



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

**Diseño e implementación de un sistema de recuperación de energía
cinética del freno en un “Go Kart”**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Autores:

ANÍBAL LEONARDO GONZÁLEZ SOTO

CHRISTIAN DANIEL CÁCERES VEGA

Director:

PEDRO JOSÉ CRESPO VINTIMILLA

CUENCA, ECUADOR

2014

DEDICATORIA

Este trabajo de graduación lo dedico a mi familia, en especial a mis padres Aníbal y Gladys que siempre me apoyaron durante mis estudios universitarios así como también en mi vida personal.

A mis hermanos Karla y Fernando, gracias a ellos he tenido las ganas de superarme día a día para ser su ejemplo de superación después de mis padres.

Finalmente a mis amigos, que prometimos lograr nuestras metas profesionales y poco a poco lo estamos logrando.

Aníbal González Soto

Dedico este presente trabajo de grado a mis padres, quienes con su ejemplo y gran esfuerzo estuvieron a mi lado incentivándome y promoviéndome hacia un futuro mejor.

A mi papi Segundo quien ha sido mi consejero y el que con su cariño me animaba al estudio y a la superación.

A mi hermano Miguel quien con sus conocimientos supo guiarme y así culminar este proyecto y a mi hermano menor Antse quien me apoyó de forma incondicional.

Daniel Cáceres Vega

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos dado salud, vida y la oportunidad de conseguir esta meta tan importante en nuestras vidas.

A nuestro director de tesis Ing. Pedro Crespo, que gracias a sus conocimientos y soluciones, pudimos finalizar con éxito esta investigación.

A todos nuestros profesores de la carrera de Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay por compartir sus conocimientos que serán de gran utilidad para nuestra vida profesional.

Aníbal González Soto

Daniel Cáceres Vega

INDICE DE CONTENIDOS

Contenido	pagina
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: CONCEPTOS GENERALES	2
1.1.- Conceptos generales	2
1.1.1.- Trabajo:.....	2
1.1.1.1.- Definición física:	2
1.1.1.2.- Trabajo de una fuerza constante:	3
1.1.2.- Energía:.....	3
1.1.3.- Energía cinética:	4
1.1.3.1.- Descripción:.....	4
1.1.3.2.- La ciencia detrás de la energía cinética:	5
1.1.3.3.- Trabajo y energía cinética:.....	6
1.1.4.- Trabajo y potencia:	7
1.1.5.- “Go Kart”	7
1.1.5.1.- Partes principales:	8
1.1.6.- Embrague:.....	13
1.1.6.1.- Embrague electromagnético:	13
1.1.7.- Corriente alterna:	15
1.1.8.- Corriente continúa:	17

1.1.9.- Generador trifásico de corriente eléctrica:.....	18
1.1.10.- Rectificador de corriente.-	19
1.1.10.1.- Clasificación de los rectificadores:.....	20
1.1.11.- Sistema KERS:	22
1.1.11.1.- Tipos de KERS	23
1.1.12.- Componentes principales del KERS eléctrico:.....	25
1.1.13.- Funcionamiento general del KERS eléctrico:.....	31
1.1.14.- Fabricación del sistema KERS	33
1.1.15.- Complicaciones con el KERS.....	34
1.1.16.- Seguridad con el KERS:	34
1.1.17.- Elementos electrónicos:.....	36
1.2.- Pruebas del “Go kart” en pista.....	45
1.2.1.- Tiempos de vueltas cronometradas:.....	46
1.3.- Pruebas del rendimiento del “Go kart” en el Banco dinamométrico.....	47
1.3.1.- Lanzamientos en el Banco de pruebas DYNO 5000:	48
1.3.2.- Resultados finales: Curvas de potencia y torque vs velocidad de motor.....	50

CAPITULO II: DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA..... 52

2.1.- Introducción:.....	52
2.2.- Prestaciones del “Go Kart”	52
2.3.- Cálculo de potencia adicional necesaria:	53
2.3.1.- Cálculo de energía cinética:.....	54
2.3.1.2.- Variación de energía cinética:.....	55
2.3.2.- Potencia requerida:	55
2.4.- Diseño del motor – generador.....	56
2.4.1.- Elección del motor eléctrico:	56
2.4.2.- Diseño del sistema generador de corriente:	58
2.4.2.1.- Datos de eje principal modificado:	59
2.4.2.2.- Elección de generador de corriente.....	59
2.4.2.3.- Acople de sistema generador a motor eléctrico:	61

2.5.- Diseño y análisis del sistema de transmisión KERS	63
2.5.1.- Cálculo y diseño del sistema de transmisión eje principal – motor de combustión.....	64
2.5.5.1.- Cálculos de la transmisión: Eje principal – motor de combustión.....	66
2.5.5.2.- Cálculos de la cadena de transmisión principal:	67
2.5.5.3.- Cálculo de esfuerzos transmitidos al eje posterior.....	71
2.5.1.1.- Inclusión del embrague electromagnético	73
2.5.2.-Cálculo y diseño del sistema de transmisión motor eléctrico – motor de combustión .	77
2.5.2.1.- Cálculos de la transmisión secundaria: Motor eléctrico- motor de combustión ...	79
2.5.2.2.- Análisis de la cadena de transmisión secundaria:	80
2.5.5.3.- Calculo de esfuerzos transmitidos al eje trasero por la cadena.....	83
2.5.3.- Inclusión de embrague electromagnético	84
2.6.- Análisis estructural del eje posterior del “Go Kart”	87
2.6.1.- Diseño del eje posterior	87
2.6.1.2.- Sumatoria de fuerzas verticales y fuerza de fricción:	88
2.6.1.- Simulación del eje posterior	97
2.7.- Diseño del módulo de control y acumulación de energía	100
2.7.1.- Diseño del sistema de control KERS	100
2.7.1.1.- Circuito lógico de control	101
2.7.1.2.- Diseño de circuito comparador del nivel de carga.....	106
2.7.1.3.- Diseño del circuito de potencia.....	110
2.7.1.4.- Circuito lógico completo (Control, comparación, potencia y protección).....	112
2.7.2.- Pruebas en protoboard	114
2.8.- Diseño del sistema eléctrico KERS	114
2.8.1.- Conexión de los elementos	115

CAPITULO III: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA (KERS) 118

3.1.- Introducción	118
3.2.- Construcción del motor eléctrico y generador de corriente.....	118
3.2.2.- Pruebas de motor – generador	122
3.2.2.1.- Pruebas de generación de corriente	123

3.3.- Construcción de la transmisión KERS	124
3.3.1.- Construcción de la transmisión principal: Eje – motor de combustión	125
3.3.1.1.- Construcción de la transmisión electromagnética.....	127
3.3.2.- Construcción de la transmisión secundaria: Motor eléctrico – motor de combustión	130
3.3.3.- Conexión y desconexión piñón del motor eléctrico.....	132
3.3.3.1.- Acople del sistema de embrague de transmisión secundaria	133
3.4.- Construcción de unidad electrónica de control.....	138
3.4.1.- Elaboración de placa electrónica	138
3.4.2.- Inclusión de elementos auxiliares de potencia.....	143
3.5.- Instalación de sistema eléctrico KERS	145
3.5.1.- Funcionamiento del diagrama eléctrico.....	145
3.5.1.- Dimensionamiento de baterías.....	149
CAPITULO IV: PRUEBAS FINALES Y ANÁLISIS DE DATOS.....	151
4.1.- Introducción.....	151
4.2.- Generación y aportación de corriente	151
4.2.1.- Aportación de corriente:	153
4.3.- Distribución de pesos en el “Go Kart”.....	154
4.3.1.- Dibujo de chasis previo a simulación	155
4.3.2.- Fuerzas que actúan sobre el chasis	156
4.3.3.- Representación del esfuerzo máximo soportado	157
4.3.4.- Representación del factor de seguridad	157
4.4.- Tiempos de vuelta en circuito.- KERS desactivado	158
4.5.- Tiempos de vuelta en circuito.- KERS activado.....	160
CONCLUSIONES.....	162
RECOMENDACIONES.....	163
BIBLIOGRAFIA.....	165
ANEXOS	172

INDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Trabajo realizado de una fuerza sobre un cuerpo.	2
Figura 2. Vehículo monoplaza de competición "Go Kart"	8
Figura 3. Partes principales de un "Go Kart"	8
Figura 4. Chasis de un "Go Kart"	9
Figura 5. Llantas con goma neumática.	10
Figura 6. Motor de dos tiempos mono cilíndrico refrigerado por aire.	11
Figura 7. Mecanismo de una transmisión por cadena	12
Figura 8. Elementos del embrague electromagnético	14
Figura 9. Funcionamiento del embrague electromagnético	15
Figura 10. Onda sinodal de la corriente alterna	16
Figura 11. Grafica V-t (Voltaje-tiempo) de corriente continua	17
Figura 12. Grafica I-t (Intensidad-tiempo) de corriente continua	17
Figura 13. Grafica de Voltaje de un sistema trifásico	18
Figura 14. Rectificador de corriente de motocicleta.	20
Figura 15. Esquema de un rectificador de media onda.	21
Figura 16. Puente rectificador de onda completa	21
Figura 17. Esquema de funcionamiento de un KERS Neumático	24
Figura 18. Elementos de un sistema KERS Mecánico.	25
Figura 19. Componentes del sistema KERS.	26
Figura 20. Motor - generador.	26
Figura 21. Rotación de la espira de un motor de corriente Continua.	28
Figura 22. Batería o Acumulador	29
Figura 23. Unidad de control.	30
Figura 24. Fase de carga del sistema KERS	32
Figura 25. Fase de entrega de potencia del sistema KERS.	33
Figura 26. Mecánico de Renault enfundándose los guantes obligatorios para manipular un monoplaza con KERS	34
Figura 27. Piloto un pie en tierra, y permanecer el otro en el vehículo, podría crearse una diferencia de potencial circulando corriente a través del cuerpo del piloto	35
Figura 28. Protoboard WISH 108	36

Figura 29. Modo de conexión interno de un protoboard.....	37
Figura 30. Datasheet del microcontrolador AT mega 32.....	38
Figura 31. Datasheet del integrado LM339	38
Figura 32. Relés de 12v y 5v.....	39
Figura 33. Conexión de un diodo en paralelo con la bobina.....	40
Figura 34. Datasheet del transistor 2N3904.....	40
Figura 35. Esquema interno del optoacoplador 2N25.....	41
Figura 36. Esquema interno de un transistor Darlington TIP120	42
Figura 37. Pantalla LCD de 16x2.....	43
Figura 38. Tabla de colores de las resistencias	44
Figura 39. Diodo 1N4007	44
Figura 40. Kartodromo de la ciudad de Loja.	45
Figura 41. Banco de pruebas DYNO 5000	48
Figura 42. Go kart” colocado en el banco de pruebas.....	49
Figura 43. Curva de revoluciones, potencia y torque.....	51
Figura 44. Motor eléctrico elegido.....	57
Figura 45. Despiece de motor eléctrico.....	57
Figura 46. Diseño de alargamiento del eje principal del motor eléctrico	59
Figura 47. Estator (núcleos y espiras).....	61
Figura 48. Rotor (imanes)	61
Figura 49. Estructura y elementos motores – generador.....	62
Figura 50. Diagrama de ubicación de la transmisión.....	64
Figura 51. Sistema de transmisión por cadena del “Go Kart”	65
Figura 52. Distancia entre ejes de la transmisión principal	68
Figura 53. Fuerzas y torques que actúan sobre los piñones	69
Figura 54. Fuerzas que actúan sobre el engrane	71
Figura 55. Cubo de eje y plato de transmisión.....	74
Figura 56. Engrane Porta Bobina	75
Figura 57. Bobina.....	76
Figura 58. Bosquejo de elementos	77
Figura 59. Motor- Generador	78
Figura 60. Distancia entre ejes de la transmisión secundaria.....	80
Figura 61. Fuerzas y torques que actúan sobre los piñones de la transmisión secundaria.....	81

Figura 62. Fuerzas que actúan sobre el engrane.	83
Figura 63. Despiece del motor generador con su embrague.	84
Figura 64. Buje de acople.....	85
Figura 65. Piñón conductor de la transmisión secundaria.....	86
Figura 66. Generador acoplado con su piñón y embrague.....	87
Figura 67. Diagrama de fuerzas que se ejercen sobre la llanta	88
Figura 68. Fuerzas y reacciones que ejercen sobre el eje posterior	89
Figura 69. Fuerzas que actúan sobre el eje en el plano “XZ”	90
Figura 70. Fuerzas que actúan sobre el eje en el plano “YZ”	91
Figura 71. Eje posterior dibujado en el Software ANSYS.	98
Figura 72. Inclusión de fuerzas que actúan sobre el eje en el Software ANSYS.	98
Figura 73. Inclusión del momento torsor en el Software ANSYS.....	99
Figura 74. Análisis del factor seguridad en el Software ANSYS.	99
Figura 75. Análisis del Esfuerzo máximo en el software ANSYS.	100
Figura 76. Diseño de circuito de control.....	105
Figura 77. Vista inferior de las soldaduras-vista real del circuito.....	106
Figura 78. Diseño de circuito comparador de nivel de carga.....	107
Figura 79. Estado de los leds según la carga de la batería	108
Figura 80. Vistas inferior y real del diseño.....	109
Figura 81. Diseño de circuito de protección.	109
Figura 82. Vista inferior de las soldaduras-vista real del circuito.....	110
Figura 83. Diseño de circuito de potencia.....	111
Figura 84. Vista inferior y real del diseño del circuito de potencia.	112
Figura 85. Vista inferior del circuito completo.....	113
Figura 86. Baquela del circuito lógico completo.	113
Figura 87. Pruebas en el protoboard.	114
Figura 88. Esquema eléctrico del sistema KERS.....	116
Figura 89. Motor eléctrico luego de su alargamiento del eje.....	119
Figura 90. Bocin de la carcasa.	120
Figura 91. Estator del generador.	120
Figura 92. Cubo de rueda para rotor.	121
Figura 93. Conjunto Motor-Generador.	121
Figura 94. Transmisión KERS.	124
Figura 95. Transmisión principal del KERS.....	126

Figura 96. Cubo de eje.	128
Figura 97. Plato de transmisión.....	128
Figura 98. Engrane porta bobina.....	129
Figura 99. Implementación en el eje posterior.....	130
Figura 100. Sistema de doble piñón en la salida del motor de combustión.....	131
Figura 101. Transmisión secundaria del KERS (Motor eléctrico – motor de combustión).....	131
Figura 102. Conjunto Motor-Generador con su embrague.....	133
Figura 103. Bobina acoplada en el motor eléctrico.....	134
Figura 104. Bocín de acople.....	135
Figura 105. Piñón conductor de transmisión secundaria.	136
Figura 106. Porta bobina.....	136
Figura 107. Plato de presión.	137
Figura 108. Conjunto Motor-Generador instalado al “Go Kart”.	137
Figura 109. Grabación del circuito impreso.....	139
Figura 110. Corrección de pistas de corriente.....	140
Figura 111. Limpieza del cobre restante.....	141
Figura 112. Sujeción de elementos electrónicos en la baquela.....	142
Figura 113. Unidad electrónica de control.....	143
Figura 114. Sujeción de la unidad electrónica de control en el chasis del “Go Kart”.	143
Figura 115. Inclusión de elementos auxiliares de potencia.	144
Figura 116. Diagrama eléctrico KERS.	146
Figura 117. Elementos de potencia Motor generador con su embrague electromagnético.	147
Figura 118. Unidad de mando.....	148
Figura 119. Parada de emergencia.	149
Figura 120. Baterías.....	150
Figura 121. Bateria de plomo-acido.....	153
Figura 122. Bateria seca.....	153
Figura 123. Kart con el sistema KERS instalado.....	154
Figura 124. Chasis del “Go Kart” en el programa Ansys 13.0.	155
Figura 125. Mayado del chasis en el programa Ansys 13.0.....	156
Figura 126. Fuerzas que actúan sobre el chasis.	156

Figura 127. Análisis del esfuerzo máximo soportado en el software ANSYS.	157
Figura 128. Representación del factor seguridad.	158
Figura 129. Pruebas del “Go kart” en el Kartodromo de Loja.	158

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparaciones de mayor y menor presión en neumáticos.....	11
Tabla 2 Otras características de motores eléctricos convencionales.....	28
Tabla 3 Tiempos de vuelta del “Go Kart” en el kartodromo	46
Tabla 4. Datos del Go Kart del primer lanzamiento en banco dinamométrico.....	49
Tabla 5. Datos del Go Kart del segundo lanzamiento en banco dinamométrico.	49
Tabla 6. Datos del Go Kart del segundo lanzamiento en banco dinamométrico	50
Tabla 7. Datos promedio de referencia del “Go kart”	53
Tabla 8. Datos para cálculo de potencia adicional.....	54
Tabla 9. Datos técnicos del motor eléctrico.....	58
Tabla 10. Datos de medidas a modificar en el motor eléctrico.....	59
Tabla 11. Datos de diseño de generador.	60
Tabla 12. Datos de la transmisión principal.....	65
Tabla 13. Datos de la transmisión motor-generador.	79
Tabla 14. Código de programación en CODEVISION AVR.	102
Tabla 15. Mediciones realizadas en el motor - generador.	122
Tabla 16. Valores de generación de corriente y voltaje.....	123
Tabla 17. Datos de componentes de transmisión principal.....	126
Tabla 18. Datos de componentes transmisión secundaria.....	132
Tabla 19. Datos de la Bobina de transmisión secundaria.....	134
Tabla 20. Consumo de los componentes electrónicos.	152
Tabla 21. Peso total del “Go kart”.....	154
Tabla 22. Tiempos de vuelta del “Go Kart” .- KERS desactivado.	159
Tabla 23. Tiempos de vuelta del “Go Kart”.- KERS activado.....	160

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE
ENERGÍA CINÉTICA DEL FRENO EN UN GO KART”**

RESUMEN

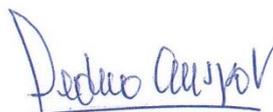
El presente trabajo de titulación trata sobre la recuperación de la energía cinética que pierde el motor del vehículo durante la fase de frenado, para posteriormente utilizarla como energía mecánica. Primeramente, se analizaron las prestaciones del “Go Kart” con el fin de realizar un diseño del sistema de acuerdo al desempeño actual del vehículo. En una segunda etapa se implementó el motor – generador que produce y utiliza energía eléctrica, se construyó un sistema de doble transmisión que conecta el motor eléctrico y el de combustión con ayuda de elementos electromagnéticos; posteriormente se diseñó y construyó la unidad de control que comanda el sistema implementado en sus fases de funcionamiento. Finalmente, se realizaron pruebas de tiempos de vuelta en kartódromo, estableciendo un 2% de mejora.

Palabras claves: Recuperación de energía cinética, fase de frenado, motor – generador, motor eléctrico, unidad de control.



Ing. Edgar Mauricio Barros Barzallo

Director de escuela



Ing. Pedro José Crespo Vintimilla

Director de tesis



Anibal Leonardo González Soto

Autor



Christian Daniel Cáceres Vega

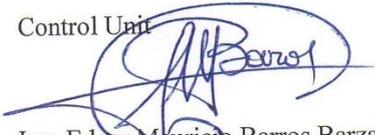
Autor

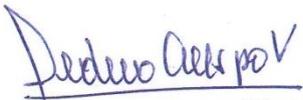
**“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A KINETIC ENERGY RECOVERY
SYSTEM ON A GO-KART BRAKE”**

ABSTRACT

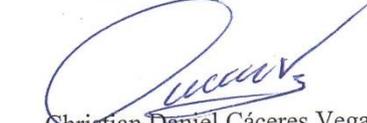
This graduation paper deals with the recovery of kinetic energy that is lost by a motor vehicle during the braking phase to be used as mechanical energy later on. Firstly, the Go-Kart performance was analyzed so as to make a design of the system according to the current vehicle performance. In a second stage the motor-generator that produces and uses electricity is implemented; a dual transmission system that connects the electric and the combustion motor is constructed with the help of electromagnetic elements. Later, the control unit that commands the implemented system in its operation phases was designed and built. Finally, Go-karts lap time tests were performed at Karting circuits setting a 2% improvement.

Keywords: Kinetic Energy Recovery, Braking Phase, Motor-Generator, Electric Motor, Control Unit


Ing. Edgar Mauricio Barros Barzallo
SCHOOL DIRECTOR


Ing. Pedro José Crespo Vintimilla
THESIS DIRECTOR


Anibal Leonardo González Soto
AUTHOR


Christian Daniel Cáceres Vega
AUTHOR


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DPTO. IDIOMAS


Translated by
Lic. Lourdes Crespo

González Soto Aníbal Leonardo

Cáceres Vega Christian Daniel

Trabajo de grado

Pedro José Crespo Vintimilla

Noviembre 2014

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA DEL FRENO EN UN GO KART”

INTRODUCCIÓN

Cuando circula el vehículo por carretera y se tiene que reducir la velocidad, se desplaza el pie del acelerador al freno y se lo pisa hasta detener completamente el “Go Kart” (monoplaza de competición). Lo que se ha hecho es convertir el movimiento en calor, gracias al sistema de freno del vehículo, pero este calor se desperdicia y se deberá invertir en más energía para volver a ponerlo en marcha.

En la actualidad existe una manera de aprovechar la energía cinética del motor que es desperdiciada durante el frenado. También es utilizado en competencias automotrices a nivel mundial (Sistema KERS) y su funcionamiento es relativamente sencillo.

Por tal razón, la presente investigación se fundamenta en la necesidad de aumentar la potencia límite del “Go Kart”, por medio de un sistema de recuperación de energía cinética que normalmente es desaprovechada al momento del frenado, convirtiendo ésta energía en eléctrica, para que después se transforme en energía mecánica que pasa por un sistema de transmisión y alimenta la salida del motor de combustión de manera inmediata y segura.

Se diseñará y construirá un sistema eléctrico seguro que garantice mejores prestaciones del motor de combustión interna, con un suministro de energía mecánica que puede ser accionado cuando el piloto considere necesario, con la finalidad de mejorar el desempeño en el circuito de competición y facilitar los adelantamientos.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS GENERALES

1.1.- Conceptos generales

1.1.1.- Trabajo:

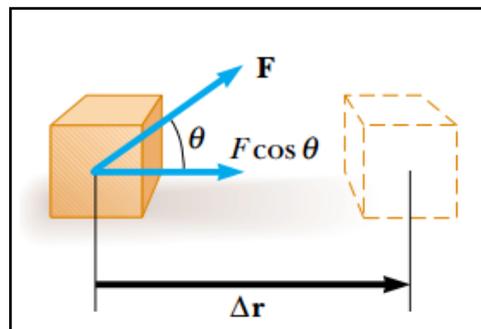
En el lenguaje común, la palabra “trabajo” se asocia a todo aquello que necesite un esfuerzo físico o mental y que en consecuencia produzca cansancio. Según el estudio de la física existe trabajo cuando actúa una fuerza sobre un cuerpo y esta origina su desplazamiento. (Junquera, 2013).

1.1.1.1.- Definición física:

En cualquier movimiento, por más complicado que resulte realizarlo, el trabajo total realizado sobre un cuerpo por todas las fuerzas que actúan sobre ella es igual al cambio en su energía cinética. (Hibbeler, 2004).

Como se muestra en la figura 1, el trabajo realizado por una fuerza sobre un cuerpo es el producto entre la fuerza y la variación de desplazamiento realizado en la dirección de ésta. La fuerza y el desplazamiento son magnitudes vectoriales y el trabajo una magnitud escalar (carece de dirección y sentido). (Junquera, 2013).

Figura 1. Trabajo realizado de una fuerza sobre un cuerpo.



Fuente: Junquera

Por lo tanto:

$$W = F \cdot \Delta r \quad (\text{Ec. 1.1}) \text{ (Shigley 2008)}$$

En donde:

W = Trabajo (N)

F = Fuerza (N.m)

Δr = Variación de desplazamiento (m)

El trabajo efectuado sobre el cuerpo se va incrementando a medida que aumenta la fuerza o el desplazamiento. Esto lo muestra la ecuación 1.1. La unidad de trabajo en el sistema SI es el Joule que equivale a 1 N.m, lo que indica que un Joule es el trabajo realizado por una fuerza de un Newton que cuando actúa sobre un cuerpo lo mueve un metro en su misma dirección y sentido. (Junquera, 2013).

1.1.1.2.- Trabajo de una fuerza constante:

Se tiene una fuerza “F” cuyo módulo, dirección y sentido son constantes al momento de actuar sobre un cuerpo, sea Δs la variación de desplazamiento que produce la fuerza el momento que actúa sobre el cuerpo durante un tiempo determinado. Se define al trabajo “W” como el producto de dicha fuerza “F” por la magnitud del desplazamiento. (Vaquero Herrera 2011).

Cabe señalar que se debe tomar en cuenta la componente de la fuerza que está en la misma dirección del desplazamiento.

1.1.2- Energía:

Pueden existir varios conceptos porque se conoce mucho de ella, se la considera un elemento de consumo cotidiano ya que todo fenómeno natural lleva energía. Además tiene aplicaciones positivas y negativas, desde el fuego que el ser humano aprendió a dominar hasta la creación de bombas nucleares. (Vaquero Herrera 2011).

La energía es el fenómeno que permite a todos los cuerpos experimentar cambios físicos y químicos. Algunos cuerpos pueden tener energía y otros no la pueden tener. Es seguramente una de las palabras de la física que más se usa ya que siempre se habla del costo de la energía, de su aprovechamiento, de su crisis, etc. Sin energía, ningún proceso físico, químico o biológico sería posible. (Vaquero Herrera 2011).

1.1.3.- Energía cinética:

1.1.3.1.- Descripción:

La capacidad de realizar cambios, que poseen los cuerpos en movimiento, se debe a dos factores: la masa del cuerpo y su velocidad sin importar que haya causado el movimiento. Aunque no se lo tome en cuenta, la energía cinética siempre está a nuestro alrededor. (Vaquero Herrera 2011) (Junquera 2013).

Derivado de la palabra griega “kinesis” que significa “movimiento”, la energía cinética se define como la energía asociada a los cuerpos que se encuentran en movimiento, dependiendo tanto de la masa como de la velocidad del cuerpo. Este tipo de energía se traduce como el trabajo necesario para acelerar un cuerpo de una masa desde el reposo hasta su velocidad indicada. Cuando se consigue la energía durante la aceleración, el cuerpo mantiene su energía cinética sin tomar en cuenta el cambio de rapidez, la misma cantidad de trabajo es realizado por el cuerpo en su desaceleración desde la velocidad actual hasta el reposo. (Wordpress 2013).

Todo cuerpo que esté en movimiento genera energía cinética, pudiendo así proponer ideas para el aprovechamiento de dicha energía. Cuando el cuerpo no tiene rapidez, es decir, está en reposo la energía cinética es cero. (Wordpress 2013).

Cuanto mayor sea su velocidad y su masa, más energía cinética tendrá el cuerpo. Esta relación viene dada por la ecuación 1.2:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (\text{Ec. 1.2})(\text{Hibbeler, 2010})$$

En donde:

K = Energía cinética (Joules)

m = Masa (Kg)

v = Velocidad (m/s)

La fórmula presentada indica que la energía cinética aumenta con mayor cantidad de masa y el cuadrado de la velocidad.

La energía cinética es una cantidad escalar, es decir, no tiene ninguna dirección propia. Se mide en Julios.

1.1.3.2.- La ciencia detrás de la energía cinética:

La energía cinética se puede intercambiar con la energía potencial, que es la energía que posee un cuerpo debido a su posición. Esta situación recuerda la ley de la conservación de la energía, la cual indica que la energía ni se crea ni se destruye, sino que se transforma. (Wordpress 2013).

La ciencia y las nuevas tecnologías han hecho posible que la energía cinética se pueda renovar a si misma a través del sistema de recuperación de energía cinética (KERS) cuyo funcionamiento aprovecha la energía que se desperdicia durante el frenado o la desaceleración, lo almacena y lo vuelve a utilizar para mejorar las aceleraciones. (Wordpress 2013).

Aunque no sea completamente comprobado que los cuerpos en movimiento llevan tanta energía como se calcula, es cierto que llevan energía cinética asociada a ellos y por lo tanto es muy útil. No solo es una fuente de energía limpia, sino que también es convertible de un tipo de energía a otra y tiene varias aplicaciones. (Wordpress 2013).

1.1.3.3.- Trabajo y energía cinética:

Es posible obtener una fórmula matemática que relacione la energía que está asociada con la velocidad de los cuerpos, para ello se debe considerar que el cuerpo a analizar está desplazándose en un plano horizontal sin la influencia del rozamiento y con una fuerza constante para que todas las posiciones sean energéticamente equivalentes. (Hibbeler, 2010)

En tal caso la ecuación 1.3 y 1.4 comprenden:

$$Ec_0 = \frac{1}{2} mV_0^2 \quad (1.3)(\text{Hibbeler, 2010})$$

$$Ec_f = \frac{1}{2} mV_f^2 \quad (1.4) (\text{Hibbeler, 2010})$$

$$W = Ec_f - Ec_0 \quad (1.5) (\text{Hibbeler, 2010})$$

En donde:

E_{c0} = Energía cinética inicial (Joules)

E_{cf} = Energía cinética final (Joules)

m = Masa (Kg)

V_0 = Velocidad inicial (m/s)

V_f = Velocidad final (m/s)

W = Trabajo (Joules)

La ecuación 1.5 relaciona los resultados de las ecuaciones 1.4 y 1.5 con el objetivo de obtener un trabajo que equivale a diferencia entre las energías cinéticas inicial y final.

1.1.4.- Trabajo y potencia:

El trabajo, en general, no toma en cuenta el tiempo que dura el proceso de transferencia de energía de un cuerpo a otro. Para tener la idea de la rapidez con la que se realiza el trabajo, se introduce la denominada potencia mecánica la cual se describe como la cantidad de trabajo que puede efectuarse en una unidad de tiempo. (Hibbeler, 2010)

Su expresión se da en la ecuación 1.6:

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{Ec.1.6})(\text{Hibbeler, 2010})$$

En donde:

P = Potencia (Watts)

W= Trabajo (Joules)

t= Tiempo (s)

A la hora de la elección de una máquina, sin duda la magnitud más importante a tener en cuenta es la potencia, ya que esta describe el comportamiento mecánico de la máquina.

1.1.5.- “Go Kart”

El “Go kart” es un vehículo monoplace de competición el cual carece de techo, suspensión y carrocería (Fig. 2). Sus llantas delanteras son las encargadas del control de la dirección y las dos traseras se encargan de transmitir la potencia del motor que generalmente es colocado un mono cilíndrico. Las partes principales que se encuentran son el chasis, las llantas y el motor. Con este tipo de vehículo se practica el Karting, una rama del automovilismo que es el punto inicial para la formación de muchos pilotos internacionales. (Salazar González, 2014)

Figura 2. Vehículo monoplaza de competición "Go Kart"



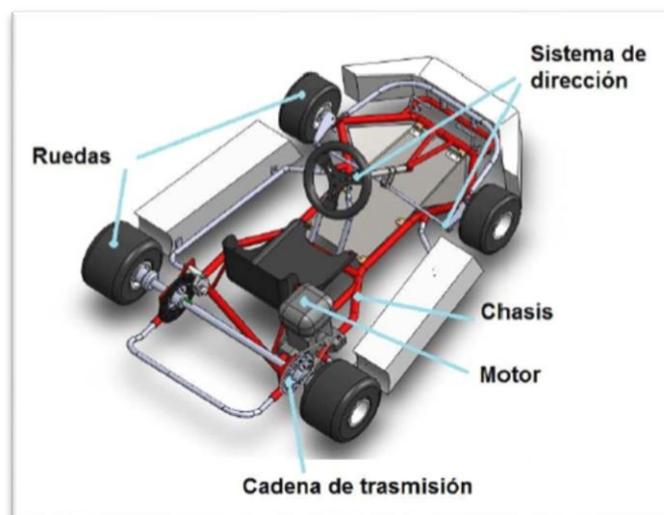
Fuente: Autores.

1.1.5.1.- Partes principales:

Este monoplaza cuenta con varias partes que son indispensables para su funcionamiento y correcto desempeño en pista, no obstante posee un grupo de piezas que tienen influencia directa en el desenvolvimiento del vehículo. (Salazar González, 2014)

Dichos componentes se muestran a continuación en la figura 3:

Figura 3. Partes principales de un "Go Kart"

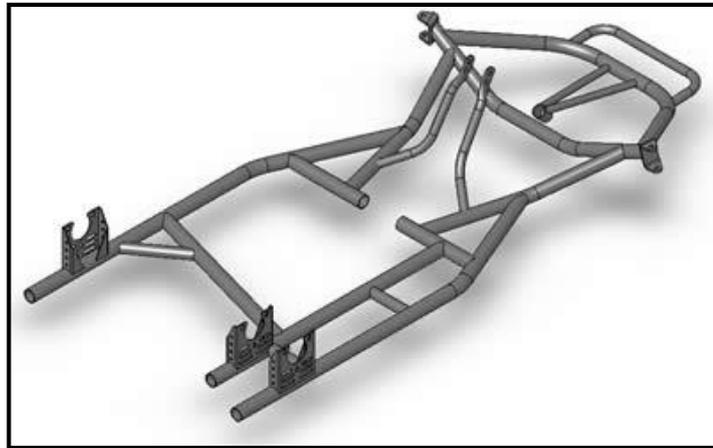


Fuente: Salazar González.

a) Chasis:

Es la estructura que soporta todas las piezas principales y auxiliares, consta de un conjunto de tubos de acero soldado, no atornillado formando una estructura rígida. Consta de un eje trasero rígido que carece de diferencial (Fig.4). Están diseñados con el objetivo de transmitir la mayor cantidad de potencia al piso y también de tener mucho agarre en pista. Los “Go kart” modernos utilizan barras más largas para la construcción del chasis, con lo cual se consigue una mayor flexibilidad y mejor movilidad en pista, sobre todo en las curvas. El mejor diseño del chasis de un “Go kart” es el que permite tracción y flexibilidad a la vez. (Salazar González, 2014)

Figura 4. Chasis de un "Go Kart"



Fuente: kartsfrancis.com

La construcción del chasis es de gran importancia ya que su rigidez permite diferentes características de manejo dependiendo de las circunstancias climáticas o de pista en las que se maneja. Principalmente debe ser ligero para permitir un mejor manejo, pero a la vez suficientemente fuerte para soportar las fuerzas a las que está sometido. (Salazar González, 2014)

Mucho se insiste en que la mayor competitividad se encuentra en el motor del “Go Kart”, cuando la parte más importante es el chasis, ya que es la estructura principal que sujeta la totalidad de los componentes del vehículo. (Salazar González, 2014)

El frenado se encuentra en el eje trasero, que consigue mediante un disco de freno. Algunos “Go kart” traen frenos delanteros aunque son mucho más avanzados y costosos. (Salazar González, 2014)

b) Ruedas:

Son las llantas con goma neumática, que sirven para la dirección y propulsión. Dependiendo del estado de la pista se puede dar la elección de neumáticos. Generalmente existen las llantas “slicks” para piso seco y las “wet tires” para cuando la pista esta mojada. De aquí se pueden fabricar varios compuestos de neumáticos como blandos, intermedios y duros, dependiendo de cuan abrasiva sea la pista y la temperatura en pista (Fig.5). Al optar por compuestos muy suaves o blandos se obtiene un gran agarre en frenada y curva, pero la goma se deteriora rápidamente lo que puede ocasionar que el “Go kart” tenga problemas tempranos en carrera. (Salazar González, 2014)

Figura 5. Llantas con goma neumática.



