la que la ligereza de todos sus componentes es un elemento fundamental. Tiene unos ángulos del cuadro considerables y ruedas estrechas, por lo que responde al control de manera más rápida pero también más brusca que el resto de bicicletas. El manillar tiene diferentes diseños para que el ciclista adopte una posición más aerodinámica.
- Bicicleta híbrida. La bicicleta híbrida apareció un poco después que las bicicletas todo terreno. Su cuadro combina características de la bicicleta de carretera y la de montaña. Sus ruedas son más estrechas que las de montaña y pesan menos que éstas.

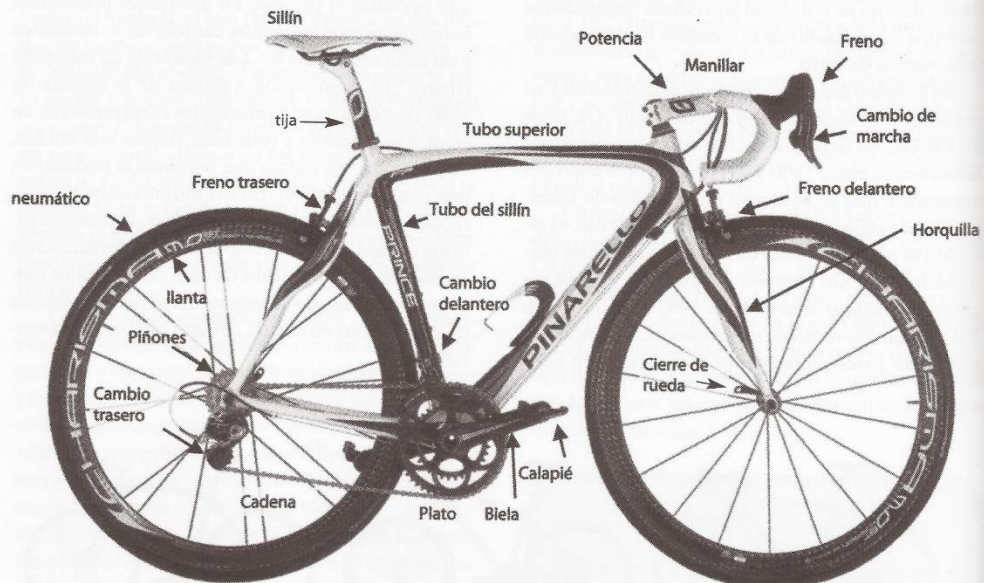


Figura 3. Componentes principales de la bicicleta. (Modificado de Mellion, 1991.)

siendo sus componentes menos resistentes. Están diseñadas con la idea de ofrecer una bicicleta muy confortable sin sacrificar por ello aspectos más relacionados con el rendimiento.

Además, pueden encontrarse otros modelos de bicicleta como las bicicletas reclinables, las bicicletas de BMX y trial, el tándem, la bicicleta urbana plegable, el velomóvil (bicicleta o triciclo bajo, muy aerodinámico, cubierto por un carenado), o las bicicletas adaptadas a personas con discapacidad. Dentro de este último grupo existen bicicletas tándem adaptadas a personas con deficiencia visual, triciclos para personas con problemas graves de equilibrio y "handbikes" o triciclos de propulsión con los brazos para personas con afectación de sus miembros inferiores.

2. FUNDAMENTOS MECÁNICOS DE LA BICICLETA

En este apartado se tratarán de forma general los principios físicos relacionados con el sistema bicicleta-ciclista. De este modo, comenzaremos por explicar lo que sucede al subir a la bicicleta y cómo lo primero que hacemos es aprender a mantener el equilibrio, a dirigirla y a imprimirle un movimiento a través del pedaleo gracias a un sistema de transmisión de fuerza desde el pedal hasta la rueda motriz. También es necesario conocer cómo se produce este movimiento y las fuerzas que lo facilitan o lo dificultan, por lo que se explicarán brevemente los principios de la dinámica aplicados a la bicicleta, así como los términos de trabajo y potencia. Por último, se introducirán unos conceptos más relacionados con el rendimiento, como la eficiencia mecánica.

2.1. Equilibrio, fuerza y centro de gravedad

El equilibrio es un estado que poseen los cuerpos cuando sobre ellos no actúa ninguna fuerza ni momento de fuerzas, o, si actúan, conducen a un sistema nulo por compensación. Cuanto mayor sea el peso, la base de sustentación y más bajo se encuentre

el centro de gravedad (CDG), mayor será la situación de equilibrio (Sánchez, 1984) (ver capítulo 5). En el caso de la bicicleta, el equilibrio es inestable puesto que no es fácil de conseguir, y cuando se consigue, la situación de equilibrio dura poco tiempo. Esto se debe principalmente a que los neumáticos de la bicicleta ofrecen una base de sustentación muy pequeña.

El peso de la bicicleta suele variar, desde 6-8 kg para las bicicletas de pista hasta 7-11 y 10-14 para las bicicletas de carretera y de montaña, respectivamente. El peso es una fuerza que se aplica en dirección vertical y sentido descendente, y resulta del producto de la masa del cuerpo por la fuerza de la gravedad. El punto de aplicación, es decir, el lugar donde podemos suponer que se encuentra concentrada la masa de la bicicleta, es el CDG, situado en la vertical que pasa por el eje de pedaleo y 25 cm por encima de dicho eje (Sánchez, 1984). Sin embargo, cuando el ciclista se encuentra en la bicicleta, la configuración de fuerzas cambia y, con ello, el lugar el CDG del conjunto bicicleta-ciclista.

En la bicicleta actúan principalmente dos tipos de fuerzas: las concurrentes y las paralelas. Como ejemplo de las primeras encontramos las que actúan sobre los radios de la rueda y que evitan su deformación. La fuerza resultante es igual a la diagonal del paralelogramo formado por la fuerza vertical que actúa en sentido opuesto a la que produce el aplastamiento y por la fuerza horizontal que actúa en sentido opuesto a la que produciría su doblado (figura 4a). Por otro lado, encontramos las fuerzas paralelas en el peso del ciclista y el de la bicicleta, fuerzas en las que la resultante es de igual dirección y sentido de las fuerzas que la componen (figura 4b).

Aplicando estos principios podemos deducir la localización del CDG del sistema bicicleta-ciclista. En posición de paseo, por ejemplo, la posición de pedaleo adoptada en una bicicleta de montaña, éste se encontrará en un punto situado por encima del tubo horizontal 15-20 cm por detrás de la vertical que pasa por el eje de pedaleo. Si el ciclista se coloca en posición de carrera, esto es, más inclinado en el manillar como sucede en las bicicletas de carretera, el CDG desciende un poco y se adelanta; con esto, la resultante se encuentra en el tubo horizontal y pasa por encima de la vertical del eje de pedaleo (Sánchez, 1984).

Como se ha dicho anteriormente, puede incrementarse el equilibrio de la bicicleta aumentando

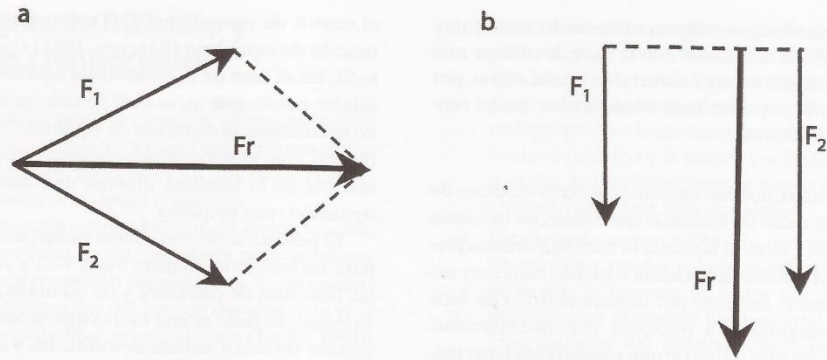


Figura 4. Fuerzas concurrentes (a) y fuerzas paralelas (b); F_r , fuerza resultante.

el peso, la base de sustentación o haciendo que descienda el CDG. Como no interesa hacer la bicicleta más pesada ni el cuadro más bajo, para hacer que la bicicleta esté en equilibrio estático la maniobra más sencilla es aumentar la base de sustentación. Para ello, basta con añadir un tercer punto de apoyo, para lo cual se han diseñado, por ejemplo, las pequeñas ruedas que se utilizan cuando se aprende a montar en bicicleta.

El mantenimiento del equilibrio en movimiento se obtiene gracias a la acción estabilizadora de las ruedas mediante su acción de giro. Además, la fuerza de giro depende de las características de la rueda, es decir, la estabilidad aumenta cuanto mayor sean el radio de la rueda, la velocidad de giro y el peso de la parte externa de la rueda (neumático y llanta). Por esto, cuando se pedalea a una velocidad elevada, es fácil mantener el equilibrio sin apoyar las manos sobre el manillar. Al pedaleo a bajas velocidades, el equilibrio se mantiene gracias

a pequeños movimientos del manillar de un lado a otro (figura 5). La explicación es sencilla, y es que al ir despacio se produce un mayor desequilibrio (disminuye la acción estabilizadora por la velocidad de giro de las ruedas), por lo que se gira el manillar de un lado a otro generando una fuerza centrífuga en sentido contrario a la que produce el desequilibrio (Sánchez, 1984).

En las curvas entra en juego además otro componente, la fuerza centrífuga. Esta fuerza actúa hacia fuera a lo largo de todo el radio de la curva y su valor depende del peso del sistema bicicleta-ciclista, del radio de la curva y de la velocidad con la que se toma. Para conseguir que esta fuerza no caiga fuera de la base de sustentación (lo que supondría la pérdida del equilibrio), es necesario inclinarse hacia la parte interior de la curva (con un movimiento que será más o menos pronunciado en función de la velocidad) o bien inclinar el suelo. Esto último es lo que se hace en los velódromos, ya que las ve-

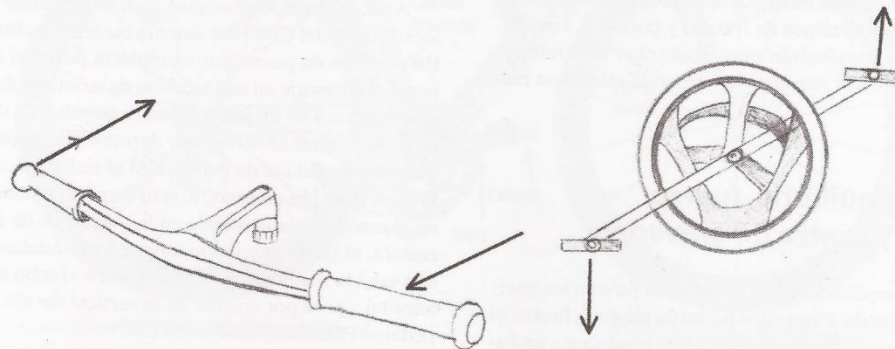


Figura 5. Aplicación de pares de fuerzas en la bicicleta

locidades alcanzadas por los ciclistas son tan grandes que la inclinación necesaria para contrarrestar la fuerza centrífuga comprometería seriamente su estabilidad.

2.2. La dirección y los pedales

En la bicicleta se aplican una serie de fuerzas que actúan sobre un punto o eje fijo. El efecto de dichas fuerzas, conocido como momento de fuerza, va a depender tanto de la magnitud de la fuerza como de la distancia a la que actúa del eje de movimiento. En este sentido, en el manillar y en los pedales se aplican pares de fuerzas para poder conseguir el efecto deseado, se aplica un par de fuerzas sobre el manillar para dirigir la bicicleta y sobre los pedales para pedalear (figura 6). El momento de este par se define como la suma de los momentos de las dos fuerzas que lo forman, es decir, un sistema formado por dos fuerzas de igual magnitud y dirección, pero de sentido contrario.

El efecto de la fuerza realizada dependerá de su magnitud y de su distancia al eje de movimiento. De este modo, teóricamente, para girar el manillar o pedalear con el mínimo esfuerzo posible, sería necesario aplicar las fuerzas lo más alejado del eje posible. Sin embargo, esto no es factible debido a una serie de limitaciones tanto anatómicas, como de comodidad y reglamentarias (normativas ISO y de la UCI).

2.3. La transmisión del movimiento: relación plato-piñón

Aunque se han ideado diferentes sistemas de transmisión del movimiento de los pedales a la rueda (mediante barras, cardán o correa), el sistema más utilizado es la transmisión por cadena. Con este sistema, la cadena se fija al plato y al piñón a través de unas estructuras dentadas que llevan en sus bordes. Cuando los pedales se mueven hacen girar al plato, que arrastra la cadena y hace girar al piñón, transmitiendo el movimiento a la rueda trasera. Al estar todas estas piezas "unidas", el recorrido lineal de la cadena y de los bordes dentados es el mismo, y, por lo tanto, la longitud del arco recorrido es la

misma en las dos ruedas dentadas (plato y piñón) que, al tener distintos radios, provocarán que los ángulos girados por uno y otro sean distintos (Sánchez, 1984).

PUNTO CLAVE

Un mismo trabajo puede ser generado con distintas combinaciones de plato-piñón, de manera que una fuerza grande que se aplica durante un recorrido corto puede producir el mismo trabajo que una fuerza pequeña con mayor recorrido.

El número de dientes de los platos suele oscilar entre 28 y 52, mientras que el de dientes de cada piñón se sitúa entre 13 y 28, con lo que la fuerza aplicada realiza un trabajo que varía según la combinación utilizada. El ratio de marchas es la relación entre el tamaño del plato y el piñón (ratio de marcha = n° de dientes del plato / n° de dientes del piñón). Ratios de marcha mayores resultan en una mayor resistencia al pedaleo, mientras que ratios menores producen una menor resistencia y permiten pedalear a cadencias más elevadas.

2.4. La dinámica

La dinámica estudia las relaciones que se establecen entre las fuerzas, las masas de los cuerpos sobre las que actúan y las aceleraciones, es decir, la implicación de las fuerzas en los cambios de movimiento (ver capítulo 6). Estas relaciones están recogidas por las tres leyes de la dinámica formuladas por Newton en el siglo XVII, y tal como veremos a continuación, pueden verse reflejadas en la bicicleta.

La primera ley de la dinámica o ley de la inercia afirma que, en ausencia de fuerzas exteriores, todo cuerpo continúa en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que actúe sobre él una fuerza que le obligue a cambiar dicho estado. Si el rozamiento no existiese, el ciclista podría mantener el movimiento, una vez iniciado el mismo, sin tener que aplicar ninguna fuerza adicional.