Fuente: autoplit.es

Las llantas están hechas de aleaciones de magnesio o aluminio, soportan fuerzas en curva hasta de 20 m/s^2 , dependiendo de la configuración del chasis y el motor. (Salazar González, 2014)

- **Presión en los neumáticos:**

El ajuste de la presión en los neumáticos es muy importante en la configuración general del “Go kart”, ya que afecta directamente en el equilibrio general del monoplaça. Generalmente la regla es que a mayor presión se genera más calor y mayor rigidez y viceversa, pero entre más presión tienen las ruedas el aumento de temperatura es mayor y por lo tanto genera un sobrecalentamiento en la carrera, acortando la vida útil.

En la tabla 1 se resume el comportamiento de las ruedas según la presión:

Tabla 1. Comparaciones de mayor y menor presión en neumáticos

PRESION	Mayor presión	Menor presión
Agarre	Disminuye	Aumenta
Área de contacto	Disminuye	Aumenta
Respuesta del volante	Rápida	Lenta
Rendimiento en mojado	Aumenta	Disminuye
Duración	Disminuye	Aumenta

Fuente: Salazar González

c) Motor:

Es el conjunto propulsor del vehículo que comprende un bloque de cilindro, cárter, sistema de encendido, sistema de admisión, carburador y el escape (Fig. 6).

Figura 6. Motor de dos tiempos mono cilíndrico refrigerado por aire.



Fuente: kart22.com

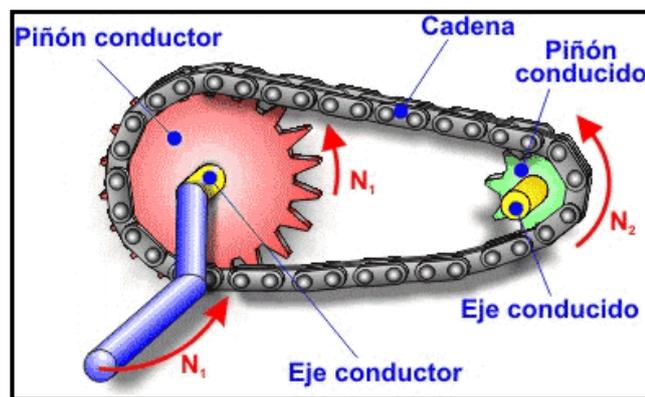
La mayoría de los motores son refrigerados por aire, a veces con pequeñas modificaciones, su potencia está entre 5 a 20 hp. Briggs y Stratton, Tecumseh, Kohler, Robin y Honda son los mayores fabricantes de estos motores. Son adecuados para las carreras de karts y varias aplicaciones. También son más potentes motores de cuatro tiempos disponibles de fabricantes como Yamaha, TKM y Swissauto cuyos

motores pueden llegar hasta los 48 hp. Corren hacia y alrededor de 11.000 rpm, y se fabrican específicamente para el karting. (Salazar González, 2014).

d) Transmisión:

El par es transmitido desde la salida del motor a las ruedas, por medio de una transmisión por cadena (Fig.7). Tanto el motor como las catalinas pueden ser cambiados, éstas últimas con el objetivo de modificar la relación de transmisión, para una favorable configuración del “Go kart”. Los elementos de transmisión son los mayores responsables de las prestaciones o comportamiento del vehículo. (Ayesa, Estremera, 2012) (Cenice, 2006)

Figura 7. Mecanismo de una transmisión por cadena



Fuente: concurso.cnice.mec.es

Carece de diferencial, esto significa que un neumático trasero se desliza en las curvas, lo que es posible hacerlo gracias al diseño del chasis, así el neumático interior trasero se levanta levemente cuando se toma la curva. Eso hace que el neumático pierda algo de agarre y se deslice. (Ayesa, Estremera, 2012) (Cenice, 2006)

En los inicios se usaba un accionamiento directo pero pronto se llevó al uso del embrague centrifugo seco, que en la actualidad se considera casi una norma de uso. (Ayesa, Estremera, 2012) (Cenice, 2006)

En los “Go kart” sin cambios la elección de una adecuada relación de transmisión es un factor importante para el rendimiento del vehículo. La razón entre el número de dientes de la catalina del motor y de la del eje trasero condiciona la velocidad final y la capacidad de aceleración. (Ayesa, Estremera, 2012) (Cenice, 2006)

1.1.6.- Embrague:

Es la unión temporal de dos elementos que se encuentran girando en un mismo eje. Se lo utiliza para transmitir de un elemento al otro un determinado movimiento rotacional y que sean desacopladas cuando un factor externo lo ordene. Esto se da cuando se necesita cambiar de marcha o simplemente dejar de transmitir el movimiento rotacional. (Temperley Transmisiones, 2013).

Los embragues estarán presentes en cualquier situación que se necesite conectar o desconectar una fuente de fuerza con elementos en movimiento. Tienen aplicación universal tanto en máquinas como en vehículos y en la industria. (Temperley Transmisiones, 2013).

1.1.6.1.- Embrague electromagnético:

Este tipo de embrague es utilizado para conectar los compresores del aire acondicionado, entre otros mecanismos. Como todo embrague su función es de unir dos elementos giratorios, es decir, una parte conductora y una parte conducida. (Temperley Transmisiones, 2013).

Su aplicación es muy recomendada debido a que sus tiempos de respuesta son muy rápidos, conectan y desconectan de forma muy suave, tienen un control fácil, su vida útil es larga y requieren de poco mantenimiento. (Temperley Transmisiones, 2013).

El desgaste de las superficies de rozamiento es mínimo y todo el conjunto no necesita de ningún tipo de calibración, sus tiempos de conexión y desconexión son inmediatos por lo tanto se los considera como embragues de precisión. (Temperley Transmisiones, 2013).

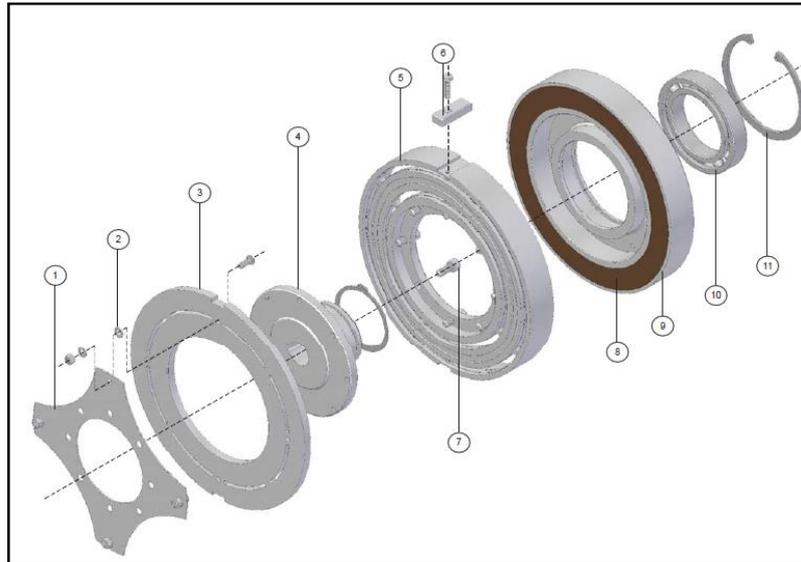
A pesar de que la temperatura no es mayor problema en estos embragues, regularmente se los coloca en espacios con ventilación ya que su principal fuente para su funcionamiento es la corriente eléctrica. (Temperley Transmisiones, 2013).

a) Elementos del embrague electromagnético:

Se presenta en la figura 8 los componentes mecánicos y eléctricos que conforman un embrague electromagnético, sobresaliendo de este grupo la bobina (8) que tiene por función recibir corriente eléctrica para crear el magnetismo suficiente y atraer la placa de presión (3), la cual hará que la patea (5) gire solidario al movimiento rotacional. (Temperley Transmisiones, 2013).

También se presentan varios elementos que tienen por labor la sujeción de las partes anteriormente nombradas. Estas ayudan a un funcionamiento exacto del embrague. (Temperley Transmisiones, 2013).

Figura 8. Elementos del embrague electromagnético



Fuente: transmisionestemperley.com

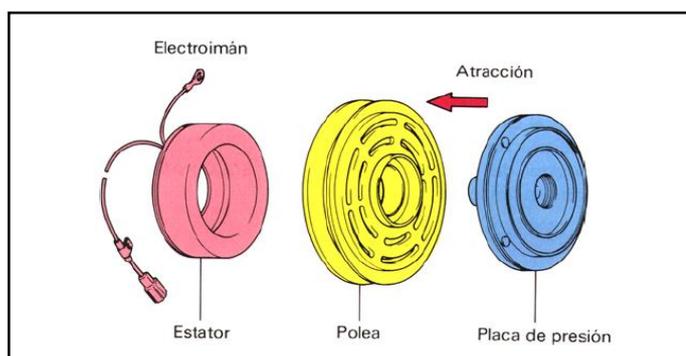
b) Funcionamiento del embrague electromagnético:

Se encuentra conformado por un electroimán, cuya bobina se alimenta de corriente continua y genera una fuerza magnética que atrae rápidamente al rotor. (Ansal, 2013)

Cuando el motor de combustión está funcionando, la polea gira gracias a una transmisión ya sea por cadena o por banda conectada desde la toma de fuerza, en ese momento la placa de presión esta libre y no gira. En el instante en que suministra corriente continua a la bobina del estator, el electroimán atrae la placa de presión y esta se pega a la polea comenzando a rotar como unidad, accionando de esta forma el mecanismo al que esté instalado este tipo de embrague. (Ansal, 2013)

La figura 9 muestra cada uno de los elementos nombrados:

Figura 9. Funcionamiento del embrague electromagnético



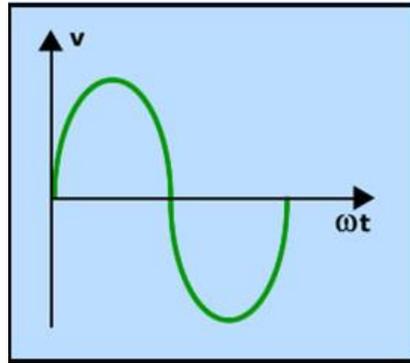
Fuente: toyota.com

1.1.7.- Corriente alterna:

Es el tipo de corriente que cambia periódicamente su polaridad, es decir, llega a un valor tope de polaridad positiva, desciende a cero y luego alcanza otro valor tope en la polaridad negativa, provocando una variación de tensión con respecto al tiempo (Fig.10). Se repite este ciclo una y otra vez. (Nichese, 2013).

Esta variación de tensión provoca ondas de señal, la más común es la onda sinodal, la cual es también la más fundamental. Se pueden dar otros tipos de formas de señales aunque tienen más aplicación en el sector electrónico. (Nichese, 2013).

Figura 10. Onda sinodal de la corriente alterna



Fuente: nichese.com

1.1.7.1.- Ventajas de la corriente alterna:

- Los generadores de corriente alterna tales como los alternadores, son más baratos de fabricar, su sistema de funcionamiento es más eficiente y son menos complejos.
- La corriente alterna se puede llevar en grandes cantidades de energía por grandes distancias a una alta tensión.
- La construcción de motores que funcionen con corriente alterna es mucho más simple.
- La conversión o rectificación de corriente alterna a continua resulta barato y eficiente. (Nichese, 2013).

1.1.7.2.- Producción:

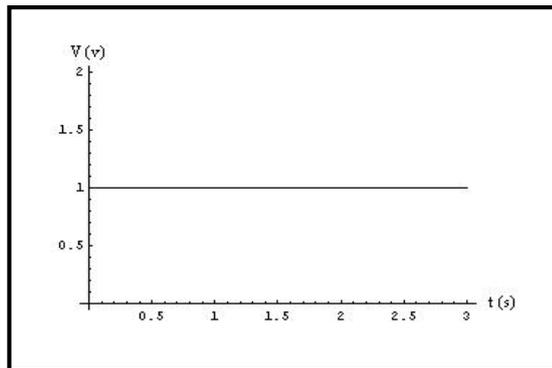
La gran mayoría de los generadores de corriente alterna son rotativos electromecánicos, movidos por los diversos tipos de motores que se encuentran en el medio. (Nichese, 2013).

Ciertos generadores necesitan de la excitación de la corriente eléctrica para crear la inducción, otros tipos de generadores no la necesitan. (Nichese, 2013).

1.1.8.- Corriente continua:

Es el tipo de corriente cuya característica es que presenta un valor de tensión constante que no varía respecto al tiempo, esto quiere decir que la corriente circula en el mismo sentido y no cambia su polaridad (Fig.11). Los electrones van desde el polo negativo al polo positivo. (Rodríguez, 2012).

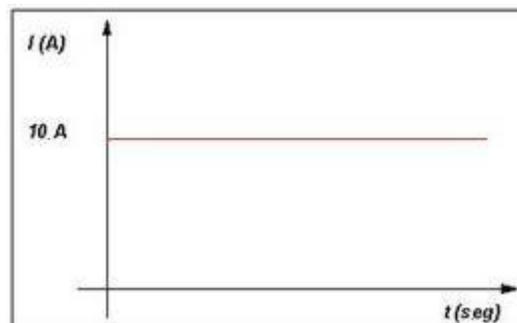
Figura 11. Grafica V-t (Voltaje-tiempo) de corriente continua



Fuente: Rodríguez Cerón.

Todos los elementos que se conectan a las baterías o pilas que contengan corriente continua van a funcionar a tensión constante, puede variar desde los 5V hasta los 220V (Fig.12). Cabe señalar que la intensidad de corriente también es la misma. (Rodríguez, 2012).

Figura 12. Grafica I-t (Intensidad-tiempo) de corriente continua



Fuente: profesormolina.com.ar

1.1.9.- Generador trifásico de corriente eléctrica:

El generador eléctrico es un elemento electromecánico que se encarga de transformar un movimiento rotativo mecánico en energía eléctrica. (Wikipedia, 2014).

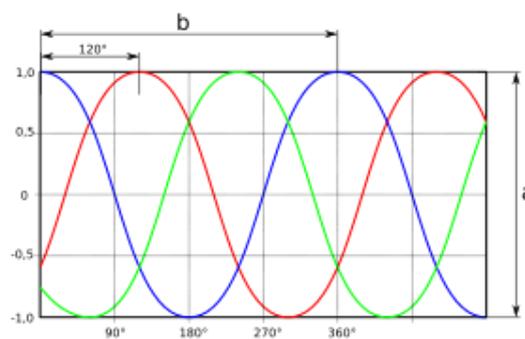
Existen generadores que pueden producir corriente eléctrica continua tal como es el dínamo, pero por cuestión de costos el más usado es el generador que produce corriente alterna. El elemento que lo realiza es el alternador. (Wikipedia, 2014).

Otro elemento que produce corriente alterna es el que se utiliza en las motocicletas, se obtiene por medio de un bobinado rotativo que gira dentro de un campo magnético provocando una electricidad inducida. (Wikipedia, 2014).

1.1.9.1.- Sistema trifásico:

El sistema de producción de energía eléctrica trifásico se encuentra compuesto de tres corrientes eléctricas monofásicas de igual frecuencia pero desfasadas entre ellas, explicación que se nota claramente en la figura 13. Normalmente están separadas a 120° y tienen su respectivo orden. Cada una de estas corrientes se las llama “fase”. (Wikipedia, 2014).

Figura 13. Grafica de Voltaje de un sistema trifásico



Fuente: wikimedia.org

Este sistema se encuentra en equilibrio cuando a más de su desfase exacto, cada fase entrega la misma cantidad de corriente; caso contrario se encuentra en desequilibrio.

Las ventajas de este sistema es su economía de construcción, de transporte de energía y de rectificación de la misma. (Wikipedia, 2014).

Existen dos tipos de conexión trifásica: Conexión en estrella y en triángulo. El neutro es el punto de unión de las fases. (Wikipedia, 2014).

1.1.9.2.- Principio de funcionamiento de la generación de corriente trifásica

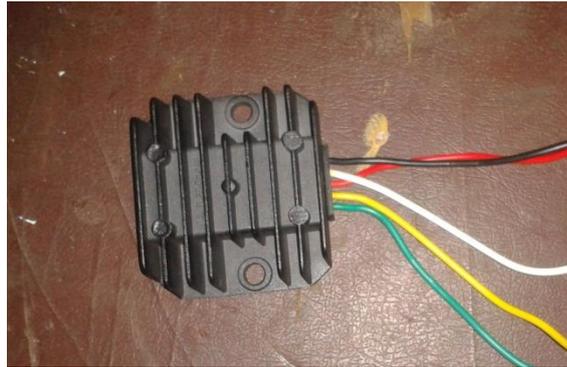
La producción de la corriente alterna trifásica se debe al movimiento giratorio. Existen tres bobinados de igual número de polos y vueltas de cable. Los bobinados son independientes entre si separados con un ángulo de 120° . (Wikipedia, 2014).

El funcionamiento consiste en que cuando el rotor empieza a girar, se da el fenómeno de la inducción, es decir, se producen en los bobinados tensiones alternas de forma senoidal también desfasadas 120° entre ellas, provocando el mismo desfase con respecto al tiempo. Este ciclo de funcionamiento se repite, generando la corriente eléctrica alterna trifásica. (Wikipedia, 2014).

1.1.10.- Rectificador de corriente.-

Generalmente se los utiliza para rectificar la corriente alterna que se obtiene de alternadores u otras clases de generadores (Fig. 14). Esta corriente no es constante, es decir, tiene picos de voltaje y cambia su polaridad, por lo tanto no es recomendable para el funcionamiento de aparatos eléctricos o electrónicos que funcionen con corriente continua, así mismo tampoco es idónea para la carga de baterías o alguna otra clase de acumulador de corriente. (Franco, 2005).

Figura 14. Rectificador de corriente de motocicleta.



Fuente: Autores.

Los circuitos rectificadores de corriente se encuentran formados por un grupo de diodos que transforman la onda de señal que reciben particularmente de un generador. Este puente de los mencionados componentes electrónicos nos permite obtener una corriente continua, es decir, constante y almacenable. (Franco, 2005).

Como todos los generadores para su funcionamiento dependen de una fuerza externa, esta puede variar regularmente, aumentando la tensión, por lo que después de la rectificación de corriente se debe pasar a la regulación de la misma. (Franco, 2005).

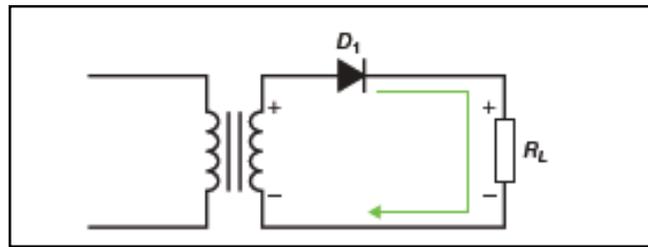
1.1.10.1.- Clasificación de los rectificadores:

a) Rectificador de media onda:

Cuando la corriente alterna entra al rectificador, esta posee doble polaridad, es decir, positiva y negativa. Lo que hace el rectificador de media onda es eliminar la mitad de la señal de onda que recibe, por lo tanto cuando elimina la parte positiva de la onda la polarización se denomina inversa; cuando elimina la parte negativa se llama polarización directa. (McGraw-Hill, 2010).

Esto se muestra en la figura 15:

Figura 15. Esquema de un rectificador de media onda.



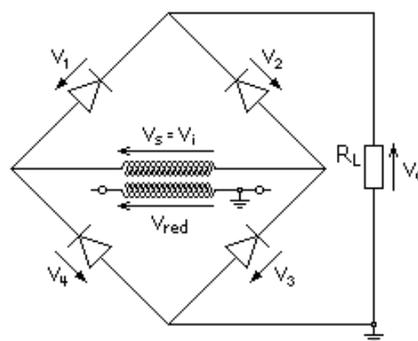
Fuente: unicom.com

b) Rectificador de onda completa:

Es el tipo de rectificador más aplicado en sectores industriales y automotrices, su ventaja es que rectifica la polaridad positiva y negativa de la corriente alterna y entrega una corriente continua constante a pilas o baterías. (McGraw-Hill, 2010).

En este tipo de rectificador se emplean cuatro diodos con dos únicas formas de conducción de la corriente. Como se muestra en la figura 16, los diodos 1 y 3 están en polaridad directa por lo tanto conducen tensión positiva, o también los diodos 2 y 4 los que se encuentran en polaridad directa y llevan tensión negativa. (McGraw-Hill, 2010).

Figura 16. Puente rectificador de onda completa



Fuente: wikipedia.org

1.1.11.- Sistema KERS:

Son numerosas las quejas que recibe el campo automotriz y mucho más las competencias en donde se utilizan monoplazas, ya que son máquinas muy poco comprometidas con el medio ambiente. Es posible que haya una vía abierta que guíe a los monoplazas a un futuro híbrido con dispositivos más silenciosos y eléctricos. Es por eso que se proponen nuevas soluciones tecnológicas como lo es el freno regenerativo, lo que actualmente se conoce como KERS (Kinetic Energy Recovery System). (Prada y Nogueira, 2011).

El KERS no trata de ahorrar energía, si no de reutilizarla, lo que indica un gran proyecto para grandes competencias como la fórmula 1 con el objetivo de facilitar los adelantamientos y también como una futura implementación para autos de serie. (Marckchang, 2011)

Tiene un elevado costo económico, su distribución de pesos es complicada ya que no debe afectar al balance del vehículo. Al inicio tuvo muchas críticas porque estaba comprometida su seguridad tanto para pilotos como para mecánicos. (Marckchang, 2011)

a) Definición:

Cuando el vehículo lleva una velocidad determinada y la reduce de manera rápida, lo realiza de una sola manera, introduciendo resistencia intensa al avance, según la fuerza de frenada, lo que resulta muy notorio. (Marckchang, 2011)

Lo que ocurre físicamente cuando hay una frenada es que el vehículo tiende a seguir en movimiento inercial y sus masas tienden a adelantarse respecto al vehículo en desaceleración. Una persona se puede dar cuenta de este fenómeno ya que cuando un vehículo frena bruscamente, los objetos dentro de él se van hacia adelante hasta que se encuentran con algo bien sujeto que lo retiene. (De Celis, 2013).

Esa fuerza de inercia de las masas es la que utiliza el KERS para conseguir la energía que requiere para su funcionamiento, si no se aprovecha esta fuerza simplemente es transferida al chasis y simplemente sería disipada en forma de calor en los discos de

freno para obtener la desaceleración necesaria. Es por eso que esta energía disipada en forma de calor es reutilizable. (De Celis, 2013).

El sistema KERS es una de las numerosas innovaciones que se pueden encontrar en el mundo automotriz actual. Es un mecanismo instalado en los vehículos de serie o de competencia como la fórmula 1 que permite recuperar la energía que se genera en las frenadas para utilizarla en otros puntos del trayecto durante unos segundos. En las curvas, frenadas, los vehículos generan energía cinética, esa energía es almacenada y cuando el piloto lo requiera, con un pulsante, enviará esa energía al vehículo para que se vuelva más potente en menor tiempo. (De Celis, 2013).

La clave de su introducción en la competencia internacional de autos de fórmula fue de mejorar notablemente el tiempo de vuelta y facilitar los adelantamientos. Este sistema hace mas pasado el monoplaza por sus componentes y no reduce el consumo de combustible, pero mejora el rendimiento en carrera. (De Celis, 2013).

1.1.11.1.- Tipos de KERS

Regularmente, cuando se conduce un monoplaza, el piloto se ve envuelto en muchas situaciones de frenadas, que a veces son leves y en otras ocasiones bruscas. En este momento el vehículo sufre una desaceleración o aceleración negativa. (Marckchang, 2011)

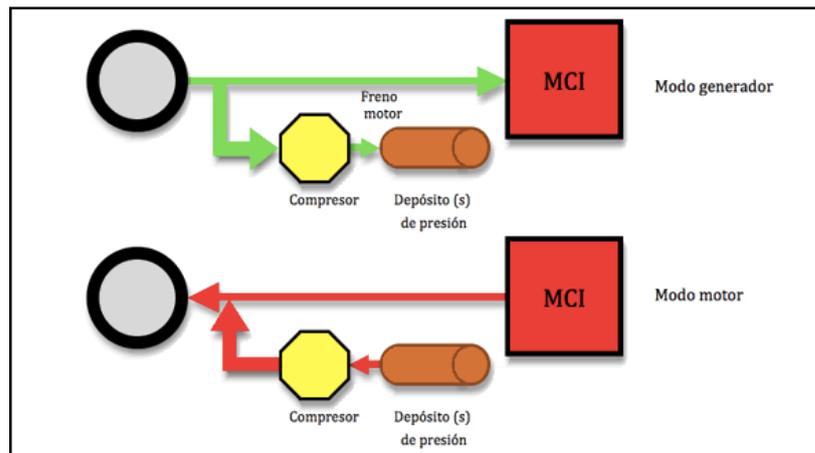
En dichas frenadas, el vehículo pierde velocidad y por ende, pierde la energía cinética que llevaba, que por la ley de conservación de la energía, esta se transforma en calor o energía térmica a través de los frenos. (Marckchang, 2011)

a) KERS Neumático

Para este tipo se usa un sistema hidráulico para almacenar la energía perdida durante el frenado. Como se muestra en la figura 17, esto se logra mediante un compresor el cual durante la etapa de frenado comprime un gas en un depósito aumentando la presión en él, convirtiendo así parte de la energía cinética del monoplaza en trabajo del compresor y por consecuencia existe una variación de presión en el depósito. (Marckchang, 2011)

Una vez concluida la etapa de frenado, esta energía queda almacenada hasta que el piloto presione el botón del KERS, haciendo así que el compresor pase a funcionar de manera inversa, liberando el gas del depósito creando una variación de presión, moviendo el compresor añadiendo par a la línea de torsión y por lo tanto dando un impulso extra al monoplaza durante un intervalo de tiempo. (Marckchang, 2011)

Figura 17. Esquema de funcionamiento de un KERS Neumático



Fuente: Markchang.

b) KERS Mecánico

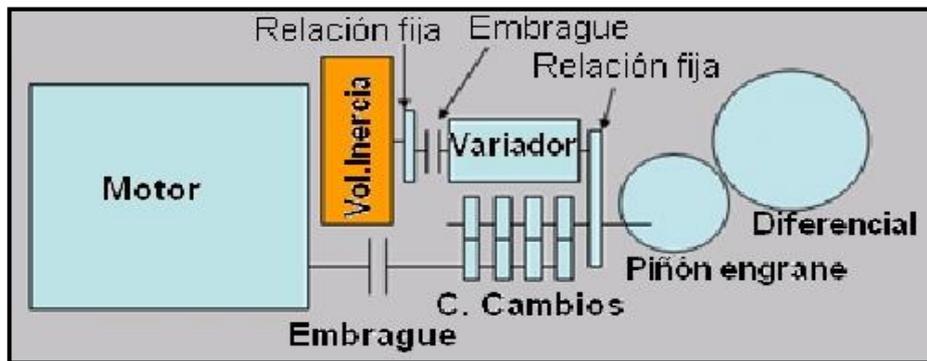
En este tipo de KERS se cuenta con una línea de tracción para almacenar energía, con la diferencia a los otros de que es totalmente mecánica. Para ello cuenta con un volante de inercia que durante la frenada, este gira. Después de que termina la frenada, el volante sigue girando, almacenando parte de la energía disipada en el momento de la frenada como una energía cinética de rotación. (Marckchang, 2011)

En el momento que el piloto acciona el pulsante del KERS, el volante de inercia se acopla a la línea de tracción en donde se encuentra y brinda la energía cinética de rotación que contiene. (Marckchang, 2011)

Como se observa en la figura 18, este sistema no transforma la energía cinética en eléctrica, por lo tanto no necesita ningún tipo de motor eléctrico o batería. (Marckchang, 2011)

Tiene la ventaja de ser mucho más liviano y eficiente que el sistema eléctrico aunque su principal inconveniente es que tiene que estar muy cercano a la transmisión del vehículo. (Marckchang, 2011)

Figura 18. Elementos de un sistema KERS Mecánico.



Fuente: David.

c) KERS Eléctrico

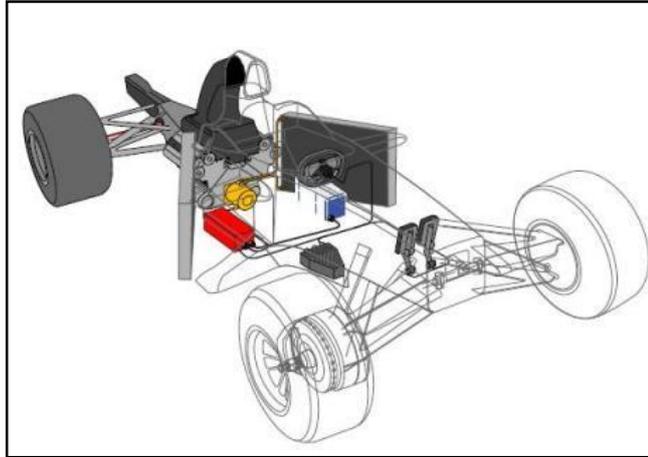
En un principio, se veía mucho más conveniente el uso del KERS mecánico, debido a su poco peso, ausencia de componentes y por su buena eficiencia, pero por problemas de dinámica vehicular al fin fue utilizado en la pista el KERS eléctrico debido a que es más sencillo su manipulación y porque el campo relacionado con este sistema ya estaba muy avanzado (Marckchang, 2011).

1.1.12.- Componentes principales del KERS eléctrico:

El KERS eléctrico consta de 3 componentes principales que se muestran en la figura 19:

- **El motor-generador** (amarillo) que genera la energía eléctrica en frenadas y la libera en forma de energía mecánica cuando el piloto utiliza KERS
- **Las baterías** (rojo) para almacenar la energía.
- **La unidad de control** (azul) para controlar todo el proceso. (Arsenio, 2011).

Figura 19. Componentes del sistema KERS.



Fuente: Arsenio.

a) Motor-generador

El motor eléctrico es utilizado en aplicaciones donde se requiere la intervención de un determinado par o velocidad. Toma en cuenta la aplicación de los imanes permanentes, en los cuales se da el principio de atracción y repulsión. La función principal de los motores eléctricos es de crear energía mecánica con la intervención de una fuente de energía eléctrica. (Alonso, 2002).

Figura 20. Motor - generador.



Fuente: Arsenio.

Está unido a un engranaje. Cumple dos fases de trabajo: Uno recuperando energía de las frenadas para transformarla en energía eléctrica que se almacena en las baterías, y otro de manera contraria, devolviendo la energía de las baterías para funcionar como motor cuando se aprieta el botón del KERS, brindando energía mecánica al motor de combustión (Fig. 20). Por las elevadas revoluciones a las que gira y la gran corriente eléctrica generada y liberada, se puede refrigerar con agua o aceite”. (Wordpress, 2013)

El motor debe estar colocado sobre bases especiales en algún sector estratégico con la finalidad de evitar el recalentamiento de sus componentes. Sus conexiones eléctricas deben estar exoneradas de esfuerzos así como también sus bornes. En su instalación se debe colocar una parada de emergencia, debido a que algunos motores eléctricos son de velocidad variable y pueden dispararse sin control, es por tal razón necesario comandar su desconexión inmediata. (Alonso, 2002).

- **Principio de funcionamiento:**

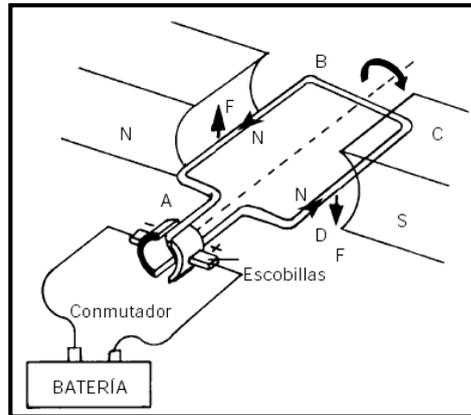
Los motores eléctricos de corriente continua se basan en la fuerza de atracción y repulsión que se crea en dos campos magnéticos utilizando la corriente eléctrica. (Alonso, 2002).

Según la teoría de los campos electromagnéticos, cuando circula corriente eléctrica por un bobinado, se crea en ella un campo magnético en el cual sus líneas de fuerza van de forma perpendicular en su interior al plano del bobinado, como la corriente es continua, el campo se polariza en ambas caras del bobinado, determinando notablemente los extremos norte y sur del mismo. La figura 21 demuestra lo explicado. (Pedrasa Ibañez, 2012) (Alonso, 2002).

Cuando se coloca el bobinado dentro del segundo campo magnético, el cual es el imán, comenzará a colocarse de manera que las líneas de fuerza del campo entren por el extremo sur y salgan por el extremo norte, creando de esta forma con el bobinado un par de rotación que origina su movimiento. (Pedrasa Ibañez, 2012)

El movimiento de rotación se detiene en el instante en que los extremos norte y sur se encuentran enfrentados debido a la fuerza de atracción entre ellos. (Alonso, 2002).

Figura 21. Rotación de la espira de un motor de corriente Continua.



Fuente: conevyt.org.mx

Las varias espiras que se encuentran en la periferia del bobinado son con la finalidad de obtener un movimiento de rotación mucho más suave y constante, logrando así giros menos bruscos. Las espiras son alimentadas eléctricamente mediante las escobillas ubicadas en la tapa del motor eléctrico. (Alonso, 2002)

- **Características de los motores eléctricos:**

Una de las ventajas de los motores eléctricos es que en muy poco tiempo alcanza un alto par motor de funcionamiento y una resistencia considerable, logrando así arrastrar rápidamente cualquier mecanismo al que esté conectado. De esta manera se logra determinar la potencia del motor eléctrico así como la capacidad de almacenamiento de la batería para que proporcione la corriente eléctrica necesaria. (Alonso, 2002).

Estas y otras características se expresan en la tabla 2:

Tabla 2 Otras características de motores eléctricos convencionales.

	Motor eléctrico convencional
Estructura mecánica	Elementos magnéticos (imanes) en el estator

Características principales	Respuesta rápida, excelente par motor y control, velocidad constante o variable.
Método de conmutación	Contacto mecánico entre las escobillas y el conmutador del rotor
Método de reversa	Cambio de polaridad del voltaje

Fuente: Autores

b) Baterías

También se las conoce como acumuladores eléctricos cuya función es de almacenar en celdas electroquímicas energía química que es transformada en energía eléctrica (Fig. 22). Las baterías pueden tener un efecto irreversible o reversible, conformándose así el grupo de las primarias y secundarias respectivamente. En el sector automotriz son mucho más aplicables los acumuladores secundarios, ya que en este tipo la batería se descarga pero puede volver a ser cargada con corriente continua desde un elemento externo. (Arsenio, 2011).

Figura 22. Batería o Acumulador



Fuente: rcwireless.com

Las baterías varían en sus dimensiones y formas dependiendo de la aplicación que puedan tener, algunos tipos requieren de un mantenimiento moderado y otras necesitan un mantenimiento mínimo. (Arsenio, 2011).

Se trata de un tipo de generador que no puede funcionar sin que antes se le haya abastecido electricidad, esto es a lo que se llama proceso de carga. A diferencia de las pilas, las baterías se recargan, aunque tienen un tiempo u horas de vida útil. (Arsenio, 2011).