La segunda ley de la interacción de la fuerza mantiene que la fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional al producto de su masa y su aceleración ($F = m.a$), de la que se extrae que, para una misma fuerza, la aceleración será mayor cuanto menor sea la masa del sistema bicicleta-ciclista; de aquí la importancia de buscar la relación adecuada entre ambas variables (fuerza y masa) en función de la disciplina ciclista que se practique.

La tercera ley de acción y reacción dice que por cada fuerza que actúa sobre un cuerpo, éste realiza una fuerza igual pero de sentido opuesto sobre el cuerpo que la produjo. Mediante esta ley se explica por qué se desplaza la bicicleta, y es que, como las ruedas se encuentran fijadas al suelo, al pedalear ejercen una fuerza horizontal que arrastra el pavimento hacia atrás; como el pavimento no cede, se genera una fuerza horizontal en sentido contrario al de las ruedas que hace avanzar la bicicleta.

2.5. El trabajo

Cuando las fuerzas actúan sobre un cuerpo, realizan un trabajo determinado que es el producto de la magnitud de la fuerza por la distancia que recorre el cuerpo, siempre que la dirección y sentido de la fuerza coincidan con la dirección y sentido del desplazamiento.

PUNTO CLAVE

En el caso de la bicicleta, el trabajo realizado por un pedal en una vuelta será el producto de la fuerza aplicada por la longitud de la circunferencia descrita ($W = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$), donde π es la constante, y r el radio de la circunferencia.

Debe tenerse en cuenta que la fuerza aplicada en los pedales es variable (figura 6a). Al principio del ciclo de pedaleo las fuerzas aplicadas son pequeñas y en general dirigidas ligeramente hacia delante; cuando la bici se encuentra en una posición horizontal (90-110°), las fuerzas son mayores y dirigidas casi perpendicularmente a la biela. Por último, durante la fase de recobro, las fuerzas son pequeñas y se dirigen en contra de la dirección de movimiento del pedal, considerándose una fase negativa en el ciclo de pedaleo.

Como en la bicicleta tenemos dos pedales, debe tenerse en cuenta el efecto combinado de las fuerzas aplicadas a cada pedal, es decir, el par neto. Este par neto también varía durante el ciclo de pedaleo (figura 6b), encontrando dos picos que coinciden con la fase de impulso de ambos pedales. El par neto es ligeramente inferior que la fuerza desarrollada en un solo pedal, ya que uno de los pedales

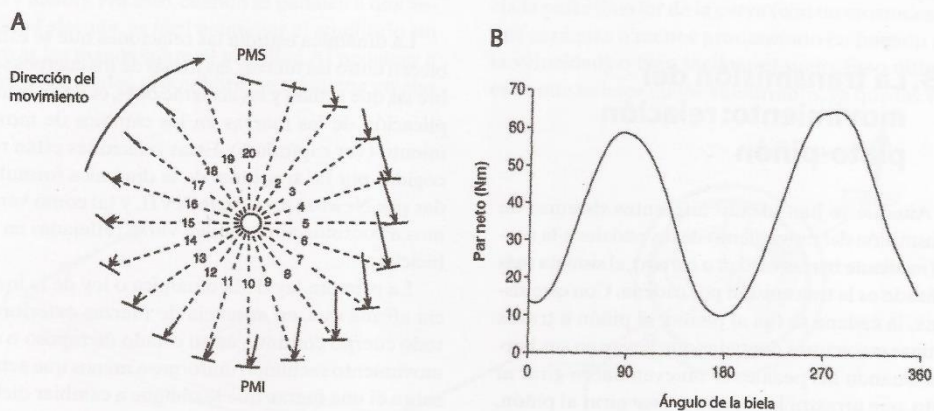


Figura 6. Fuerzas aplicadas en el ciclo de pedaleo (A). Variaciones en el par neto de fuerzas (B). (Broker, 2003). PMS, punto muerto superior; PMI, punto muerto inferior.

se encuentra en fase negativa cuando el otro está desarrollando la mayor fuerza.

Además, suele encontrarse una cierta asimetría en el par neto registrado en el ciclo de cada pedal, que puede deberse a la diferencia en la aplicación de la fuerza tanto durante la fase de impulso como en la fase de recobro. Generalmente, los ciclistas suelen ejercer más fuerza con una de sus piernas durante el pedaleo.

2.6. El trabajo perdido

En la bicicleta no todo el trabajo aplicado por el ciclista se aprovecha y es transmitido a la bicicleta, sino que parte de él se pierde. A continuación veremos cuáles son los responsables de esa pérdida de trabajo y las medidas que pueden adoptarse para evitar dicha pérdida (Sánchez, 1984).

2.6.1. La energía cinética de rotación

La energía cinética de rotación sirve para mantener la estabilidad, pero también puede considerarse como una pérdida de energía que no se emplea en la traslación. Como la energía cinética de rotación guarda una relación directa con la masa de la rueda, para evitar que aumente demasiado, es necesario que la masa sea la menor posible (siempre teniendo en cuenta las limitaciones existentes según el modelo de bicicleta).

2.6.2. El rozamiento

En la bicicleta existen diferentes partes móviles con superficies en contacto sobre las que pueden aparecer fuerzas, causadas por las irregularidades de sus superficies, que dificulten su movimiento. Por ello es importante realizar un mantenimiento periódico de elementos como la cadena o el eje de movimiento de los pedales. En el caso de la cadena, además del buen estado de conservación, es necesario que exista un perfecto acoplamiento con los dientes del plato y los piñones, ya que el trabajo perdido en el roce de la cadena puede llegar al 5% del trabajo total aplicado.

Al variar las características del terreno por el que se pedalea, cambian las características de las superficies y con ello también los coeficientes de rozamiento. Esta resistencia puede tener una gran influencia sobre la potencia producida a bajas velocidades y, además, está relacionada de forma inversa con el radio de la rueda (Faria *et al.*, 2005).

2.6.3. La resistencia del aire

Al desplazarse, el ciclista se encuentra con una resistencia al avance, la resistencia del aire, que guarda una relación directa con la velocidad, con la superficie y con la forma del conjunto. La resistencia del aire es proporcional al cubo de la velocidad, por lo que es el principal factor que condiciona el gasto de energía a altas velocidades (Faria *et al.*, 2005). Además, si el aire se mueve con relación al ciclista puede aumentar la resistencia en caso de que vaya en contra, o disminuirla si va a favor. Este apartado se ampliará más adelante.

2.7. La potencia

La potencia mecánica entregada por el ciclista es la cantidad de energía mecánica producida por segundo, es decir, el trabajo realizado por unidad de tiempo. Generalmente se expresa en julios/segundo o en vatios (W) y, en el caso de los motores de vehículos, suele hablarse de caballos de potencia (1 caballo = 600 W).

PUNTO CLAVE

Muchos ciclistas pueden alcanzar picos de potencia de 600 a 1.200 W en un esprint y los esprinters de élite pueden producir hasta 2.300 W; las sesiones de rodaje suelen moverse entre 100 y 200 W.

La máxima producción de potencia ($W_{m\acute{a}x}$) suele utilizarse como una medida para evaluar el rendimiento del ciclista, utilizándose para ello un test incremental en el que la carga va aumentando en un tiempo determinado hasta que el ciclista no pue-

de continuar; la carga de trabajo en ese punto se considera la W_{max} .

En el laboratorio puede medirse utilizando un cicloergómetro, mientras que durante los rodajes e incluso las pruebas ciclistas pueden emplearse medidas directas (figura 7) a través de potenciómetros como el LooK MaxOne® (A), sensores de potencia en pulsómetros Polar Cs600® (B), sistema Ergomo® (C), potenciómetros de rueda Power Tap® (D) y finalmente el más empleado en la actualidad, tanto en entrenamiento como en competición, el SRM® (Schoberer Rad Messtechnik) (E). El más popular es el SRM®, que permite conocer en el momento y de forma continua la potencia que está desarrollando el ciclista, existiendo modelos que proporcionan también datos relacionados con la velocidad o con la distancia recorrida. Su éxito viene dado por su gran precisión, simplicidad en el uso, su solidez ante terrenos irregulares y su gran adaptabilidad a diferentes tipos de bicicletas; no obstante, presenta una serie de inconvenientes, además del elevado precio, como la necesidad de utilizar unas bielas determinadas y su peso (entre 700 y 850 g).

2.8. La eficiencia del pedaleo

Uno de los principales determinantes del rendimiento en ciclismo es la eficiencia mecánica del pedaleo. Existen varios cálculos relacionados con la eficiencia/economía del pedaleo, siendo utilizado generalmente el de la eficiencia bruta, que puede definirse como la relación entre el trabajo realizado y la energía utilizada (Faria *et al.*, 2005). En este sentido, nuestro organismo no tiene una eficiencia mecánica del 100%, ya que sobre el 75-90% de la energía producida se disipa en forma de calor, mientras que sólo se aprovecha un 10-25%. Este

apartado será explicado con más detalle en puntos posteriores del capítulo.

PUNTO CLAVE

En el mejor de los casos, el 25% de la potencia generada por los músculos se transfiere a la bicicleta, es decir, por cada Julio de energía entregado a la bicicleta, los músculos del ciclista deben producir 4.

3. PRINCIPALES ÁREAS DE INTERÉS DE LA BIOMECÁNICA EN EL CICLISMO

En la actualidad, la investigación biomecánica en este deporte está ganando bastante importancia, persiguiéndose el objetivo de conseguir una posición en la bicicleta lo más aerodinámica y eficiente posible. La posición correcta en la bicicleta está influida por varios factores: la eficiencia mecánica y la máxima potencia desarrollada, la disminución de las resistencias y el confort.

Los dos primeros factores son los que más atención han recibido en la investigación en biomecánica deportiva, siendo abordada desde la vertiente más relacionada con el deporte y la competición, es decir, aquella que ve la bicicleta como un instrumento para poder alcanzar el mayor rendimiento y las mejores ventajas mecánicas posibles, evaluando generalmente variables de rendimiento fisiológicas y biomecánicas. Existen dos formas básicas de estudio que han sido llevadas a cabo en la

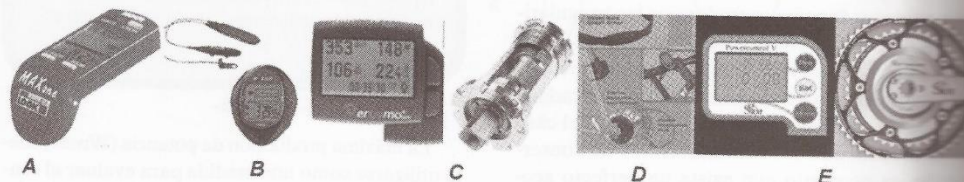


Figura 7. Sistemas de medición directa de potencia en ciclismo (Pérez *et al.*, 2010).

literatura científica: la optimización analítica (*analytical optimization analysis*) y las pruebas de rendimiento humano (*human performance testing*) (Gonzalez y Hull, 1989).

En la optimización analítica, las medidas de rendimiento toman la forma de funciones de coste objetivas que deben ser maximizadas o minimizadas en función de la variable, para desarrollar modelos matemáticos que permiten abordar el problema desde una perspectiva multivariable. Por otro lado, las pruebas de rendimiento humano tratan de evaluar el efecto de una serie de variables biomecánicas sobre medidas de rendimiento como el consumo de oxígeno (VO_2) o la frecuencia cardíaca. La optimización de variables biomecánicas y fisiológicas ocurre cuando la transferencia de energía desde el cuerpo humano hasta la bicicleta también se optimiza.

Los estudios sobre confort no son tan abundantes, siendo muchos de ellos estudios epidemiológicos y descriptivos. Al utilizar la bicicleta como medio de transporte o en actividades como el ciclismo recreativo, el confort cobra una mayor importancia frente al rendimiento; no obstante, el estudio del confort ha estado siempre relegado a un segundo plano en la investigación, principalmente

centrada en la eficiencia mecánica y el rendimiento.

A continuación veremos con más detalle cada uno de estos 3 factores que determinan la posición del ciclista en la bicicleta.

4. LA EFICIENCIA EN EL PEDALEO Y LA MAXIMIZACIÓN DE LA POTENCIA

Junto con la posición sobre la bicicleta, la pedalada es una de las acciones técnicas más importantes que determinan el rendimiento. Se trata de una acción de carácter cíclico, basada en una cadena cinética cerrada y/o empuje. Generalmente se emplea la trayectoria de la biela como elemento de referencia para definir las fases de pedaleo, comprendiendo un ciclo de pedal la circunferencia delimitada por el giro de la biela. En cuanto a la nomenclatura de las fases, existen diversas opciones, pudiéndose describir tantas como fracciones de circunferencia recorre la biela (figura 7). En este sen-

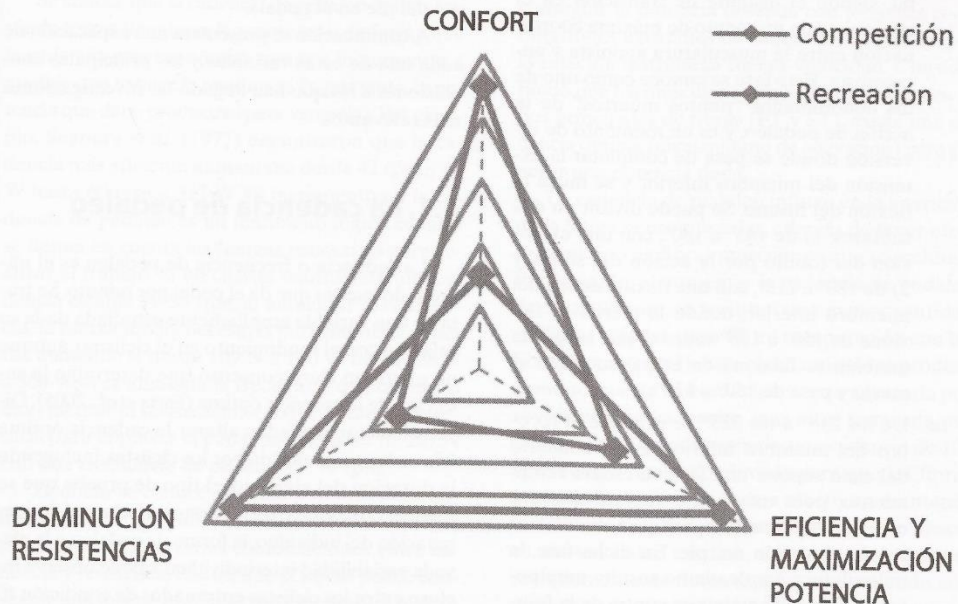


Figura 8. Factores determinantes de la posición del ciclista.

tido, una clasificación bastante sintética podría ser aquella que durante las fases del pedaleo diferencia dos fases de punto muerto (superior-biela 0° e inferior-biela 180°), una fase activa donde aproximadamente se produce la mayor potencia (anterior-biela 90°) y finalmente la fase de recobro (posterior-biela 270°) antes de reanudar nuevamente el ciclo de pedaleo. En cuanto a la participación de los diferentes grupos musculares en las articulaciones más determinantes durante el pedaleo (coxo femoral, rodilla y tibiotarsiana), según la posición que ocupa la biela, se observa (Pérez *et al.*, 2010):

- De los 20° a los 145°, se produce la extensión del muslo gracias a la acción del glúteo mayor, tensor de la fascia lata e isquiotibiales. La extensión de la pierna se debe a la acción de los cuádriceps por medio del vasto externo y el crural. La extensión del pie se produce por la acción del tríceps sural con la colaboración de los grupos retromaleolares (interno y externo). Durante esta fase se produce la mayor cantidad de potencia del ciclo de pedaleo en el momento descendente.
- De los 145° a los 215°, se observa cómo el pedal pasa de la fase oblicua a la horizontal, siendo el instante de transición en el cual existe un momento de máxima coordinación entre la musculatura agonista y antagonista. Esta fase se conoce como uno de los denominados “puntos muertos” de la acción de pedaleo, y es un momento de inversión donde se pasa de completar la extensión del miembro inferior y se inicia la flexión del mismo. Se puede dividir en dos subfases: 1) de 145° a 180°, con una extensión del tobillo por la acción del sóleo, y 2) de 180° a 215°, con una flexión activa del miembro inferior, donde la pierna se flexiona de 150° a 135° sobre el pie; la rodilla también se flexiona en este caso sobre el muslo y pasa de 150° a 125°.
- De los 215° a los 325°, se produce el recobro del miembro inferior. Este momento del ciclo supone una fase de escaso rendimiento, pues existe una subfase activa y otra pasiva, donde se producen movimientos de elevación del pie. En dicha fase, la musculatura empleada no resulta muy potente, debiendo actuar en contra de la fuerza de la gravedad. El pie en este momento

flexiona 15° el tobillo. La flexión del muslo se realiza mediante la acción del psoasiliaco, el recto anterior y el sartorio. La pierna se flexiona mediante la activación de los músculos isquiotibiales, poplíteos y bíceps femoral. De esta forma el pie se flexiona gracias a la acción del tibial anterior, el extensor común de los dedos y el extensor propio del primer dedo.

- Finalmente, la última parte del pedaleo es similar a la fase descrita como transición, en este caso de la fase de recobro a la fase de empuje, produciéndose en este momento un corto período de punto muerto. En esta fase, la amplitud de movimientos de la rodilla y de la cadera es mínima, mientras que la del pie es bastante grande al pasar de estar extendido a 140° a una flexión de 105°.

Entre las variables más importantes que afectan el pedaleo y/o la postura del ciclista, y con ello la transferencia de energía desde el cuerpo humano hasta la bicicleta, destacan (Gonzalez y Hull, 1989): la cadencia de pedaleo, la altura del sillín, el ángulo del tubo del sillín, la longitud de la biela y la interfaz pie-pedal (sobre todo la posición longitudinal del pie en el pedal).

A continuación se presentará una explicación de cada una de estas variables y las principales conclusiones a las que han llegado las investigaciones más relevantes.

4.1. La cadencia de pedaleo

La cadencia o frecuencia de pedaleo es el número de vueltas que da el pedal por minuto. Se trata de una variable ampliamente estudiada dada su relación con el rendimiento en el ciclismo, aunque no existe un claro consenso que determine la selección de la cadencia óptima (Faria *et al.*, 2005). Diversos factores pueden alterar la cadencia óptima o la cadencia preferida por los ciclistas, incluyendo la duración del ejercicio, el tipo de prueba que se realice (de campo o de laboratorio), el nivel de preparación del individuo, la forma de pedaleo o la elevada variabilidad interindividual, que se observa incluso entre los ciclistas entrenados de condición física similar (Lucia *et al.*, 2003).

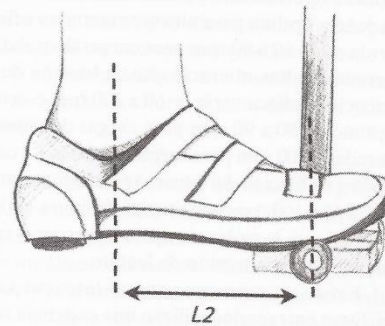
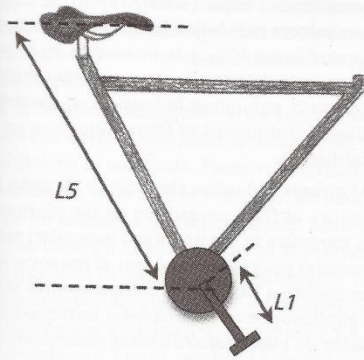


Figura 9. Variables que afectan la transferencia de energía desde el cuerpo humano hasta la bicicleta (Gonzalez y Hull, 1989).

Se conoce que la cadencia de pedaleo óptima varía de forma lineal con la resistencia, de forma que la cadencia más económica tiende a incrementar a medida que lo hace la resistencia (y, por tanto, la potencia que debe producirse para vencerla). Por ejemplo, Seabury *et al.* (1977) encontraron que la cadencia más eficiente aumentaba desde 42 rpm a 40 W hasta 60 rpm a 327 W. El incremento en la cadencia de pedaleo es un fenómeno lógico cuando se tienen en cuenta las fuerzas necesarias para realizar el trabajo. Si un ciclista mantuviera una cadencia estable de 50 rpm, al aumentar la resistencia, la fuerza media necesaria para impulsar el pedal aumentaría desde 109 N a 100 W hasta 328 N a 300 W; si se aumenta la frecuencia de pedaleo al incrementar la resistencia, a 300 W la fuerza necesaria para impulsar el pedal pasaría a ser de 207 N con una frecuencia de pedaleo de 79 rpm.

También se conoce que una potencia determinada puede conseguirse con diferentes cadencias, por lo que existen varias combinaciones entre cadencia y resistencia con las que el sujeto puede conseguir una misma potencia. Sin embargo, el mismo nivel de activación muscular no es suficiente para

conseguir la potencia deseada con todas las combinaciones existentes de cadencia-resistencia, por la relación intrínseca fuerza-velocidad. Considerando que los músculos están compuestos de dos tipos principales de fibras (FT y ST), existe una cadencia óptima (nivel mínimo de activación) para generar una potencia dada.

La cadencia de pedaleo influye en la aparición de la fatiga neuromuscular, además de tener efecto en el tipo de fibras musculares que se reclutan. Por ejemplo, al aumentar la cadencia de pedaleo de 50 a 100 rpm, se reclutan una menor cantidad de fibras rápidas (tipo II) en comparación con las fibras lentas (tipo I). Este reclutamiento se produce como respuesta a la reducida fuerza necesaria por revolución en cadencias más altas para una potencia dada. En consecuencia, una cadencia de 100 rpm no es demasiado elevada para que las fibras lentas contribuyan de forma efectiva a mantener la velocidad, de forma que mientras no se alcance una velocidad máxima, el ciclista minimizará el reclutamiento de fibras rápidas manteniendo una elevada cadencia con una baja resistencia, con menos dependencia de las fibras rápidas, evitando así

la aparición prematura de la acidosis (Faria *et al.*, 2005).

La figura 10 muestra la relación potencia-cadencia para el mismo nivel de activación (Mc Intosh *et al.*, 2000).

La cadencia de pedaleo óptima se ha estudiado en función de diferentes variables cardiorrespiratorias, la producción y eliminación de lactato o el esfuerzo percibido. Así, en ciclistas entrenados, la cadencia óptima para alcanzar la mayor eficiencia bruta es de 60 a 80 rpm para cargas de trabajo moderadas o altas, mientras que en función de la frecuencia cardíaca varía de 60 a 100 rpm con un pico óptimo de 80 a 90 rpm para cargas de bajas a moderadas y 100 rpm para cargas elevadas. La cadencia óptima en función del esfuerzo percibido se encuentra entre 60 y 100 rpm, con un pico óptimo a las 80 rpm, al igual que la cadencia óptima para prevenir una elevada concentración de lactato.

Existe un consenso general respecto a que los ciclistas entrenados utilizan una cadencia relativamente mayor (>90 rpm) y son más eficientes a cadencias más elevadas. Lucia *et al.* (2003) presentan una serie de ventajas/desventajas teóricas en función de la cadencia, destacando que:

- En cadencias bajas (< 60-70 rpm), se registran valores más bajos en cuanto a frecuencia cardíaca y VO_2 , y la economía en el pedaleo y la eficiencia son mayores. Por el contrario, aumentan la tensión en los músculos y disminuyen el flujo sanguíneo en el cuádriceps.
- Al utilizar cadencias elevadas (> 90 rpm), se mejora el flujo sanguíneo en las piernas y se minimiza la tensión local muscular; estas ventajas podrían compensar el mayor coste en cuanto a VO_2 de las cadencias más altas y explicar por qué los ciclistas entrenados, a pesar de ello, prefieren estas cadencias.

4.2. La altura del sillín

La altura del sillín puede definirse como la distancia desde el eje de pedalier hasta la superficie del sillín (medida a lo largo del tubo del sillín), o bien la distancia del punto más alto del sillín a la superficie del pedal (medida a lo largo del tubo con la biela en la posición más baja y paralela al tubo).

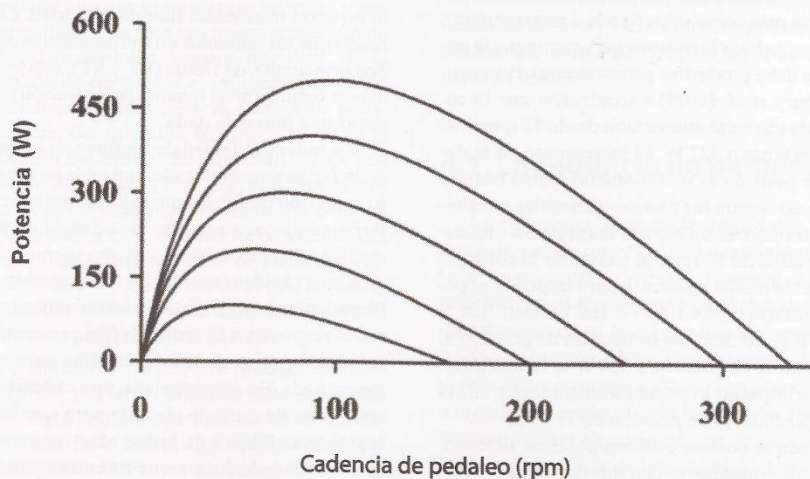


Figura 10. Relación potencia-cadencia para el mismo nivel de activación muscular. Cada línea representa el mínimo nivel de activación muscular requerido para conseguir la potencia deseada. El modelo también ilustra que hay una única cadencia en la que esta mínima activación puede generar la potencia deseada. (Modificado de McIntosh *et al.*, 2000).

La altura del sillín ha sido ampliamente estudiada en la literatura especializada, puesto que su manipulación resulta en alteraciones del rango de movimiento de cadera, rodilla y tobillo, así como en las velocidades angulares de los segmentos corporales que constituyen estas articulaciones y, en definitiva, en la pedalada. Estas variaciones afectan, además, las velocidades y el rango de acortamiento de los músculos que cruzan dichas articulaciones, lo que tiene un efecto directo en la producción de energía y, en determinadas ocasiones, en el desencadenamiento de lesiones por sobrecarga; dado que un ciclista que pedalea a 90 rpm realiza 5.400 ciclos de pedaleo en 1 hora, una altura de sillín incorrecta podría ocasionar una gran tensión en la rodilla y provocar la aparición de lesiones como la condromalacia.

La flexión y extensión de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo debe ocurrir dentro de ciertos límites para obtener una elevada producción de potencia al tiempo que se mantiene un movimiento de pedaleo sin interrupciones. Al cambiar la longitud del sillín, se cambia el rango de los ángulos articulares durante el ciclo de pedaleo, provocando: (1) un cambio relevante del estiramiento o acortamiento de los músculos implicados en el movimiento, de forma que cambia su comportamiento en la curva tensión-longitud del músculo, y (2) un cambio en los brazos de palanca con los que traccionan los músculos. Estos dos cambios dan lugar a modificaciones en las denominadas "curvas de fuerza" de las articulaciones (Hay, 1992), lo que puede implicar un incorrecto aprovechamiento del momento de fuerza generado por las articulaciones.

La determinación de la altura óptima del sillín supone encontrar el equilibrio entre la efectividad (producción de energía/suministro de energía) y la eficiencia (suministro de energía/uso de energía). A lo largo de las últimas cuatro décadas se han desarrollado una serie de métodos científicos y otros de tipo empírico para el establecimiento de la altura óptima del sillín. Entre los métodos empíricos o de observación, el más simple y rápido es la estimación a partir de la longitud de la pierna: el ciclista pedalea sobre un rodillo, sentado en la parte central del sillín, en una posición en la que se encuentre cómodo; pasados unos minutos, coloca los talones en el pedal y pedalea hacia atrás, de forma que la altura de sillín debe fijarse en el punto en que los talones mantienen el contacto con los pedales

sin que se produzca un excesivo balanceo de las caderas cuando el ciclista alcanza el punto muerto inferior.