En los tiempos modernos se han creado las baterías de litio que soportan mucho más las numerosas cargas y descargas, se calientan mucho, por lo tanto deben tener sistemas de refrigeración por agua o aceite. (Alonso, 2002).

c) Unidad de control

La unidad de control que se muestra en la figura 23 tiene dos funciones:

- Invertir y controlar la conmutación de la corriente del acumulador y el motor-generador.
- Supervisar el estado de las celdas de la batería. (Arsenio 2011).

Figura 23. Unidad de control.



Fuente: Arsenio.

Esta última función es primordial, porque la eficiencia de las baterías se reduce si una de las celdas falla, además de que esa celda puede sobrecalentarse y provocar problemas de seguridad. (Arsenio 2011).

La unidad de control debe verificar la carga necesaria que debe estar en el acumulador para que el motor eléctrico pueda llegar rápidamente a su potencia durante el tiempo que esté previsto. Además de esto comandará la activación del motor eléctrico tomando en cuenta condiciones de funcionamiento que se le ordenen y así reducir los tiempos de recorrido del vehículo. (Arsenio 2011).

1.1.13.- Funcionamiento general del KERS eléctrico:

El KERS eléctrico basa su principio de funcionamiento en una batería inercial, es decir, que puede actuar como generador en la fase de frenada y como motor eléctrico de corriente continua en la fase de aceleración. A diferencia del KERS mecánico, este sistema eléctrico tiene baterías para el almacenamiento de la energía y su posterior utilización para cuando el piloto lo considere necesario. (Taringa, 2011).

Este tipo de KERS se basa en un motor eléctrico de corriente continua que a su vez también cumple la función de dínamo alternador, es decir, generador de corriente. (Taringa, 2011).

1.1.13.1.- Fase de carga:

Como se explica anteriormente, la obtención de energía se basa en el funcionamiento de un motor eléctrico que también funciona como generador de corriente. (Taringa, 2011).

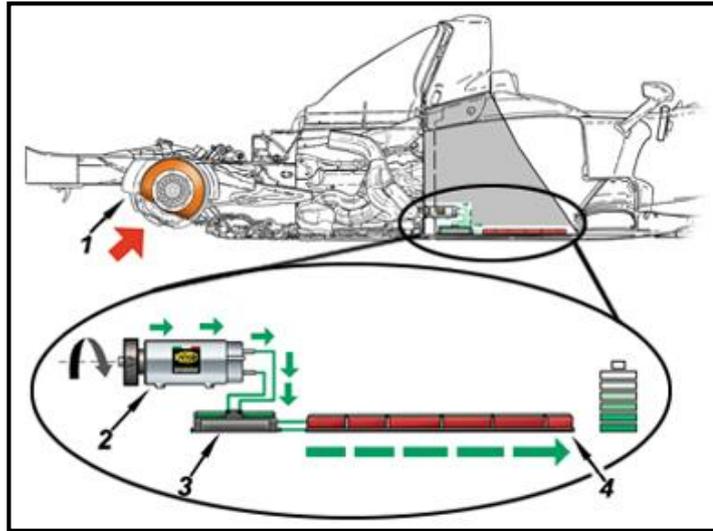
El rotor o inductor es el elemento que gira en el motor, gracias al movimiento de rotación recogido de la salida del motor, está conformado por un eje con número de polos magnéticos fijos. Mientras el inducido, el cual coincide con el estator, está compuesto de polos magnéticos que se distribuyen de manera alterna con un bobinado que rodea al núcleo hecho de material ferro magnético. (Taringa, 2011).

En conclusión, el movimiento del inductor, que se da gracias al movimiento del motor de gasolina, genera una fuerza electromotriz que se nota en la corriente alterna que circula por las espiras. (Taringa, 2011).

En fases de aceleración, el diseño se desconecta para no seguir generando más energía eléctrica. (Taringa, 2011).

La figura 24 muestra un esquema de la explicación:

Figura 24. Fase de carga del sistema KERS



Fuente: formula1.com

Cuando se recupera la energía cinética de las frenadas para transformarla en energía eléctrica, esta corriente eléctrica se genera de forma alterna, funcionando el generador como un alternador, pero cuando se utiliza como motor eléctrico, necesita de la corriente continua que se almacena en la batería o acumulador. Para este paso es totalmente necesario realizar una conversión AC/DC (alterna – continua), proceso que se utiliza en la carga de cualquier batería. (Taringa, 2011).

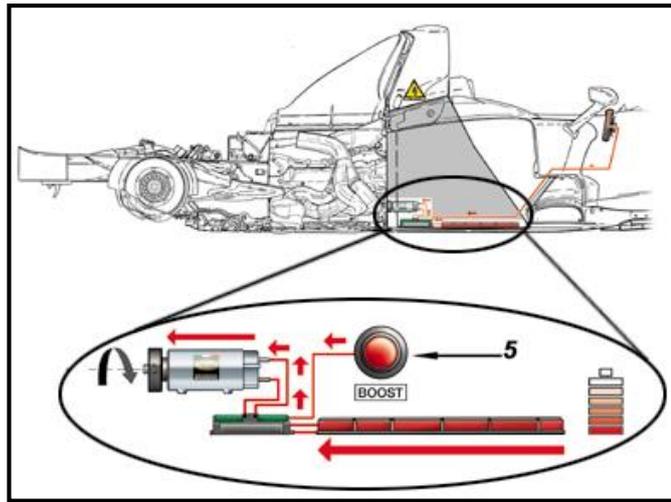
1.1.13.2.- Fase de entrega de potencia

En la fase de aceleración, el motor eléctrico funciona con la energía eléctrica continua acumulada, entregando potencia a la transmisión del monoplaza cuando el piloto presione un pulsante desde su volante. No obstante, hasta que llega la potencia a la transmisión del vehículo pasa por 3 etapas: Del volante a la Unidad de control, de ésta al motor eléctrico y del motor eléctrico a la transmisión. (Taringa, 2011).

Como se muestra en la figura 25, cuando se presiona el botón del volante del piloto, se activa un pulso de señal directa que inmediatamente la unidad de control o ECU lo recibe para comprobar si hay carga de energía eléctrica en la batería y de esta forma alimentar al sistema KERS ya que su tiempo de aporte de potencia es limitado. En la segunda etapa, es decir, desde la unidad de control al motor eléctrico, se da un

comando para que circule corriente continua desde el acumulador hasta el motor eléctrico. Finalmente existe una tercera etapa que va desde el motor eléctrico a la transmisión del monoplace, en donde el motor eléctrico comparte su potencia al eje principal del monoplace gracias a una transmisión por cadena, conectándose y desconectándose gracias a embregues electromagnéticos. (Taringa, 2011).

Figura 25. Fase de entrega de potencia del sistema KERS.



Fuente: formula1.com

Esta entrega de potencia debe ser calculada así como el tiempo que se va utilizar.

1.1.14.- Fabricación del sistema KERS

Grandes compañías dedicadas a la evolución de la tecnología automotriz se han sumado al desarrollo del KERS, como proveedoras del sistema, pero también trabajando conjuntamente con las escuderías de la fórmula 1 para tener presente su rendimiento y evolución en las carreras. Una de las primeras compañías en desarrollar el sistema fue Flydrid Systems de origen británico. Otras marcas como la italiana Magnetti Marelli trabajó con las escuderías Ferrari y Renault para la incorporación del KERS. La marca alemana Bosch también entró a la competencia y fabricó este sistema para categorías como la fórmula 1, el DTM o las Le Mans series. (Taringa, 2011).

Con la intención de promocionar su gran tecnología híbrida, la marca BMW decidió fabricar su propio sistema KERS. La marca que realizó el mejor sistema fue la

británica Zytec, que proveyó a la escudería de fórmula 1 McLaren Mercedes. Zytec tiene una amplia experiencia fabricando alternadores eléctricos. (Taringa, 2011).

1.1.15.- Complicaciones con el KERS

Debido a que es un sistema nuevo y se trabaja con electricidad, han sucedido varios problemas y accidentes durante la utilización del KERS, pasando desde la electrocución hasta los incendios. (Taringa, 2011).

En lo que respecta a la electrocución se da porque es un sistema que produce altas cargas de electricidad, por tal motivo es muy peligroso para las personas, por eso, existen normas el manejo del KERS. Han sucedido varios accidentes de electrocución desde las primeras pruebas en el 2008 en el campeonato de la fórmula 1, en donde algunos mecánicos han sufrido electrocuciones aunque algo leves. (Taringa, 2011).

1.1.16.- Seguridad con el KERS:

Se deberá usar guates aislantes (Fig. 26) por parte de los mecánicos e incluso personal médico deberán llevarlos puestos para protegerse de posibles descargas al entrar en contacto con el vehículo. (Saenz, Tresaco 2009 – 2010).

Figura 26. Mecánico de Renault enfundándose los guantes obligatorios para manipular un monoplaza con KERS



Fuente: Sáenz, Tresaco.

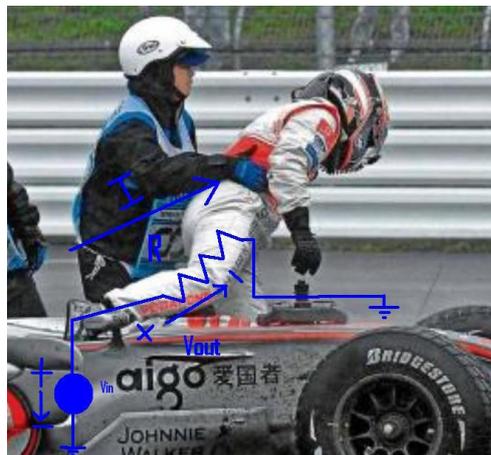
Se debe notar que en los vehículos que cuentan con el KERS se trata de descargas de varios cientos de voltios y una corriente de más de 10 *Amperios*, lo que puede ser

letal; es más, se está hablando de corriente continua, por lo que en caso de accidente, no es posible soltarse, a diferencia de la corriente alterna, en el caso del sistema de recuperación de energía cinética en el “Go Kart” se trabajará con voltaje de 12 a 24v en corriente continua por lo que de igual manera se deberá tener cuidado con las descargas de voltaje. (Saenz, Tresaco 2009 – 2010).

- Se deberá tener precaución al instalar todos los sistemas sobre todo el circuito de alto voltaje ya que deberá encontrarse a una distancia adecuada del tanque de combustible ya que este podría provocar graves incendios en la pista. (Saenz, Tresaco 2009 – 2010).
- Como medida de precaución, se advierte a los pilotos, que en caso de avería o fallo en el sistema de recuperación de la energía cinética de la frenada, se debe saltar del vehículo con los dos pies a la vez, evitando poner un pie en tierra, de este modo se evita una descarga estática provocada por el KERS. (Saenz, Tresaco 2009 – 2010).

Esta norma de seguridad se muestra en la figura 27:

Figura 27. Piloto un pie en tierra, y permanecer el otro en el vehículo, podría crearse una diferencia de potencial circulando corriente a través del cuerpo del piloto



Fuente: Sáenz, Tresaco.

- Se deberá colocar un cortador de corriente de todo el sistema para que de esta forma apague todo, en caso de un accidente o mal funcionamiento del sistema. (Saenz, Tresaco 2009 – 2010).

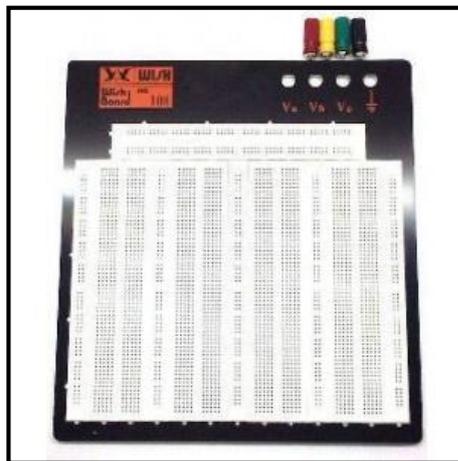
1.1.17.- Elementos electrónicos:

1.1.17.1.- Protoboard:

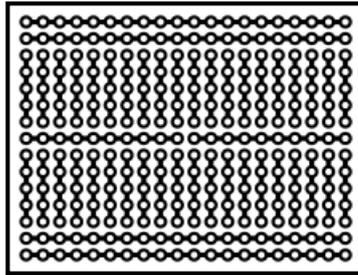
Es un tablero con orificios conectados eléctricamente entre sí, habitualmente siguiendo patrones de líneas, en el cual se pueden insertar componentes electrónicos y cables para el armado y simulación de circuitos electrónicos y sistemas similares. Su composición física se muestra en la figura 28. Está hecho de dos materiales, un aislante y un conductor que conecta los diversos orificios entre sí. Uno de sus usos principales es la creación y comprobación de prototipos de circuitos electrónicos antes de llegar a la impresión mecánica del circuito en sistemas de producción comercial. (Boylestad, 2003).

Su conexión interna se muestra en la figura 29:

Figura 28. Protoboard WISH 108



Fuente: tiendaelectronica.com

Figura 29. Modo de conexión interno de un protoboard

Fuente: Cely.

1.1.17.2.- Micro controlador Atmega32a:

Es un micro controlador CMOS (consumo de energía reducido) de 8 bits a baja potencia basado en arquitectura ISC (Reduced Instruction Set Computer), en español Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas) de AVR.

Ejecutando las instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega32 alcanza un desempeño de 1 MIPS (Millones de instrucciones por segundo) por MHz permitiendo al diseñador optimizar consumos de potencia contra la velocidad de procesamiento. (Boylestad, 2003).

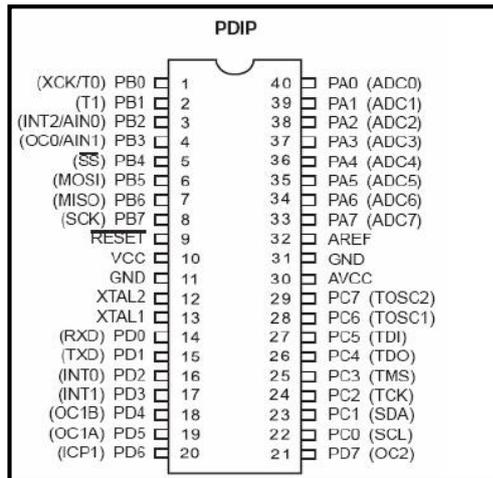
Las características generales del ATmega32 son:

- ATmega32 (Serie AVR de Atmel de 8 bits).
- Arquitectura RISC
- Interfase Serial SPI para programación dentro del sistema.
- 6 Modos para ahorrar potencia.
- 32 pines de I/O. (Boylestad, 2003).

El núcleo AVR posee un conjunto de instrucciones con 32 registros de trabajo de propósito general. Los 32 registros se conectan directamente a la Unidad Aritmética y Lógica (ALU), permitiendo a dos registros solamente acceder en una sola instrucción y sean ejecutadas en sólo un ciclo de reloj. Alcanzando un desempeño de 10 veces más rápido que los micro controladores con tecnología CISC. (Boylestad, 2003).

Su forma de conexión y hoja de datos se muestran en la figura 1.30:

Figura 30. Datasheet del microcontrolador AT mega 32



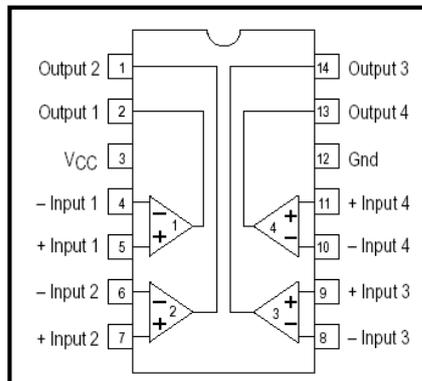
Fuente: datasheetdir.com

1.1.17.3.- Integrado LM339:

El corazón del circuito comparador de voltaje de batería es el integrado LM339, que consta de cuatro comparadores de tensión encapsulados en un DIP de 14 patillas. Cada comparador posee una entrada (+) y (-), y una salida. La tensión a la salida es igual a la tensión de la fuente de alimentación mientras la tensión en la entrada (+) supera a la tensión en la entrada (-). Cuando esta condición se invierte, la tensión de salida es igual a 0v. (Boylestad, 2003).

En la figura 31 se muestra su hoja de datos para posteriores conexiones:

Figura 31. Datasheet del integrado LM339

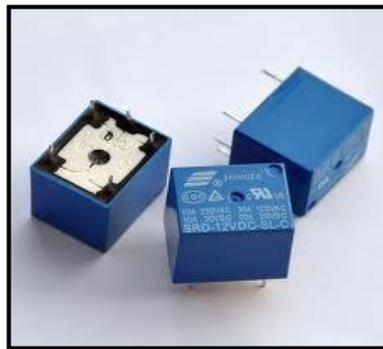


Fuente: seekic.com

1.1.17.4.- Relés de 12V y 5V

Un relé es un dispositivo electromecánico que permite la conmutación de una línea eléctrica de media o alta potencia a través de un circuito electrónico de baja potencia. Su forma física se muestra en la figura 32. La principal ventaja y el motivo por el que se usa bastante en electrónica es que la línea eléctrica está completamente aislada de la parte electrónica que controla el relé. Es decir, podemos construir un circuito electrónico (un temporizador, una fotocélula, etc.) y, a través de un relé, controlar cualquier tipo de aparato conectado a la red eléctrica. (Boylestad, 2003).

Figura 32. Relés de 12v y 5v.

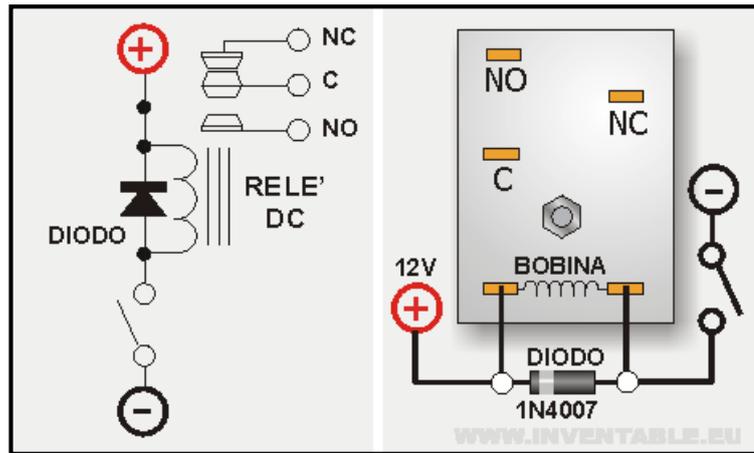


Fuente: ebay.ie

Para evitar el envejecimiento prematuro de los contactos, la solución más simple es la de conectar en paralelo con la bobina un diodo rectificador inversamente polarizado en modo tal que durante el funcionamiento del relé, el diodo no trabaja mientras que, cuando desconectamos el interruptor o el pulsador, el diodo absorbe dicha energía residual de polaridad opuesta. (Boylestad, 2003).

Su estructura interna se explica en la figura 33:

Figura 33. Conexión de un diodo en paralelo con la bobina



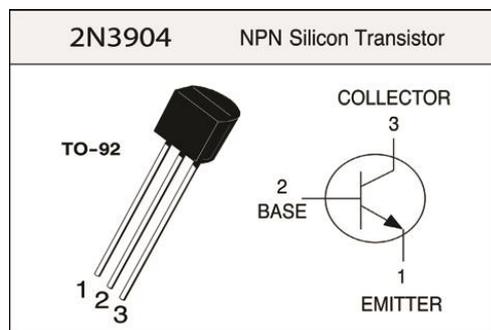
Fuente: inventable.eu

1.1.17.5.- Transistor 2N3904

El transistor 2N3904 es uno de los más comunes transistores NPN generalmente usado para amplificación. Está diseñado para funcionar a bajas intensidades, bajas potencias, tensiones medias, y puede operar a velocidades razonablemente altas. Se trata de un transistor de bajo costo, muy común, y suficientemente robusto como para ser usado en experimentos electrónicos. (Boylestad, 2003).

Su composición se muestra en la figura 34:

Figura 34. Datasheet del transistor 2N3904



Fuente: ecs.umass.edu

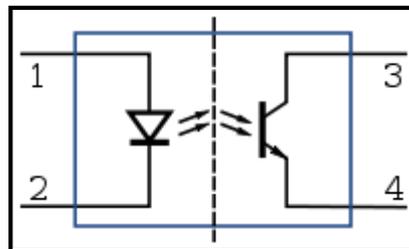
Es un transistor de 200 miliamperios, 40 voltios, 625 mili vatios, con una Frecuencia de transición de 300 MHz,2 con una beta de 100. Es usado primordialmente para la amplificación analógica. (Boylestad, 2003).

1.1.17.6.- Opto acoplador 2N25

Un opto acoplador, también llamado optoaislador, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente opto electrónico, normalmente en forma de fototransistor. De este modo se combinan en un solo dispositivo semiconductor, una foto emisor y una foto receptora cuya conexión entre ambos es óptica. Estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP. Se suelen utilizar para aislar eléctricamente a dispositivos muy sensibles. (Boylestad, 2003).

La figura 35 muestra su estructura y conexión interna:

Figura 35. Esquema interno del optoacoplador 2N25.



Fuente: wikipedia.org

1.1.17.7.- Transistor Darlington TIP 120

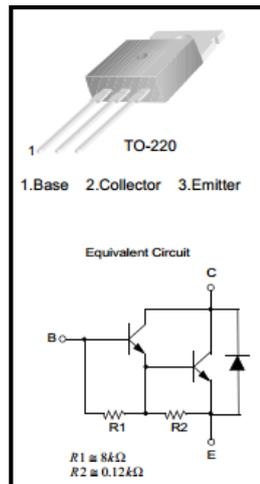
El transistor Darlington o AMP es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en un tándem (a veces llamado par Darlington) en un único dispositivo. (Boylestad, 2003).

Esta configuración sirve para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente y, al poder estar todo integrado, requiere menos espacio que dos transistores normales en la misma configuración. La ganancia total del Darlington es el producto de la ganancia de los transistores individuales. Un

dispositivo típico tiene una ganancia en corriente de 1000 o superior. También tiene un mayor desplazamiento de fase en altas frecuencias que un único transistor, de ahí que pueda convertirse fácilmente en inestable. La tensión base-emisor también es mayor, siendo la suma de ambas tensiones base-emisor, y para transistores de silicio es superior a 1.2V. (Boylestad, 2003).

Su composición interna se muestra en la figura 36:

Figura 36. Esquema interno de un transistor Darlington TIP120



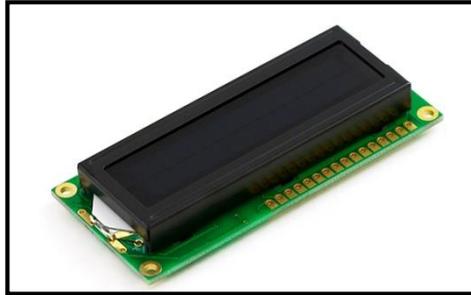
Fuente: wikipedia.org

La beta de un transistor o par Darlington se halla multiplicando las de los transistores individuales. La intensidad del colector se halla multiplicando la intensidad de la base por la beta total. (Boylestad, 2003).

1.1.17.8.- Pantalla LCD de 16x2

La pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo el cual es controlado para una visualización gráfica en la cual se puede presentar caracteres, símbolos o incluso dibujos (en algunos casos). En este display (Fig. 37) se dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una y cada carácter dispone de una matriz de 5x7 puntos o Píxeles, este dispositivo es controlado internamente por un micro controlador el cual se encarga de comandar todos los parámetros de presentación. (Tocci, 2007).

Figura 37. Pantalla LCD de 16x2



Fuente: skpang.co.uk

- **Características principales:**

- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres Kanji y Griegos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Proporciona la dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla.
- Movimiento del cursor o cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Conexión de un procesador usando una interfaz de 4 u 8 bits. (Tocci, 2007).

1.1.17.9.- Resistencia eléctrica

Es toda oposición a la que se encuentra sometida una corriente en su paso por un circuito cerrado, dificultando el libre flujo de las cargas eléctricas.

Cualquier tipo de dispositivo o consumidor que se encuentre conectado a un circuito eléctrico representa en si una resistencia, es decir, crea un obstáculo en la circulación de la corriente eléctrica. Generalmente los electrones tratan de circular por un circuito eléctrico de una forma casi ordenada según con resistencia que se encuentren a su paso, mientras menor sea la resistencia, mayor será el orden del de circulación de los electrones en el circuito eléctrico; en cambio cuando la resistencia es mayor o

elevada, comienzan a chocar unos contra otros librando energía en forma de calor. (Perez, 2008).

La figura 38 muestra el código de colores que existe para la selección de las diversas resistencias:

Figura 38. Tabla de colores de las resistencias

TABLA DE COLORES DE LAS RESISTENCIAS				
	1°	2°	3°	4°
	0	x 1	10% PLATA
MARRON	1	1	x 10	5% ORO
ROJO	2	2	x 100	
NARANJA	3	3	x 1.000	1er DIGITO
AMARILLO	4	4	x 10.000	2do DIGITO
VERDE	5	5	x 100.000	3er DIGITO
AZUL	6	6	x 1.000.000	(Multiplicador)
VIOLETA	7	7	10	4to DIGITO
GRIS	8	8	ORO	(Tolerancia)
BLANCO	9	9		

Fuente: electronicasi.com

1.1.17.10.- Diodo 1N4007

Este es un diodo muy utilizado conexiones electrónicas ya que sirve como rectificador en fuentes de alimentación y supresor de picos en relés y bobinas (Fig.39). (Boylestad, 2003).

Figura 39. Diodo 1N4007



Fuente: electronicamagnabit.com

Características principales:

- Baja caída de tensión directa.
- Capacidad de picos elevados de corriente.
- Encapsulado DO-41
- Soporta una intensidad de 1 amperio (Boylestad, 2003).

1.2.- Pruebas del “Go kart” en pista:

Es totalmente necesario probar el desempeño del “Go Kart” en un circuito, con el objetivo de analizar sus prestaciones iniciales y en base a ello realizar modificaciones o arreglos mecánicos para conseguir mejores tiempos en pista, como la obtención de datos técnicos reales del monoplaza.

Figura 40. Kartodromo de la ciudad de Loja.



Fuente: Autores.

La pista utilizada para cronometrar los tiempos de vuelta del “Go Kart” es el kartódromo Municipal “Ciudad de Loja”, el cual se encuentra en funcionamiento desde el año 2000. Pertenece al Municipio del cantón Loja, su superficie es de asfalto, la cual fue remodelada en Octubre de 2010 y ha albergado carreras válidas para el Campeonato Nacional de karting. La figura 40 muestra la recta principal de este circuito

En lo que respecta a sus dimensiones, el kartódromo tiene una longitud de pista de 850m y un ancho de 7,2m. (Wikipedia, 2014).

1.2.1.- Tiempos de vueltas cronometradas:

Varias fueron las vueltas cronometradas que se realizaron en el kartódromo, los tiempos que se presentan a continuación en la tabla son los más similares y cercanos, con el propósito de evitar algunos datos anómalos que se dieron por causas externas como el clima o interrupciones en la pista y que incidían en el desenvolvimiento del “Go Kart”. La tabla 3 muestra los tiempos que se obtuvieron en cada vuelta al circuito:

Tabla 3 Tiempos de vuelta del “Go Kart” en el kartódromo

Numero de vuelta	Tiempo (seg)
1	55,5
2	54,6
3	56,1
4	56,2
5	55,4
6	55,8
7	55,8
8	56,6
9	56,8
10	55,6
11	54,4
12	53,3

Fuente: Autores

Promedio de tiempo de vuelta:

$$\begin{aligned} T_{\text{promedio}} = & 55,5 + 54,6 + 56,1 + 56,2 + 55,4 + 55,8 + 55,8 + 56,6 + 56,8 \\ & + 55,6 + 54,4 + 53,3 \end{aligned}$$

$$T_{\text{promedio}} = 55,50 \text{ seg}$$

1.3.- Pruebas del rendimiento del “Go kart” en el Banco dinamométrico:

Luego de haber cronometrado tiempos de vuelta en un circuito, es necesario analizar el “Go kart” en un banco dinamométrico de pruebas, con la finalidad de conseguir datos exactos del rendimiento, los cuales serán valores que posteriormente servirán para el diseño y elección de componentes a utilizar para la construcción del sistema KERS.

La búsqueda del banco de pruebas idóneo para analizar el “Go Kart” es algo limitado debido a la corta distancia de su eje en comparación a los vehículos de serie o de competencia, esto provoca que su ubicación en los rodillos de prueba sea incómoda. Por fortuna se encontró el banco apropiado para la prueba, es el DYNOCOM 5000.

a) Banco de pruebas DYNOCOM 5000

Este banco de pruebas tiene un eje que soporta un peso máximo de 6,500 libras. Fue diseñado para una variedad de diferentes escenarios de prueba como vehículos de rally, de serie, de gran turismo, pequeños camiones, entre otros. (Alibaba, 2014).

Su estructura es de acero inoxidable con revestimientos de zinc plateado y rodillos con estrías para evitar deslizamientos de las ruedas. (Alibaba, 2014).

La figura 41 muestra las rampas que tiene y los rodillos donde van ubicados los neumáticos del vehículo a analizar:

Figura 41. Banco de pruebas DYNO 5000



Fuente: Autores.

1.3.1.- Lanzamientos en el Banco de pruebas DYNO 5000:

Por rutina, se acostumbra a realizar tres lanzamientos de prueba con el fin de verificar la veracidad de los resultados obtenidos en el banco de pruebas. En este caso se complicó la obtención de las revoluciones por minuto debido a la difícil ubicación del sensor, teniendo que hacer 2 lanzamientos extra para calibrar el software y así conseguir el dato necesitado. La figura 42 muestra la sujeción que tuvo el “Go Kart” en el banco.

En las siguientes tablas (4; 5 y 6) se presentan las cifras obtenidas en cada lanzamiento, notando la poca variación entre datos lo que implica el exitoso uso de banco de pruebas. Se pudo lograr la lectura de la velocidad máxima, revoluciones por minuto, porcentaje de aceleración, torque, potencia, y mezcla aire – combustible.

Figura 42. Go kart” colocado en el banco de pruebas



Fuente: Autores.

a) Primer lanzamiento:

Tabla 4. Datos del Go Kart del primer lanzamiento en banco dinamométrico.

DATOS	VALORES
Velocidad máxima	72Km/hora
Porcentaje de aceleración	34 %
Potencia	3706,13 W ó 4,97 hp
Torque	7,05 N.m
Mezcla aire – combustible	0,9

Fuente: Autores

b) Segundo lanzamiento:

Tabla 5. Datos del Go Kart del segundo lanzamiento en banco dinamométrico.

DATOS	VALORES
Velocidad máxima	62.76Km/hora
Porcentaje de aceleración	34.4 %
Potencia	3653,93 W ó 4,9 hp
Torque	7,5 N.m
Mezcla aire – combustible	0,9

Fuente: Autores

c) Tercer lanzamiento:

Tabla 6. Datos del Go Kart del segundo lanzamiento en banco dinamométrico .

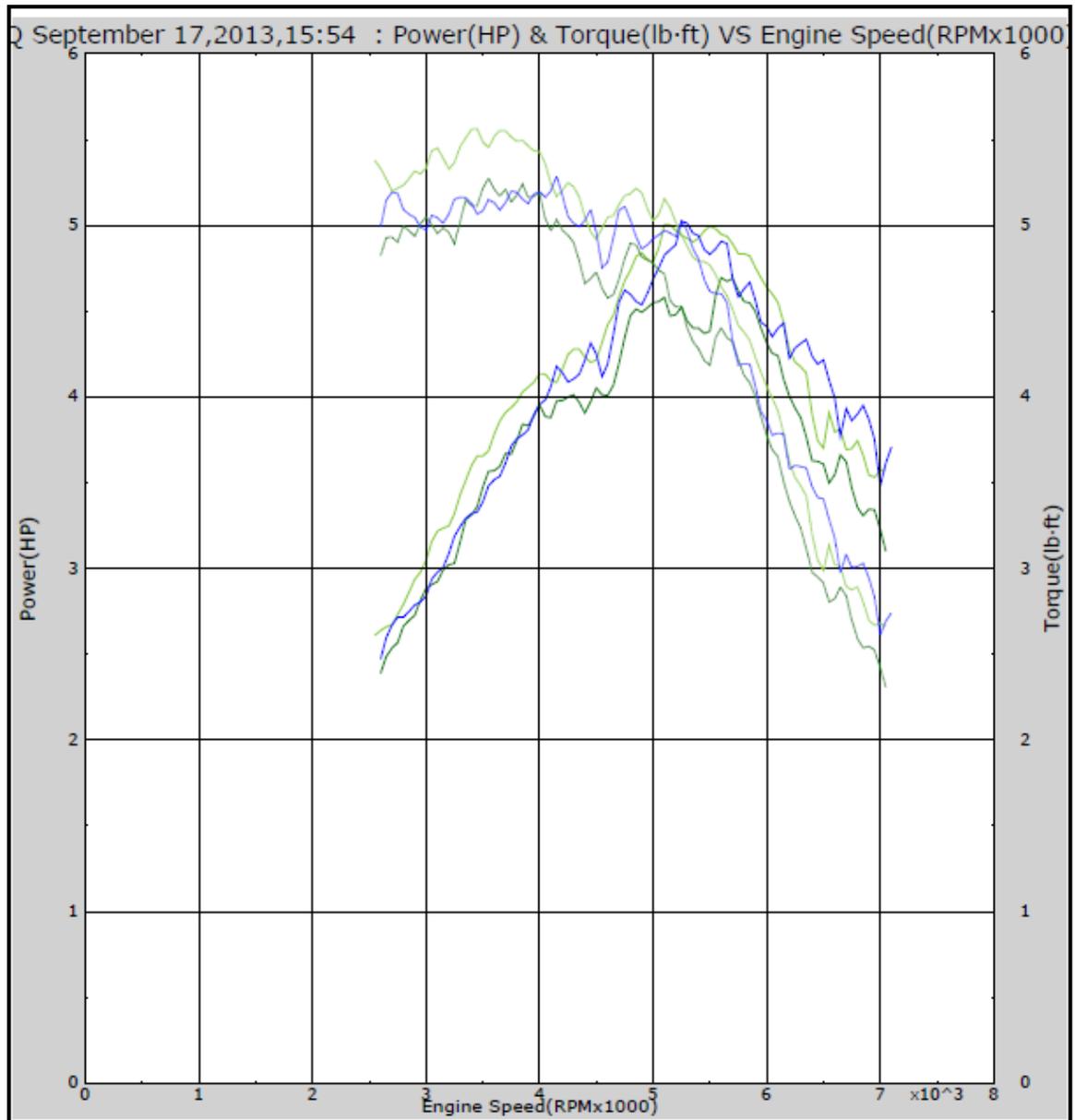
DATOS	VALORES
Velocidad máxima	70,81 Km/hora
Porcentaje de aceleración	33,2 %
Potencia	3206,51 W ó 4,3 hp
Torque	7,01 N.m
Mezcla aire – combustible	0,9

Fuente: Autores

1.3.2.- Resultados finales: Curvas de potencia y torque vs velocidad de motor

Una vez terminados los lanzamientos de prueba, el software del DYNOCOM 5000 concluye con un plano cartesiano en donde dibuja una curva con los datos de potencia, revoluciones de motor y torque, mostrando así la interacción de estas medidas (Fig.43).

Figura 43. Curva de revoluciones, potencia y torque



Fuente: Programa Dynocom 5000.

Se observa notablemente que a medida que se elevan las revoluciones por minuto, el torque y la potencia son directamente proporcionales, hasta que cuando pasa de las 5000 rpm, estas cifras comienzan a decrecer.

Estas curvas representativas en otras pruebas de vehículos más grandes suelen ser mucho mejor dibujadas, en este caso se notan curvas irregulares debido a que el diámetro de la rueda del "Go Kart" es muy pequeño y esto ocasiona interferencias en los rodillos del banco de pruebas.

CAPÍTULO II

DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA

2.1.- Introducción:

El KERS es un sistema complejo que se divide en algunos grupos de funcionamiento, tales como: El sector mecánico, electrónico y eléctrico.

En esta división de la investigación se diseñará la estructura y funcionamiento de cada uno de estos 3 grandes grupos, tomando en cuenta datos reales del vehículo obtenidos en el capítulo anterior, partes o elementos con lo que se dispone en el medio automotriz nacional y el espacio físico con el que se cuenta en el “Go Kart”. Cada uno de los sistemas tendrá subdivisiones en donde se explicará la constitución de cada uno de ellos.

De la misma forma, cada uno de los diseños serán debidamente justificados y analizados con medidas y formas en determinados programas de simulación, con el objetivo de construir posteriormente sistemas confiables para un desarrollo exitoso del sistema de recuperación de energía cinética

2.2.- Prestaciones del “Go Kart”

Gracias a pruebas realizadas anteriormente, se puede obtener una tabla de datos reales con valores promedio del rendimiento del “Go kart”, los cuales nos servirán de referencia en los diferentes cálculos y diseños del sistema en construcción. La tabla 7 muestra los promedios y demás datos obtenidos en los lanzamientos en el banco de pruebas:

Tabla 7. Datos promedio de referencia del “Go kart”.

Modelo	Tony Kart
Potencia máxima	4,72 hp
Par máximo	7,2 N.m
Sistema de refrigeración	Por aire
Mezcla aire – combustible	0,9
Numero de revoluciones máximas	6965 rpm
Velocidad máxima	68,69 km/h
Relación de transmisión	3,07
Número de revoluciones a ralentí	1330 rpm
Peso neto del vehículo	40 Kg

Fuente: Autores.

2.3.- Cálculo de potencia adicional necesaria:

Para aplicar el sistema de recuperación de energía cinética en el funcionamiento general del “Go kart” y que se pueda notar su contribución al rendimiento final del monoplaza, es necesario realizar el cálculo de la potencia adicional que se desea colocar, con el motivo de señalar un aumento exacto y demostrado para la posterior elección de componentes en el sistema general.

Como se había propuesto con anterioridad, el sistema KERS debe ayudar al vehículo a disminuir el tiempo de salida en las curvas, ya que son esos los sectores en donde se pierde mayor velocidad. Para este cálculo se debe tomar en cuenta el peso que tiene el chasis del “Go kart”, el peso del motor, de componentes auxiliares y del piloto. También se toma en cuenta la velocidad a la que normalmente se sale de una curva y se propone la velocidad a la que se estima alcanzar una vez accionado el sistema de recuperación de energía cinética.

Cabe señalar que así como en grandes competiciones a nivel mundial, el KERS solamente se deberá accionar una vez por vuelta y por un determinado tiempo, ya que si se lo hace en más ocasiones se pondría en riesgo los factores de generación y uso de corriente eléctrica, sobrecalentamiento de piezas mecánicas, electrónicas y la seguridad activa del piloto.

Según las mediciones de peso y velocidad, se han conseguido los siguientes datos descritos en la tabla 8:

Tabla 8. Datos para cálculo de potencia adicional.

Peso del chasis y elementos	14 Kg
Peso del motor	16 Kg
Peso promedio del piloto	70 Kg
Peso total	100 Kg
Velocidad promedio salida de curva	10 ^{km/h}
Velocidad propuesta	25 ^{km/h}
Tiempo de uso del KERS	4 segundos

Fuente: Autores.

2.3.1.- Cálculo de energía cinética:

Una vez propuestos los datos se calcula la energía cinética inicial (Ecuación 1.3) y la final (Ecuación 1.4) con las dos velocidades y la masa total.

Energía cinética inicial (Eco):

$$E_{co} = \frac{1}{2}(100\text{kg})(2,77 \text{ m/s})^2 \quad (\text{ec.1.3})$$

$$E_{co} = 383,64 \text{ Joules}$$

Energía cinética final (Ecf):

$$E_{cf} = \frac{1}{2}(100\text{kg})(6,94 \text{ m/s})^2 \quad (\text{ec.1.4})$$

$$E_{co} = 2408,18\text{Joules}$$

Las energías cinéticas obtenidas van a ser diferentes debido a que se tienen distintas velocidades, por lo tanto habrá una variación de energía (Ecuación 1.5):

2.3.1.2.- Variación de energía cinética:

$$\Delta E_c = E_{cf} - E_{co} \quad (\text{ec.1.5})$$

$$\Delta E_c = 2408,18 \text{ Joules} - 383,64 \text{ Joules}$$

$$\Delta E_c = 2024,54 \text{ Joules}$$

2.3.2.- Potencia requerida:

Para el resultado final de la potencia adicional se toma en cuenta el resultado obtenido de la variación de energía cinética con el tiempo propuesto de uso del KERS y se aplica la ecuación 1.6. Este último dato también puede variar según el reglamento de cada competición.

$$P = \frac{2024,54 \text{ Joules}}{4 \text{ seg}} \quad (\text{ec.1.6})$$

$$P = 506,13 \text{ W}$$

$$P = 0.67 \text{ hp}$$

Con el resultado obtenido se demuestra cual es la potencia adicional que necesita el "Go kart" para poder alcanzar la velocidad propuesta, tomando en cuenta su variación de energía cinética.

Dicho valor de potencia también es dato fundamental al momento de la elección del motor eléctrico que se va utilizar, pudiendo ser su potencia igual o cercana a la calculada, dependiendo de la facilidad que se pueda tener en el medio para encontrar un motor de esas características.

2.4.- Diseño del motor – generador

El motor – generador es uno de los componentes principales en el sistema de recuperación de energía cinética ya que es el elemento encargado de dos funciones: la de generar la suficiente corriente eléctrica para mantener cargadas las baterías y la de actuar como un motor eléctrico el cual mediante una transmisión, impulsar por determinado tiempo al motor de combustión interna.

El motor ideal para este tipo de operaciones sería un tipo brushless de 4 polos que tiene las funciones nombradas anteriormente. Lastimosamente debido a que en nuestro medio no se cuenta con la facilidad necesaria para conseguir este tipo de motores y el trámite de la importación resulta complicado, existe la posibilidad de diseñar un sistema que genere electricidad y a su vez también funcione como un motor eléctrico que entregue energía mecánica.

2.4.1.- Elección del motor eléctrico:

Debido a que la potencia obtenida en cálculos anteriores (0,6 hp) no es tan alta, se puede encontrar un motor eléctrico con esta característica en el medio nacional que se pueda adaptar a las exigencias propuestas, tal es el caso de los motores de arranque (Fig. 44).

Este tipo de motores tienen una potencia cercana a la calculada, es de fácil adquisición, su tiempo de accionamiento se encuentra dentro del propuesto en el sistema KERS, cuentan con una velocidad variable que va en ascenso conforme aumenta el tiempo de funcionamiento y también posee un alto torque, factor que es fundamental para la presente investigación ya que el propósito es una salida rápida de las curvas. Además el hecho de usar el KERS solamente una vez por vuelta coincide con el uso del motor de arranque, ya que al utilizarlo por mucho tiempo o demasiadas veces seguidas, puede sobrecalentarse e incluso llegar a quemarse. Se pueden citar varios tipos de motor de arranque, dependiendo del motor en donde se vayan a utilizar.

Es importante resaltar que se ha seleccionado un motor de arranque para las pretensiones de este proyecto pero no para usarlo como tal, el objetivo es separar de su estructura todos los componentes auxiliares como el mecanismo de impulsión,

solenoide, para obtener específicamente un motor eléctrico que impulse al motor de combustión del “Go kart” (Fig. 45).

Figura 44. Motor eléctrico elegido



Fuente: Autores.

Figura 45. Despiece de motor eléctrico



Fuente: Autores.

A continuación se presentan en la tabla 9 los distintos datos técnicos que se pudieron obtener del motor eléctrico:

Tabla 9. Datos técnicos del motor eléctrico.

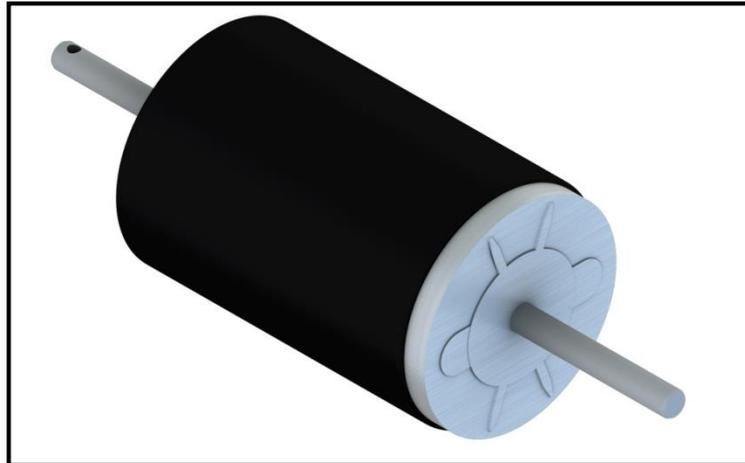
Tipo de alimentación	Corriente directa
Tipo de motor	Imanes permanentes
Voltaje de alimentación	12V
Torque máximo	3,8 N.m
Resistencia interna del motor	1.4 Ω
Corriente de funcionamiento	8.5 A
Diámetro del eje principal	9 mm
Rango de potencia	0,1 – 0,7 hp

Fuente: Autores.

2.4.2.- Diseño del sistema generador de corriente:

Al no poder tener un componente que sea motor eléctrico y generador en un solo cuerpo, se han buscado varias alternativas para unir estas dos funciones en una misma estructura, con el propósito de aprovechar el movimiento rotacional del motor eléctrico para que otro elemento genere corriente eléctrica.

La propuesta a esta problemática consiste en alargar el eje principal del motor eléctrico para acoplar un mecanismo de generación de corriente en uno de sus extremos, como se propone en la figura 46, con esto cada vez que gire el eje, el generador tendrá funcionamiento. Debido a que este eje es tratado térmicamente, es mucho más resistente. El diseño que se propone es el siguiente:

Figura 46. Diseño de alargamiento del eje principal del motor eléctrico

Fuente: Autores.

2.4.2.1.- Datos de eje principal modificado

Con los valores señalados en la tabla 10, se describe con exactitud la modificación que tendrá el eje mencionado:

Tabla 10. Datos de medidas a modificar en el motor eléctrico.

Diámetro del eje	9 mm
Longitud inicial	160 mm
Longitud final	215 mm
Longitud alargada	55 mm

Fuente: Autores.

2.4.2.2.- Elección de generador de corriente

Desde un inicio se propuso utilizar un alternador normal de vehículo para la generación de la corriente eléctrica que cargue las baterías del sistema, idea que luego fue rechazada debido a que en el funcionamiento del alternador, este necesita de electricidad para poder excitar las bobinas y comenzar dicha generación. Esto iría en contra de los objetivos de la investigación.

Con esto surge la idea de analizar la adaptación de un generador de motocicleta, el cual tiene un funcionamiento diferente al de un vehículo ya que este no necesita que sea excitado de corriente para obtener energía eléctrica alterna, se puede adaptar al motor eléctrico y puede dar los resultados de generación esperados.

Otra característica que se requiere en el sistema generador de corriente es que sea de tipo trifásico, es decir, que en el estator se tenga un bobinado de tres fases con igual número de polos para cada fase, con la finalidad de obtener un valor normal de voltaje pero un alto valor de intensidad de corriente para que al final estas sean sumadas vectorialmente y la carga de la batería sea más eficiente.

Los datos de la tabla 11 son las condiciones que se propone para el diseño del generador de corriente alterna:

Tabla 11. Datos de diseño de generador.

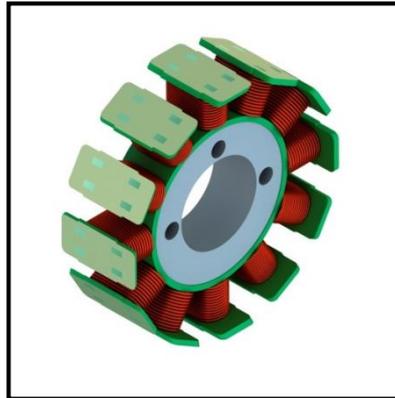
Tipo de generador	Sistema trifásico de generación
Número de núcleos	10 – 12 núcleos
Número de espiras	85 – 90 espiras en cada núcleo
Rango de voltaje a obtener	12 – 50 V
Rango de corriente a obtener	3 – 10 A

Fuente: Autores

En lo que se refiere a sus dimensiones, tanto el estator como el rotor deberán tener medidas que no se alejen demasiado del diámetro del motor eléctrico, ya que sería demasiado peso para el alargamiento del eje y podría presentarse algún desbalance en el mismo.

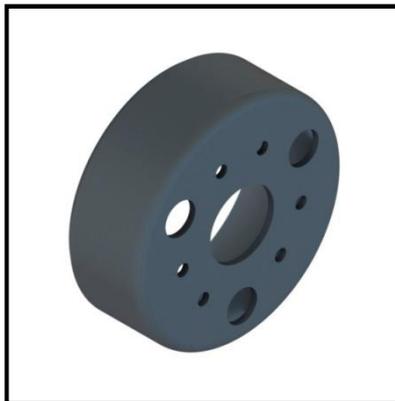
A continuación se muestra aproximadamente el estator (Fig. 47) y el rotor (Fig. 48) que podrían adaptarse al motor eléctrico:

Figura 47. Estator (núcleos y espiras)



Fuente: Autores.

Figura 48. Rotor (imanes)



Fuente: Autores.

2.4.2.3.- Acople de sistema generador a motor eléctrico:

Una vez propuesto el generador de corriente, se necesita diseñar estructuras que acoplen correctamente los componentes del sistema.

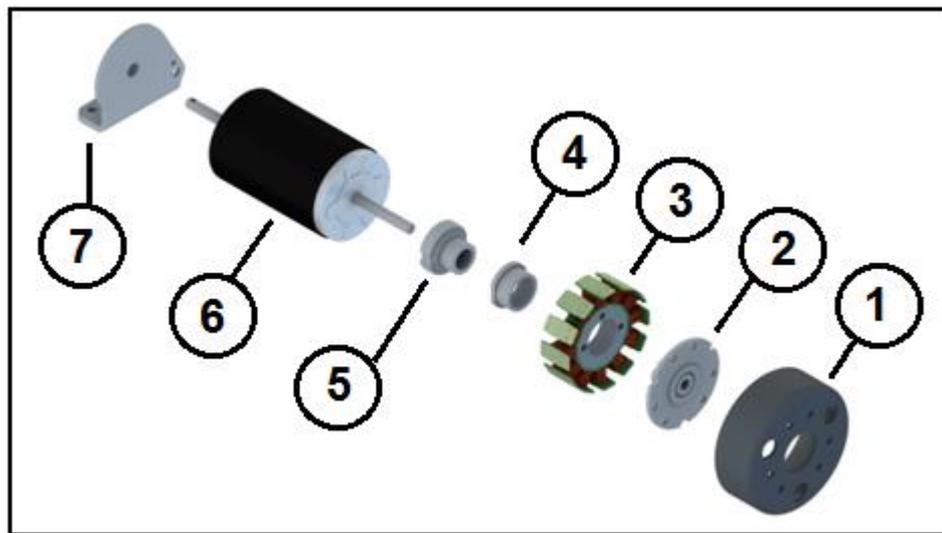
El estator (Fig. 47) es un elemento que como su nombre lo dice, debe permanecer estático, por tal razón es necesario que este sea acoplado firmemente a la carcasa del motor eléctrico sin que se vea afectado por el movimiento giratorio del eje principal. Se analiza implementar un buje (ver anexo 1) que rodee el eje del motor sin tocarlo, en donde va ir alojado el estator.

El rotor (Fig. 48), al contrario del estator, necesita tomar el movimiento del eje de motor eléctrico para poder hacer girar sus imanes que se encuentran dentro de su

carcasa. Para lograr este propósito se diseña un cubo de rueda (ver anexo 2) que va tomar por un extremo el giro del eje, sin tocar el estator, para luego por el otro extremo sujetar el rotor que a comparación de los demás elementos, tiene un peso considerable.

En la figura 49, se puede observar el diseño de los acoples tanto para el estator como para el rotor en el motor eléctrico, logrando así un sistema motor – generador en una sola estructura:

Figura 49. Estructura y elementos motores – generador



Fuente: Autores.

Partes del conjunto generador:

- 1.- Rotor
- 2.- Cubo de rueda de rotor
- 3.- Estator
- 4.- Buje de acople al estator
- 5.- Buje de acople al motor eléctrico
- 6.- Motor eléctrico
- 7.- Tapa posterior motor eléctrico

2.5.- Diseño y análisis del sistema de transmisión KERS

De lo explicado en citas anteriores de la investigación, el sistema KERS consta de dos partes: La de generación de corriente eléctrica y la de entrega de energía mecánica al motor de combustión.

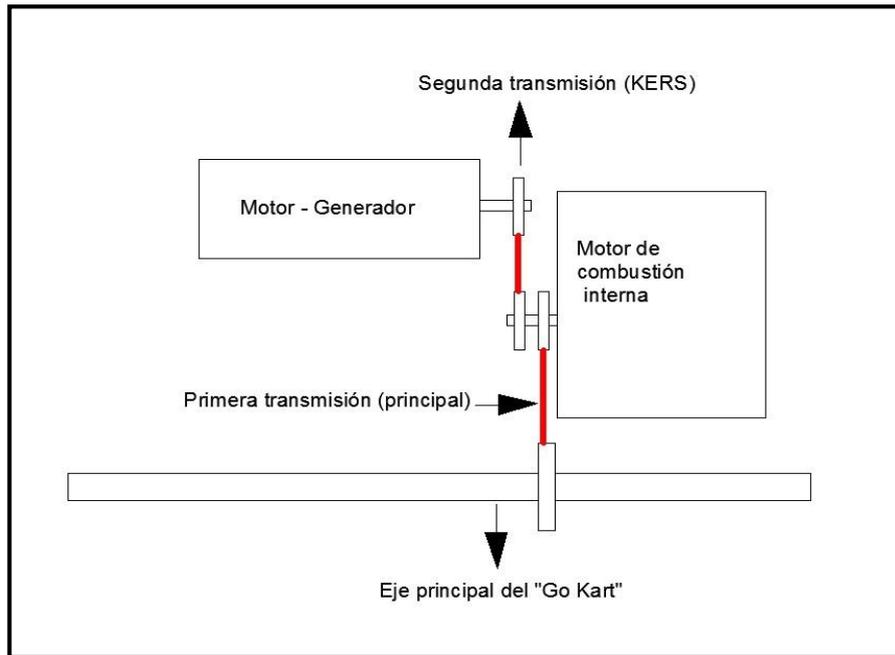
El “Go Kart”, debido a su simple diseño, no dispone de una caja manual o automática de velocidades que transmita la potencia del motor de combustión al eje principal. A la salida del motor cuenta con un embrague centrífugo, en el cual gira solidario a su movimiento el piñón conductor.

Debido a que el motor – generador necesita recibir el movimiento rotativo del motor de combustión en las zonas de frenado para crear con esa inercia la corriente eléctrica, todo esto independiente del giro del eje principal; y posteriormente necesita entregar la potencia del motor eléctrico al motor de combustión, es necesario contar con una doble transmisión de potencia en el vehículo para poder cubrir estos dos requerimientos del sistema.

Un factor que limita algunas instalaciones en el monoplaça, es el poco espacio que se tiene entre los componentes, por tal razón se dará prioridad a sistemas de transmisión simples, de pocos elementos, pero que tengan una considerable eficiencia mecánica. La mayoría de los “Go Kart” cuentan con transmisiones por cadena que van desde el motor de combustión al eje principal; sistema que se va utilizar también para la transmisión que va desde el motor eléctrico al motor de combustión, aunque cada uno de ellos tendrá un diseño diferente.

En la figura 50, se observa esquemáticamente la posible colocación de los dos sistemas de transmisión por cadena. La primera transmisión conecta al motor de combustión con el eje principal mientras que la segunda transmisión es la que conecta el sistema KERS con el mencionado motor. De esta forma se hace notar que el motor – generador aporta con potencia directamente en la toma de fuerza.

Figura 50. Diagrama de ubicación de la transmisión



Fuente: Autores.

2.5.1.- Cálculo y diseño del sistema de transmisión eje principal – motor de combustión

Es la transmisión principal, ya que une la toma de fuerza del motor de combustión con el eje posterior del “Go Kart” (Fig. 51). Su variación se puede dar debido al cambio de relación de transmisión, es decir, aumentando o disminuyendo el número de dientes al piñón o al engrane. En esta modificación se puede ganar fuerza o velocidad, según como se tenga la configuración general del monoplaça.

Figura 51. Sistema de transmisión por cadena del “Go Kart”

Fuente: Autores.

En las primeras pruebas de tiempo de carrera realizadas en el circuito se mostró una mayor velocidad final del vehículo, no así su fuerza, haciendo su desarrollo muy lento. Posteriormente se cambió el engrane del eje con un mayor número de dientes, que dio como resultado una mayor fuerza y se conservó la misma velocidad final adecuada.

Actualmente, como se indica en la tabla 12, se cuenta con los siguientes datos de transmisión:

Tabla 12. Datos de la transmisión principal.

Distancia entre centros	370 mm
Número de dientes del piñón	13
Número de dientes del engrane	40
Tipo de cadena	428
Relación de transmisión	3,07

Fuente: Autores

A partir de estos datos se procede a realizar distintos cálculos de la transmisión principal, con el propósito de obtener resultados que apoyen las propuestas de diseño y contar con valores que serán útiles para análisis posteriores.

2.5.5.1.- Cálculos de la transmisión: Eje principal – motor de combustión

Para la obtención de la relación de transmisión, se relaciona el piñón conductor con el piñón conducido. Esto se realiza con la ecuación 2.1:

Z_1 = número de dientes del engrane conductor = 13

Z_2 = número de dientes del engrane conducido = 40

a) Relación de transmisión:

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (2.1) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$i = \frac{40}{13} = 3,07$$

b) Velocidad del eje

Para la obtención de la velocidad del eje posterior, se toma en cuenta el dato de las rpm obtenidas en el banco de pruebas y se la divide para la relación de transmisión obtenida. Por lo tanto en la ecuación 2.2:

W_{motor} = rpm del motor dadas en el banco de pruebas = 7061 rpm

$W_{motor} = 117,68$ rps (revoluciones por segundo)

$$V_{eje} = \frac{W_{motor}}{i} \quad (\text{ec.2.2}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$V_{eje} = \frac{117,68 \text{ rps}}{3,07} = 38,33 \text{ rps} \rightarrow \text{Velocidad de giro del eje trasero}$$

c) Distancia que se avanza con cada vuelta del eje

Para encontrar la distancia que se avanza con cada rueda se aplica la ecuación 2.3, tomando en cuenta el perímetro de la misma:

$\Phi_{rueda} = 28,2$ cm

$$P_{rueda} = \pi \cdot \Phi_{rueda} \quad (2.3) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$P_{rueda} = \pi \cdot 28,2 \text{ cm} = 0,88 \text{ m}$$

d) Velocidad máxima teórica del kart

Se aplica la ecuación 2.4, relacionando la velocidad del eje (rps) con el perímetro de la rueda (m):

$$V_{\text{max teórica}} = V_{\text{eje}} \times P_{\text{rueda}} \quad (2.4) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$V_{\text{max teórica}} = 38,33 \text{ rps} \times 0,88 \text{ m} = 33,73 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{max teórica}} = 121,42 \text{ km/h}$$

2.5.5.2.- Cálculos de la cadena de transmisión principal:

Es necesario conocer la cantidad de eslabones que lleva la cadena que va a transmitir el movimiento, con el fin de conseguir el funcionamiento de los piñones libres de esfuerzos causados por la cadena.

Esto se ve reflejado en la ecuación 2.5:

$$N = \frac{2C}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \times \frac{p}{C} \quad (\text{ec.2.5}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

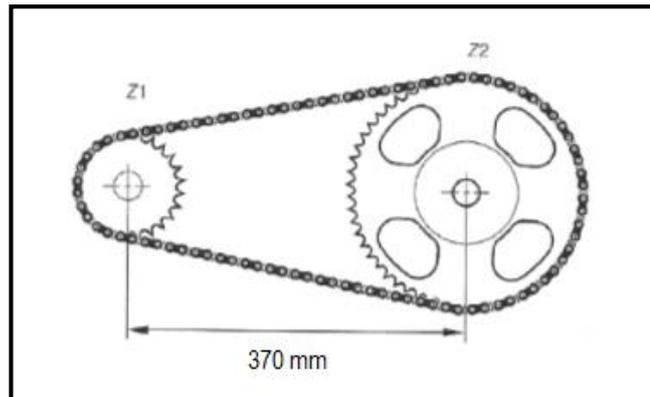
En donde:

N= número de eslabones

C= distancia entre centros

P = paso de la cadena

La distancia entre el centro del piñón y el del engrane es el siguiente:

Figura 52. Distancia entre ejes de la transmisión principal

Fuente: Autores.

El paso de la cadena se encuentra en la tabla de datos para cadenas de moto, en este caso se elije una cadena número 428, la cual tiene un paso de 12,7 mm, (Revisar anexo 8).

Por lo tanto:

$$N = \frac{2(370\text{mm})}{12,7\text{mm}} + \frac{13 + 40}{2} + \left(\frac{40 - 13}{2\pi}\right)^2 \times \frac{12,7}{370\text{mm}}$$

$$N = 88,14 \approx 88$$

Se redondea el número de eslabones obtenemos al inmediato inferior, es decir, a 88 eslabones

a) Longitud de la cadena:

Para su obtención se aplica la ecuación 2.6, que relaciona el número de eslabones obtenidos (N) con el paso de la cadena (p):

$$L_p = N \times p \quad (\text{ec.2.6}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$L_p = 88 \times 12,7\text{mm} = 1117,6 \text{ mm}$$

b) Distancia entre centros real

Tomando en cuenta el paso de la cadena (p), número de eslabones (N), número de diente del piñón conductor (Z_2), piñón conducido (Z_3), se aplica la ecuación 2.7 para obtener la distancia existente entre centros:

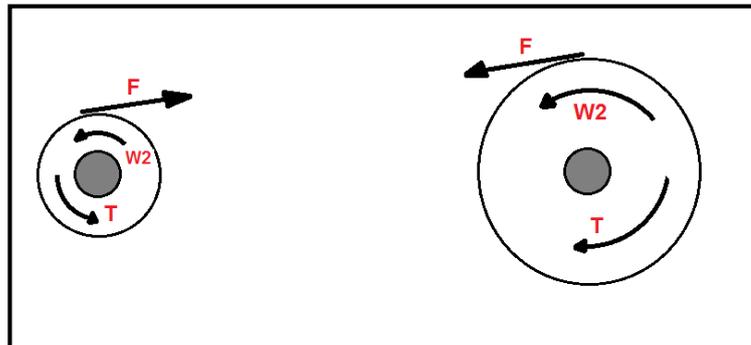
$$C = \frac{p}{8} \left[2N - Z_2 - Z_1 + \sqrt{(2N - Z_2 - Z_1)^2 - 0,81(Z_2 - Z_1)^2} \right] \quad (\text{ec.2.7}) \quad (\text{Anadón, Pabón, 2012})$$

$$C = \frac{12,7\text{mm}}{8} \left[2(88) - 40 - 13 + \sqrt{(2(88) - 40 - 13)^2 - 0,81(40 - 13)^2} \right]$$

$$C = 386,66 \text{ mm}$$

En función de la potencia de diseño, la velocidad de giro de giro del engrane y su diámetro primitivo, se calcula a continuación la tensión máxima en la cadena y el torque que sufre.

Figura 53. Fuerzas y torques que actúan sobre los piñones



Fuente: Autores.

c) Potencia de diseño:

Uno de los datos que sirven para obtener torque y tensión en la cadena de transmisión. Se la calcula por la ecuación 2.8, cuyos datos son la potencia del motor (Watts) y el factor de diseño (γ):

$$P_d = P \times \gamma \quad (\text{ec.2.8}) \quad (\text{Anadón, Pabón, 2012})$$

La potencia del motor se obtiene de la prueba del banco dinamométrico. En este caso es una potencia de 4,97 Hp (3700 W).

$$P = 3700 \text{ W}$$

Para el factor de servicio se obtiene un valor de 1,7; el cual se corresponde a un motor de combustión con transmisión mecánica y carga con choque pesado debido a que el motor seleccionado es de dos tiempos y en la condición de servicio existe una elevada vibración. (Revisar anexo 9)

$$P_d = 3700 \text{ W} \times 1,7$$

$$P_d = 6290 \text{ W}$$

d) Torque de la cadena:

Con la potencia de diseño (Watts) y la velocidad de giro (rps) del engrane es posible calcular el torque que sufre la cadena. Esta relación se aplica en la ecuación 2.9:

$$T = \frac{P_d}{\omega} \quad (\text{ec.2.9}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$T = \frac{6290 \text{ W}}{\frac{2\pi(2300\text{rpm})}{60}}$$

$$T = 26,11 \text{ N.m}$$

e) Tension de la cadena:

Para obtener la tensión de la cadena se aplica la ecuación 2.10, la cual toma en cuenta el diámetro del engrane conducido y el torque de la cadena (N.m):

$$T = F \times \frac{D_{\text{engrane}}}{2} \quad (\text{ec.2.10}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$D_{\text{engrane}} = \frac{p_{\text{engrane}} \times Z_2}{\pi}$$

$$D_{\text{engrane}} = \frac{12,7 \text{ mm} \times 40}{\pi}$$

$$D_{\text{engrane}} = 161,70 \text{ mm}$$

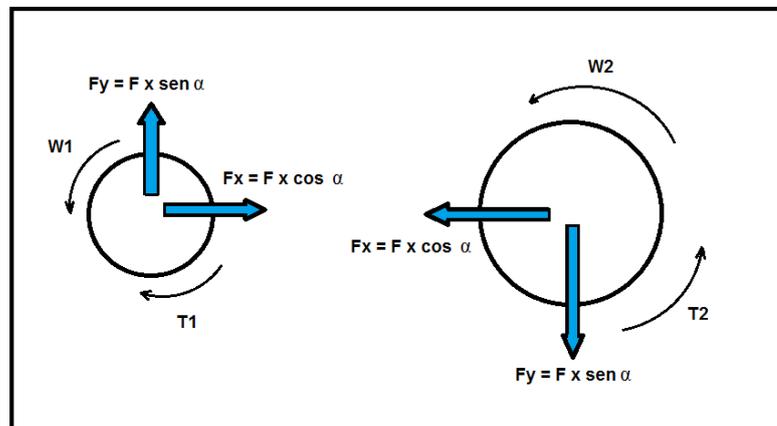
$$26,11 \text{ N.m} = F \times \frac{161,70 \text{ mm}}{2}$$

$$F = 324,34 \text{ N}$$

2.5.5.3.- Cálculo de esfuerzos transmitidos al eje posterior

Este análisis es de vital importancia ya que permite obtener la magnitud y dirección de las fuerzas que está soportando el eje del “Go Kart” debido al movimiento rotatorio que recibe por la cadena. La figura 54, muestra un esquema de cómo están actuando las fuerzas y su posible dirección que será justificada luego de los respectivos cálculos.

Figura 54. Fuerzas que actúan sobre el engrane



Fuente: Autores.

El primer paso consiste en calcular el ángulo, el cual se lo obtiene con la ecuación 2.11:

a) Ángulo de las fuerzas:

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{D_{\text{engrane}} - D_{\text{piñón}}}{2C} \quad (\text{ec.2.11}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

En donde:

$$D_{\text{piñón}} = \frac{p_{\text{piñón}} \times Z1}{\pi}$$

$$D_{\text{piñón}} = \frac{12,7\text{mm} \times 13}{\pi}$$

$$D_{\text{piñón}} = 52,55 \text{ mm}$$

Por lo tanto:

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{161,7 \text{ mm} - 52,55 \text{ mm}}{2(386,66 \text{ mm})}$$

$$\alpha = 8,11^\circ$$

b) Fuerza horizontal y vertical

Las fuerzas que está soportando el eje posterior del “Go Kart” se obtienen por la ecuación 2.12 y 2.13, las cuales utilizan el ángulo obtenido con la ecuación 2.11

$$F_{\text{horizontal}} = F \times \cos \alpha \quad (2.12) \text{ (Hibbeler, 2004)}$$

$$F_{\text{vertical}} = F \times \text{sen} \alpha \quad (2.13) \text{ (Hibbeler, 2004)}$$

Por lo tanto:

$$F_{\text{horizontal}} = 324,34\text{N} \times \cos(8,11) = 321,096 \text{ N}$$

$$F_{\text{vertical}} = 324,34 \text{ N} \times \text{sen}(8,11) = 45,75 \text{ N}$$

2.5.1.1.- Inclusión del embrague electromagnético

En el momento de la generación de corriente, que ocurre en cada frenada, el movimiento del eje trasero debe ser independiente del movimiento del motor de combustión, es decir, la transmisión principal debe desconectarse. Como se ve en gráficos anteriores, se cuenta con una transmisión de engranes que gracias a la cadena siempre van estar conectados, por tal razón ha habido la necesidad de solucionar este inconveniente diseñando una forma de conexión y desconexión en el engrane del eje trasero, con el fin de separarlo de todo movimiento en el instante de la generación de corriente.

Para la conexión y desconexión del engrane del eje trasero se propone la utilización del embrague electromagnético, utilizado constantemente en los vehículos que cuentan con sistema de aire acondicionado, se encarga de conectar y desconectar el compresor para su funcionamiento.

La inclusión de este tipo de embrague en la composición general de la transmisión principal del “Go Kart” es de gran utilidad, ya que cuando se envía corriente eléctrica a la bobina, ésta hace que el engrane gire solidario al eje trasero del vehículo; así mismo, cuando se deja de enviar corriente, el engrane gira de forma libre e independiente al movimiento del eje.

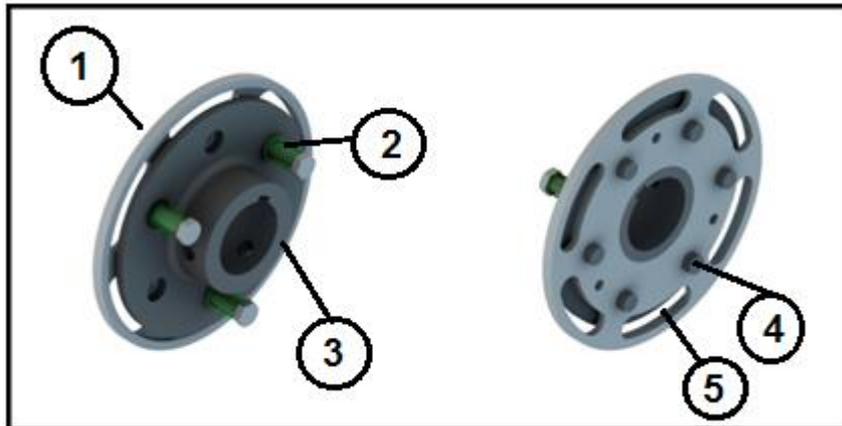
Se mantiene el mismo principio de funcionamiento de conexión y desconexión que se da en el compresor de aire acondicionado, con la diferencia que se deben diseñar elementos que se acoplen a la estructura del chasis del vehículo y al eje posterior del mismo.

a) Cubo de eje y plato de transmisión

Como se muestra en la figura 55, el cubo de eje (3) (ver anexo 3) tiene la función de portar el plato de transmisión (1) (anexo 4) en la fase de conexión y en la de desconexión. En su interior consta una ranura, en donde va una chaveta, la cual sujeta este cubo con el eje posterior del vehículo, por lo tanto siempre va girar solidario al mismo.