Por su parte, en la literatura científica, la altura óptima de sillín se ha estudiado basándose en la producción de potencia, el VO_2 y el consumo calórico. Para su determinación se han empleado dos medidas anatómicas, que son la altura trocántera (distancia medida desde el suelo hasta el trocánter mayor del fémur) y la altura de la sínfisis púbica o longitud de entrepierna (distancia desde el suelo a la sínfisis púbica). Entre las diferentes medidas para regular la altura de sillín destacan (Zarzo, 2008):

- A. El método de Hamley y Thomas (1967). Consiste en multiplicar la longitud de entrepierna por 1,09, tomada con el calzado que utiliza normalmente el ciclista. El número resultante sería la altura óptima de sillín, que se mediría desde la superficie del pedal hasta la superficie del sillín. Años más tarde, Nordeensnyder, utilizando el VO_2 como medida de eficiencia durante la realización de ejercicio aeróbico, comprobó que la altura óptima de sillín era el 107% de la longitud de entrepierna, obteniendo unos resultados muy similares a los de Hamley y Thomas. De este modo, la posición del sillín al 109% de la longitud de entrepierna determinada por Hamley y Thomas puede considerarse como la "altura máxima de sillín", mientras que la longitud del 107% que estableció Nordeensnyder sería la "altura de sillín óptima", ya que permitía mantener una elevada producción de potencia durante mayor tiempo.
- B. Van der Plas (1986) utilizó la longitud de los segmentos óseos de pierna y pantorrilla. Su método consistía en medir, con el ciclista de pie, apoyado en una pared y las piernas ligeramente separadas, la longitud desde el trocánter mayor hasta el cóndilo femoral externo (L1) y la longitud desde el maléolo externo hasta el cóndilo externo (L2). La altura del sillín se calcula con la fórmula: $(L1+L2) \cdot 0,96$.
- C. El ciclista Greg Lemond, ganador del Tour de Francia en 3 ocasiones, también estableció un método para determinar la altura óptima de sillín. Este procedimiento consistía en multiplicar la longitud de entrepierna por

0,883. Esta medida se aplicaría desde el eje de pedalier hasta la superficie del sillín.

D. Por su parte, Holmes propuso en 1994 un método de determinación de la altura óptima de sillín para reducir el riesgo de lesiones por sobrecarga basado en el rango de movimiento de la rodilla. Según estos autores, la altura de sillín ideal es aquella que, con el pedal en la posición más baja posible, permite un movimiento de 25 a 30° de la pierna extendida (figura 11). Para medir este ángulo se toman como referencia el trocánter mayor del fémur, el cóndilo externo y el maléolo externo de la pierna extendida.

Recientemente, Peveler y colaboradores compararon la producción de potencia anaeróbica entre el método de Hamley y el de Holmes, en sujetos entrenados y no entrenados. Tras el análisis de los resultados obtenidos recomiendan, basándose

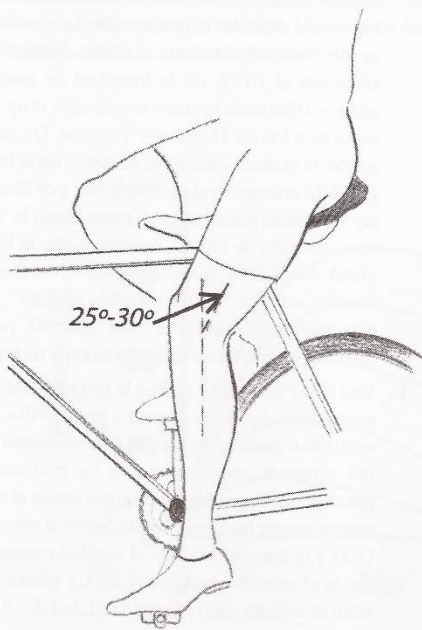


Figura 11. Método de Holmes para determinar la altura óptima de sillín (Burke, 1994).

tanto en criterios de rendimiento como de prevención de lesiones, que la altura del sillín se determine de forma que el ángulo de rodilla se encuentre entre 25° y 35°, preferiblemente más cercano a 25°. Posteriormente examinaron el efecto de la altura de sillín en la producción de potencia aeróbica usando ambos métodos, recomendando que la altura de sillín se determine utilizando un ángulo de rodilla de 25° para mejorar el rendimiento y evitar la aparición de lesiones por sobreesfuerzo.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que todos estos métodos suponen una estimación, y tras realizar un ajuste inicial, el ciclista debe decidir según sus propias sensaciones si es apropiado realizar ligeros ajustes, recomendándose que estos ajustes se lleven a cabo con pequeñas variaciones de 6 mm (Mellion, 1991)

Las consecuencias derivadas de un ajuste incorrecto del sillín inciden en:

- A. Si se incrementa la altura del sillín, se produce un aumento en la extensión de la rodilla y el tobillo; la flexión plantar del tobillo aumenta cerca del punto más bajo del ciclo de pedaleo para prevenir que la rodilla se extienda completamente. Una vez que la altura de sillín supera la longitud trocántrea, la flexión plantar ya no puede compensar la extensión de pierna requerida en la parte más baja del ciclo, por lo que se produce una inclinación lateral de la pelvis para ganar longitud de pierna. La utilización de los grandes grupos musculares requeridos para el movimiento pélvico adicional produce un incremento en el gasto cardiorrespiratorio, lo que significa una pérdida importante de eficiencia.
- B. La mayor o menor actividad muscular también puede verse afectada por las variaciones en la altura del sillín, de forma que la actividad muscular en el cuádriceps e isquiotibiales es mayor cuando el sillín está más bajo.

Por ello, se recomienda que el ángulo de rodilla en el punto muerto inferior del pedal sea de 150°, mientras que en el punto muerto superior, nunca debe ser inferior a 65°. La flexión plantar óptima del pie en el punto muerto inferior que permite una competencia óptima de los flexores de tobillo es de aproximadamente 13° (de Vey Mestdag, 1998).

4.3. El ángulo del tubo del sillín

El ángulo del tubo del sillín (ATS) se define como la posición del sillín relativa al eje de pedalier de la bicicleta (figura 9). Los ciclistas de carretera prefieren valores entre 72° y 76°, moviéndose en un rango de 73.2° para los ciclistas de mayor altura hasta los 78.5° para aquellos de menor tamaño (Faria *et al.*, 2005). Los triatletas se decantan por ángulos ligeramente superiores, entre 76° y 78°, e incluso ángulos más cercanos a la vertical, ya que atenúan los cambios negativos en la respuesta fisiológica y cinemática durante la transición bicicleta-carrera a pie y la siguiente fase de carrera.

Diversos estudios han evaluado el impacto del cambio del ATS sobre determinadas variables fisiológicas, destacando entre sus principales conclusiones:

- Un ATS de 69° perjudica las variables cardiorrespiratorias (VO_2 , frecuencia cardíaca y ventilación), mientras que los ATS de 76°, 83° y 90° producen respuestas similares; curiosamente, los ángulos menores de 76° eran los preferidos por los ciclistas.
- Un incremento del ATS de 72° a 82° permite a los ciclistas mantener la producción de potencia mientras se reduce la activación muscular del bíceps femoral.
- Aumentando el ATS se extienden más las caderas, permitiendo una posición del cuerpo más elevada y hacia delante, que resulta en un descenso de la resistencia del aire a velocidades elevadas.

Basándonos en estos hallazgos, parece ser que incrementando el ATS se mejora la eficiencia en el pedaleo. No obstante, los estudios de optimización biomecánica han demostrado que el ajuste óptimo de la bicicleta depende de más de una variable y que estas variables están relacionadas e interactúan entre sí (Gonzalez y Hull, 1989). Estos mismos autores determinaron, por ejemplo, que el ángulo óptimo del tubo del sillín variaba dependiendo de la longitud de la pierna y de la cadencia; aumentando la longitud de la pierna, el ángulo óptimo disminuía de 78° a 73°, mientras que la cadencia óptima decrecía de 120 a 100 rpm.

4.4. La longitud de la biela

La longitud de la biela es la distancia comprendida desde el centro del eje de pedalier hasta el centro del eje de giro del pedal (figura 9). Esta variable influye de forma importante en la máxima producción de potencia, relacionándose la longitud óptima de la biela con la longitud de la pierna.

La longitud de la biela determina el tamaño de la circunferencia que describe el pie durante el pedaleo y, con ello, el grado de flexo-extensión de rodilla y cadera y el movimiento vertical necesario para un ciclo de pedaleo. Es por ello que la utilización de una biela excesivamente larga puede ocasionar diversos problemas al ciclista; por ejemplo, si un ciclista utiliza una biela mayor de la que le correspondería, la flexión de rodilla y cadera aumentaría en el punto muerto superior aunque la altura del sillín fuera la correcta, pudiendo causar molestias y discomfort (Burke, 1994). Tradicionalmente, se han venido utilizando bielas más largas (de 170 a 180 mm) para conseguir una mayor palanca durante la escalada, mientras que las bielas más cortas (de 160 a 170 mm) se emplean para obtener mayores cadencias de pedaleo y una aceleración más rápida. Buttars (1982) describió una fórmula para determinar la longitud de la biela, consistente en multiplicar la distancia en milímetros desde el suelo al trocánter mayor por 0,185; si el número que resulta de la fórmula está entre dos longitudes, se recomienda escoger la biela más corta. Por su parte, Martín y Spirduso (2001) establecen como longitud óptima el 20% de la longitud de la pierna o el 41% de la longitud de la tibia.

Una propulsión efectiva implica la transmisión de grandes fuerzas durante la fase hacia abajo del pedaleo, mientras se evita un descenso exagerado en la fuerza aplicada durante el punto muerto existente en el ciclo de pedaleo. Ésta ha sido una de las líneas de investigación abiertas para la optimización del pedaleo en los últimos años, de forma que se han diseñado diferentes adaptaciones de la biela, de los platos, o de ambos. Estas adaptaciones se han realizado buscando (García-López *et al.*, 2007):

- Aumentar el par motor de la biela, o la distancia del eje del plato al punto de aplicación de la biela en la fase de impulso, sobre todo entre los 90° y 110°, para incrementar el momento de fuerza.

- Disminuir la velocidad relativa de la biela en la fase de impulso (0° - 180°) para alargar el tiempo de aplicación de la fuerza.
- Aumentar la velocidad relativa de la biela en el punto muerto superior y/o inferior para minimizar el tiempo durante el que no se aplica fuerza efectiva.

Así, diversos estudios han intentado ajustar la longitud de la biela durante el pedaleo para aumentar la eficiencia de la bicicleta. Zamparo *et al.* (2002) utilizaron un mecanismo que reducía la longitud durante la fase de recobro mientras aumentaba la longitud durante la fase de empuje. Este sistema no afectaba el rendimiento en bajas intensidades, pero sí se observaron los efectos en intensidades elevadas (250-300 W), en las que el VO_2 resultó ser significativamente inferior y la eficiencia fue un 2% mayor.

Recientemente ha empezado a comercializarse un dispositivo conocido con el nombre de *bike power saver (BPS)*, que cambia el ángulo de las fuerzas aplicadas durante el pedaleo y reduce la fase negativa, haciendo que, teóricamente, el pedaleo sea más efectivo (figura 12). Los resultados obtenidos indican que el BPS no altera el movimiento de cadera y rodilla de forma significativa, pero sí el del tobillo. Esta alteración del movimiento conduce a

un incremento de la actividad muscular, y por ello del gasto energético de los principales músculos, resultando en consumos mayores que las bicicletas convencionales (Shan, 2008).

Otros investigadores, buscando la mejora de la eficiencia energética y la producción de potencia, han adoptado estrategias como variar la forma circular del plato o la longitud de las bielas durante el ciclo de pedaleo; de este modo, han aparecido sistemas de pedaleo no circulares (figura 13), como el sistema *Eng90*, *Eng10*, *Biopace*®, *O'Symetric*®, el sistema *Rotor*® o el *Q-Ring*® (para revisión ver García-López *et al.*, 2007). Los estudios realizados con este tipo de sistemas no parecen mejorar la eficiencia energética al pedalear a una potencia constante durante un ejercicio de larga duración, pero sí pueden hacerlo en pruebas de corta duración o potencia.

También existen sistemas de pedaleo que se utilizan en el entrenamiento, como es el caso del *Power Crank*®. Se basa en el movimiento independiente de los pedales y permite, por un lado, reducir el movimiento de pedaleo para que las fuerzas aplicadas por ambas piernas sean similares (normalmente se "empuja" más con una pierna), y por otro, la utilización de los grupos musculares para recoger la pierna durante el recobro, ya que la biela no sube por acción del otro pedal al funcionar de forma independiente.

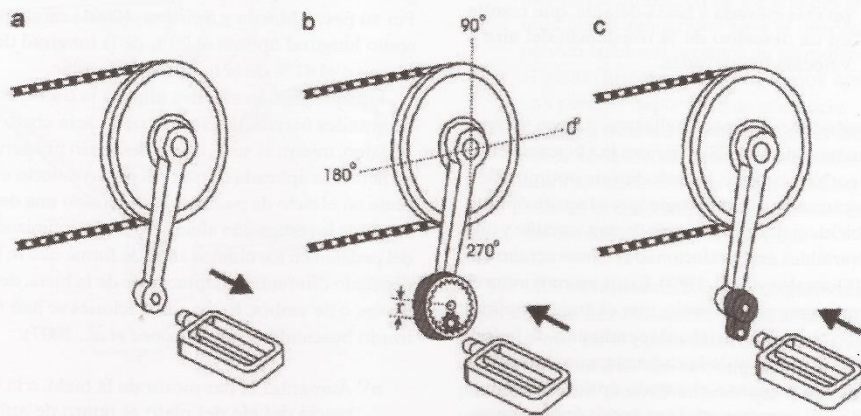


Figura 12. Modificaciones del sistema pedal-biela: a) sistema convencional, b) sistema ideado por Zamparo *et al.* (2001) y c) modificación del BPS (Shan, 2008).

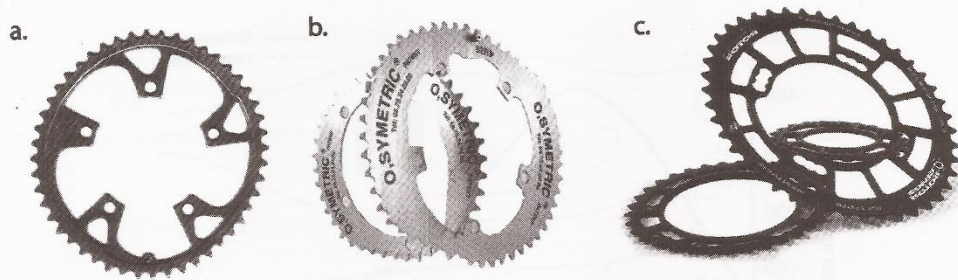


Figura 13. Sistemas no circulares. a, Biopace, b, O'Symetric y c, Q-Ring.

4.5. La interfaz pie-pedal

De entre todas las modificaciones que pueden hacerse a la bicicleta, el pedal es un elemento que ha recibido una gran atención, puesto que es el punto de contacto entre el ciclista y la bicicleta donde se produce la transferencia de energía. La posición más comúnmente aceptada para el pedaleo es aquella en la que la cabeza del primer metatarsiano se encuentra alineada con el eje de giro del pedal. El tipo de calzado también es un factor importante a considerar, ya que cuanto más gruesa y flexible sea una suela, habrá más zona muerta y menos sensibilidad en el pedaleo (según el grosor de la suela debe modificarse también la altura del sillín).