En su zona plana, cuenta con agujeros en donde van colocados las guías de los resortes de regresión (2), los cuales sujetan al plato de transmisión (1) cuando este es atraído por el magnetismo de la bobina y provocan también su regresión después de la desconexión

Figura 55. Cubo de eje y plato de transmisión



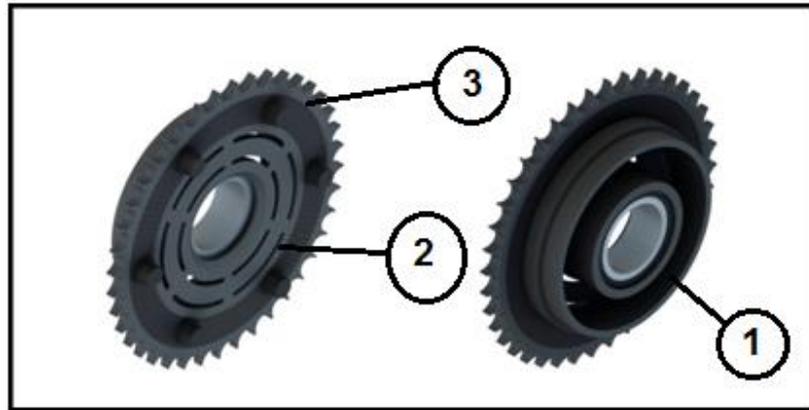
Fuente: Autores.

En la parte interior consta de 6 cilindros de acople (4), en los que se halla colocado el plato de transmisión (1) y a la vez actúan como pistas en donde se va deslizar dicho elemento, para conectarse con el engrane porta bobina.

Por su parte, el plato de transmisión (1) cuenta con un determinado número de rejillas (5), las cuales, al momento de la conexión, en ellas van a entrar los cilindros de acople que existen que en el engrane porta bobina, conectando de esta forma la transmisión principal.

b) Engrane porta bobina

Otro elemento de gran importancia en el diseño de la adaptación del embrague electromagnético es el engrane porta bobina (ver anexo 5), el cual en ciertas fases de funcionamiento del sistema KERS debe girar solidario al eje posterior del vehículo y en otras debe estar libre. Su forma física se distingue en la figura 56:

Figura 56. Engrane Porta Bobina

Fuente: Autores.

Por una parte se encuentra diseñado el sector donde entra la bobina (1) y el acople al eje posterior del vehículo. De la misma forma, se tienen rejillas de apertura (2) por las cuales pasará el magnetismo creado por la bobina y así atraerá al plato de transmisión, conectando la transmisión principal.

Por el otro lado posee los cilindros de acople (3), que al momento de accionar la bobina, esta atrae al plato de transmisión, conectándolo al engrane porta bobina por medio de estos cilindros que entran en las rejillas del plato. Se debe dejar claro que para que exista transmisión total de movimiento, al momento de la conexión el plato estará sujetado entre los cilindros de acople del cubo de eje y del engrane.

c) Bobina

Es el elemento que provoca la conexión y desconexión del engrane porta bobina en la transmisión principal. Se trata de un componente que funciona con corriente continua a 12V y es siempre independiente del movimiento del eje posterior. Su forma se puede apreciar en la figura 57.

Figura 57. Bobina.

Fuente: Autores.

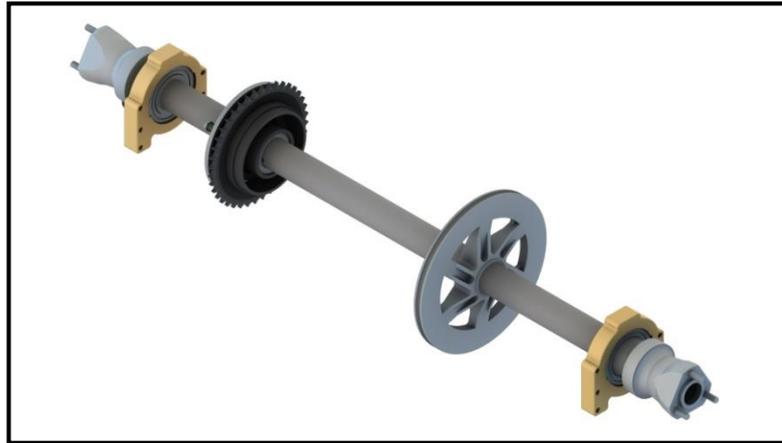
Su sujeción se da gracias a un brazo que va atornillado en el chasis del “Go Kart”, con el propósito de que dicho elemento no interfiera en el movimiento rotacional del eje posterior. Va alojada en el engrane porta bobina y se encarga de atraer, gracias a su magnetismo, al plato de transmisión que se encuentra en el cubo de eje. De esta forma permite que el engrane gire o no solidario a la transmisión principal.

d) Bosquejo de elementos

Luego de haber descrito los elementos que se han diseñado para la inclusión del embrague electromagnético en la transmisión principal del vehículo, es conveniente mostrar su posición en el eje posterior del vehículo destinado para la implementación.

La ubicación de cada uno de los elementos se los muestra en la figura 58 a continuación:

Figura 58. Bosquejo de elementos



Fuente: Autores.

De acuerdo a lo mostrado en la figura, el eje posterior lleva en sus extremos un cubo de rueda a cada lado, en donde irán alojados los neumáticos traseros del vehículo. Seguidamente, consta de dos apoyos, los cuales van colocados en el chasis del “Go Kart” y sostienen el eje. En la parte izquierda, vista desde la parte trasera del vehículo, está ubicado el disco de freno.

Finalmente, en la parte derecha, se encuentra el engrane de la transmisión principal, con todos los elementos que conforman la inclusión del embrague electromagnético. Como ya se manifestó anteriormente, la bobina no es colocada aquí porque rodea al eje pero es totalmente independiente de su giro.

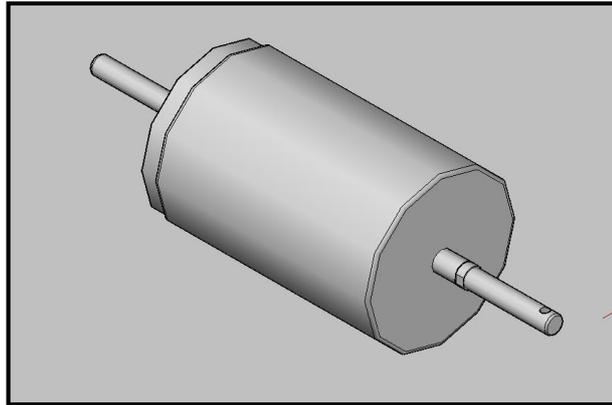
2.5.2.-Cálculo y diseño del sistema de transmisión motor eléctrico – motor de combustión

De acuerdo al principio de funcionamiento del sistema KERS, el motor – generador debe aportar su potencia al motor de combustión interna, por tal razón se debe diseñar una segunda transmisión que conecte los dos componentes y estos a su vez al eje principal.

Para lograr esta transmisión, primero se necesita alargar el segundo extremo del eje del motor eléctrico (Fig.59), para luego diseñar un sistema de acople en donde pueda sostenerse el piñón que va transmitir la potencia. Este elemento tendrá un funcionamiento similar al del eje posterior del “Go Kart”, es decir, también tendrá

que conectarse y desconectarse de su unión con el motor de combustión, ya que lo necesitamos conectado al momento de la generación de corriente en cada frenada y en el instante del funcionamiento del KERS. El resto del tiempo de vuelta pasará desconectado.

Figura 59.Motor- Generador



Fuente: Autores.

En datos obtenidos con anterioridad, el ralentí del “Go Kart” es de 1330 rpm y el motor eléctrico dio un valor promedio de 700 rpm, con lo que se debe conseguir una relación de transmisión que supere este valor, con el objetivo de que el motor – generador no frene el desarrollo del motor del vehículo.

En el mercado local, el piñón de mayor número de dientes es de 50, componente que no resultó útil debido a su gran diámetro, factor que se debe tener en cuenta ya que en el “Go Kart” no se dispone de grandes espacios. El siguiente es el piñón de 45 dientes, el cual se va tomar en cuenta para el diseño de esta transmisión. El engrane que va en la toma de fuerza del motor del vehículo es del mismo número de dientes que para la primera transmisión, es decir, 13 dientes. Todos estos datos se describen en la tabla 13:

Tabla 13. Datos de la transmisión motor-generador.

Distancia entre centros	220 mm
Número de dientes del piñón	13
Número de dientes del engrane	45
Tipo de cadena	428 H
Relación de transmisión	0,28

Fuente: Autores

2.5.2.1.- Cálculos de la transmisión secundaria: Motor eléctrico- motor de combustión

De la misma forma que en la transmisión principal, se propone la utilización de un piñón que irá colocado en el extremo del motor eléctrico y solidario a su movimiento, así como también de un engrane que irá en la toma de fuerza del motor de combustión, siendo conectados estos dos elementos por una cadena, la cual será analizada a continuación:

Datos:

Z1=número de dientes del piñón= 45

Z2= número de dientes del engrane= 13

a) Relación de transmisión:

Con los datos de número de dientes, se aplica la ecuación 2.1. Por lo tanto:

$$i = \frac{13}{45} = 0,28 \quad (2.1) \text{ (Shigley, 2008)}$$

b) Velocidad del motor de combustión

Para obtener la velocidad que llega al motor de combustión, las revoluciones por segundo del motor eléctrico se las divide con la relación de transmisión, consiguiendo el valor de aportación:

W motor E.= rpm del motor eléctrico = 700 rpm

W motor E.= 11,66rps

$$V \text{ motor de combustion} = \frac{11,66 \text{ rps}}{0,28} = 41,64 \text{ rps} \quad (\text{ec.2.2}) \quad (\text{Anadón, Pabón, 2012})$$

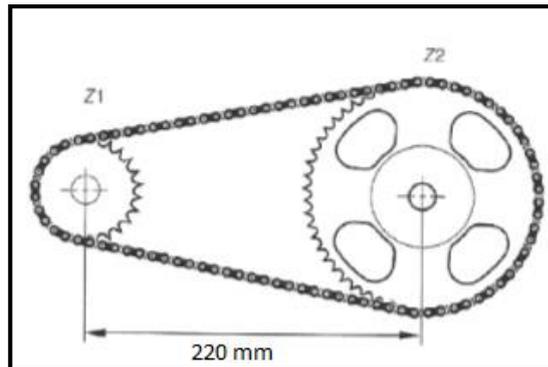
Velocidad de giro del motor de combustión = 41,64 rps

2.5.2.2.- Análisis de la cadena de transmisión secundaria:

Para la correcta elección de la cadena que va formar parte de la transmisión secundaria, es necesario realizar un análisis tomando en cuenta las velocidades de ambos motores, así como distancias, con el fin de conseguir un diseño factible para la entrega de potencia del motor eléctrico. Para ello se aplica la ecuación 2.5:

a) Distancia entre el centro del piñón y del engrane:

Figura 60. Distancia entre ejes de la transmisión secundaria.



Fuente: Autores.

El paso de la cadena se obtiene en la tabla de datos de varios tipos de cadenas de moto. Para este caso se usa la cadena número 428H la cual tiene un paso de 12,7 mm. (Revisar anexo 8).

$$N = \frac{2(220\text{mm})}{12,7\text{mm}} + \frac{45+13}{2} + \left(\frac{13-45}{2\pi}\right)^2 \times \frac{12,7}{220\text{mm}} \quad (2.5) \quad (\text{Anadón, Pabón, 2012})$$

$$N = 65,13 \approx 65$$

Se redondea el número de eslabones. Se obtiene al inmediato inferior es decir a 65 eslabones

b) Longitud de la cadena:

Se aplica la ecuación 2.6:

$$L_p = 65 \times 12,7\text{mm} = 825,5 \text{ mm} \quad (\text{ec.2.6}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

c) Distancia entre centros real:

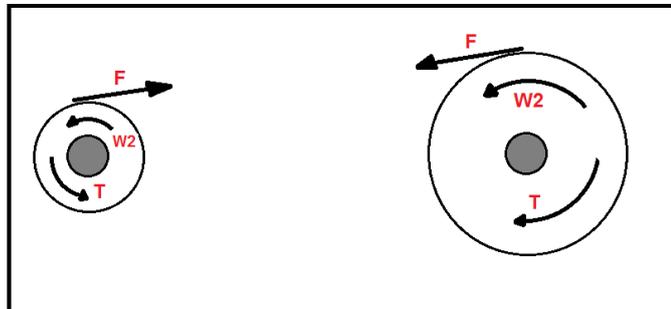
Se aplica la ecuación (2.7) (Anadón, Pabón, 2012)

$$C = \frac{12,7\text{mm}}{8} \left[2(65) - 13 - 45 + \sqrt{(2(65) - 13 - 45)^2 - 0,81(13 - 45)^2} \right] \quad (2.7)$$

$$C = 219,04 \text{ mm}$$

En función de la potencia de diseño, la velocidad de giro de giro del piñón y su diámetro primitivo, se calculara a continuación la tensión máxima en la cadena y el torque que sufre.

Figura 61. Fuerzas y torques que actúan sobre los piñones de la transmisión secundaria



Fuente: Autores.

d) Potencia de diseño:

Para su obtención, se aplica la ecuación 2.8:

El motor eléctrico tiene una potencia de 0,57Hp (424,34 W)

$$P = 424,34 \text{ W}$$

Para el factor de servicio obtenemos un valor de 1,5 el cual se corresponde a un motor eléctrico y carga con choque pesado ya que el motor estará funcionando a condiciones de alta vibración, (Revisar Anexo 9).

$$P_d = 424,34 \text{ W} \times 1,5 \quad (\text{ec.2.8}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$P_d = 636,51 \text{ W}$$

e) Torque de la cadena

Con la potencia de diseño y la velocidad de giro del piñón, es posible calcular el torque que sufre la cadena. Para ello se aplica la ecuación 2.9:

$$T = \frac{636,51 \text{ W}}{\frac{2\pi(700\text{rpm})}{60}} \quad (\text{ec.2.9}) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

$$T = 8,68 \text{ N.m}$$

f) Tensión de la cadena:

$$D_{\text{piñon}} = \frac{12,7 \text{ mm} \times 45}{\pi} \quad (2.10) \text{ (Anadón, Pabón, 2012)}$$

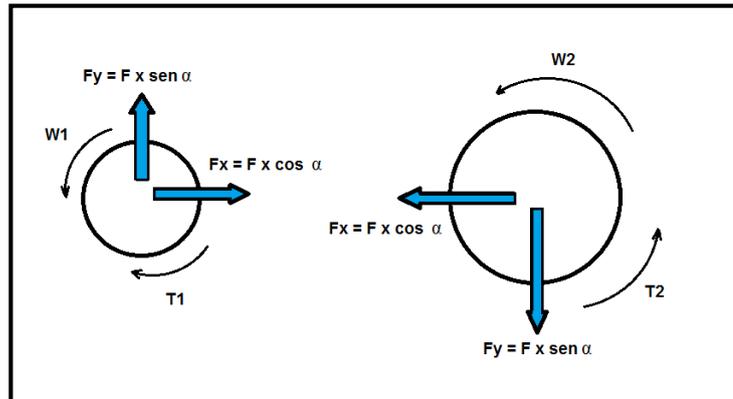
$$D_{\text{piñon}} = 181,91 \text{ mm}$$

$$8,68 \text{ N.m} = F \times \frac{181,91 \text{ mm}}{2}$$

$$F = 95,91 \text{ N}$$

2.5.5.3.- Cálculo de esfuerzos transmitidos al eje trasero por la cadena

Figura 62. Fuerzas que actúan sobre el engrane.



Fuente: Autores.

a) Cálculo de ángulo de las fuerzas

Primero se calcula el ángulo. Se aplica la ecuación 2.11:

$$D_{\text{engrane}} = \frac{12,7\text{mm} \times 13}{\pi} \quad (\text{ec.2.11}) \quad (\text{Anadón, Pabón, 2012})$$

$$D_{\text{engrane}} = 52,55 \text{ mm}$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1} \frac{52,55 \text{ mm} - 181,91 \text{ mm}}{2(219,04 \text{ mm})}$$

$$\alpha = 17,17^\circ$$

b) Fuerzas horizontal y vertical

Para encontrar las fuerzas que actúan sobre la transmisión, se aplica a continuación las ecuaciones 2.12 y 2.13:

$$F_{\text{horizontal}} = 95,91 \text{ N} \times \cos(17,17) = 91,63 \text{ N} \quad (\text{ec.2.12}) \quad (\text{Hibbeler, 2004})$$

$$F_{\text{vertical}} = 95,91 \text{ N} \times \text{sen}(17,17) = 28,31 \text{ N} \quad (\text{ec.2.13}) \quad (\text{Hibbeler, 2004})$$

2.5.3.- Inclusión de embrague electromagnético

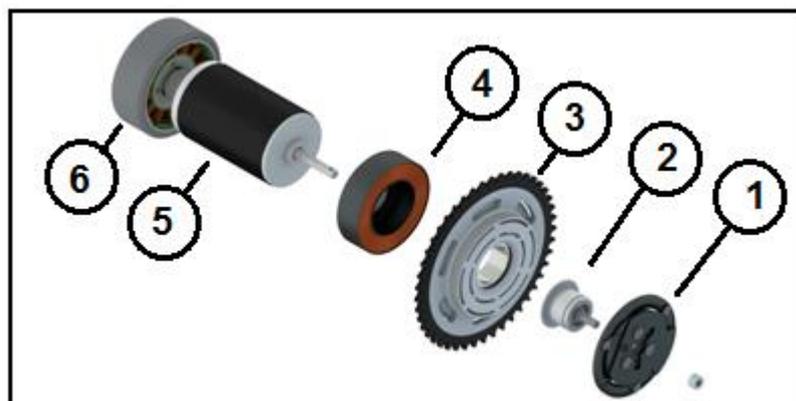
El piñón conductor de la transmisión secundaria se encuentra ubicado en uno de los extremos del motor – generador, se encarga de comunicar la velocidad que se genera en el motor eléctrico al motor de combustión. Su parecido con el piñón que se encuentra en el eje posterior del vehículo es que debe conectarse y desconectarse de su transmisión de acuerdo a las fases que tiene el sistema de recuperación de energía cinética.

Su conexión se dará en dos fases: la primera, en el instante que frena el vehículo, el piñón debe girar solidario al eje del motor eléctrico, con el objetivo de aprovechar la recuperación de la energía cinética para que funcione el generador y así crear la corriente alterna. La segunda, en la entrega de potencia del KERS, también debe estar conectada, con el propósito de transferir toda la velocidad que brinda el motor eléctrico durante los 4 segundos predeterminados.

Su desconexión se debe dar durante todo el resto de la vuelta, es decir, cuando no se esté frenando el “Go Kart” y cuando no se esté activando el KERS en sus 4 segundos de funcionamiento.

Con el fin de que se cumplan cada una de estas acciones, se recurre a la implementación del embrague electromagnético, el cual, como se nota en la figura 63, necesita de ciertos elementos mecánicos para su implementación en el conjunto motor – generador:

Figura 63. Despiece del motor generador con su embrague.



Fuente: Autores.

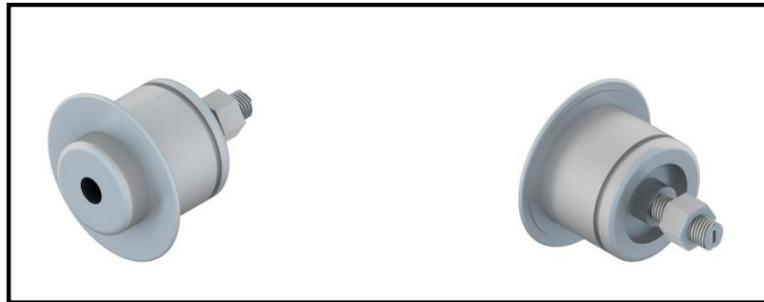
- Partes:

- 1.- Plato de presión con diafragma
- 2.- Cubo de rueda
- 3.- Piñón de transmisión y porta bobina
- 4.- Bobina
- 5.- Motor eléctrico
- 6.- Generador de corriente

2.5.3.1.- Cubo de rueda:

Este elemento (ver anexo 6) en uno de sus extremos consta de un orificio en donde irá de manera precisa, la prolongación del eje central del motor eléctrico, con el fin de tomar su movimiento (Fig.64). Su periferia cilíndrica funciona como una pista, en donde se encuentra alojado el piñón de la transmisión secundaria.

Figura 64. Buje de acople.



Fuente: Autores.

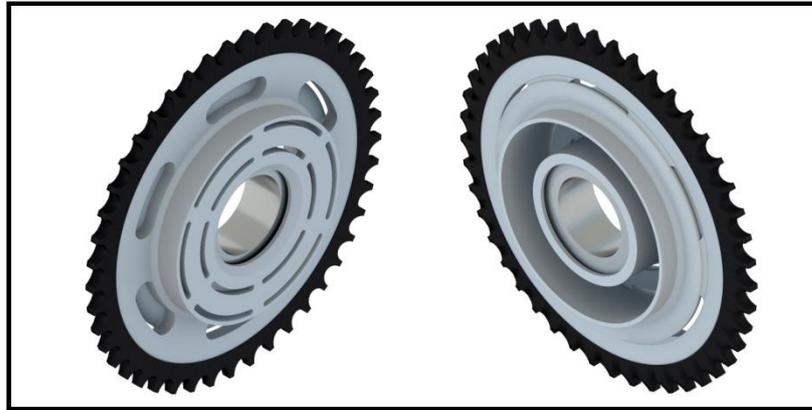
Finalmente, en el otro extremo consta de una parte roscada, en donde se sujetará el plato de presión y su diafragma.

2.5.3.2.- Piñón conductor porta bobina:

Dicho elemento es uno de los componentes principales de la transmisión secundaria. En su parte central se diseña un porta bobina que forma parte de su estructura

general, a la vez consta de unas rejillas que dejarán pasar el efecto magnético creado por la bobina y de esta manera, pueda atraer al diafragma del plato de presión. En la figura 65 se observa su estructura física:

Figura 65. Piñón conductor de la transmisión secundaria.



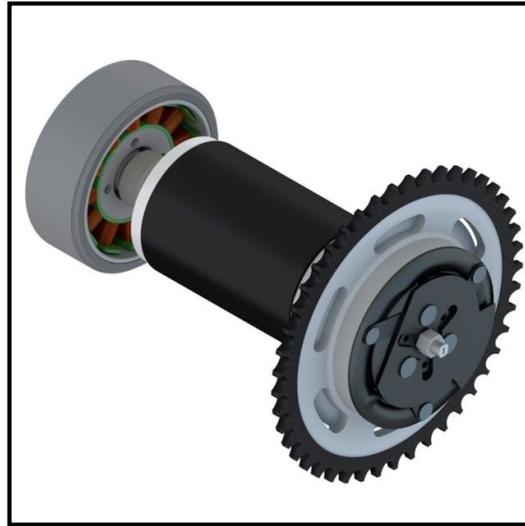
Fuente: Autoes.

2.5.3.3.- Estructura completa motor generador

En la siguiente figura se muestra el diseño completo de lo que comprende el motor – generador. En el extremo izquierdo se nota la implementación de la parte generadora de corriente, con sus elementos estator y rotor; en la parte central se encuentra el motor eléctrico que proporcionará la potencia del sistema KERS.

Finalmente, en el extremo derecho, se encuentra unido todo el conjunto de conexión y desconexión de la transmisión secundaria que permitirá o no el giro del piñón respecto del eje del motor eléctrico. La figura 66 muestra la adaptación completa del engrane conductor del motor eléctrico y el generador de corriente alterna:

Figura 66. Generador acoplado con su piñón y embrague.



Fuente: Autores.

2.6.- Análisis estructural del eje posterior del “Go Kart”

El eje posterior es uno de los elementos del vehículo que más se ve afectado por la influencia de fuerzas, reacciones y torques, ya que soporta el porcentaje de peso que está destinado 40 % a la parte delantera y 60 % a la parte trasera, de acuerdo al reparto ideal de cargas, para que no se vea afectado el centro de gravedad. De la misma forma contiene el engrane que recibe la potencia del motor de combustión y eléctrico.

Por tal razón es necesario realizar un análisis de su estructura completa, tomando en cuenta los factores mencionados anteriormente, con el fin de obtener valores aproximados del momento flector máximo y el factor de seguridad que pueda garantizar el buen funcionamiento del eje posterior.

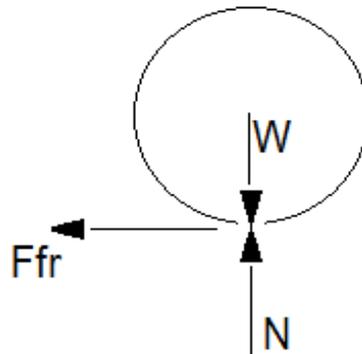
2.6.1.- Diseño del eje posterior

El objetivo del análisis del eje posterior es de encontrar un factor de seguridad que garantice el funcionamiento de este elemento. Para ello es necesario seguir algunos pasos, tomando en cuenta varios valores del vehículo:

$$W_{\text{rueda}} = 32,7 \text{ Kg} = 320,67\text{N}$$

$\mu = 0,8 \rightarrow$ Coeficiente de fricción del asfalto seco

Figura 67. Diagrama de fuerzas que se ejercen sobre la llanta



Fuente: Autores.

2.6.1.2.- Sumatoria de fuerzas verticales y fuerza de fricción:

Para la obtención de las fuerzas verticales en la rueda, se aplica la ecuación 2.15:

$$\sum F_y = 0 \quad (2.15) \text{ (Hibbeler, 2004)}$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

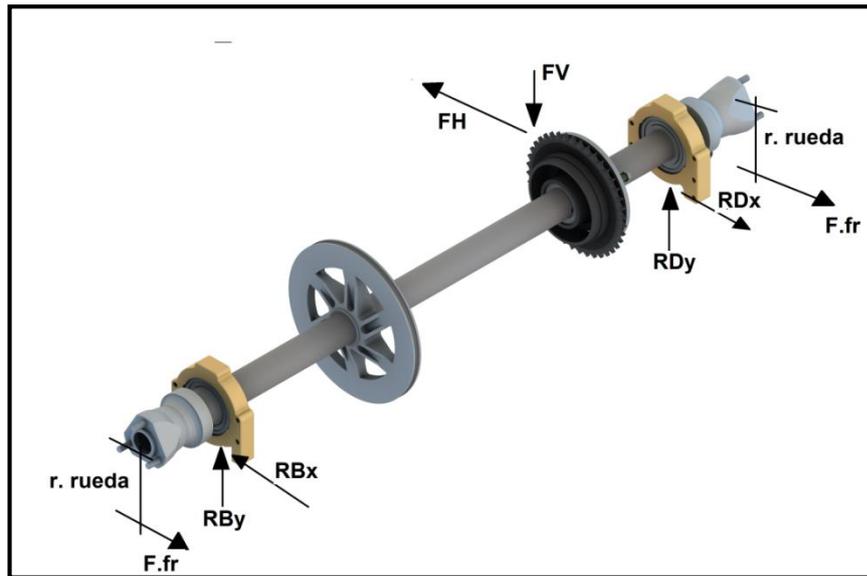
$$N = 320,67 \text{ N}$$

Para la fuerza de fricción, se utiliza la ecuación 2.16:

$$F_{fr} = \mu \cdot N \quad (\text{ec.2.16}) \text{ (2.15) (Hibbeler, 2004)}$$

$$F_{fr} = 0,8 \cdot 320,67 = 256,53 \text{ N}$$

Figura 68. Fuerzas y reacciones que ejercen sobre el eje posterior



Fuente: Autores.

El material del cual está compuesto el eje es un acero AISI 1045 CD el cual tiene un $S_{ut} = 630 \text{ MPa}$ una dureza Brinell de 179. La figura 68, muestra las fuerzas y reacciones que actúan sobre el eje, las cuales inciden directamente en su análisis. De cálculos anteriores se tienen los siguientes datos:

$$FH = 321,096 \text{ N}$$

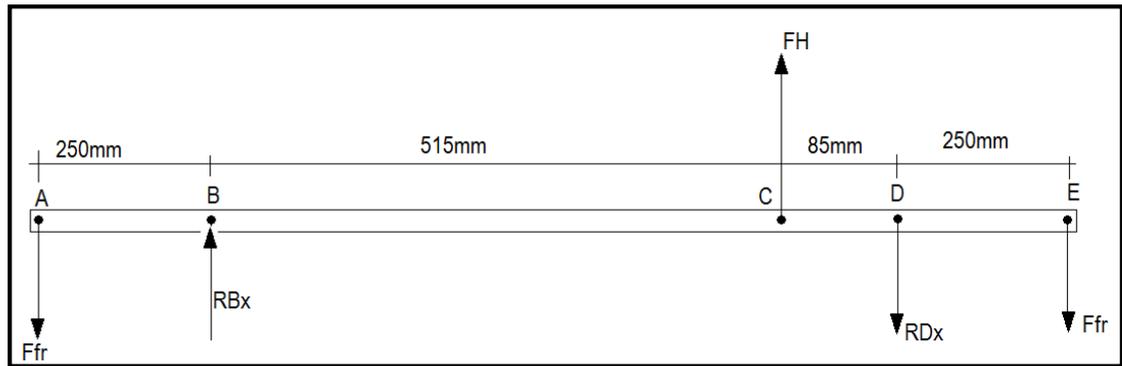
$$FV = 45,75 \text{ N}$$

2.6.1.3.- Fuerzas en distintos planos:

Se analiza el eje posterior en distintos planos. Para ello se utiliza la ecuación 2.17 que involucra la sumatoria de momentos y la ecuación 2.18 que trata la sumatoria de fuerzas horizontales o verticales:

a) **Plano ``XZ``**

Figura 69. Fuerzas que actúan sobre el eje en el plano "XZ"



Fuente: Autores.

$$\sum MD = 0 \quad (\text{ec.2.17}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$-F_{fr}(0,25\text{m}) - FH(0,085) - RB_x(0,60) + F_{fr}(0,85) = 0$$

$$RB_x = \frac{-(256,53 \text{ N})(0,25 \text{ m}) - (321.096 \text{ N})(0,085 \text{ m}) + (256,53 \text{ N})(0,85)}{0,60}$$

$$RB_x = 211,05 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \quad (\text{ec.2.18}) \text{ (Hibbeler, 2004)}$$

$$-2F_{fr} + RB_x + FH - RD_x = 0$$

$$RD_x = -2(256,53 \text{ N}) + 211,05 \text{ N} + 321,096 \text{ N}$$

$$RD_x = 19,06 \text{ N}$$

Momento flector

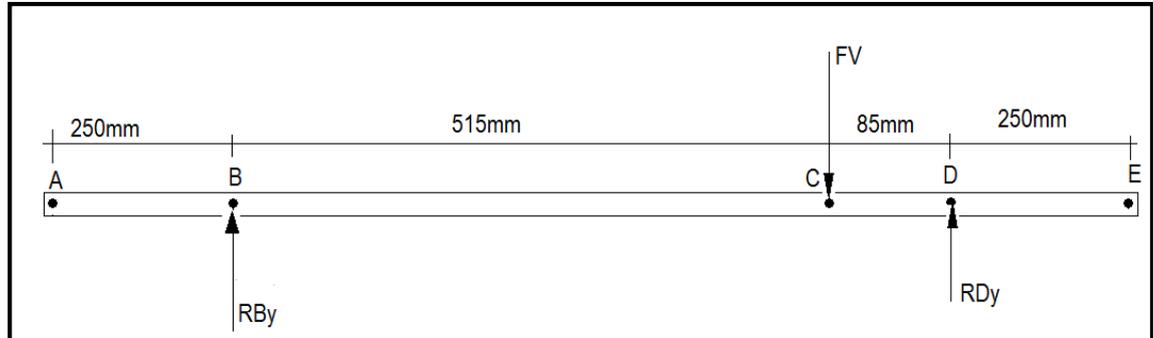
$$M_A = 0 \quad (2.17)$$

$$M_B = -(256,53\text{N})(0,25 \text{ m}) = -64,13 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_C = -(256,53 \text{ N})(0,765 \text{ m}) + (211,05 \text{ N})(0,515 \text{ m}) = -87,55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_D = -(256,53 \text{ N})(0,25 \text{ m}) = -64,13 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2.17)$$

$$M_E = 0 \quad (2.17)$$

Plano “YZ”**Figura 70. Fuerzas que actúan sobre el eje en el plano “YZ”**

Fuente: Autores.

$$\sum MD = 0$$

(2.17)

$$FV(0,085 \text{ m}) - RBy(0,60 \text{ m}) = 0$$

$$RBy = \frac{(45,75 \text{ N})(0,085 \text{ m})}{0,6 \text{ m}}$$

$$RBy = 6,48 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0 \tag{2.18}$$

$$-FV + RBy + RDy = 0$$

$$RDy = 45,75 \text{ N} - 6,48 \text{ N}$$

$$RDy = 39,27 \text{ N}$$

Momento flector

$$MA = 0 \tag{2.17}$$

$$MB = 0 \tag{2.17}$$

$$MC = (39,27 \text{ N})(0,85 \text{ m}) = 3,33 \text{ N}\cdot\text{m} \tag{2.17}$$

$$MD = 0 \tag{2.17}$$

$$ME = 0 \quad (2.17)$$

Momento flector resultante

El momento mayor se produce en el punto C por lo tanto este será el punto crítico en el eje. Se aplica la ecuación 2.20 para obtener una resultante:

$$MR = \sqrt{(-87,55 \text{ N. m})^2 + (3,33 \text{ N. m})^2} \quad (\text{ec.2.20}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$MR = 87,61 \text{ N. m}$$

Una vez obtenido los valores del momento flector máximo y el torque, se puede encontrar los esfuerzos flexionante, con la ecuación 2.21 y torsor, con la ecuación 2.22 a los cuales está sometido el eje.

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi(D^3 - d^3)} \quad (\text{ec.2.21}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

En donde:

Σf = Esfuerzo flexionante

M = Momento flector máximo

D = Diámetro mayor del eje

d = Diámetro menor del eje

Por lo tanto:

$$\sigma_f = \frac{32(87,61 \text{ N. m})}{\pi(0,04^3 - 0,037^3)}$$

$$\sigma_f = 66,86 \text{ MPa}$$

Momento torsor

$$\tau = \frac{16T}{\pi(D^3 - d^3)} \quad (\text{ec.2.22}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

En donde:

τ = Esfuerzo de torsión

T = Torque al cual se encuentra sometido el eje

D= Diámetro mayor del eje

d= Diámetro menor del eje

Por lo tanto:

$$\tau = \frac{16(26,11 \text{ N.m})}{\pi(0,04^3 - 0,037^3)}$$

$$\tau = 9,66 \text{ MPa}$$

Ya que el eje se encuentra sometido a esfuerzos combinados, se procede a encontrar los esfuerzos alternantes con la ecuación 2.23 y medios con la ecuación 2.24:

$$\sigma_a = \left\{ \left[(Kf)_{\text{flexion}} (\sigma_a)_{\text{flexion}} + (Kf)_{\text{axial}} \frac{(\sigma_a)_{\text{axial}}}{0,85} \right]^2 + 3[(Kfs)_{\text{torsion}} (\tau_a)_{\text{torsion}}]^2 \right\}^{1/2} \quad (2.23)$$

$$\sigma_m = \left\{ \left[(Kf)_{\text{flexion}} (\sigma_a)_{\text{flexion}} + (Kf)_{\text{axial}} (\sigma_a)_{\text{axial}} \right]^2 + 3[(Kfs)_{\text{torsion}} (\tau_a)_{\text{torsion}}]^2 \right\}^{1/2} \quad (2.24)$$

Factor de concentración de esfuerzo “Kf”. Ecuación 2.25:

$$Kf_{\text{flexion}} = 1 + q(Kt - 1) \quad (\text{ec.2.25}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

Kf= Factor de concentración de esfuerzo a la flexión.

q= Sensibilidad a la muesca.

Kt= factor teórico de concentración de esfuerzo.

Para hallar el valor de “q” se utiliza un radio de la muesca de 1mm el cual se lo selecciona según la figura a continuación.- Valor de q = 0,75, (Revisar anexo 10).

Para el valor del factor teórico a la contracción de esfuerzo se le da un valor de $K_t=1,6$ que es el correspondiente a una chaveta.

$$K_{flexion} = 1 + 0,75(1,6 - 1)$$

$$K_{flexion} = 1,45$$

Factor de concentración de esfuerzo a la torsión. Ecuación 2.27:

$$K_{fs_{torsion}} = 1 + q_s(K_t - 1) \quad (\text{ec.2.27}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

K_{fs} = factor de concentración de esfuerzo a la torsión

q_s = sensibilidad a la muesca para la torsión.

Para hallar el valor de `` q_s `` se utiliza un radio de la muesca de 1mm y teniendo en cuenta que se está utilizando un material AISI 1045 CD con una dureza Brinell de 179, se obtiene un valor de 0,85. (Revisar Anexo 11).

$$K_{fs_{torsion}} = 1 + 0,85(1,6 - 1)$$

$$K_{fs_{torsion}} = 1,51$$

Por lo tanto, el esfuerzo alternante es el siguiente:

$$\sigma_a = \{[(1,45)(66,86\text{Mpa}) + 0]^2 + 3[(1,51)(9,66\text{MPa})]^2\}^{1/2} \quad (2.23)$$

$$\sigma_a = 106,35 \text{ MPa}$$

Seguidamente, se obtiene el esfuerzo medio:

$$\sigma_m = \{[(1,45)(66,86\text{Mpa}) + 0]^2 + 3[(1,51)(9,66\text{MPa})]^2\}^{1/2} \quad (2.24)$$

$$\sigma_m = 106,35 \text{ MPa}$$

Una vez obtenidos los esfuerzos alternantes, se procede a encontrar el límite de resistencia a la fatiga S_e mediante la siguiente ecuación 2.28:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e' \quad (\text{ec.2.28}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

En donde:

k_a = Factor de superficie.

k_b = factor de tamaño.

k_c = Factor de carga.

k_d = Factor de temperatura.

k_e = Factor de confiabilidad

S_e' = resistencia a la fatiga

Por lo tanto, para encontrar el límite de resistencia a la fatiga, se obtienen los demás factores:

Resistencia a la fatiga (S_e'). Ecuación 2.29

(Revisar anexo 12)

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \quad (\text{ec.2.29}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$S_e' = 0,5 (630 \text{ Mpa})$$

$$S_e' = 315 \text{ MPa}$$

Factor de superficie (k_a). Ecuación 2.30

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (\text{ec.2.30}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

Se escoge un acabado superficial de maquinado o laminado en frío. (Revisar anexo 13).

$$a = 4,51$$

$$b = -0,265$$

$$k_a = (4,51)(630\text{Mpa})^{-0,265}$$

$$k_a = 0,81$$

Factor de tamaño (k_b). Ecuación 2.31

(Revisar anexo 14).

$$k_b = 1,24d^{-0,107} \quad (\text{ec.2.31}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$k_b = 1,24(40\text{mm})^{-0,107}$$

$$k_b = 0,83$$

Factor de carga `` k_c ``

El factor de carga debido a que el eje está sometido a esfuerzos de flexión y torsión, es decir, soporta esfuerzos combinados, se le da un valor 1.

$$k_c = 1$$

Factor de temperatura `` k_d ``

El eje estará trabajando a temperatura ambiente por lo tanto el factor de temperatura será igual a 1. (Revisar anexo 15).

$$k_d = 1$$

Factor de confiabilidad `` k_e ``

Se utiliza una confiabilidad del 50% por lo tanto según la tabla a continuación el factor de confiabilidad es igual a 1. (Revisar anexo 16).

$$k_e = 1$$

$$S_e = (0,81). (0,83). (1). (1). (1). (315\text{MPa}) \quad (2.28)$$

$$S_e = 211,17 \text{ Mpa}$$

Una vez obtenidos los valores de los esfuerzos alternantes y la resistencia a la fatiga, se puede calcular el factor seguridad a la fatiga. Para esto se utiliza la fórmula de los criterios de falla de Gerber y Langer (Ecuación 2.32)

$$nf = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ut}}{\sigma_m} \right)^2 \frac{\sigma_a}{S_e} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma_m S_e}{S_{ut} \sigma_a} \right)^2} \right] \quad (\text{ec.2.32}) \text{ (Shigley, 2008)}$$

$$nf = \frac{1}{2} \left(\frac{630\text{MPa}}{106,35\text{MPa}} \right)^2 \frac{106,35\text{MPa}}{211,77\text{Mpa}} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2(106,35\text{Mpa})(211,77\text{Mpa})}{(630\text{MPa})(106,35\text{MPa})} \right)^2} \right]$$

$$nf = 1,75$$

Como el resultado del factor de seguridad resultó mayor que 1, indica que el eje posterior del “Go Kart” tiene un correcto diseño en lo que se refiere a dimensiones y selección de material, los cuales soportarán los esfuerzos a los que está sometido dicho elemento.

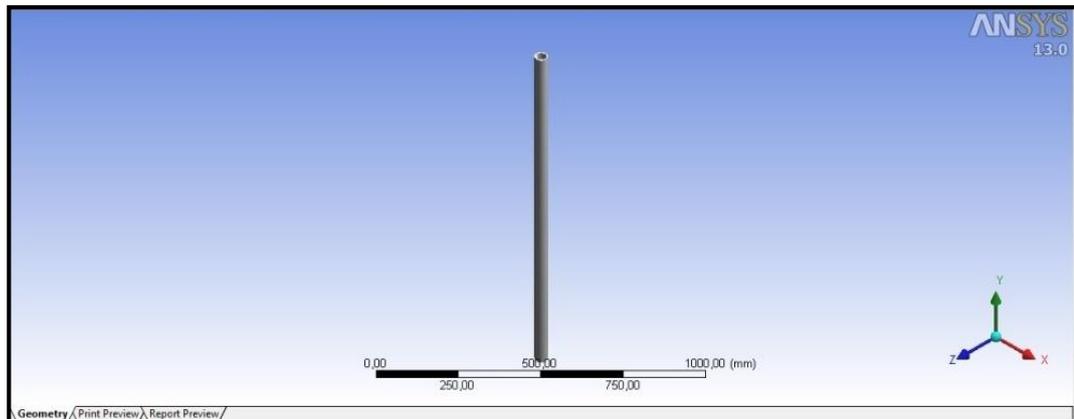
2.6.1.- Simulación del eje posterior

Una vez obtenido en análisis previos el factor de seguridad existente en el eje posterior del vehículo, es necesario realizar una simulación de este elemento en un software, que permita respaldar los resultados obtenidos anteriormente, de esta forma se sabrá con seguridad el comportamiento del eje.

a) Dibujo del eje posterior:

En el software “ANSYS” se realiza el dibujo a escala del eje, como se muestra en la figura 71, tomando en cuenta todas sus medidas reales:

Figura 71. Eje posterior dibujado en el Software ANSYS.

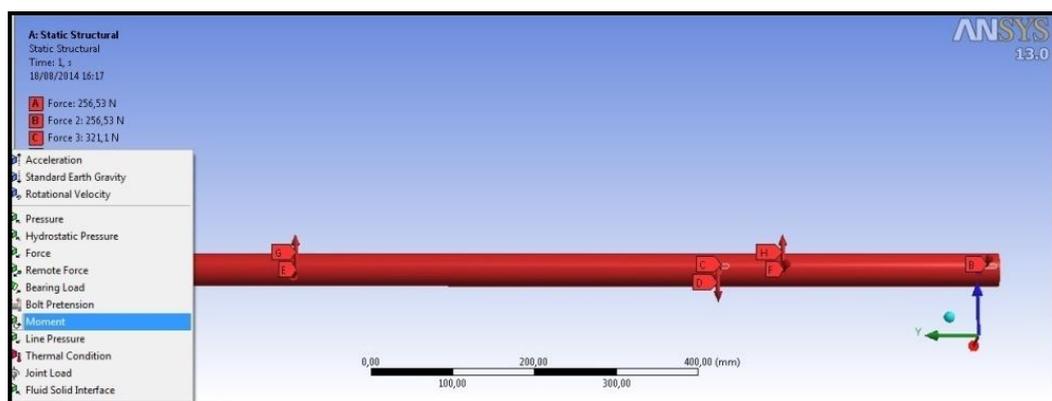


Fuente: Autores.

b) Adición de fuerzas:

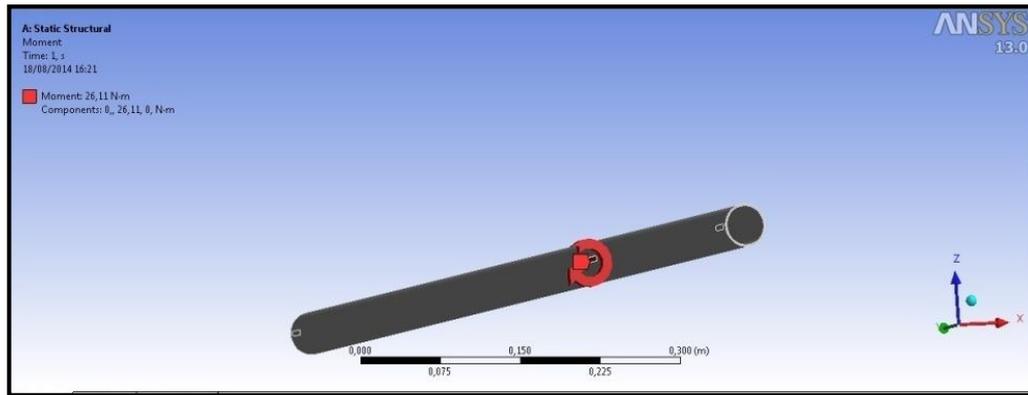
El sistema, en su totalidad, tiene un peso de 109 Kg, el cual se tiene que repartir en un 40% en la parte delantera y un 60% en la zona trasera, en donde se encuentra el eje. De la misma forma se colocan las fuerzas, reacciones y el torque que soporta el eje debido a la transmisión principal. Esto se muestra en la figura 72 y 73:

Figura 72. Inclusión de fuerzas que actúan sobre el eje en el Software ANSYS.



Fuente: Autores.

Figura 73. Inclusión del momento torsor en el Software ANSYS.

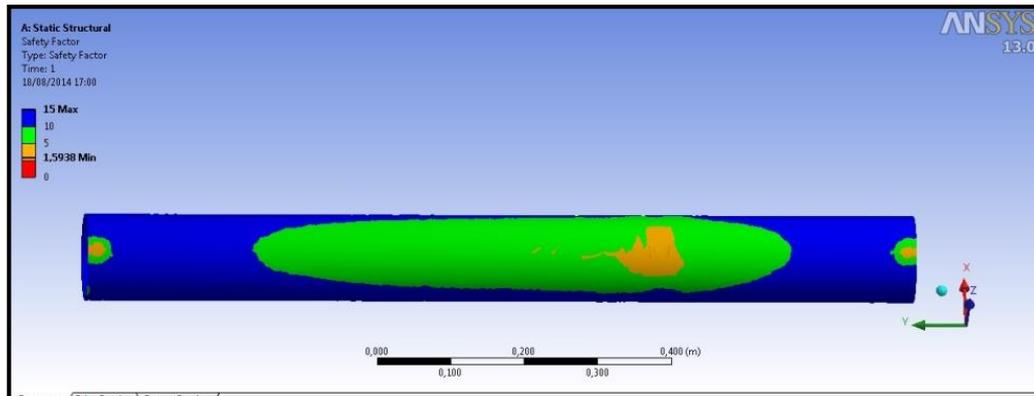


Fuente: Autores.

c) Factor de seguridad:

Después de haber colocado todos los datos que inciden sobre el eje y tras haber seguido el procedimiento que indique el software ANSYS, se obtiene el factor de seguridad. En este caso, como se nota en la figura 74, el valor obtenido respalda lo conseguido en el análisis anterior.

Figura 74. Análisis del factor seguridad en el Software ANSYS.

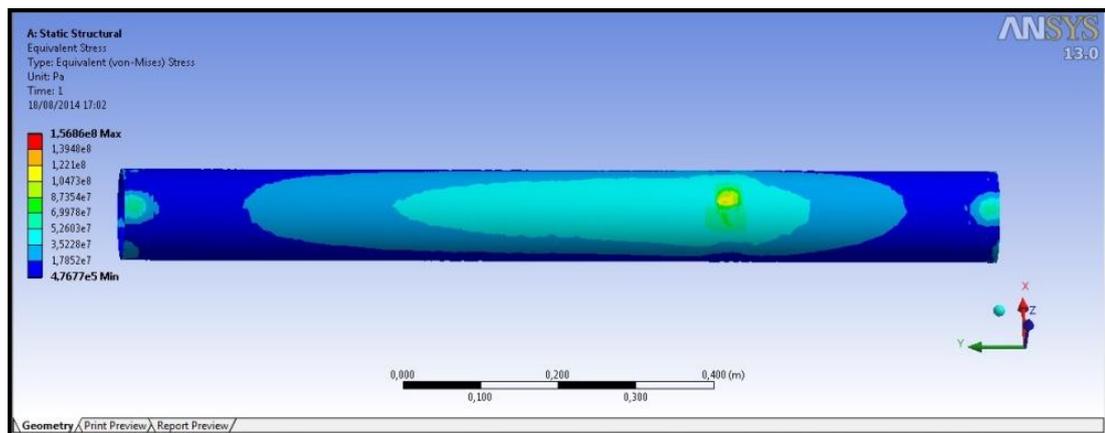


Fuente: Autor.

d) Esfuerzo máximo en el eje posterior

Finalmente, como se muestra en la figura 75, se obtiene la simulación de lo que respecta el esfuerzo máximo que se presenta en el eje. Uno de los sectores más críticos (de color amarillo) es en la zona donde se encuentra el engrane de la transmisión principal, ya que aquí llega el torque transmitido por el motor de combustión en conjunto con el motor eléctrico.

Figura 75. Análisis del Esfuerzo máximo en el software ANSYS.



Fuente: Autores.

2.7.- Diseño del módulo de control y acumulación de energía

2.7.1.- Diseño del sistema de control KERS

Como parte del conjunto de iniciativas para la incorporación del sistema KERS en un “Go Kart”, se estableció la necesidad de diseñar un circuito electrónico que permita la activación de los sistemas eléctricos propuestos y el motor generador, en un ambiente controlado, a fin de trasladar los resultados obtenidos a la implementación de soluciones en la práctica, en donde el piloto tenga la facilidad de controlar con seguridad la activación del sistema propuesto.

En este contexto, se decidió dividir el circuito en 3 partes:

- Circuito lógico de control
- Circuito lógico comparador de nivel de carga.
- Circuito de potencia.

2.7.1.1.- Circuito lógico de control

El componente principal que comandará todo el circuito de control es el micro controlador Atmega32, elemento que funcionará como el cerebro del sistema, ya que se encargará de enviar las señales de funcionamiento a los componentes eléctricos y electrónicos acompañado de resistencias y capacitores que garanticen su óptimo desempeño. Estos elementos, entre otros, forman en conjunto el sistema lógico para el funcionamiento del todo el circuito.

a) Código en Codevision AVR

En el software Codevision se usa un lenguaje de bajo nivel, el cual brinda la posibilidad de manejar los puertos del microcontrolador de manera directa, donde se propone el uso de un LCD de tipo 16x2 para la visualización de características del sistema.

Se tiene: 2 entradas de señal externa (botoneras), 3 salidas para el uso de relés, 4 entradas para lectura de nivel de batería y un LCD16x2 para visualización.

La pantalla LCD propuesta debe brindar la posibilidad de mantener informado al piloto de los eventos que están sucediendo en el sistema, tales como:

- **Inicio del sistema:** En esta fase debe presentar el nombre de la investigación y posteriormente el nombre de sus autores.
- **Funcionamiento normal del sistema:** Se presenta el nivel de carga que posee la batería para que el sistema empiece a funcionar.
- **Activación del freno:** En la pantalla se muestra el mensaje que indica la carga de las baterías el momento en que se presiona el pedal de freno, cumpliendo un requerimiento propuesto de la investigación del frenado regenerativo.
- **Activación del KERS:** Es la fase final, en donde indica la activación del sistema y el tiempo predeterminado que dura su funcionamiento.

En la siguiente tabla 14, se presenta la programación del código que tendrá que interpretar el micro controlador, tomando en cuenta las condiciones planteadas:

Tabla 14. Código de programación en CODEVISION AVR.

```

//Librerías
#include<mega32.h>
#include<delay.h>
#include<stdlib.h>

//Funciones del modulo LCD alfanumérico, se determina en que Puerto funciona el LCD
#asm
.equ __lcd_port=0x18 ;PORTB
#endasm
#include <lcd.h>

//Variables globales
intVin,bat;

void main(void)
{
//Inicialización de los puertos
PORTA=0b00000111;
DDRA=0x07;

// Inicialización del LCD
lcd_init(16);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf(" KARTING  ") ;
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" KERS  ") ;
delay_ms(375);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("DANIEL CACERES ") ;
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("ANIBAL GONZALEZ ") ;
delay_ms(375);

while (1)
{
//Lectura del Puerto D para nivel de batería
if(bat==1)
{
if(PIND.0==0&&PIND.1==1&&PIND.2==1&&PIND.3==1)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf(" KARTING KERS  ") ;
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("BATERIA 25%  ") ;
Vin=0;
}
if(PIND.0==0&&PIND.1==0&&PIND.2==1&&PIND.3==1)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf(" KARTING KERS  ") ;
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("BATERIA 50%  ") ;
Vin=0;
}
}
}
}

```

```

        if(PIND.0==0&&PIND.1==0&&PIND.2==0&&PIND.3==1)
        {
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" KARTING KERS ");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("BATERIA 75% ");
        Vin=1;
        }
        if(PIND.0==0&&PIND.1==0&&PIND.2==0&&PIND.3==0)
        {
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" KARTING KERS ");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("BATERIA 100% ");
        Vin=1;
        }
        if(PIND.0==1&&PIND.1==1&&PIND.2==1&&PIND.3==1)
        {
        lcd_gotoxy(0,0);
        lcd_putsf(" KARTING KERS ");
        lcd_gotoxy(0,1);
        lcd_putsf("BATERIA 0% ");
        Vin=0;
        }
    }
}

```

//Lectura de la botonera en el Freno del "Go Kart"

```

if(PINA.3==1)
{
bat=0;
PORTA.0=0;
PORTA.1=0;
PORTA.2=1;
PORTA.5=1;
PORTA.6=0;
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("CARGANDO.... ");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("BATERIA.... ");
}
else
{

```

//Lectura de la botonera del KERS

```

if(PINA.4==1)
{
    if (Vin==1)
    {
        PORTA.0=1;
PORTA.1=0;
PORTA.2=0;
PORTA.5=0;
PORTA.6=1;
bat=0;
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_putsf("KERS ACTIVADO ");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" SEG. ");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" 4");
delay_ms(125);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" 3");

```

```

delay_ms(125);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" 2");
delay_ms(125);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf(" 1");
delay_ms(125);
}
}
//Condiciones normales del sistema
else
{
PORTA.0=1;
PORTA.1=1;
PORTA.2=1;
bat=1;
PORTA.5=0;
PORTA.6=0;
}
};
}

```

Fuente: Autores

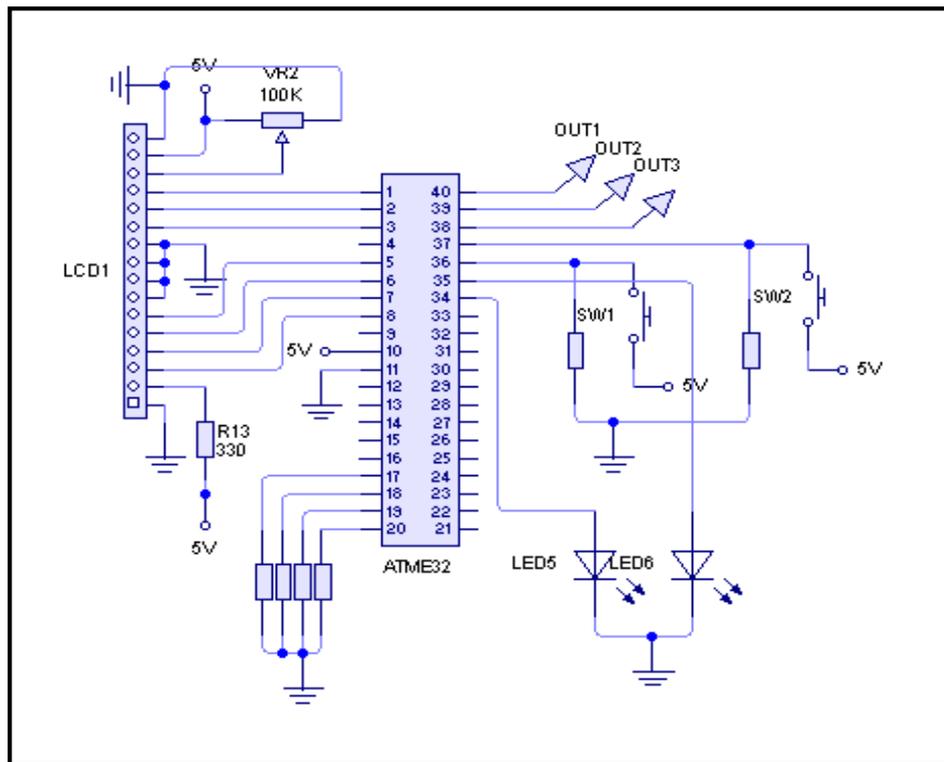
b) Diseño del circuito de control:

Una vez realizado el programa, se procede a diseñar el circuito a utilizar, como se muestra en la figura 76, tomando en cuenta las hojas de datos del micro controlador, con el fin de conectar correctamente todos los elementos que funcionan en conjunto con este integrado.

Se considera:

- Conexión del LCD en el puerto B que van desde el PIN 1 al PIN 8.
- Tres salidas de voltaje en el puerto A que van desde el PIN 38 al PIN 40.
- Lectura de los botones de accionamiento del KERS en el puerto A. Ocupan los pines 36 y 37.
- Dos leds indicadores en el puerto A. PIN 34 y 35.
- Lectura de nivel de batería en el puerto D. PIN 17 al PIN 20.

Figura 76. Diseño de circuito de control.



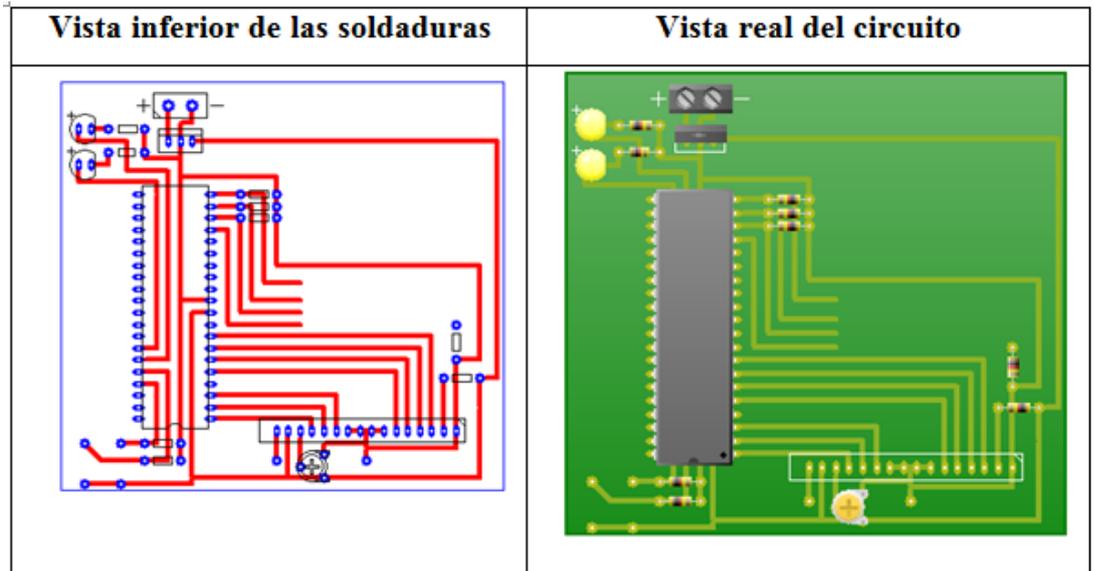
Fuente: Autores.

c) Diseño del circuito de control en PCB

Después de haber conseguido un diseño esquemático del circuito de control, se procede a realizar una simulación de esta propuesta en PCB, con el propósito de verificar cada una de las conexiones planteadas, tomando el espacio físico que se va tener en la baquela, para optimizar la posición de los elementos electrónicos que sean necesarios.

En las siguientes figura 77, se muestra de izquierda a derecha, una vista inferior del diseño de la baquela compuesta por todos los elementos y una vista real de la misma.

Figura 77. Vista inferior de las soldaduras-vista real del circuito



Fuente: Autores.

2.7.1.2.- Diseño de circuito comparador del nivel de carga

Para comparar el nivel de carga que tiene la batería, se usa un circuito disponible en la red <http://tecnoface.com/alimentacion/10-indicador-de-nivel-de-carga-de-una-bateria>, en donde se tiene un circuito de 4 leds que permitirá demostrar en forma gráfica el nivel de carga de la batería que está conectada a los diferentes elementos eléctricos del sistema KERS.

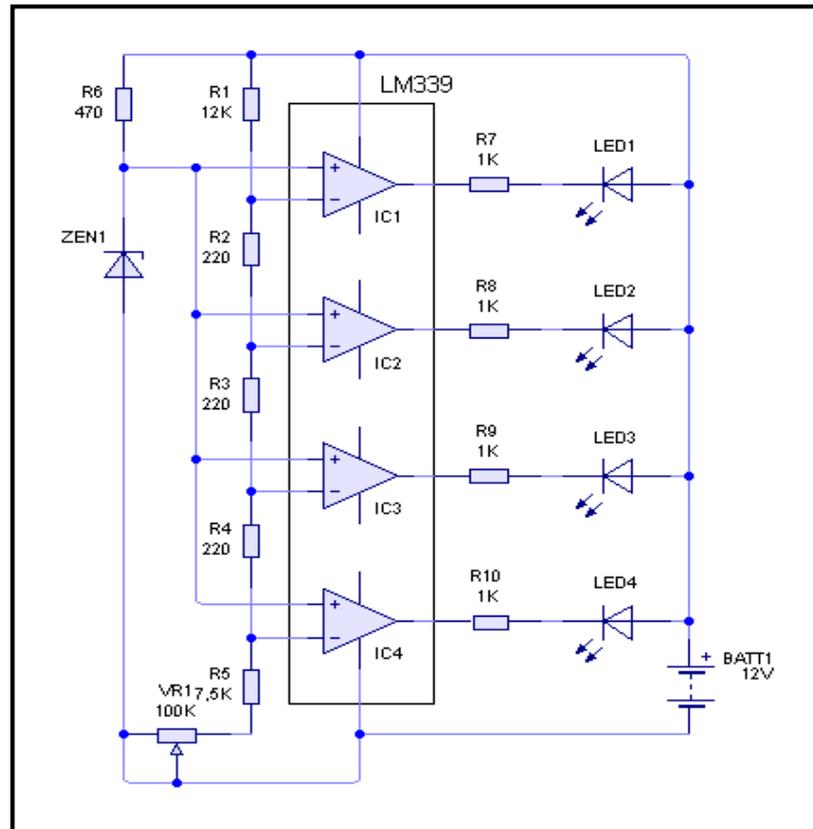
La iniciativa de utilizar esta clase de circuito en la unidad de control, es con el fin de proteger el estado físico de todos los elementos eléctricos y electrónicos del sistema en construcción, así como la vida útil de la batería. Gracias a este diseño se puede determinar un rango de porcentaje de funcionamiento del KERS, es decir, una carga de batería menor al 50 %, no activará el sistema.

Los rangos están determinados por:

- a) 50% = desde 12,2 V
- b) 100% = 12,7 V

En el circuito propuesto, en la figura 78, las entradas (+) de todos los comparadores se conectan a un valor de tensión fijo de 5v. Este valor está provisto por la referencia de tensión del diodo Zener de 5V.

Figura 78. Diseño de circuito comparador de nivel de carga.



Fuente: tecnoface.com

Se puede observar una red resistiva de 5 resistencias (R1-R5) y un potenciómetro (RV1) conectada entre los bordes de la batería. La misma es un divisor de tensión al cual se conectan las entradas (-) de los comparadores según se puede ver en el esquema. Este divisor gracias a los valores de resistencias elegidos hace que la tensión en las entradas (-) sea próxima los 5v.

Una batería de plomo y ácido de 12v, como es conocido, en estado cargado tiene una tensión de salida de 12,7v en vacío (es decir, sin conectarle la carga). A medida que se usa la batería y se va descargando esta tensión disminuye hasta alcanzar unos 11,7v cuando la batería está totalmente descargada.

En el estado cargado se aplican 12,7v sobre el divisor tensión y la tensión presente en la entrada (-) de los cuatro comparadores es mayor a 5v. Esto significa que la tensión en (-) supera a la tensión en (+) que está fijada a los 5v de referencia. Por tal motivo, la salida de los cuatro comparadores es de 0v. Entonces, las ramas LED-resistor conectadas en las salidas de los comparadores quedan sometidos a la tensión de la

batería, esto hace circular una corriente de aproximadamente 10mA por cada led y estos se iluminan.

A medida que la carga de la batería va disminuyendo, también disminuye su tensión de salida. Debido a esto la tensión en cada entrada (-) de los comparadores también irá disminuyendo. Pero, debido a la distribución de los comparadores, la tensión en la entrada (-) de cada comparador difiere con la tensión de los demás.

Mediante un análisis similar, se puede concluir que a medida que la tensión de la batería va disminuyendo, disminuye la tensión en las entradas (-) y cuando esta pasa a ser menor a los 5v de referencia el led conectado al comparador se apaga. Los leds se irán apagando en este orden: D5, D4, D3, D2. Así lo indica la figura 79:

Figura 79. Estado de los leds según la carga de la batería

	12,7	12,6	12,5	12,4	12,3	12,2	12,1	12	11,9	11,8	11,7	11,6
D2	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D3	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
D5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

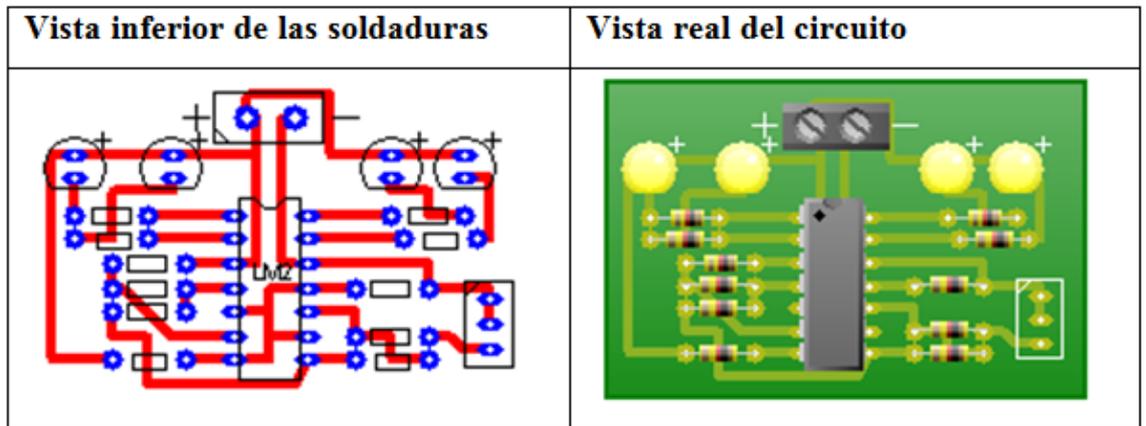
Fuente: tecnoface.com

Cada columna representa el estado de los leds según el nivel de tensión en la batería (verde encendido, rojo - apagado).

a) **Diseño del circuito comparador de nivel de carga en PCB**

De la misma forma como se realizó con el circuito anterior, se realiza una simulación del diseño esquemático propuesto en el PCB, como se observa en la figura 80, con el fin de verificar cada una de las conexiones y tomando en cuenta el espacio que va ocupar en la baquela.

Figura 80. Vistas inferior y real del diseño.

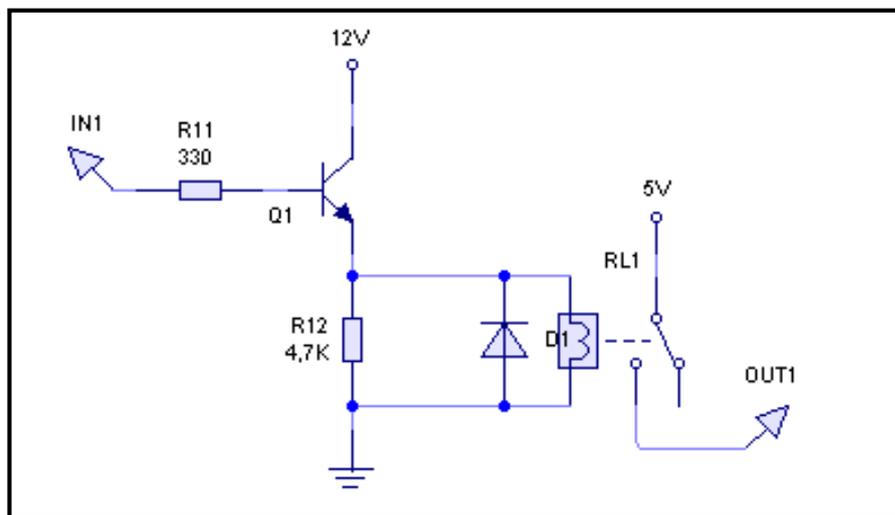


Fuente: Autores.

b) Diseño de protección circuito de control - circuito de comparación.

Para que el circuito de control pueda leer las salidas del comparador de nivel de batería, se necesita aislarlo, mediante la implementación de relés de 12V, protegidos por un diodo 1N4007. Siguiendo esto se propone el siguiente circuito mostrado en la figura 81:

Figura 81. Diseño de circuito de protección.