La mecánica del pedaleo implica la transferencia de fuerza desde los músculos de la pelvis y miembro inferior, a través del pie, hacia la superficie del pedal. Para la cuantificación de dichas fuerzas suelen utilizarse pedales instrumentados, que pueden ser de tres tipos: 1) formados por una galga extensométrica; 2) formados por un transductor piezoelectrico entre dos superficies rígidas, y 3) formados por un sistema eje-galga extensométrica entre la biela y el pedal (Broker, 2003). Las fuerzas que registran suelen medirse y describirse en términos de sus componentes: el componente normal de la fuerza actúa de forma perpendicular al pedal, mientras que el componente tangencial lo hace paralelo a la superficie del pedal; conociendo el ángulo del pedal respecto a la biela, ambos componentes pueden transformarse en componentes efectivos e inefectivos. El componente efectivo actúa de forma perpendicular a la biela y la mueve duran-

te el ciclo de pedaleo; el componente inefectivo actúa de forma paralela a la biela y no produce trabajo útil (Broker, 2003). En la figura 14 podemos ver los componentes normal y tangencial medios durante el ciclo de pedaleo.

Diversas investigaciones han intentado mejorar las fuerzas aplicadas durante la acción del pedaleo introduciendo diferentes diseños de pedal. Dentro de estos rediseños del pedal encontramos, por ejemplo, el pedal Vista®, en el que el punto de apoyo se adelanta 18 mm y la superficie del pedal tiene una hendidura de 20 mm con respecto a un pedal convencional. Los resultados observados tras su puesta a prueba indicaron que este nuevo pedal mejora la máxima producción de potencia a cualquier cadencia entre 40 y 120 rpm.

En cuanto a la utilización de diferentes formas de fijación del calzado al pedal, se ha comprobado que el momento de fuerzas sobre la biela es significativamente superior cuando se usa calzado de suela fina en lugar de calapiés, por lo que la utilización de calapiés puede retrasar la aparición de fatiga en el cuádriceps.

La elección del tipo de calzado, como ya hemos dicho, también es fundamental a la hora de evitar posibles lesiones y molestias. Existen trabajos publicados que hablan de una isquemia localizada, parestesia y metatarsalgia como problemas frecuentes entre los ciclistas, lesiones que se ven favorecidas por una presión local elevada en el pie. El material de fabricación del calzado es un elemento a tener en cuenta, ya que la incapacidad de determinados tipos de calzado para doblarse bajo determinadas cargas puede incrementar la presión

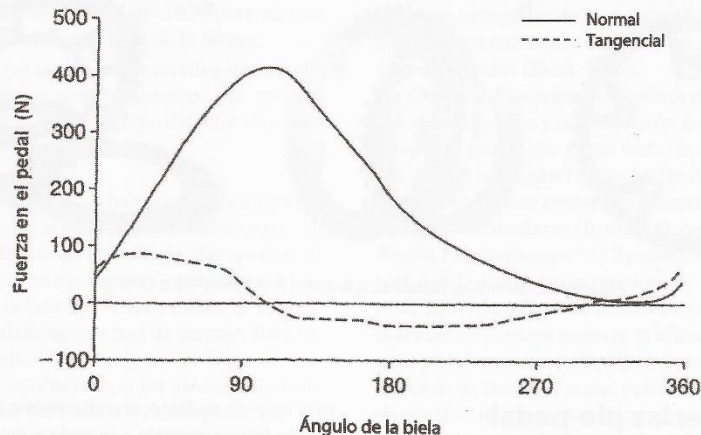


Figura 14. Componentes normal y tangencial medios durante el ciclo de pedaleo (Broker, 2003).

plantar y provocar de esta manera problemas en el pie, al igual que ocurre en otras disciplinas deportivas.

PUNTO CLAVE

Existen diferentes métodos para regular los componentes de la bicicleta y con ello obtener una posición efectiva para el pedaleo. Estos métodos suponen una estimación, y tras un ajuste inicial, el ciclista debe decidir según sus propias sensaciones: la medida definitiva se obtiene pedaleando.

5. LAS RESISTENCIAS

5.1. La resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica es el principal factor que determina el coste energético de pedaleo a altas velocidades, ya que es proporcional al cuadrado de la velocidad. Al pedalear a velocidades mayores

de 50 km/h, la resistencia aerodinámica es la variable que más influencia tiene en el rendimiento (Kyle, 2003).

Se puede reducir esta resistencia adoptando una forma que se mueva de forma eficiente a través del aire.

La eficiencia aerodinámica de un cuerpo viene dada por el coeficiente de arrastre (C_x), de manera que cuanto mayor es el coeficiente, mayor es la fuerza de arrastre; así, por ejemplo, las formas con bordes afilados o con formas rectangulares (como los pedales o las bielas) tienen un C_x de 2,0 (figura 15a) y las formas cilíndricas (como el manillar o los tubos de la bicicleta) presentan un C_x de 1,2 (figura 15b). La fuerza de arrastre se produce por la formación de una zona de baja presión en la parte posterior del cuerpo que genera una diferencia de presión con un elevado arrastre. Por su parte, las formas más aerodinámicas presentan coeficientes de arrastre tan bajos como 0,1 (figura 15c).

En las dos últimas décadas se han realizado numerosas pruebas utilizando el túnel de viento, siendo ésta la técnica más válida y fiable para evaluar las fuerzas de arrastre y las modificaciones tanto de posición como de los materiales de la bicicleta para alcanzar la posición más eficiente y aerodinámica posible.

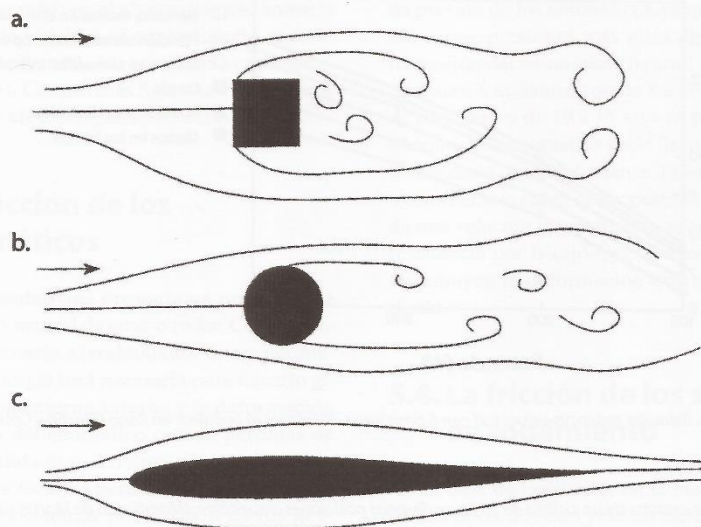


Figura 15. Arrastre aerodinámico según la forma. a, forma cilíndrica, b, forma con bordes afilados, c, forma perfecta (Kyle 2003).

Una bicicleta de carretera con el ciclista en posición de carrera tiene un C_x de 0,9. Para reducirlo, pueden modificarse los componentes de la bicicleta, eliminando las formas que poseen un elevado coeficiente de arrastre y haciéndolas más aerodinámicas, redondeando y puliendo los bordes y las superficies.

También puede optarse por reducir el área frontal del ciclista y de la bicicleta. Basset *et al.* (1999) desarrollaron una ecuación para calcular el área frontal del ciclista a partir de su altura y peso:

$AF = 0,0293H^{0,725} + 0,0604$. Donde AF es el área frontal en m^2 , H la altura en m y M la masa en kg.

El área frontal de la bicicleta y del ciclista, que representa aproximadamente el 18% de la superficie corporal, son los responsables de la mayoría de la fuerza de arrastre. La energía utilizada para vencer la resistencia del aire es proporcional a la superficie corporal del ciclista; por esto, la adopción de una posición aerodinámica puede llegar a reducir la fuerza de arrastre un 30-35%. En la tabla podemos ver el área de arrastre de un ciclista tipo de 70 kg al pedalear en diferentes posiciones.

Para conseguir una buena posición aerodinámica, existen tres puntos clave que deben tenerse en cuenta. Primero, lograr una posición horizontal del torso; cuanto más paralela al suelo se encuentre la espalda, mayores ventajas aerodinámicas pueden obtenerse; sin embargo, es una posición difícil de mantener, ya que suele interferir con el movimiento de otras partes del cuerpo durante el pedaleo y además no es muy confortable. Para conseguir esta posición es necesario rotar las caderas hacia delante, produciéndose un trasvase del peso hacia las partes blandas que puede favorecer la aparición de molestias y lesiones en la zona perineal. Además, también pueden aparecer molestias en el cuello derivadas de la necesidad de extender el cuello para tener un buen control visual de la carretera. En segundo lugar, reducir la separación entre los codos, para lo que es aconsejable utilizar un manillar aerodinámico. En tercer lugar, hay que pedalear con las rodillas próximas al tubo, en un movimiento que se desvíe lo menos posible del eje longitudinal de la bicicleta. En este sentido, una buena posición en el pedaleo es fundamental, tal y como puede verse en la tabla 1.

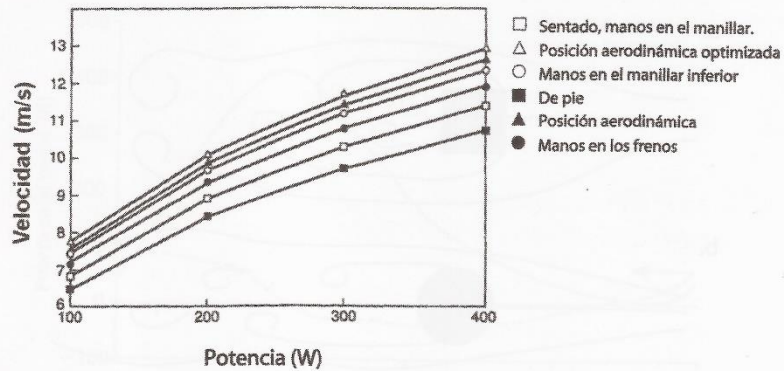


Figura 16. Relación potencia-velocidad con 6 posiciones diferentes al pedalear en llano (Martin y Cobb, 2002).

Tabla 1. Área de arrastre de un ciclista de 70 kg en diversas posiciones de pedaleo. (Modificado de Martin y Cobb, [2002].)

	Posición de las manos	Posición de los brazos	Área de arrastre (cm ²)
De pie	En los frenos		4.080
Sentado	En el manillar superior	Rectos	4.010
Sentado	En los frenos	Doblados	3.240
Sentado	En el manillar inferior	Doblados	3.070
Sentado	En el manillar aerodinámico	Normal	2.914
Sentado	En el manillar aerodinámico	Optimizada	2.680

Para reducir la resistencia del aire, los ciclistas también utilizan la táctica de correr “pegado a rueda” (*drafting*), con lo que consiguen reducir la resistencia del aire y la utilización de energía hasta un 40%. Esta reducción en la resistencia hace que en los ciclistas que pedalean “pegados a rueda” disminuya el VO_2 , la frecuencia cardíaca y los valores de lactato al compararlos con los ciclistas que pedalean al frente (Faria *et al.*, 2005).

5.2. La fuerza de la gravedad y la fuerza peso

La fuerza de la gravedad ejerce dos acciones fundamentales: cuando un ciclista está ascendiendo, hace que disminuya su velocidad mientras, que cuando está en descenso, la incrementa. Además, la fuerza de la gravedad deforma los neumáticos e incrementa el peso de forma proporcional a la masa, re-

sultando en un incremento de la resistencia al rodamiento. Sin embargo, el efecto del peso sobre la velocidad de la bicicleta es muy pequeño al compararlo con el efecto de la resistencia aerodinámica (Kyle, 2003). Cuanto más ligera sea la bicicleta, menor será el efecto negativo de estas fuerzas.

5.3. La fricción de los neumáticos

Es la capacidad que presenta un neumático a su movimiento natural de girar o rodar. Cuanto menor es la resistencia al rodamiento de un neumático, menos energía será necesaria para hacerlo girar. La fricción externa-interna y la deformación de las marcas del neumático causan pérdidas de energía a medida que el neumático rueda y contacta con el suelo; estas pérdidas de energía se conocen como resistencia por fricción de los neumáticos. Aunque la fricción del neumático supone una resistencia bastante menor que la aerodinámica, la utilización de los neumáticos adecuados puede conllevar una mejora significativa del rendimiento.

La resistencia por fricción aumenta o disminuye en función de una serie de variables como son la rugosidad o las irregularidades que presenta la superficie del pavimento, la superficie de rodadura, el tipo de tubo, la presión de los neumáticos, el peso que soporta la rueda, el diámetro de sección cruzada del neumático, el diámetro de la rueda, la velocidad y la temperatura del neumático (Kyle, 2003). De todas ellas, las que contribuyen de forma decisiva son el material y la presión de los neumáticos, la rugosidad del pavimento y la carga por rueda.

Las ruedas sufren una deformación para adaptarse a las irregularidades del terreno de forma que pavimentos más lisos causan una menor deformación. También el material y diseño de las ruedas influye de manera que neumáticos más finos, flexibles y con una superficie elástica presentan una menor resistencia. El dibujo de la rueda, pensado principalmente para mejorar la tracción, también puede influir en la resistencia por fricción, siendo recomendable utilizar superficies híbridas con una banda ancha en el centro y bandas de agarre laterales para proporcionar una buena tracción y una baja resistencia.

También es importante mantener una adecuada presión de los neumáticos, ya que ante una misma carga, presiones más altas disminuyen la deformación del neumático (figura 17). Las presiones que suelen utilizarse son de 8 a 10 atm en pruebas de carretera y de 10 a 15 atm en pruebas de pista, aunque cada neumático suele llevar una presión recomendada por el fabricante. También es un factor a considerar la carga que soporta la rueda, que guarda una relación directamente proporcional con la resistencia por fricción, ya que cargas más ligeras disminuyen la deformación que se produce en la rueda.

5.4. La fricción de los sistemas de rodamiento

El buje de las ruedas de la bicicleta puede ser de dos tipos, de cono y de cartucho. Suele ir lubricado con grasa y tiene un bajo índice de fricción. Los bujes lubricados con grasa presentan una fricción siete veces mayor que los lubricados con aceite ligero de 20 w; la pérdida resultante del uso de grasa sería equivalente a una subida de 15 m durante una contrarreloj de 40 km, suficiente para perder una carrera.

Para estimar la pérdida energía conjunta de la cadena, piñones y bujes, puede emplearse un cicloergómetro y un dinamómetro (Kyle, 2003). Las pérdidas de energía oscilan entre un 2% y un 4%, lo que supone una eficiencia bastante elevada. Para minimizar las pérdidas de energía en la transmisión, se aconseja que la cadena y los piñones estén limpios y bien lubricados.