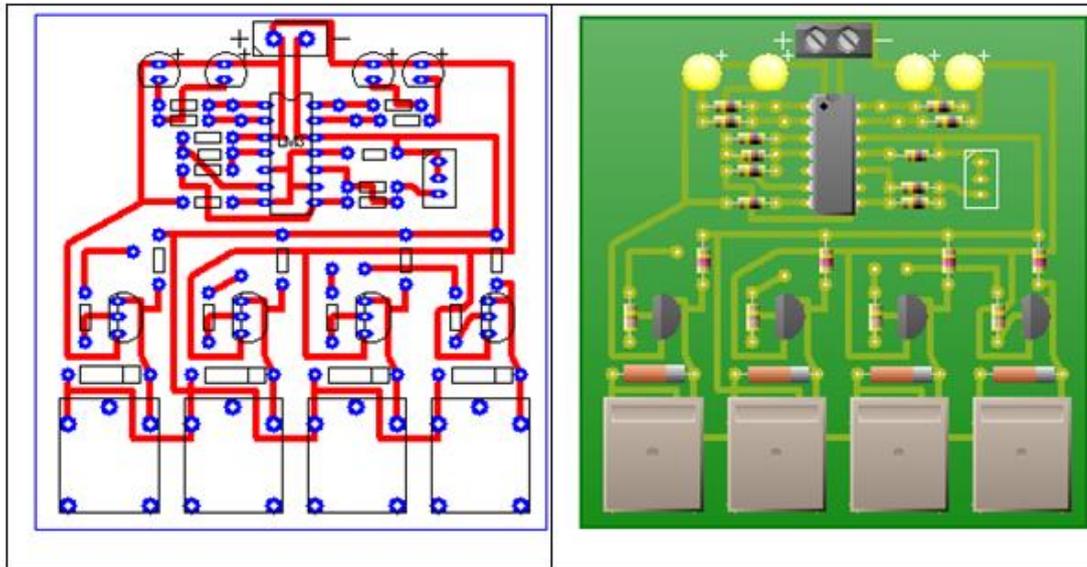
Fuente: Autores

En este circuito se pueden usar gracias al relé, niveles de voltaje de 5V que son admisibles para el micro controlador Atmega32 usado en el circuito de control.

c) Diseño del circuito en PCB del circuito comparador de nivel de batería.

A diferencia de las dos simulaciones anteriores, en la siguiente figura 82, se muestra la unión del circuito comparador de nivel de carga, con el circuito de protección hacia el sistema de control. De la misma forma, se presenta una vista inferior con todos los componentes electrónicos y la vista real de todos los elementos colocados en la baquela.

Figura 82. Vista inferior de las soldaduras-vista real del circuito.



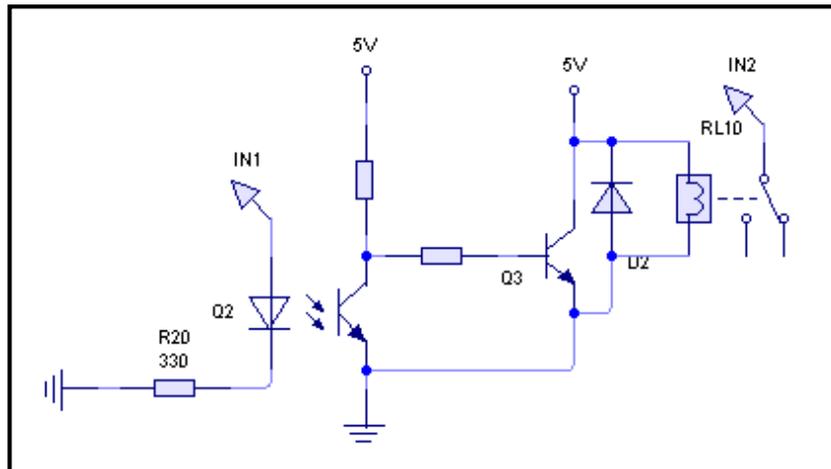
Fuente: Autores.

2.7.1.3.- Diseño del circuito de potencia

Para el control de motores eléctricos y embragues electromagnéticos, se necesita aislar el circuito de control del circuito de potencia para evitar el regreso de la corriente hacia elementos electrónicos de estructura delicada, por tal razón se usan opto-acopladores, además de transistores tipo Darlington, con el propósito de aumentar la corriente y excitar el relé.

El circuito propuesto sigue este precepto como se muestra en la figura 83 a continuación:

Figura 83. Diseño de circuito de potencia.

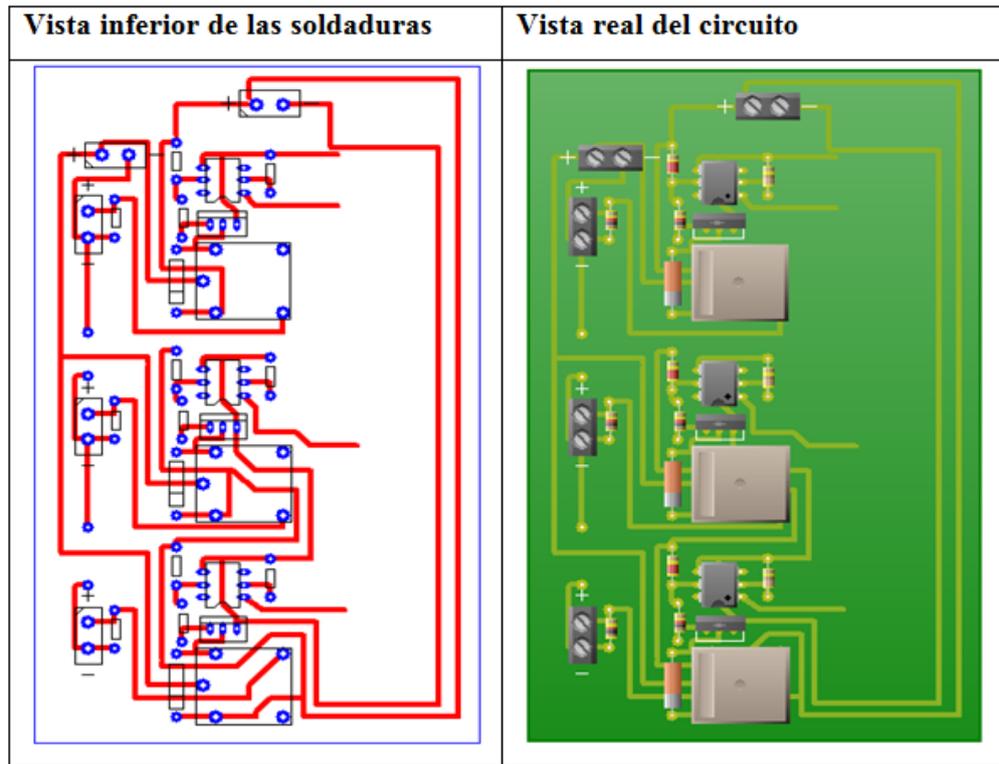


Fuente: Autores.

a) Diseño del circuito de potencia en PCB

De la misma forma que en los circuitos anteriores, se realiza la siguiente simulación en PCB como se indica en la figura 84, para verificar cada uno de las conexiones y determinar el espacio que ocupará en la baquela donde irán cada uno de los circuitos propuestos:

Figura 84. Vista inferior y real del diseño del circuito de potencia.

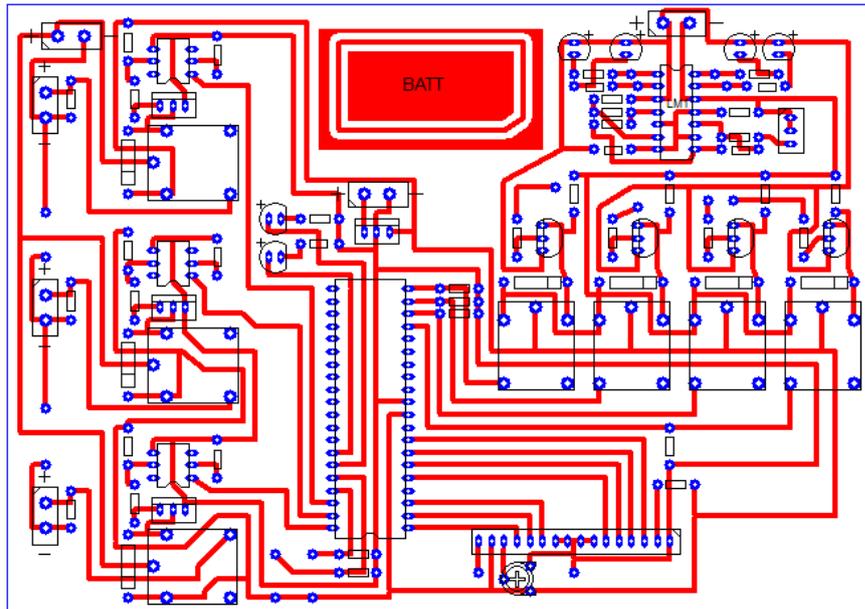


Fuente: Autores.

2.7.1.4.- Circuito lógico completo (Control, comparación, potencia y protección).

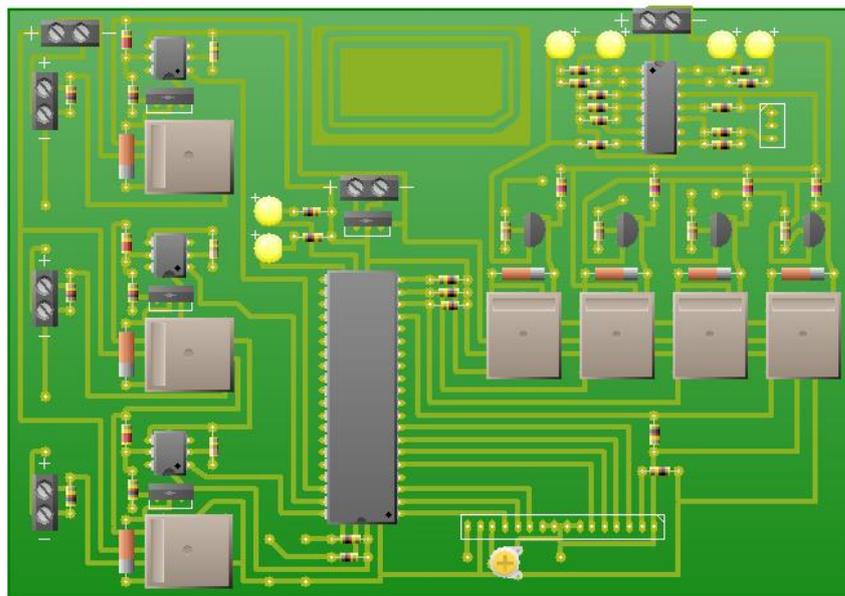
Luego de haber diseñado cada uno de los circuitos de la unidad de control, tomando en cuenta los requisitos que necesita el sistema KERS, se procede a unir a todos en una sola baqueta, como se muestra en la figura 2.50, con el propósito de trazar todas las líneas de conexión eléctrica aprovechando todo el espacio físico de la baqueta y tomando en cuenta de que para un correcto funcionamiento debe existir una tierra común de todos los elementos, con el fin de que todo funcione correctamente.

En la siguiente figura 85, se muestra esquemáticamente una vista inferior de la conexión de cada uno de los elementos que constituyen la unidad electrónica de control, siendo las líneas de color rojo las vías de conexión y cada uno de los círculos de color azul los hoyos que se le deberá hacer a la baqueta para la sujeción correcta de cada elemento.

Figura 85. Vista inferior del circuito completo.

Fuente: Autores.

De la misma forma que en los diseños anteriores, se observa una vista real de todos los sistemas anteriormente propuestos, demostrando el espacio que ocupan en la baqueta y el orden que tienen en la misma. En la figura 86, se muestra toda esta distribución:

Figura 86. Baqueta del circuito lógico completo.

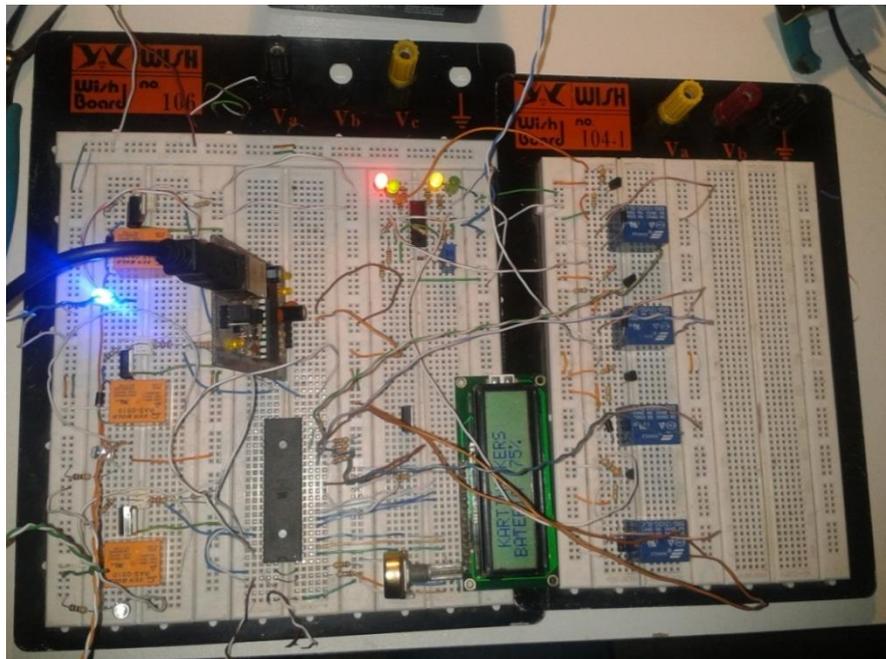
Fuente: Autores.

2.7.2.- Pruebas en protoboard

Después de haber finalizado con el diseño de cada uno de los sectores de la unidad electrónica de control, se realiza una prueba, armando todo el diseño en el protoboard para comprobar el correcto funcionamiento de los diferentes sectores.

También se utilizan LEDs indicadores de activación y desactivación, como se distingue en la figura 87, que ayudan a verificar la validez del diseño. De la misma forma, la información que aparece en la pantalla LCD contribuye al seguimiento de cada una de las fases del sistema KERS.

Figura 87. Pruebas en el protoboard.



Fuente: Autores.

2.8.- Diseño del sistema eléctrico KERS

Una vez diseñada la unidad electrónica de control, es necesario realizar un esquema eléctrico de la ubicación de todos los componentes que conforman el sistema KERS y su conexión entre ellos, con el fin de analizar los elementos necesarios para el funcionamiento correcto del sistema y notar que otros factores podrían ser incluidos dentro del diagrama eléctrico.

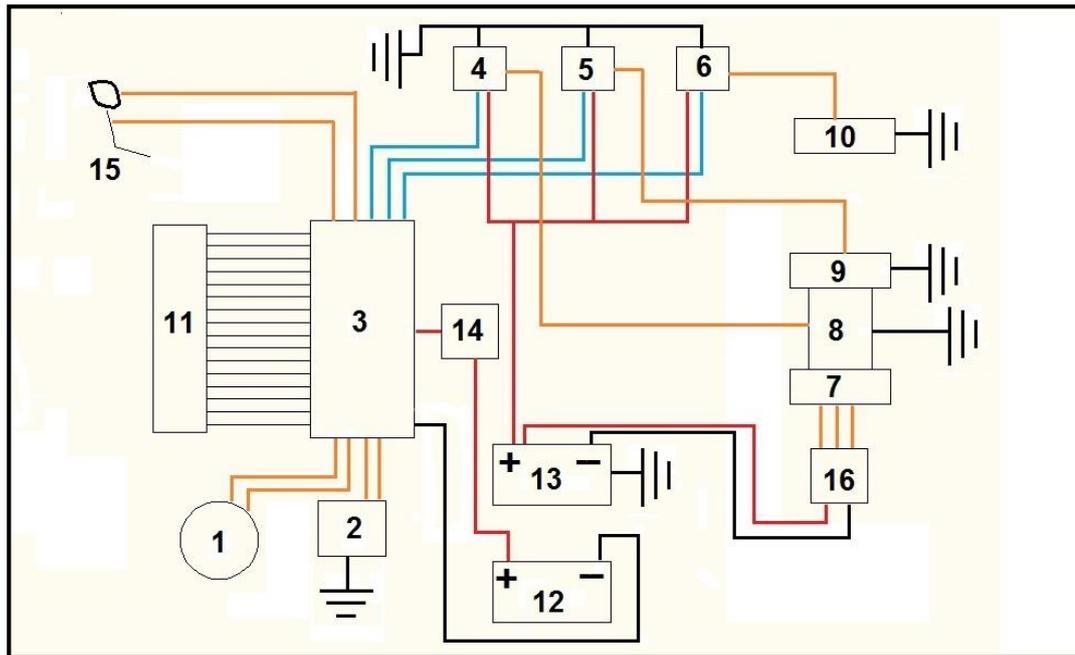
Se debe tomar en cuenta que aparte de la unidad de control, es imprescindible contar con un interruptor que capte en el pedal la señal de frenado para empezar la recuperación de energía cinética, botones que activen inicio de sistema y funcionamiento del KERS, relés de potencia que permitan el paso de corriente hacia los elementos eléctricos que comandan la transmisión del “Go Kart” y hacia el motor de corriente, así como también un rectificador que transforme la corriente alterna creada por el generador, en corriente continua, con el propósito de que mantenga cargada la batería.

Aunque no son elementos de control, también se considera una pantalla LCD de 16 x 2 que mostrará el comportamiento y función del KERS, así como una parada de emergencia que pueda desconectar todo el sistema eléctrico en caso de accidentes o descargas eléctricas.

2.8.1.- Conexión de los elementos

Como se explica en la figura 88, para la alimentación general del KERS se consideran dos baterías: La primera de ellas (13) alimenta los tres elementos que consumen más energía y recibe la corriente continua que viene del rectificador. Estos elementos son: Los embragues electromagnéticos (9), (10) y el motor eléctrico (8). La segunda batería (12) alimenta la unidad electrónica de control. La idea de colocar una batería diferente para este componente es con el fin de evitar el ruido en la corriente que altere la programación del micro controlador, de esta forma se conservan de mejor manera el rendimiento de los elementos electrónicos.

Figura 88. Esquema eléctrico del sistema KERS.



Fuente: Autores.

1.- Botón de activación KERS	9.- Bobina de transmisión secundaria
2.- Interruptor de inicio de sistema KERS	10.- Bobina de transmisión principal
3.- Unidad electrónica de control	11.- Pantalla LCD 16x2
4.- Relé de comando del motor eléctrico	12.- Batería
5.- Relé de comando de bobina de transmisión secundaria	13.- Batería
6.- Relé de comando de bobina de transmisión principal	14.- Parada de emergencia
7.- Generador de corriente eléctrica	15.- Interruptor en el freno
8.- Motor eléctrico	16.- Rectificador de corriente

La primera batería (13) está conectada a los relés de potencia (4), (5), (6), estos a su vez comandan la activación del motor eléctrico (8), embrague electromagnético de la

transmisión secundaria (9) y embrague electromagnético de la transmisión principal (10) respectivamente.

Al otro extremo del motor eléctrico (8) se encuentra acoplado el generador de corriente (7), elemento que se encuentra directamente conectado al rectificador de corriente (16), que conecta con la primera batería (13) para mantener la carga de la misma en un óptimo nivel, de esa forma el circuito comparador puede tener el porcentaje de carga.

La segunda batería (12) alimenta a la unidad electrónica de control (3), pero se encuentra conectada en serie una parada de emergencia (14), que en el instante que ocurre algún accidente o sobrecalentamiento de los componentes eléctricos, éste interruptor corta la alimentación a la computadora y ésta a su vez deja de comandar los circuitos de control y protección, apagando así todo el sistema KERS.

La unidad de control (3) recibe la señal del interruptor que se encuentra colocado en el pedal del freno (15), éste indica el momento que el piloto comienza a frenar el vehículo, que es donde el sistema KERS se coloca en su posición de recuperación de energía cinética del frenado. La computadora (3) envía la señal del paso de corriente al embrague de la transmisión secundaria (9) y el corte de corriente al embrague de la transmisión principal (10). Así mismo, cuando el interruptor del freno (15) no envía ninguna señal, la computadora se encarga de enviar corriente al embrague de la transmisión principal (10) pero no al embrague de la transmisión secundaria (9).

El KERS consta de dos elementos de activación: El primero es un interruptor (2) que activa la alimentación del microcontrolador para comandar todo el sistema y el segundo es el botón (1) que comanda la activación del KERS en su fase de entrega de potencia al sistema general del "Go Kart", es decir, la computadora (3) envía la señal de paso de corriente a los embragues de las dos transmisiones durante los 4 segundos de duración que tiene el sistema.

Por último, todos estos pasos de activación de sistema, carga de batería, nivel de batería y activación del KERS podrán ser divisados en la pantalla LCD (11) que se encuentra conectada a la unidad electrónica de control (3).

Capítulo III

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CINÉTICA (KERS)

3.1.- Introducción

Esta parte de la investigación comprende la construcción e implementación de cada uno de los subsistemas del KERS diseñados anteriormente. El propósito es de comprobar la validez de cada una de las propuestas, analizando las estructuras de los elementos y realizando pruebas específicas. De esa forma se puede defender que cada uno de los componentes pueden ser implementados en el “Go Kart” para que el sistema KERS pueda ir tomando forma.

3.2.- Construcción del motor eléctrico y generador de corriente

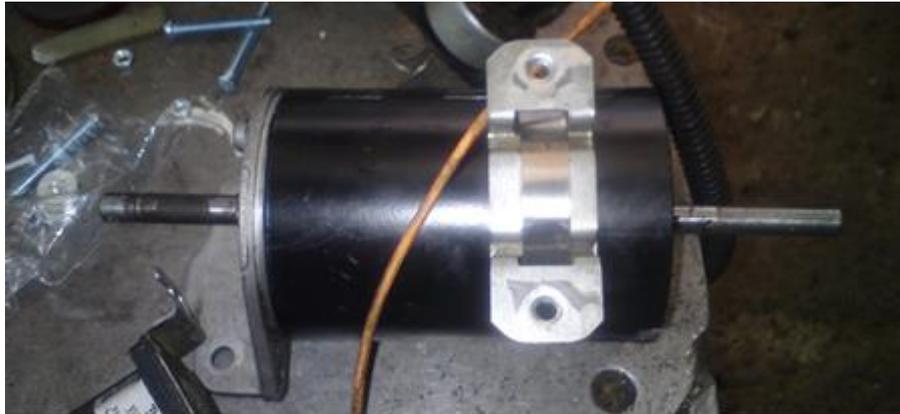
Como se propuso en la etapa de diseño, el motor eléctrico y el generador de corriente deben ser acoplados en un solo cuerpo, con el fin de obtener un accesorio de doble función en una misma estructura, para posterior adaptación en el sistema KERS.

El motor elegido tenía la función de ser un motor de arranque, factor que fue determinante en su elección ya que posee un alto torque y rápida aceleración, características necesarias en las expectativas del sistema KERS, pero su propósito para el presente proyecto cambia.

Se requiere dicho motor como un simple elemento eléctrico de altas prestaciones que se asemeje a los valores de potencia anteriormente calculados y con un eje central alargado que soportará en un extremo el sistema de generación de corriente y en el otro extremo el piñón conductor que forma parte de la transmisión secundaria.

En la figura 89 se muestra como queda el motor eléctrico después de la extracción de las piezas que lo hacían funcionar como uno de arranque y luego del alargamiento del eje principal en su extremo derecho, con medidas determinadas anteriormente.

Figura 89. Motor eléctrico luego de su alargamiento del eje.



Fuente: Autores.

Debido a que el motor de combustión tiene un giro anti horario, el motor eléctrico que va estar colocado frente a él, tiene que girar en sentido horario, caso contrario habría giro de sentidos opuestos entre los dos motores. Por ello es necesario tener en cuenta la posición de los carbones dentro del motor eléctrico.

3.2.1.- Acople del generador de corriente:

El extremo izquierdo del motor eléctrico se utiliza para la instalación del generador de corriente. Sus dos partes que lo conforman deben ser acopladas a la carcasa del motor eléctrico y a la rotación del eje. Por ello es necesario la construcción de partes de acople al motor, ya que el estator debe estar ajustado a la carcasa y el rotor a la rotación del eje.

Se construyen dos elementos:

- a) **Bocín carcasa – rotor:** Este elemento se encuentra unido a presión a la tapa que sujeta los carbones y sus conexiones, la misma que va sujeta a la carcasa del motor eléctrico. Sus medidas son exactas (ver anexo 1) para que pueda

calzar el diámetro interior del estator y quede colocado con precisión, ya que este elemento del generador, así como su nombre lo manifiesta, deberá quedar siempre estático. A continuación, en la figura 90, se muestra la estructura física del bocín y en la figura 91 el estator acoplado:

Figura 90. Bocin de la carcasa.



Fuente: Autores.

Figura 91. Estator del generador.



Fuente: Autores.

- b) **Cubo de rueda para rotor:** Como se nota en la figura 92, es el elemento que tiene la función de tomar el movimiento giratorio del motor eléctrico por uno de sus extremos, sujetado firmemente gracias a un prisionero. De esa forma, por el otro extremo (ver anexo 2), va acoplado y atornillado al cubo de rueda, el rotor del generador, elemento que en su interior posee imanes con un peso considerable, razón por la cual debe estar ajustado con fuerza.

Figura 92. Cubo de rueda para rotor.



Fuente: Autores.

Construidos estos dos elementos, se colocan en la prolongación del motor eléctrico, de la misma forma se acoplan los componentes del generador de corriente, obteniendo un solo cuerpo de motor – generador que cumpla con las expectativas del sistema KERS. La figura 93 muestra la constitución general del conjunto motor – generador:

Figura 93. Conjunto Motor-Generador.



Fuente: Autores.

3.2.2.- Pruebas de motor – generador

Con este componente principal construido, es necesario realizar una serie de comprobaciones, con el fin de obtener varios valores tanto del motor eléctrico, como del generador. De esa forma se podrá comparar con los valores propuestos en el diseño y comprobar si el sistema es idóneo para las pretensiones del KERS.

En el motor eléctrico, lo principal es ver cuáles son sus revoluciones por minuto, la corriente que consume, peso, entre otros datos necesarios que servirán también para cálculos de otros sistemas complementarios.

En el generador de corriente, lo más importante es ver la generación que tiene a distintas revoluciones en cada una de sus fases, debido a que es necesario calcular que cantidad de energía eléctrica va aportar para que la batería que hace funcionar el sistema KERS no se descargue. Esta prueba se la realiza colocando el motor – generador en el torno para que funcione a las velocidades determinadas en el mismo.

La tabla 15 muestra a continuación, las características obtenidas tanto del motor eléctrico como del generador, según pruebas realizadas:

Tabla 15. Mediciones realizadas en el motor - generador.

Motor eléctrico	
Numero de revoluciones (1 segundo)	300 rpm
Número de revoluciones (4 segundos)	700 rpm
Corriente que consume	10 A
Resistencia del bobinado interno	1,5 Ω
Generador de corriente	
Número de fases	Trifásico
Numero de núcleos	12
Número de espiras por núcleo	87
Voltaje en cada fase	50 V
Corriente en cada fase	6,5 A
Peso total	
	5 Kg

Fuente: Autores

De los valores presentados en la tabla 15, se puede distinguir que el motor eléctrico tiene velocidad variable, es decir, conforme aumenta su tiempo de uso, también lo hace notablemente su velocidad. Los cuatro segundos es el tiempo de funcionamiento del sistema KERS.

También se determina el voltaje y amperaje que entrega el generador en cada fase, debido a que su construcción es de carácter trifásico, por lo tanto cada uno de los tres sectores de generación aportarán con corriente alterna que pasará al rectificador para obtener corriente continua que alimente a las baterías.

3.2.2.1.- Pruebas de generación de corriente

El generador adaptado produce en cada una de sus fases corriente alterna, pero para que alimente a la batería es necesario conectar un rectificador que transforme a corriente continua. En la mayoría de los rectificadores, a bajas revoluciones, se entrega poca cantidad de corriente, por ello se realiza la prueba de generación, colocando el motor – generador en un torno para hacerlo funcionar a distintas revoluciones. Los resultados son los siguientes valores señalados en la tabla 16:

Tabla 16. Valores de generación de corriente y voltaje.

Pruebas de generación de voltaje y corriente		
Velocidades de prueba (rpm)	Corriente generada (Amperios)	Voltaje generado (Voltios)
55	0.40	5,31
110	0.40	11,01
200	0.41	11,27
410	0.42	12,5
300	0.42	14,7
600	0.44	15,8
1100	0.50	28,7

Fuente: Autores.

Según lo obtenido en la prueba, los valores de voltaje e intensidad de corriente están dentro del rango esperado, además, conforme aumentan las revoluciones se ve un

aumento de los valores medidos. Posteriormente se realizará un cálculo de la cantidad de electricidad que consume cada uno de los elementos que se vayan a instalar en el “Go Kart”, con el fin de dimensionar la batería que se deba utilizar y analizar su carga con el generador construido.

3.3.- Construcción de la transmisión KERS

En lo que respecta al sector de la transmisión del KERS, están propuestos dos sistemas por cadena, como se nota en la figura 94, que permitirán el funcionamiento eficiente de la entrega de potencia:

Figura 94. Transmisión KERS.



Fuente: Autores.

El primero de ellos es la transmisión principal, esta conecta el motor de combustión con el eje posterior del vehículo mediante un piñón y un engrane, conectados por la cadena. Posee una relación de 3,07:1 obtenida con la ecuación 2.2, con la cual el “Go Kart” dispone de una considerable fuerza para su partida y salida de curvas. En vista de que el engrane debe conectarse y desconectarse del giro del eje posterior, se construye también su sistema de embrague electromagnético que comandará su activación y desactivación, según cuando lo necesite el KERS.

Seguidamente, se construye la transmisión secundaria, es decir, el piñón y engrane que conectan mediante una cadena el motor eléctrico con el motor de combustión. Su

relación de transmisión es de 0,28:1 obtenida con la ecuación 2.2, con lo que puede triplicar la velocidad que tiene el motor eléctrico. El piñón que se encuentra en el motor – generador tiene la misma función que el engrane del eje principal, es decir, tendrá que conectarse y desconectarse del giro del motor eléctrico. De la misma forma se adapta el embrague electromagnético para su activación y desactivación de la transmisión que entrega la potencia del sistema KERS al funcionamiento general del vehículo.

3.3.1.- Construcción de la transmisión principal: Eje – motor de combustión

La transmisión principal, eje posterior – motor de combustión, se encuentra conformado por el piñón que está ubicado en el eje de salida del motor de combustión. Este componente está sujetado con un perno que también acopla el embrague centrífugo al motor del “Go Kart”.

Luego se tiene en el eje posterior, un engrane, cuyo diámetro y número de dientes es mucho mayor al del piñón, con el propósito de mejorar la relación de transmisión del vehículo. En este engrane se encuentra acoplado en su centro, un cubo de rueda, que permite la transmisión del movimiento que viene del motor de combustión. Su sujeción al eje está dada por una chaveta y un prisionero.

Finalmente, el último componente de la transmisión es la cadena, como lo muestra la figura 95, elemento que une las dos catalinas para trasladar la velocidad y potencia del motor de combustión.

Figura 95. Transmisión principal del KERS.

Fuente: Autores.

Cada uno de los elementos fueron previamente citados en la fase de diseño, lo que llevó analizar y elegir cada uno de los componentes para luego conseguirlos y proceder a su instalación en el vehículo. Estos son los datos de la transmisión principal, descritos en la tabla 17:

Tabla 17. Datos de componentes de transmisión principal.

Transmisión principal	
Piñón	
Diámetro	52,55mm
Material	Acero transmisión
Número de dientes	13
Engrane:	
Diámetro	161,60 mm
Material	Acero transmisión
Número de dientes	40
Cadena:	
Número de eslabones	88
Longitud	1117,6mm
Paso	12,7mm

Generales	
Relación de transmisión	3,07
Dimensiones de chaveta	57 x 8 mm

Fuente: Autores

Cada uno de los componentes está debidamente analizado, por lo tanto se justifica su elección para su construcción y adaptación. En la práctica, esta relación de transmisión dará bastante fuerza en la partida y salida de curvas en pista, dos claves fundamentales para un buen tiempo de vuelta en el circuito.

3.3.1.1.- Construcción de la transmisión electromagnética

Luego de haber diseñado cada uno de los elementos que conforman la inclusión del embrague electromagnético en la transmisión principal del sistema KERS, se procede a la construcción de cada uno de ellos para la posterior implementación en el “Go Kart”, para posteriores pruebas de eficiencia.

Todos los componentes han sido elaborados en un acero de transmisión AISI 1040, que representa una considerable resistencia.

a) Cubo de eje

Ha sido elaborado de acuerdo a las medidas propuestas en su diseño, como se nota en la figura 96. Consta de 6 cilindros de acople en donde se sujeta y desliza el plato de transmisión. Dichos cilindros sufren mucho menos que los del engrane, ya que el plato jamás se sale de estos elementos.

Figura 96. Cubo de eje.



Fuente: Autores.

Debido a la chaveta y al prisionero que tiene en su zona cilíndrica, este cubo de eje girará siempre solidario al eje posterior del vehículo.

b) Plato de transmisión

En su estructura presentada en la figura 97, constan los 6 agujeros en los cuales van las guías y resortes de regresión, elementos cuya función es de devolver a su posición de reposo al plato, luego de que la bobina deje de crear el magnetismo.

Figura 97. Plato de transmisión.



Fuente: Autores.

Así mismo, en su zona casi periférica, se encuentran perforadas 6 rejillas o ventanas, las cuales, al momento de la conexión, se introducen sobre los cilindros de acople del engrane, logrando de esta forma una transmisión exacta con un 100% de eficiencia.

c) Engrane porta bobina

Es el elemento que tiene la función de girar o no solidario al movimiento de la transmisión principal del vehículo. Su estructura física se nota en la figura 98.

En la etapa de la recuperación de energía cinética del KERS, es decir, momentos de frenado, este engrane no debe girar solidario a la transmisión principal debido a que en este instante está actuando la secundaria, por lo tanto su movimiento será libre.

Figura 98. Engrane porta bobina.



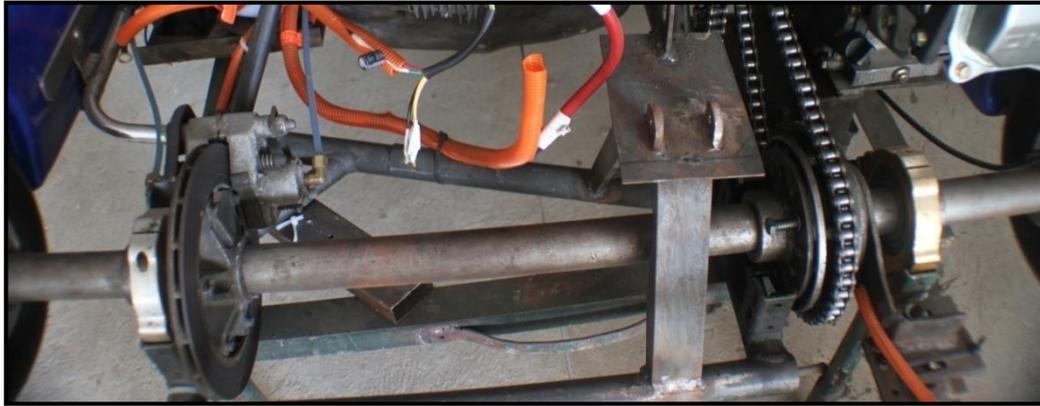
Fuente: Autores.