PUNTO CLAVE

La velocidad del sistema bicicleta-clista es el resultado del equilibrio entre la fuerza propulsiva aplicada en los pedales y la suma de todas las fuerzas resistivas que actúan sobre la bicicleta. Estas fuerzas incluyen la resistencia del viento o resistencia aerodinámica, la fuerza de la gravedad (peso) y la fricción (neumáticos y sistemas de rodamiento). Por ello es de gran importancia conocer cómo afectan cada una de ellas para poder así optimizar el rendimiento.

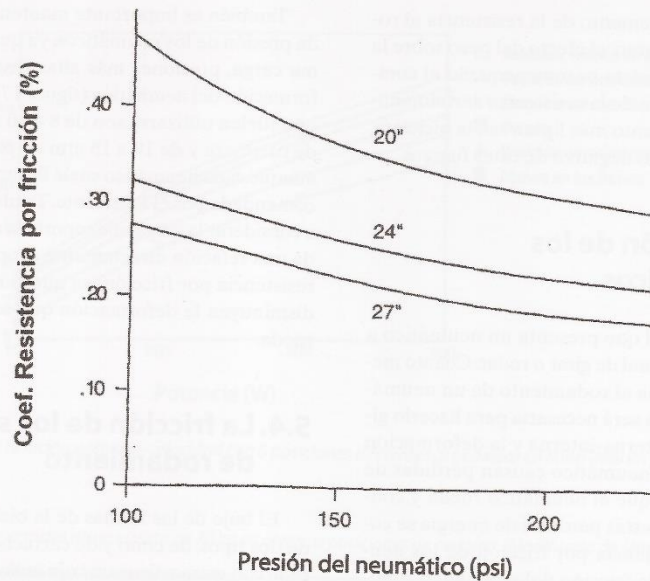


Figura 17. Coeficiente de resistencia por fricción del neumático en función de la presión y el tamaño del neumático (Kyle 2003). " : pulgadas.

6. CONFORT Y PREVENCIÓN DE LESIONES

Existen tres factores que determinan el confort del ciclista: los factores ambientales (especialmente la resistencia del terreno, la lluvia y el viento, pero también la indumentaria que lleva el ciclista), los biomecánicos y los fisiológicos. Una vestimenta inapropiada puede ocasionar molestias por fricción, rozaduras y posibles llagas en la zona que está en contacto con el asiento (ver capítulo 15). Sin embargo, el área de mayor importancia en términos de confort al pedalear está relacionada directamente con la persona (factores biomecánicos y fisiológicos).

En este sentido, existen diferentes métodos que se utilizan para medir el confort. Desde una metodología que podríamos denominar "evaluación subjetiva", que consiste en preguntar directamente a los sujetos cuán comfortable se sienten, hasta métodos más objetivos como la medida de la distribución de presiones, la electromiografía para el registro de la activación y fatiga muscular, el análisis de la postura y el movimiento o estimaciones

sobre las cargas presentes en la columna. Estos últimos parece que, *a priori*, presenten ciertas ventajas frente a los métodos subjetivos, ya que requieren una muestra menor, son menos susceptibles al error de medida y aplicables de forma más temprana en el proceso de diseño del producto. Sin embargo, pese a que permiten una mejor cuantificación de variables de carácter biomecánico y fisiológico, no hay que olvidar que la sensación de confort es de carácter subjetivo. Por ello, en la actualidad, la tendencia predominante en el estudio del confort presenta una combinación de ambas metodologías, de forma que estas variables objetivas suelen relacionarse con una serie de parámetros subjetivos que incluyen escalas de confort.

El confort está bien documentado en la literatura relacionada con la ergonomía, siendo uno de los aspectos a menudo considerados el del asiento (asientos de oficina y el entorno de trabajo, el asiento de las sillas de ruedas, los asientos de pasajeros). Sin embargo, los estudios realizados sobre el confort en bicicleta son muy escasos en la literatura, puesto que la mayoría de investigaciones están centradas en bicicletas de competición, valorándose as-

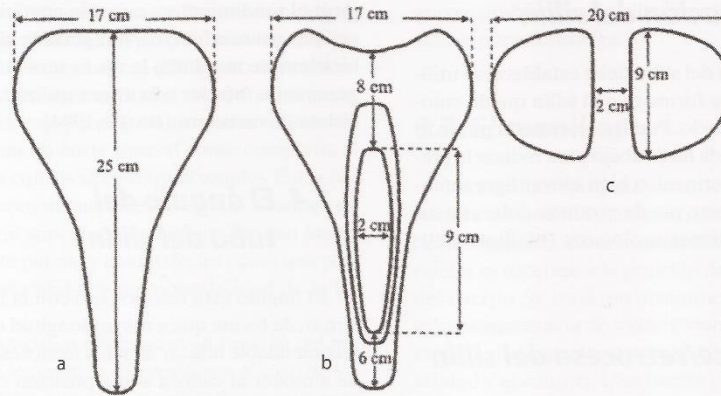


Figura 18. Distintos diseños de sillín: a) sillín convencional, b) sillín con corte parcial, c) sillín con corte completo (Bressel y Larson, 2003).

pectos como el rendimiento o la eficiencia mecánica. Los pocos estudios que pueden encontrarse han tratado de evaluar el efecto de diferentes diseños de sillín, mientras que prácticamente ninguno ha evaluado la configuración óptima de las diferentes variables del diseño de la bicicleta para conseguir la posición más confortable.

PUNTO CLAVE

Las variables de diseño de la bicicleta exponen al ciclista a una serie de factores de carga relacionados con las fuerzas aplicadas, presión y los ángulos articulares; estas cargas externas pueden producir unos efectos internos en términos de activación muscular, presión intradiscal, oclusión de los nervios o la circulación, aumento de la temperatura de la piel y el cuerpo, provocando determinadas respuestas químicas y fisiológicas.

También son numerosas las referencias halladas en el ámbito de la medicina deportiva que han tratado las lesiones más comunes que suelen aparecer por el uso prolongado de la bicicleta, ya que debido a las adaptaciones posturales prolongadas, combinadas con un movimiento repetitivo de los segmentos corporales que tienen lugar durante los lar-

gos períodos de rodaje que realizan mucho ciclistas, pueden aparecer las temidas lesiones por sobrecarga. Wilber *et al.* (1995) reportaron en un estudio que el 85% de los ciclistas encuestados sufrían una o más lesiones por sobrecarga y el 36% de ellos necesitaban tratamiento médico. La localización anatómica de las lesiones más comunes era el cuello (49%), rodillas (41%), ingles/nalgas (36%), manos (31%) y espalda (30%), siendo la probabilidad de desarrollar, en el caso de las mujeres, lesiones en el cuello y hombros de 1,5 a 2 veces mayor que en los hombres. Como dato a tener en cuenta, encontraron que las lesiones por sobreesfuerzo en ciclismo recreativo resultaron ser mayores que en otras actividades como la carrera o el baile aeróbico (aerobic).

Finalmente, como punto destacado en este capítulo se describirán a continuación una serie de pautas o indicaciones a considerar en el correcto ajuste de la posición de la bicicleta, centradas en los 3 puntos de contacto entre el ciclista y la bicicleta: sillín, pedal y manillar.

6.1. El sillín

En lo que respecta al sillín, deben tenerse en cuenta una serie de aspectos como son la inclinación, el avance/retroceso, la altura, el ángulo del tubo y su material/diseño.

6.1.1. *Inclinación del sillín*

La inclinación del sillín debe establecerse utilizando un nivel, de forma que el sillín quede colocado paralelo al suelo. Puede colocarse la punta ligeramente inclinada hacia abajo para reducir la presión en la zona perineal, o bien elevar ligeramente la punta, pero esto puede producir dolores neuropáticos o problemas urológicos (Mellion, 1991; Burke, 1994).

6.1.2. *Avance/retroceso del sillín*

El avance y el retroceso de sillín pueden afectar la mecánica de las piernas durante el pedaleo. La distancia de la cadera del ciclista al pedal disminuye a medida que el asiento se avanza e incrementa cuando se retrasa. Cuando el asiento se avanza se consigue una mayor cadencia de pedaleo, mientras que si se retrasa puede conseguirse una mayor potencia en la pedalada. El método tradicional de ajuste del asiento consiste en dejar caer una línea de plomada desde la tuberosidad anterior de la tibia, con la biela en una posición horizontal paralela al suelo. El sillín debe ajustarse de forma que la línea de plomada caiga perpendicular al eje del pedal adelantado (Mellion, 1991; Burke, 1994); a esto se le llama posición neutra de la rodilla.

Algunos triatletas prefieren situar su rodilla por delante de la posición neutra de 2 a 5 cm, mientras que en una bicicleta de montaña es aconsejable que la rodilla se sitúe 1 cm por detrás de la posición neutra. Las fases de ascenso en la bicicleta de montaña deberían hacerse lo más retrasado en el sillín posible, lo que permite una mayor tracción de la rueda trasera (Mellion, 1991; Burke, 1994).

6.1.3. *Altura del sillín*

Como ya hemos visto anteriormente, existen varios métodos científicos y cuasi científicos para determinar la altura óptima de sillín. Todos estos métodos son estimaciones; después de un ajuste inicial el ciclista debe adaptar ligeramente la altura según sus sensaciones (Mellion, 1991).

Peveler (2008) recomienda que la altura de sillín se determine utilizando un ángulo de rodilla de 25° (según el método de Holmes, pág. 496) para me-

jorar el rendimiento y evitar la aparición de lesiones por sobreesfuerzo. Al regular la altura en una bicicleta de montaña, la altura será la misma o ligeramente inferior a la altura utilizada en una bicicleta de carretera (Burke, 1994).

6.1.4. *El ángulo del tubo del sillín*

El ángulo está relacionado con la longitud del fémur, de forma que a mayor longitud del fémur es recomendable utilizar ángulos menores, lo que tiende a mover al ciclista a una posición más retrasada en la bicicleta. Las bicicletas de montaña suelen tener un ángulo menor, próximo a los 72°, para permitir al ciclista sentarse más retrasado y adoptar una posición en el pedaleo que le permita aplicar más fuerza a los pedales en los tramos de ascenso (Burke, 1994).

6.1.5. *El material/diseño del sillín*

Las cargas que sufren los tejidos blandos al permanecer sentados largos períodos de tiempo en el sillín se han asociado con problemáticas dolencias como el adormecimiento de la zona, escozor, disfunción eréctil y uretritis traumática. Al seleccionar un sillín, hay que tener en cuenta tres factores fundamentales: confort (debe proporcionar sustento a las estructuras de soporte y a la cadera de forma uniforme), libertad de movimiento (debe permitir movimiento para que no se produzca un roce excesivo) y debe permitir el correcto mantenimiento del flujo sanguíneo en la zona perineal.

A finales de la década de 1990 se empezaron a fabricar sillines con cortes o canales en la zona central para reducir la presión en las zonas de apoyo. Diversos estudios han demostrado que estos cortes pueden mejorar el aporte de oxígeno a los genitales, mientras que otros han encontrado pocas diferencias. El gel también se ha utilizado como método para mejorar el confort, siendo recomendado exclusivamente en zonas donde hacen contacto los huesos pélvicos.

Algunos autores, no obstante, sugieren que los sillines con cortes parciales y sin morro prominente

pueden afectar negativamente la posición de pedaleo y la distribución del peso del ciclista en la bicicleta. Así, Bressel y Larson (2003) encontraron incrementos en la activación del tríceps y una inclinación anterior de pelvis y tronco con la utilización de sillines con un corte parcial como completo, al compararlos con los sillines tradicionales. Estos hallazgos sugieren un incremento en el porcentaje de peso corporal soportado en el manillar con los sillines de corte parcial y completo, así como una pérdida en la estabilidad y maniobrabilidad de la bicicleta.

También existen diferencias en función del género, ya que los centros de presión en el caso de los hombres están situados significativamente más adelantados respecto a las mujeres. Éstas deberían utilizar un sillín que fuera ligeramente más ancho en la zona posterior para acomodar la mayor anchura de las tuberosidades isquiáticas que viene dada por sus características morfológicas.

6.2. El pedal

El ciclista deber colocar el pie de forma que la zona más ancha esté directamente sobre el eje del pedal (figura 19). El método más eficaz para proporcionar un adecuado ajuste es utilizar un instrumento conocido como *Rotational Adjustment Device* (Burke, 1994). Es muy importante que el pie calzado esté bien ajustado al pedal, de forma que pie y pierna estén colocados en una posición que no cause una torsión o giro anormal en las distintas articulaciones de la pierna, lo que podría ocasionar

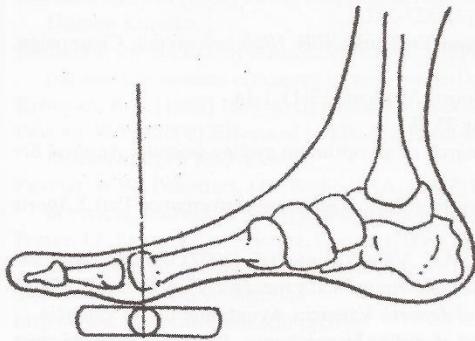


Figura 19. Colocación correcta del pie en el pedal. a la ingeniería, anatomía y pintura.

graves problemas al ciclista por la aparición de lesiones por sobrecarga.

6.3. El manillar

Para realizar un ajuste correcto del manillar debe tenerse en cuenta la anchura, la longitud y la altura del manillar. Con la combinación de estas variables se determina la posición de la parte superior del cuerpo. Se trata, no obstante, de la determinación menos exacta de todas, y viene influida en gran medida por aspectos como la experiencia, la flexibilidad y el confort. Una buena posición de la parte superior del cuerpo permite sentarse cómodamente en la bicicleta con los brazos relajados y los codos ligeramente flexionados. El método tradicional de ajuste del manillar consiste en colocarlo de tal manera que el ángulo de tronco se encuentra a 45° de la horizontal, con los brazos ligeramente flexionados por los codos. Los ciclistas experimentados generalmente prefieren tener el manillar más bajo, lo que les permite pedaleo en una posición más aerodinámica.

Al bajar el manillar o aumentando la distancia respecto al sillín incrementaremos la inclinación hacia delante del ciclista; en esta posición, la pelvis está rotada y aumenta la tensión en los isquiotibiales, al mismo tiempo que se produce un trasvase del peso hacia los brazos-manos (adoptándose una postura más aerodinámica). La espalda se hiperextiende y los músculos paraespinales deben mantener una mayor tensión a medida que el ciclista se inclina. Los glúteos están con una mayor tensión al aumentar la flexión de cadera y por ello pueden ser más efectivos; este incremento de tensión en los glúteos también produce una mayor tensión en la banda iliotibial.

6.3.1. Anchura del manillar

La anchura del manillar en una bicicleta de carretera debería ser la misma que la anchura de los hombros. En una bicicleta de montaña, la anchura del manillar varía de 40 a 50 centímetros. Un manillar más ancho es más controlable a bajas velocidades, mientras que un manillar más estrecho permite girar de forma más rápida y hace más manio-
brable la bicicleta al utilizarla en circuitos con abun-

dantes obstáculos. Un "alcance" confortable en una bicicleta de montaña no deberá permitir que la rodilla y el codo se superpongan.

6.3.2. La longitud del manillar

Se trata de la distancia desde el sillín hasta la parte transversal del manillar. Para una determinación ajustada pueden utilizarse las mediciones del tronco del ciclista con sistemas como el Fitkit®. Generalmente se utiliza una estimación aproximada colocando el codo en la punta del sillín, con el antebrazo paralelo al suelo y los dedos completamente extendidos. La parte transversal del manillar debería situarse a la distancia comprendida entre el codo y la punta de los dedos (Mellion, 1991).

En las bicicletas de carretera, para encontrar la extensión adecuada de la potencia, el ciclista debe sentarse en la bicicleta con los brazos doblados ligeramente, las manos en los frenos y con la vista hacia delante. Entonces, desde la punta de la nariz del ciclista, se deja caer una plomada que debería dividirse en dos partes iguales el manillar en el centro de la potencia. Se recomienda una posición en la que el codo y la rodilla están separados de 3 a 5 cm en su punto más cercano cuando la rodilla se encuentra en su punto de máxima flexión, con el ciclista pe-

daleando con las manos en el manillar inferior y con los brazos doblados 65°-70°.

6.3.3. La altura del manillar

En una bicicleta de carretera, el manillar debe estar siempre por debajo del sillín. La altura dependerá de las características del ciclista y del tipo de carrera. Los manillares aerodinámicos deben colocarse a una altura significativamente menor que el sillín para que el ciclista adopte una posición lo más aerodinámica posible (Mellion, 1991). En las bicicletas de montaña, el manillar, por norma general, debería estar 2-4 cm por debajo de la superficie del sillín.

PUNTO CLAVE

En el caso de los deportistas que utilizan la bicicleta durante largos períodos de tiempo, es aconsejable realizar una evaluación biomecánica de la posición en la bicicleta no sólo para optimizar el rendimiento, sino también para evitar la aparición de lesiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Bassett, D.R., Kyle, C.R., Passfield, L., Broker, J.P., Burke, E.R. (1999) Comparing cycling world hour records, 1967-1996: modeling with empirical data. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31(11): 1665-1676.
- Bressel, E., Larson, B.J. (2003) Bicycle seat designs and their effect on pelvic angle, trunk angle, and comfort. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(2): 327-332.
- Broker, J.P. (2003) Cycling biomechanics: road and mountain. En: Burke, E.R. *High-tech cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Burke, E.R. (1994) Proper fit of the bicycle. *Clinics in Sports Medicine* 13(1): 1-14.
- Buttars, K.R. (1982) Crank length and gearing. *Bicycling* 23:26.
- De Vey Mestdagh, K. (1998) Personal perspective: in search of an optimum cycling posture. *Applied Ergonomics* 29(5): 325-334.
- Faria, E.W., Parker, D.L., Faria, I.E. (2005) The science of cycling: Factors affecting performance. Part 2. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 35(4): 313-337.
- García López, J., Rodríguez-Marroyo, J.A., Ávila-Ordás, M.C., Villa-Vicente, J.G. (2007) Utilización de sistemas de pedaleo no circulares en ciclismo: puntos de vista energético y mecánico. En: Pérez, P., Llana, S. (Ed.) *Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte*. Valencia, Ayuntamiento de Valencia.
- González, H., Hull, M.L. (1989) Multivariable optimization of cycling biomechanics. *Journal of Biomechanics* 22(11-12): 1151-1161.
- Kyle, C.R. (1995) A history of human-powered land vehicles and competitions. En: Abbot, A.V., Wilson, D.G. (Ed.) *Human-powered vehicles*. Champaign, Human Kinetics.

- Kyle, C.R. (2003) Selecting cycling equipment. En: Burke, E.R. (Ed) *High-tech cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Lucia, A., Earnest, C., Hoyos, J., Chicharro, J.L. (2003) Optimizing the crank cycle and pedaling cadence. En: Burke, E.R. *High-tech cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Martin, J., Cobb, J. (2003) Body position and aerodynamics. En: Jeukendrup, A.E. (Ed.) *Body position and aerodynamics*. Champaign, Human Kinetics.
- Martin, J.C., Spirduso, W.W. (2001) Determinants of maximal cycling power: Crank length, pedaling rate and pedal speed. *European Journal of Applied Physiology* 84(5): 413-418.
- Mc Intosh, B.R., Neptune, R.R., Horton, J.F. (2000) Cadence, power and muscle activation in cycle ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(7): 1281-1287.
- Mellion, M.B. (1991) Common cycling injuries. Management and prevention. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 11(1): 52-70.
- Pérez, P., Llana, S., Encarnación, A. (2010) Técnicas de análisis biomecánico en el ciclismo de competición. En: Cejuela *et al.* (Eds.) *Nuevas tendencias en entrenamiento deportivo*. Editorial ECU, Alicante.
- Sánchez, J. (1984) *La física de la bicicleta*. Valencia, Servei de publicacions de la Universitat de València.
- Seabury, J.J., Adams, W.C., Ramey, M.R. (1977) Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics* 20(5): 491-498.
- Shan, G. (2008) Biomechanical evaluation of bike power saver. *Applied Ergonomics* 39(1): 37-45.
- Too, D. (1990) Biomechanics of cycling and factors affecting performance. *Sports Medicine* 10(5): 286-302.
- Wilber, C.A., Holland, G.J., Madison, R.E. *et al.* (1995). An epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists. *International Journal of Sports Medicine* 16(3): 201-6.
- Zamparo, P., Minetti, A., di Prampero, P. (2002) Mechanical efficiency of cycling with a new developed pedal-crank. *Journal of Biomechanics* 35(10): 1387-1398.
- Zarzoso, M. (2008) *Determinación de la altura óptima de sillón en una bicicleta de trekking sport*. Trabajo de investigación 3º ciclo. Departamento de Educación Física y Deportiva, Universitat de València.

PARA SABER MÁS

- Burke, E.R. (2003) *High-tech cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Jeukendrup, A.E. (2002.) *High performance cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Davis, R.R., Hull, M.L. (1981) Measurement of pedal loading in bicycling: II. Analysis and results. *Journal of Biomechanics* 14(12): 857-872.
- Garside, I., Doran, D.A. (2000) Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10-km running performance. *Journal of Sports Sciences* 18(10): 825-833.
- Jeukendrup, A.E. (2002) Power output. En: Jeukendrup, A.E. (Ed.) *High performance cycling*. Champaign, Human Kinetics.
- Koninckx, E., van Leemputte, M., Hespel, P. (2008) Effect of a novel pedal design on maximal power output and mechanical efficiency in well-trained cyclists. *Journal of Sports Sciences* 26(10): 1015-1023.
- Kronisch, R.L. (1998) How to fit a mountain bike. *The Physician and Sportsmedicine* 26(3) 71-72.
- Peveler, W.W. (2008) Effects of saddle height on economy in cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(4): 1355-1359.
- Peveler, W.W., Pounders, J.D., Bishop, P.A. (2007) Effects of saddle height on anaerobic power production in cycling. *Journal of Strength and Conditioning Research* 21(4): 1023-1027.
- Potter, J.J., Sauer, J.L., Christine, L. *et al.* (2008). Gender differences in bicycle saddle pressure distribution during seated cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 40(6): 1126-1134.
- <http://www.analyticcycling.com/>
- <http://www.exploratorium.edu/cycling/>
- <http://www.cptips.com/>
- http://www.olympic.org/uk/sports/programme/index_uk.asp?SportCode=CY
- <http://www.cyclingnews.com>

ANEXO AI. COMPLEMENTACIÓN DE LA BIOMECÁNICA EN EL CICLISMO

54 VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD ANGULAR DE UN CUERPO RÍGIDO

En el movimiento complejo del hombre alrededor de un eje, se aplican las leyes de variación de la velocidad angular de un cuerpo rígido, bajo la acción de una fuerza externa aplicada a él.

54.1 ROTACIÓN DEL CUERPO Y MOMENTO DE LA FUERZA EXTERNA

Para variar la velocidad angular de un cuerpo rígido (invariable), es necesario el momento de la fuerza externa que provoque la aceleración angular (positiva o negativa en dependencia del sentido de la acción). Esto se refiere tanto a los cuerpos con eje fijo, como con eje libre.

Según la ley de la conservación del momento cinético: *si la suma de los momentos de las fuerzas externas, aplicadas sobre un cuerpo aislado, es igual a cero, entonces el momento cinético del cuerpo se mantiene constante.*

A partir de esta ley podemos llegar a la conclusión siguiente: si sobre un cuerpo rígido se aplica el momento de una fuerza externa, entonces, si se mantiene constante el momento de inercia (I), *variara su velocidad angular (ω)*. Bajo la acción del impulso del momento de las fuerzas externas, en el cuerpo surge la aceleración angular (α).

$$\Sigma M_0(F_e) = \frac{\Delta I\omega}{\Delta t} = I\alpha$$

Así actúan los músculos sobre las palancas óseas en el cuerpo humano.

Cuando es necesario aumentar la velocidad angular, el momento de la fuerza se dirige en el sentido de la rotación (aceleración angular positiva); por ejemplo, el entrenador impulsa al gimnasta en las anillas, el músculo sinergista impulsa al miembro. Si es necesario disminuir la velocidad de rotación, el mo-

mento de la fuerza se dirige en sentido contrario a la rotación (aceleración angular negativa); por ejemplo, el entrenador detiene el balanceo de las anillas, el músculo antagonista frena al miembro.

54.2 TRANSFORMACIÓN Y DISIPACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Los balanceos de un cuerpo rígido, en el campo de atracción, se realizan hacia abajo a partir de una posición superior límite, bajo la acción de la fuerza de gravedad (transformación de energía potencial en cinética), y desde la posición límite inferior hacia arriba, contra la fuerza de gravedad (transformación de energía cinética en potencial). Los gastos energéticos como resultado de su disipación conducen a la extinción de las oscilaciones.

Para que comience la rotación de un cuerpo rígido alrededor de un eje horizontal, en el campo de atracción terrestre (balanceo de un péndulo "plano"), es necesario sacarlo del estado de reposo. Aplicaremos una fuerza interferente (Q) que desviará al gimnasta que cuelga libremente (en una postura invariable) de la posición vertical. Entonces el CGC se elevará ($+\Delta h$), (ver fig. 59 b, 1) y la energía potencial del cuerpo (situación en el campo de atracción) aumenta en $P\Delta h$. Bajo la acción del momento de la fuerza de gravedad $M_0(P)$ el cuerpo se moverá hacia abajo, hacia la posición inicial (ver fig. 59 b, 2). La energía potencial ($P\Delta h$) se transformará en energía cinética del movimiento de rotación ($\frac{I\omega^2}{2}$). En el punto

más bajo, la cantidad de energía cinética será mayor; sin embargo, el movimiento aquí no se suspenderá y continuará por inercia mientras que toda la energía cinética no se transforme de nuevo en energía potencial (ver fig. 59 b, 3). Posteriormente, el gimnasta-péndulo comenzará de nuevo el balanceo en el otro sentido: la energía potencial comenzará a transformarse en energía cinética.

Este balanceo no va a continuarse eternamente. La energía cinética, al transformarse en potencial, se gastará no sólo en la superación de la fuerza de gravedad. Se gastará también en el trabajo contra la fuerza de fricción y la resistencia del aire. Con cada balanceo la elevación del cuerpo será menor, la velocidad máxima en la posición media disminuirá y, al fin y al cabo, el balanceo cesará debido a que toda la energía mecánica se ha disipado.

Tales oscilaciones libres con disipación de la energía mecánica se denominan *amortiguadas*.

54.3 ACUMULACIÓN DE LA ENERGÍA POR RESONANCIA

Es posible aumentar la amplitud de las oscilaciones de un cuerpo rígido, en el campo de atracción terrestre (péndulo físico), mediante la aplicación del momento de una fuerza externa (suministro de energía). Mediante el suministro de energía por resonancia (al ritmo de las oscilaciones propias) es posible lograr un régimen estable (cese de las amortiguaciones), así como también elevar el nivel de la energía en el sistema (acumulación de energía por resonancia).

La amortiguación de las oscilaciones puede ser evitada si en cada ciclo se realiza trabajo, y con esto se suministra al sistema la cantidad de energía mecánica que

haya perdido como resultado de su disipación. En este caso, el régimen será un régimen oscilatorio estable. Naturalmente, es necesario realizar el trabajo sólo cuando esto ayuda al movimiento y no a la inversa.

Es posible, al suministrar energía en el instante necesario, no sólo recuperar la pérdida sino superarla. Entonces, cada vez que pasa un ciclo, la velocidad máxima irá aumentando y la energía se incrementará. *El régimen oscilatorio de resonancia* se continúa mientras el suministro de energía no sea igual a las pérdidas. Aquí comienza un régimen estable, pero ya a un nivel más alto.

55 VARIACIÓN DEL MOVIMIENTO DE UN SISTEMA DE CUERPOS ALREDEDOR DE UN EJE

La variación del movimiento alrededor de un eje, se produce de una forma mucho más compleja en un sistema de cuerpos que en un cuerpo rígido. Es esencialmente importante tener en cuenta esto en el caso de un sistema automotor, es decir, que tenga una fuente interna de energía mecánica.

55.1 VELOCIDADES ANGULARES DE UN SISTEMA DE CUERPOS

Un sistema variable de cuerpos no tiene velocidad angular determinada, de la misma forma que un cuerpo rígido. Es posible juzgar, indirectamente, la rapidez de giro de todo el sistema de cuerpos alrededor del eje, a partir de las velocidades lineales del CGC y de los diferentes puntos del sistema de cuerpos o, a partir de la velocidad de rotación de un eje del cuerpo convencionalmente trazado (línea de referencia).

La velocidad angular, durante la rotación de un cuerpo rígido, no tiene analogía completa con la rotación de un sistema variable de cuerpos. En el cuerpo rígido la relación entre todas las velocidades de rotación de los puntos y los radios de los puntos, es la misma. Durante la rotación de un sistema, uno de sus puntos puede moverse mucho más rápido que otros. El sistema de cuerpos, que varía su configuración, no tiene una velocidad angular general para todos los cuerpos y puntos del sistema, como sucede en un cuerpo rígido.

Para un miembro invariable del cuerpo humano, o una cadena de miembros recíprocamente fijados, es posible variar la velocidad angular respecto al eje de rotación que pasa por la articulación.⁹³ Es posible medir las velocidades angulares de los diferentes puntos del cuerpo si se elige un sistema de referencia. Es posible elegir convencionalmente un "eje" longitudinal del sistema variable; por ejemplo, una línea que una los centros de gravedad de la mitad superior e inferior, con iguales pesos (ver fig. 60 b). Por la velocidad de rotación de esta línea (línea de referencia) es posible juzgar la rotación de todo el sistema.

Como resultado de la acción de las fuerzas externas, así como de las internas, el sistema biomecánico puede variar su orientación, tanto al modificar la postura como conservándola; se produce un giro del sistema.

⁹³ Aquí una posible variación muy pequeña, del radio de rotación, se desprecia.

55.2 MOVIMIENTO DEL SISTEMA ALREDEDOR DE UN EJE Y MOMENTO DE LA FUERZA EXTERNA

Sobre la rotación de un sistema biomecánico es posible influir, si se varía la acción de frenaje del momento de la fuerza de gravedad, mediante el acercamiento del sistema al eje de rotación.

El sistema biomecánico tiene la posibilidad de variar el momento de la fuerza externa, al modificar su brazo gracias a los movimientos de los miembros.

Analizaremos, por ejemplo, la acción de la fuerza de gravedad sobre el cuerpo del gimnasta, durante el balanceo en la barra fija. El momento de la fuerza de gravedad del cuerpo del gimnasta, como un péndulo (durante el movimiento de este hacia abajo en el plano vertical), realiza trabajo positivo; durante el movimiento del cuerpo, desde la posición más baja hacia arriba, trabajo negativo. Para aumentar la energía mecánica del cuerpo (del péndulo) es necesario: *hacer que el trabajo negativo sea menor que el positivo*. Con este objetivo, *durante el movimiento hacia arriba, es necesario disminuir el momento de la fuerza de gravedad*.

El gimnasta, al realizar la tracción hacia la barra, acorta el péndulo y, con esto, disminuye el brazo de la fuerza de gravedad. De esta forma, disminuye la acción de frenaje de la fuerza de gravedad durante el movimiento hacia arriba.

Si se aumenta el brazo de la fuerza de gravedad durante el movimiento hacia abajo, entonces será mayor el momento de la fuerza de gravedad. Pero cuando se alarga el péndulo, aumenta su momento de inercia, proporcional al cuadrado del radio de inercia. Como consecuencia de esto, el incremento de la velocidad de giro no es mayor, sino menor. Durante el movimiento hacia arriba, al acortar el péndulo, disminuyen tanto el momento de la fuerza de gravedad como el momento de inercia; y tanto uno como el otro retrasan, por poco tiempo, el decremento de la velocidad.

Durante los movimientos oscilatorios repetidos, es posible obtener una acumulación de la energía por resonancia y, gracias a esto, aumentar la velocidad de las oscilaciones. Cuando disminuye la longitud reducida del péndulo,⁹⁴ disminuye el período y aumenta la velocidad de las oscilaciones.

La esencia física de la aceleración del péndulo durante su acortamiento, puede explicarse también con la ayuda de la fuerza de inercia de Coriolis (F_{Cor}). Esta fuerza surge durante la aceleración de Coriolis (a_{Cor}), (ver subepígrafe 22.2) y está dirigida en sentido contrario a ella (ver fig. 60 a). El acercamiento del cuerpo al eje de rotación aumenta su velocidad angular. El trabajo de la fuerza de inercia de Coriolis, del cuerpo, es igual al incremento de su energía cinética. El gasto del trabajo de las fuerzas musculares al acercarse al eje de rotación, acelera de esta forma el giro. La acción de la fuerza de Coriolis continúa sólo durante el acortamiento del radio.

⁹⁴ La longitud reducida del péndulo físico (de un cuerpo rígido que oscila bajo la acción de la fuerza de gravedad) es igual a la longitud del péndulo matemático (punto material sobre un hilo), que tiene el mismo período de oscilación.

66.1 TRANSMISIÓN DE LOS ESFUERZOS DURANTE EL PEDALEO

La bicicleta, como aparato para transmitir los esfuerzos al apoyo, crea condiciones particulares para la aplicación de los esfuerzos del ciclista y para el aprovechamiento de las fuerzas externas. El ciclista se ve obligado a desplazarse conjuntamente con el transmisor de los esfuerzos; ambos forman el sistema ciclista-bicicleta (c-b). Es necesario poner en movimiento este sistema conjunto; comunicarle y mantener una u otra velocidad.

La presión de la pierna del ciclista sobre el pedal en el sistema (c-b) es una fuerza interna; todo el sistema es un sistema automotor, con fuente interna de fuerzas motrices. La presión sobre el pedal (F_1) crea un momento de fuerza respecto al eje del plato. A través de la cadena esta fuerza se transmite al piñón de la rueda trasera (F_2). Bajo la acción de esta fuerza la rueda, cuando no tiene apoyo, gira alrededor de su eje; el punto superior de la llanta se mueve al frente (con una velocidad v_s); el inferior, hacia atrás (con una velocidad v_i), (ver fig. 75 a).

Gracias a la adhesión de la cubierta de la rueda con el suelo, la fuerza de fricción, dirigida al frente, equilibra la acción de la llanta sobre la cubierta, dirigida hacia atrás. Como resultado de esto la rueda no patina y el eje de la rueda se mueve al frente. El punto respecto al cual se mueve es el lugar de apoyo de la rueda (ver fig. 75 b).

La fuente de *fuerza motriz* son los músculos de la pierna del deportista, que transmiten los esfuerzos, a través del pedal, la biela, el plato y la cadena, al piñón. El punto inferior de la llanta de la rueda trasera no puede desplazarse hacia atrás y está fijado sobre el apoyo con ayuda de la fuerza de fricción (fuerza externa imprescindible). El eje, desde el piñón unido a él, recibe aceleración al frente.

Es característico el papel que desempeñan las *fuerzas de gravedad*. En el pedaleo lento, la fuerza de gravedad del cuerpo presiona a este hacia el sillín; durante la extensión de la pierna el peso de las partes del cuerpo, que se encuentra sobre ella, obliga al pedal a descender. En los grandes esfuerzos musculares el ciclista se pone de pie sobre los pedales y actúa sobre ellos con todo el peso del cuerpo (generalmente durante la subida o durante la impulsión). Cuando existe una alta frecuencia y grandes esfuerzos de pedaleo el ciclista atrae, con los brazos, al tronco hacia abajo, hacia el manubrio. En los descensos, el peso del sistema (c-b) sirve como fuerza motriz; en los ascensos, como fuerza de frenaje.

La *resistencia del aire* es una fuerza de frenaje. La dependencia no lineal de esta con la velocidad, la convierte en la fuerza de frenaje más considerable, sobre todo cuando se va a gran velocidad.

La *fuerza de fricción de rodadura* frena el movimiento. En las partes internas de la bicicleta esta fuerza, en lo posible, se disminuye con ayuda de lubricantes; entre las ruedas y el suelo, mediante el aumento de la presión del aire en las cámaras.

La *fuerza de fricción de deslizamiento* (estática) no permite que las cubiertas resbalen hacia atrás por el suelo. Esta fuerza desempeña el papel de la fuerza externa, sin la cual es imposible la aceleración del sistema (c-b) sobre una superficie horizontal.

En la bicicleta de carrera con puntera (dispositivo con una correa que permite halar el pedal hacia arriba), simultáneamente a la presión con una pierna hacia abajo, el ciclista, con la otra pierna, hala el segundo pedal hacia arriba.

Como vemos en la figura 75 c, los músculos entran a tomar parte en el trabajo, cada uno dentro de su zona óptima, que depende de las particularidades anatómicas del músculo dado y de los ángulos articulares entre los miembros que cada músculo pone en movimiento.

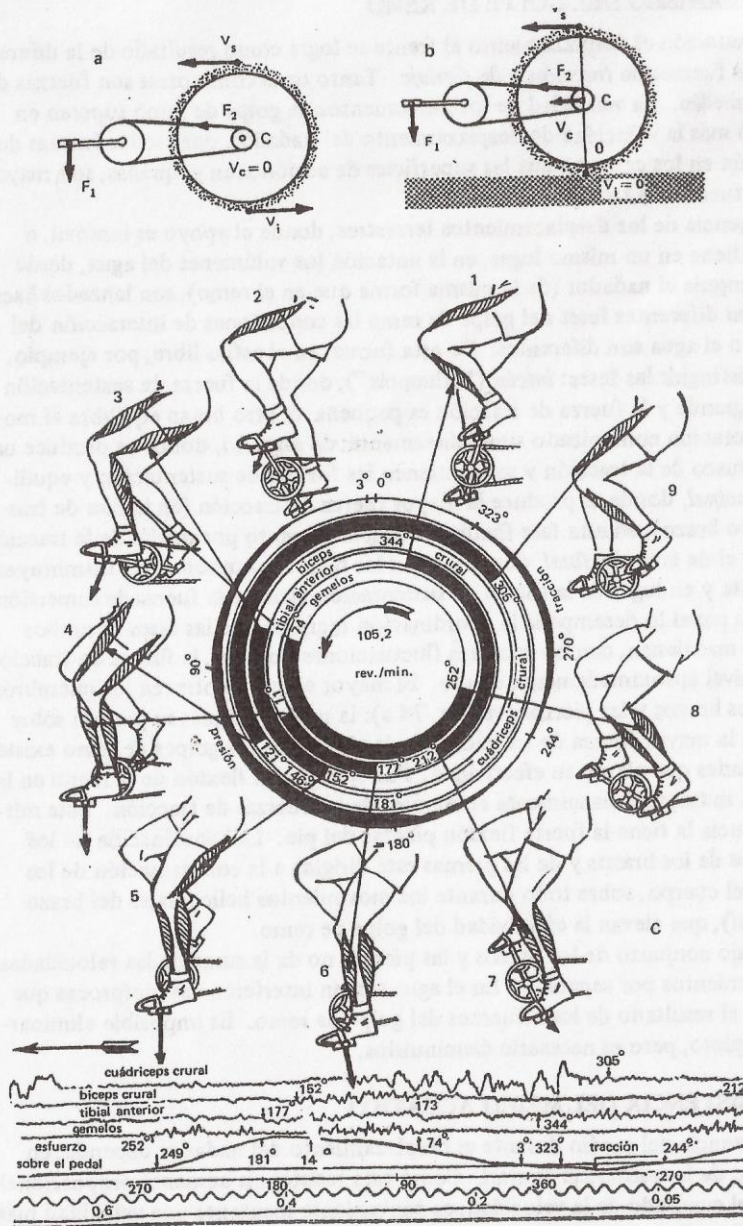


Fig. 75 Esfuerzos durante el pedaleo: a- en una rueda libre; b- en una rueda con apoyo (orig.); c- zonas óptimas de trabajo de los músculos (según L. V. Chjaidze).

ANEXO AJ. CÓDIGO PARA LA PANTALLA INICIAL DEL SOFTWARE BioExLU²

```
Public Class Pantalla_Inicial

//Usado para llamar la IHM del BioExLU2
    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click
        BioExLU2.Show()
    End Sub

//Usado para llamar el software de cálculos para realizar re-diseño
    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button2.Click
        Velocidad_Necesaria.Show()
    End Sub

//Botón salir
    Private Sub Button3_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button3.Click
        Me.Close()
    End Sub
End Class
```

GP1S094HCZ0F

Gap : 3mm, Slit : 0.3mm
Phototransistor Output,
Compact Transmissive
Photointerrupter



■ Description

GP1S094HCZ0F is a compact-package, phototransistor output, transmissive photointerrupter, with opposing emitter and detector in a molding that provides non-contact sensing. The compact package series is a result of unique technology combining transfer and injection molding.

This device has a wide gap and positioning pins.

■ Features

1. Transmissive with phototransistor output
2. Highlights:
 - Compact Size
 - Positioning Pin to prevent misalignment
3. Key Parameters:
 - Gap Width : 3mm
 - Slit Width (detector side): 0.3mm
 - Package : 5.5×2.6×4.8mm
4. Lead free and RoHS directive compliant

■ Agency approvals/Compliance

1. Compliant with RoHS directive

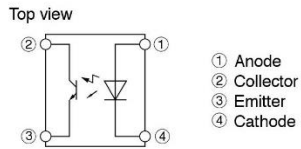
■ Applications

1. Detection of object presence or motion.
2. Example: printer, lens control for camera

Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.
In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

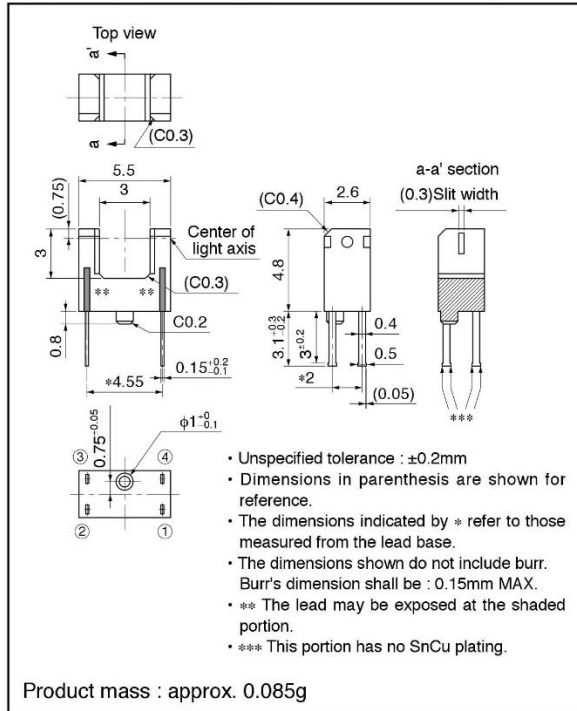
Sheet No.: D3-A00601EN
Date Oct. 3, 2005
© SHARP Corporation

■ Internal Connection Diagram



■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



Plating material : SnCu (Cu : TYP. 2%)

Country of origin
Japan