Durante el resto del recorrido y en la etapa de entrega de potencia, el engrane debe girar solidario a la transmisión principal, por ende se activa la bobina y crea el magnetismo, atrayendo el plato de transmisión para que se conecte a los 6 cilindros de acople que se encuentran en la zona plana del engrane, completando la transmisión de movimiento al eje posterior del vehículo.

d) Implementación en el eje posterior

De la misma forma como se propuso en la etapa de diseño, se implementa cada uno de los elementos, incluida la bobina, al eje posterior del “Go Kart”, tomando en cuenta la correcta sujeción de cada uno de estos componentes.

Figura 99. Implementación en el eje posterior.



Fuente: Autores.

Como se observa en la figura 99, se notan los apoyos del eje posterior, así como el disco de freno en la parte izquierda.

La bobina cuenta con un sistema de regulación de posición, es decir, es posible ajustar su profundidad en el cubo porta bobinas, de esta forma, entre más cerca quede del plato de transmisión, más rápida será la conexión de los elementos.

3.3.2.- Construcción de la transmisión secundaria: Motor eléctrico – motor de combustión

La transmisión secundaria, motor eléctrico – motor de combustión, se encuentra conformado por el piñón que está ubicado en el eje de salida del motor eléctrico. Este componente gira solidario al eje donde está colocado y tiene la misma función que el engrane del eje posterior en la transmisión principal, es decir, debe conectarse para la generación de corriente y entrega de potencia, y desconectarse el resto del tiempo de vuelta.

Luego se tiene en la salida del motor de combustión, otro engrane, cuyo diámetro y número de dientes es menor al del piñón, pero igual al de la transmisión principal. De esta forma, se multiplica la velocidad del motor – generador. Esto se muestra en la figura 100:

Figura 100. Sistema de doble piñón en la salida del motor de combustión.



Fuente: Autores.

Finalmente, el último componente de la transmisión es la cadena, elemento que une las dos catarinas para trasladar la velocidad y potencia del motor eléctrico a la transmisión principal del vehículo. Su colocación se describe en la figura 101 a continuación:

Figura 101. Transmisión secundaria del KERS (Motor eléctrico – motor de combustión).



Fuente: Autores.

Cada uno de los elementos utilizados para la construcción de la transmisión secundaria fueron previamente citados en la fase de diseño, con el propósito de analizar y elegir cada uno de los componentes para luego conseguirlos y proceder a su instalación en el vehículo. Los siguientes datos en la tabla 18 describen la transmisión construida:

Tabla 18. Datos de componentes transmisión secundaria.

Transmisión secundaria	
Piñón	
Diámetro	181,81 mm
Material	Acero transmisión
Número de dientes	45
Engrane:	
Diámetro	52,55 mm
Material	Acero transmisión
Número de dientes	13
Cadena:	
Número de eslabones	65
Longitud	825,5 mm
Paso	12,7 mm
Generales	
Relación de transmisión	0.28

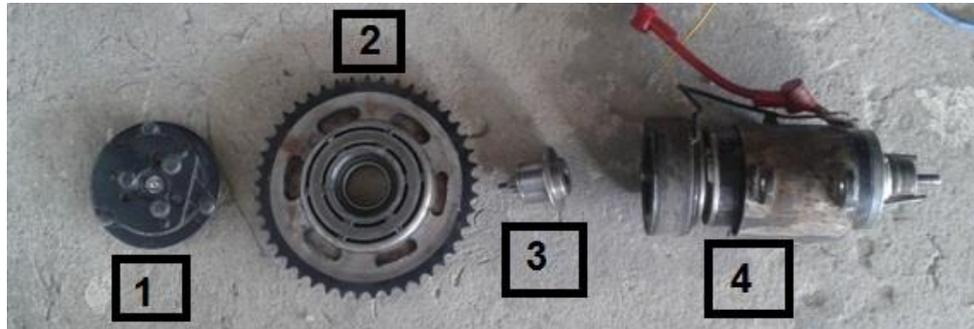
Fuente: Autores.

3.3.3.- Conexión y desconexión piñón del motor eléctrico

En la composición de la transmisión secundaria se tiene un piñón de 45 dientes que se encuentra colocado en el eje del motor eléctrico. Como ya se ha manifestado en el diseño de dicha transmisión, es necesario que este piñón gire solidario al eje del motor eléctrico solamente en los instantes de frenado que se da la generación de corriente y en la fase de entrega de potencia a la transmisión principal. El resto del tiempo de vuelta, cuando no hay ni generación de corriente ni KERS en funcionamiento, este piñón debe girar libre de la transmisión y del motor eléctrico.

Con el propósito de facilitar esta opción de conexión y desconexión del piñón en discusión, se adapta el embrague electromagnético que suele ser utilizado en los sistemas de aire acondicionado. Sus elementos se muestran en la figura 102:

Figura 102. Conjunto Motor-Generador con su embrague.



Fuente: Autores.

Este mecanismo consta de una bobina que se alimenta con corriente eléctrica, mientras no esté energizada, tanto el piñón como el plato de presión giran libremente. En el momento que se envía electricidad a la bobina, esta se energiza, y atrae al diafragma del plato de presión que gira siempre solidario al eje del motor eléctrico, logrando arrastrar con firmeza el piñón al giro del eje del motor eléctrico.

3.3.3.1.- Acople del sistema de embrague de transmisión secundaria

El embrague electromagnético es un sistema muy utilizado en el sector automotriz, propiamente en el compresor del aire acondicionado. En la presente investigación se busca que este sistema funcione de igual forma que en los vehículos, por tal razón es necesario adaptar cada una de sus partes al cuerpo y movimiento del motor eléctrico, que en su otro extremo ya cuenta con el sistema generador.

- a) **Bobina:** Este elemento es adaptado a la carcasa del motor, concretamente al otro extremo de donde se encuentra el generador. Debido a que es el componente encargado de atraer al resto de piezas para la transmisión de potencia, es necesario que se encuentre fuertemente sujetado, ya que no debe tener movimiento alguno.

Figura 103. Bobina acoplada en el motor eléctrico.

Fuente: Autores.

Como se muestra en la figura 103, se encuentra una acoplada la bobina cuyas dimensiones favorecen al sistema, ya que no es de gran tamaño. Posteriormente se realizan algunas medidas, que posteriormente ayudarán a cálculos de dimensionamiento de baterías. Se muestran a continuación en la tabla 19:

Tabla 19. Datos de la Bobina de transmisión secundaria.

Bobina de transmisión secundaria	
Dimensiones	
Diámetro exterior	91 mm
Diámetro interior	88 mm
Espesor	13 mm
Medidas eléctricas	
Voltaje de funcionamiento	12 V
Tipo de corriente	Continua
Corriente que consume	2.7 A

Fuente: Los Autores

- b) **Cubo de rueda:** Se necesita construir este elemento, con sus respectivas dimensiones propuestas (ver anexo 6), ya que tiene varias funciones en la constitución total del embrague electromagnético.

Su adaptación se da debido a que por uno de sus extremos toma el movimiento giratorio del eje del motor eléctrico, sin que se llegue a tocar con la bobina, para luego transmitirlo a los otros elementos.

En su parte media funciona como una pista cilíndrica, en donde el piñón va alojado por su parte central interna y es donde gira libremente, es decir, cuando este desconectado.

Por último, en su otro extremo, se encuentra una zona roscada, en donde va colocado el plato de presión que comandará al piñón en su activación y desactivación. Su estructura se describe en la figura 104:

Figura 104. Bocín de acople.



Fuente: Autores.

- c) **Piñón:** Es el componente que forma parte de la transmisión secundaria que funciona solamente en ciertas etapas del sistema KERS (Fig.105). En su parte interior consta de algunas aperturas o rejillas redondas, las cuales tienen la función de dejar pasar el magnetismo que crea la bobina para atraer el diafragma del plato de presión, logrando así que el piñón gire solidario al eje del motor eléctrico.

La parte trasera del piñón también cuenta con un porta bobina (Fig.106), en donde se aloja el elemento eléctrico de la transmisión.

Figura 105. Piñón conductor de transmisión secundaria.



Fuente: Autores.

Figura 106. Porta bobina.



Fuente: Autores.

- d) **Plato de presión:** Se encuentra sujetado mediante una tuerca a la zona roscada del cubo de rueda, por lo tanto, este elemento siempre va girar solidario al eje del motor eléctrico.

Como se distingue en la figura 107, consta de un diafragma móvil. Mientras no se envíe electricidad a la bobina, este plato seguirá girando solidario al eje pero sin realizar ninguna acción sobre el piñón. El instante en que se energiza la bobina, esta crea un campo magnético, el cual atraviesa por las rejillas hechas en la estructura del piñón para atraer al diafragma del plato de presión. De esta forma, dicho plato de presión forma un solo cuerpo con el piñón y giran solidarios al eje del motor eléctrico, transmitiendo esta velocidad a la transmisión secundaria, o también recibiendo la velocidad del motor de combustión en las zonas de frenado, para la generación de corriente.

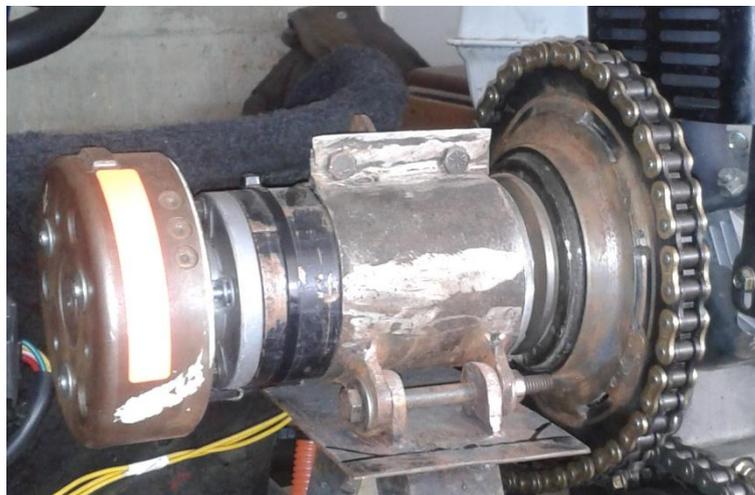
Figura 107. Plato de presión.



Fuente: Autores.

Se unen cada uno de los elementos explicados, con debida precisión, para conseguir la estructura completa del sistema, que tiene como función la conexión y desconexión del piñón de la transmisión secundaria.

Figura 108. Conjunto Motor-Generador instalado al “Go Kart”.



Fuente: Autores.

Finalmente, la figura 108, muestra la construcción e implementación de todo el conjunto motor – generador con su respectiva transmisión. Está sujetado al chasis del “Go Kart”, así mismo cuenta con el sistema de regulación de posición, tal como

en el alternador de los vehículos, con el propósito de tener la facilidad de templar la cadena de la transmisión secundaria.

3.4.- Construcción de unidad electrónica de control

En la estructura general del sistema KERS se utilizan varios elementos eléctricos, de comando, generación y acumulación de energía. Todos estos componentes no trabajan de forma independiente, por lo tanto se necesita tener control sobre ellos, con el propósito de organizar la intervención de cada uno de estos componentes dentro del ciclo de funcionamiento de la recuperación de energía cinética.

La unidad electrónica de control constituye el “cerebro” del KERS, ya que en su estructura constan todos los circuitos electrónicos anteriormente diseñados y comprobados, los cuales serán unificados en una sola unidad y comandarán todos los sectores eléctricos de potencia, control, protección del sistema general, como también la comparación del nivel de carga de la batería.

La unidad está diseñada desde cero, ya que se debe acoplar a las diferentes corrientes que se manejan en los distintos elementos, es decir, existen piezas de poco consumo de energía y otras de un gran consumo, que son consideradas de potencia.

3.4.1.- Elaboración de placa electrónica

Para la elaboración de todas las pistas de conexión eléctrica, sujeción y soldadura de los elementos electrónicos, se utiliza una baquela de fibra de vidrio y cobre, material que es más seguro que la de. Es necesario seguir un determinado procedimiento para alcanzar la construcción completa de la placa electrónica:

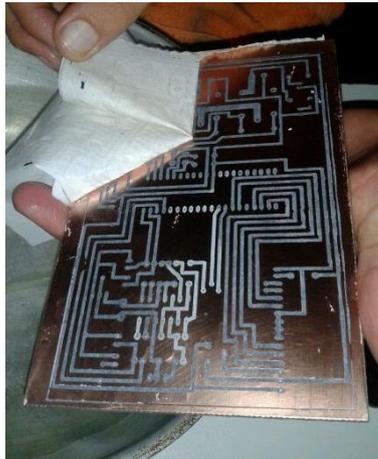
1. Impresión del diseño electrónico:

Anteriormente se diseñó y comprobó cada uno de los subsistemas que irán colocados en la placa electrónica, unidos como un solo circuito. Se procede a imprimir este diseño en la hoja termo transferible, con el fin de que todas las pistas por donde pasa la electricidad, queden grabadas en la baquela.

2. Grabación de circuito impreso:

Como se nota en la figura 109, se coloca firmemente el circuito impreso sobre la baquela de cobre, de manera que no tenga ningún movimiento vertical u horizontal. Seguidamente se aplica en repetidas ocasiones sobre la hoja, algún elemento que genere gran calor (plancha convencional), así el diseño electrónico quedará impregnado sobre la pista de cobre.

Figura 109. Grabación del circuito impreso.



Fuente: Autores.

Para comprobar la grabación del diseño, se vierte en un recipiente de agua fría la baquela que aún contiene el papel termo transferible pegado. Lentamente se va separando estos dos elementos con el fin de que no se dañe ninguna pista de corriente.

3. Corrección de pistas de corriente:

Figura 110. Corrección de pistas de corriente.



Fuente: Autores.

Durante el procedimiento anterior, es posible que algunas de las pistas de corriente no hayan sido transferidas íntegramente a la baquela, por tal razón se usa un marcador de tipo permanente, como se explica en la figura 110, para completar aquellas pistas que presenten alteraciones y no existan averías posteriores.

4. Limpieza de cobre restante:

Debido a que en la baquela solamente deben quedar las pistas que guiarán la corriente hacia los distintos elementos electrónicos, se procede a retirar todo el cobre restante, utilizando cloruro férrico combinado con agua caliente colocado en un recipiente. De esta manera se sumerge la baquela, se espera un tiempo prudente sin tocar con las manos y posteriormente se nota como quedan todas las conexiones deseadas. Dicho proceso se observa en la figura 111:

Figura 111. Limpieza del cobre restante.



Fuente: Autores.

Para que no quede ningún rastro de cobre sobre las zonas en donde no pasan las conexiones, se procede a limpiar con lustró toda la baquela. De esta manera queda listo para acciones posteriores.

5. Sujeción de elementos electrónicos:

Con la baquela y su circuito listo, se perfora cada uno de los agujeros que se hayan colocado en el diseño, estos sirven para que se acople a la placa cada uno de los elementos electrónicos.

Seguidamente se procede a soldar cada uno de estos componentes, utilizando estaño y pasta. El propósito de esta acción es de sujetar de forma permanente cada uno de los componentes a la baquela y que tengan continuidad con las pistas de cobre dibujadas, de esta forma, podrán funcionar correctamente. Este procedimiento se muestra en la figura 112:

Figura 112. Sujeción de elementos electrónicos en la baqueta.



Fuente: Autores.

Debido a que en el proceso de suelda se utiliza la pasta, un elemento también conductor de corriente, una vez finalizado este paso es necesario limpiar todos los puntos de suelda con diluyente, para eliminar todo residuo de pasta que exista en la baqueta.

6. Sujeción de placa electrónica al vehículo:

Una vez terminado y comprobado el funcionamiento de la placa electrónica (Fig.113), se procede a implementarla en la estructura del vehículo. Se debe tomar en cuenta que esta unidad de control debe estar aislada de cualquier otro elemento conductor de corriente y exenta de movimientos bruscos o vibraciones, por lo tanto es necesario tener las debidas precauciones.

Se construye una caja de latón (Fig.114), en cuyo interior va colocado un piso de espuma flex, elemento que evitará que la placa electrónica tenga continuidad con el latón. Esta caja se ubica en la zona central del “Go Kart”, sector libre de algún peligro en caso de accidente en pista. Está fijada al chasis del vehículo mediante cuatro pernos.

Figura 113. Unidad electrónica de control.



Fuente: Autores.

Figura 114. Sujeción de la unidad electrónica de control en el chasis del “Go Kart”.



Fuente: Autores.

En las paredes laterales se mecanizan varios agujeros, con el propósito de que los cables que vienen desde los distintos elementos, puedan ser colocados en las borneras y pasen a ser comandados por la unidad electrónica de control.

3.4.2.- Inclusión de elementos auxiliares de potencia

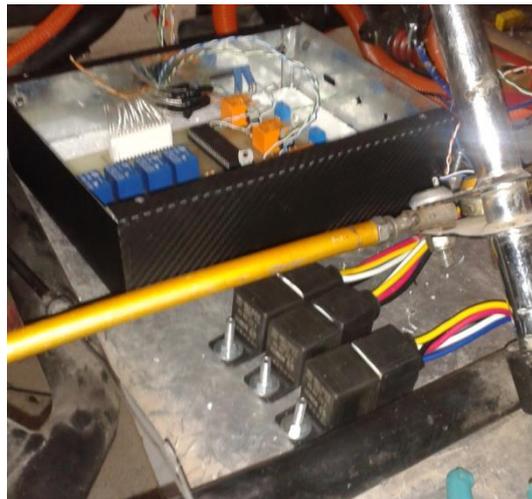
La cantidad de corriente que utilizan los elementos de la unidad de control no se compara a la que necesitan los componentes eléctricos de los sistemas de transmisión y el motor – generador del KERS, por tal razón es necesario dividir la alimentación de estos elementos, con el propósito de que la energía que necesite la computadora sea limpia y sin interferencias; y por otro lado contar con una batería que sea cargada

por el generador para que active los elementos que necesitan mayor intensidad para su funcionamiento.

En lo que respecta al circuito de potencia, los relés de 12V colocados (de color naranja) no son lo suficientemente fuertes para activar el paso de corriente hacia las bobinas magnéticas y el motor eléctrico, como también se puede dar una regresión de la corriente debido a la poca resistencia de las pistas de cobre, provocando un cortocircuito en el sistema.

Para evitar este inconveniente se utilizan los opto acopladores, elementos en donde la corriente circula en una sola dirección, protegiendo el resto de componentes. Seguidamente, vienen conectados los relés de 12V (color naranja), los cuales activarán relés de mayor potencia, que se encuentran fuera de la unidad de control.

Figura 115. Inclusión de elementos auxiliares de potencia.



Fuente: Autores.

Estos relés, en comparación con los de la computadora, son de uso automotriz (Fig.115), por ende soportan corriente de mayor magnitud (30A). Son lo suficientemente fuertes como para permitir el paso de la energía que activará bobinas y motor eléctrico. Asimismo, estos elementos se encuentran conectados a la batería de mayor capacidad, es decir, la que sea utilizada para activar los componentes eléctricos y que reciba la corriente del generador. Los relés de 12V a 10^a (color

naranja) solamente tendrán la función de activar los externos para permitir el paso de corriente.

3.5.- Instalación de sistema eléctrico KERS

Han sido marcadas las diferentes zonas que se encuentran en el sistema de recuperación de energía cinética. Se tienen los sectores de potencia, control, protección, generación y comparación de carga.

Para activar cada uno de estos subsistemas se necesita contar con la implementación de varios elementos eléctricos, que se distribuyen en distintas ubicaciones del chasis del vehículo: Algunos tienen la función de activar componentes mecánicos y otros tienen el propósito de enviar señales a la unidad electrónica de control para la activación de distintas fases del KERS.

La colocación de estos elementos debe ser específicamente en el lugar donde debe actuar, tomando en cuenta el espacio físico que se tiene en el vehículo, distribución de pesos, activación mediante un elemento mecánico y comodidad del piloto, quien se encarga de poner en funcionamiento el desarrollo del sistema KERS en cada una de sus etapas.

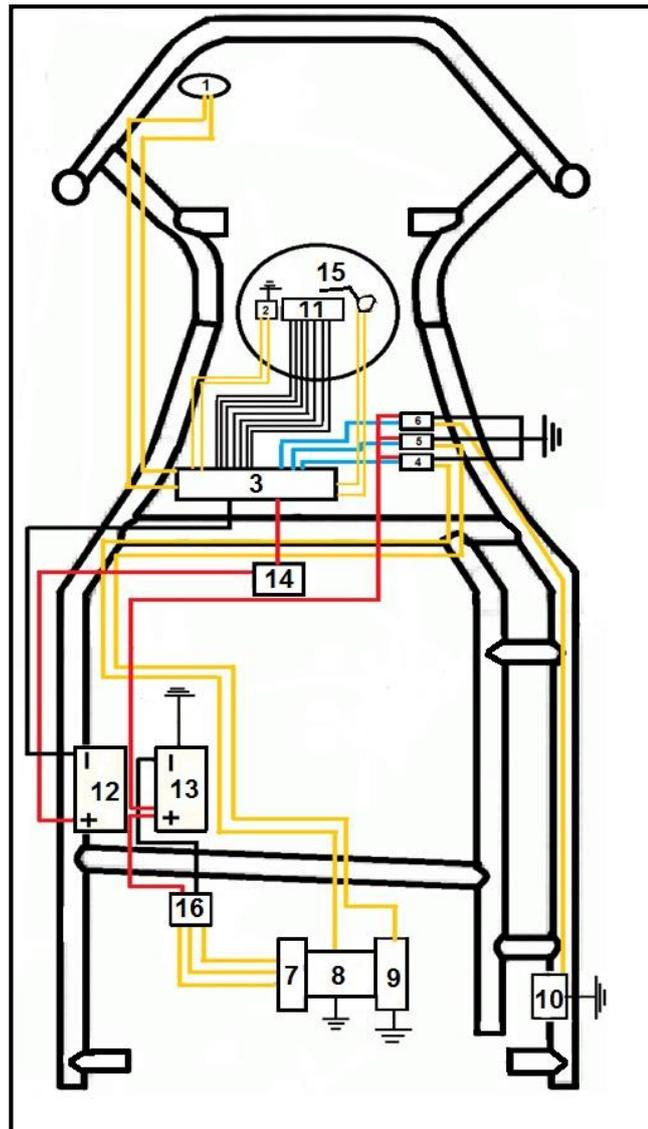
La conexión eléctrica de cada uno de los componentes, a las baterías y a la unidad electrónica de control, se da con el correcto número de cable, tomando en cuenta la cantidad de corriente que van a transmitir y la longitud necesaria para la unión.

3.5.1.- Funcionamiento del diagrama eléctrico

Los elementos eléctricos y electrónicos se encuentran distribuidos en toda la estructura del “Go kart”; su ubicación se da según la función que deben cumplir y como se puedan sujetar sin que tengan algún tipo de daño por causas externas a su constitución.

En el siguiente diagrama que se muestra en la figura 116, describe como está dada la conexión de acuerdo con lo diseñado anteriormente:

Figura 116. Diagrama eléctrico KERS.



Fuente: Autores.

a) Etapa de potencia:

Se tiene el motor eléctrico (8) que está ubicado sobre el eje posterior del vehículo, sujetado firmemente a una estructura prolongada del chasis, en donde también cuenta con un sistema de regulación de posición. En su extremo izquierdo se encuentra acoplado el generador de corriente (7), elemento conectado al rectificador (16) que transforma la corriente alterna en continua, para posteriormente mantener cargada la batería (13), la cual alimenta los componentes de mayor potencia del sistema KERS, es decir, los embragues electromagnéticos y el motor eléctrico (Fig.117).

Figura 117. Elementos de potencia Motor generador con su embrague electromagnético.



Fuente: Autores.

Esta batería (13) alimenta a los relés de potencia (4, 5, 6) que son de 12V y soportan hasta 30 A. Los mismos son activados por la unidad electrónica de control (3) para permitir el paso de corriente al motor eléctrico (8), el embrague de la transmisión primaria (10) y el de la transmisión secundaria (9), que se encuentra acoplado al extremo derecho del conjunto motor – generador.

b) Etapa de control:

Según la figura 3.28, la batería (12) está colocada junto con su similar (13) en el lado izquierdo del vehículo, con el fin de distribuir los pesos en la estructura del “Go Kart” ya que en la parte derecha se encuentra la carga puntual del motor de combustión. La batería (12) se encarga de alimentar la unidad de control (3); fue separado este sector de la batería anterior (13) con el propósito de evitar interferencias provocadas por el consumo de corriente y de esta forma no se dé un buen funcionamiento de los sistemas electrónicos.

Dentro de la unidad electrónica (3) se encuentran relés de control, los cuales activan los de potencia (4, 5, 6) para dar el paso de la corriente. De la misma unidad sale la conexión que va hacia los 16 pines de la pantalla LCD (11), elemento que permite visualizar la condición del KERS, es decir, su inicio, carga y nivel de batería, activación de sistema y duración de aportación de potencia.

c) Etapa de mando:

Como se distingue en la figura 118, en el volante del vehículo se encuentra acoplada una placa de metal, la cual contiene la pantalla LCD que brinda la información del comportamiento del KERS, aunque también se cuenta con dos interruptores que comandarán distintas activaciones.

Figura 118. Unidad de mando.



Fuente: Autores.

El primer interruptor (2) se encarga de facultar el paso de corriente a la unidad de control (3), activando todos los sistemas.

El segundo interruptor (15) tiene la función de activar el sistema KERS en su fase de entrega de potencia durante los predeterminados 4 segundos.

En el pedal del freno del vehículo también se cuenta con un interruptor (1). Al momento de la frenada en cada curva, este elemento se acciona, enviando una señal a la unidad de control (3) para desactivar la transmisión principal y activar la secundaria. De esta forma se coloca al sistema KERS en su fase de generación de corriente.

d) Parada de emergencia:

En el sistema de recuperación de energía cinética se está tratando con elementos de alta potencia como el motor eléctrico, así como componentes de alta generación de corriente alterna. Por tal razón, es necesario contar con una parada de emergencia

(Fig.119) que se encuentre al alcance del piloto, con el propósito de cortar el paso de corriente de la batería (12) a la unidad de control (3). De esta forma se impide la activación de los relés (4, 5, 6) y a su vez el funcionamiento de los componentes eléctricos.

Figura 119. Parada de emergencia.



Fuente: Autores.

3.5.1.- Dimensionamiento de baterías

Son varios los elementos eléctricos y electrónicos que se están utilizando para el funcionamiento del sistema KERS. Además, según el diseño y la construcción del sistema eléctrico en el vehículo, está determinada la utilización de dos baterías para la activación de todos los componentes.

Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta el consumo de corriente de cada uno de los elementos colocados en el “Go Kart”, con el fin de realizar cálculo que permitan justificar la capacidad de cada una de las baterías a utilizarse.

Figura 120. Baterías.



Fuente: Autores.

Capítulo IV

PRUEBAS FINALES Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1.- Introducción

Después de haber cumplido con el proceso de investigación, diseño, construcción e implementación del KERS en el “Go Kart”, se realizaron las pruebas respectivas en pista, para evaluar las ventajas y desventajas que presenta este sistema como un medio de recuperación de energía cinética recuperada en la frenada, de esta forma se podrá aprobar o no que esté a disposición en las diversas alternativas que existen para reducir los tiempos de vuelta de un vehículo de competición.

De la misma forma, estos resultados ayudarán a encontrar posibles mejoras que se puedan implementar a futuro para un mejor desempeño del sistema construido, tomando en cuenta que se puede adaptar a cualquier tipo de vehículo.

Todos los sectores mecánicos, eléctricos y electrónicos cumplen con el principio de funcionamiento del KERS. Algunos sistemas podrán ser más eficientes que otros, tomando en cuenta que se trata de un prototipo construido en su totalidad.

4.2.- Generación y aportación de corriente

Uno de los factores principales dentro del funcionamiento del sistema KERS es la fase de generación de corriente eléctrica, ya que se produce por la energía cinética recuperada.

Por ello, es necesario realizar una descripción de todos los elementos eléctricos que son alimentados con la batería que va conectada al rectificador de corriente continua, conociendo la cantidad de corriente que consumen y el tiempo que dura dicho consumo; De esta forma se puede dimensionar de forma correcta la capacidad de las baterías

Tabla 20. Consumo de los componentes electrónicos.

	Corriente consumida (amperios)	Tiempo de consumo (segundos)
Motor de arranque	8,5 A	4 s
Bobina transmisión principal	2,7 A	11 s
Bobina transmisión secundaria	2,7 A	60 s
Total	13,9 A	75 s

Fuente: Autores

Con los datos reales de consumo de los componentes electrónicos, descritos en la tabla 20, se puede obtener la cantidad de tiempo en horas que necesitan corriente los elementos de potencia:

$$\text{Tiempo total} = 75 \text{ s} \rightarrow 0,20 \text{ h}$$

Para el parámetro de consumo en Amperios /Hora, se multiplica el total de corriente de los consumidores por el tiempo total que se los mantiene activados:

$$\text{Consumo A/h} = 0,020 \times 13,9 \text{ A}$$

$$\text{Consumo A/h} = 0,28 \text{ A/h}$$

La cantidad de corriente que consume el sistema KERS en cada vuelta es de 0.28 A.h. Por tal razón se utiliza una batería de **8 A.h**, que en condiciones de carga al 100% brinda una capacidad de 30 pruebas. Se escogió que sea del grupo de las baterías líquidas, ya que soporta mayor intensidad de carga y sus temperaturas de funcionamiento son menores que cualquier otra.

Figura 121. Batería de plomo-acido.



Fuente: Autores.

Figura 122. Batería seca.



Fuente: Autores.

4.2.1.- Aportación de corriente:

Ya conocida la cantidad de corriente que se consume en cada vuelta, fue necesario medir el valor que se genera y posteriormente se rectifica en el sector eléctrico del KERS, de esta forma se conoce cual es el amperaje que recibe la batería en cada vuelta para mantenerse cargada.

Figura 123. Kart con el sistema KERS instalado.



Fuente: Autores.

4.3.- Distribución de pesos en el “Go Kart”

El monoplaza utilizado para la implementación del KERS cuenta con una distribución de pesos de la misma forma que todo Kart de competencia, es decir, 40% adelante y 60 % en la parte trasera. Antes de la colocación de los elementos que constituyen el sistema de recuperación de energía cinética, se toma en cuenta el peso del piloto, motor y accesorios; no obstante, con la inclusión de otros componentes harán que el chasis del vehículo soporte mayor cantidad de pesos y por lo tanto, se comporte de manera distinta.

Una vez adaptados los componentes que conforman el sistema KERS, es necesario establecer cuáles son los pesos adicionales que se han adicionado al chasis del vehículo. La siguiente tabla 21 muestra una descripción de los diferentes valores:

Tabla 21. Peso total del “Go kart”.

Valores de pesos del "Go Kart"	
Elementos	Peso (Kg)
Motor de combustión	14
Motor – Generador	7,5

Piloto	70
Chasis y elementos varios	16
Transmisión principal y secundaria	1,5
TOTAL	109

Fuente: Autores

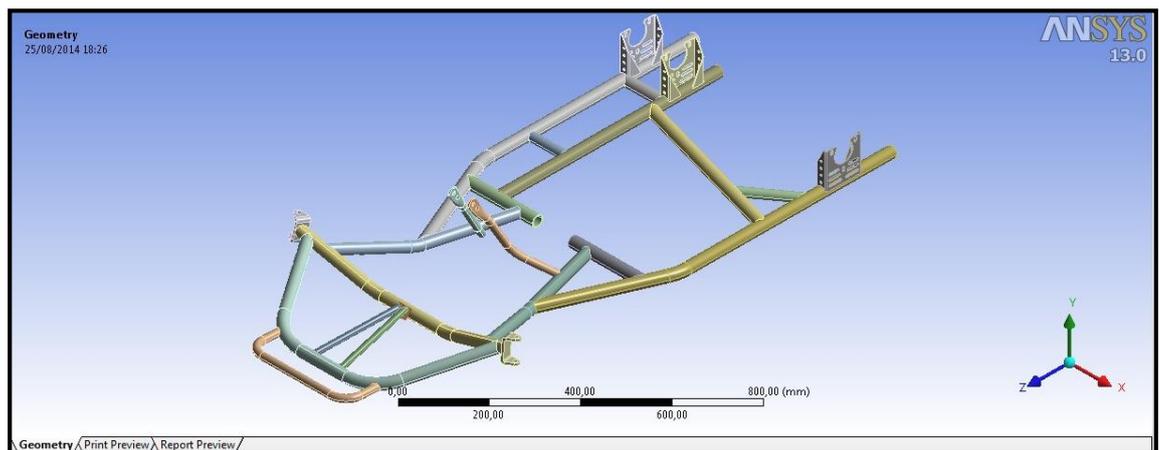
Según los nuevos valores de pesos añadidos en la estructura física del vehículo, se ha incrementado 9 kilos en relación del inicio de la investigación, factor que podría generar diferencias en el desempeño general del “Go Kart”, pero a la vez necesario para el funcionamiento del sistema KERS.

Debido a esta variación de factores, se realiza una simulación integral del chasis, soportando todos estos pesos, pero tomando en cuenta el porcentaje de distribución ya manifestado.

4.3.1.- Dibujo de chasis previo a simulación

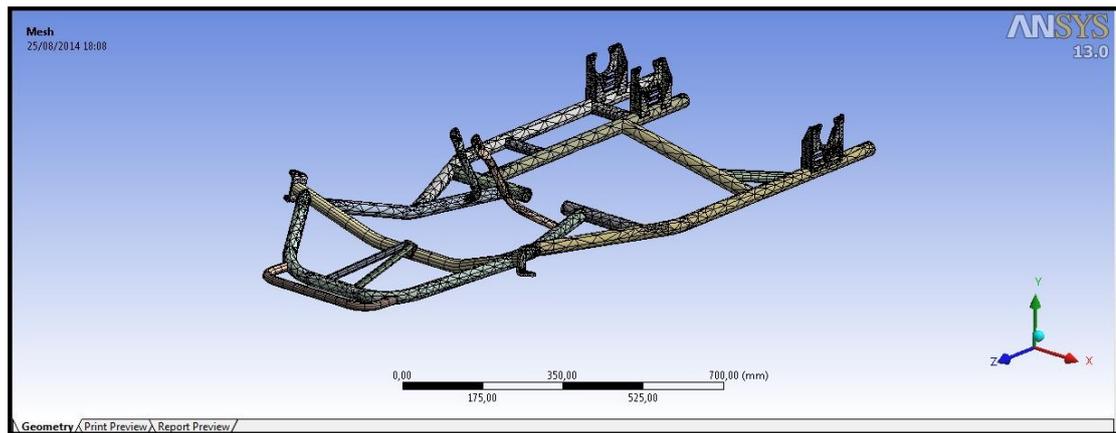
En programas destinados al diseño de elementos mecánicos, se realiza el dibujo completo del chasis del “Go Kart” como se muestra en la figura 124 y 125, el cual está hecho de acero tipo AISI 1020 con 15 mm de espesor. Cada una de las medidas tomadas son exactas, debido a que se trata de un chasis de competencia.

Figura 124. Chasis del “Go Kart” en el programa Ansys 13.0.



Fuente: Autores.

Figura 125. Mayado del chasis en el programa Ansys 13.0.



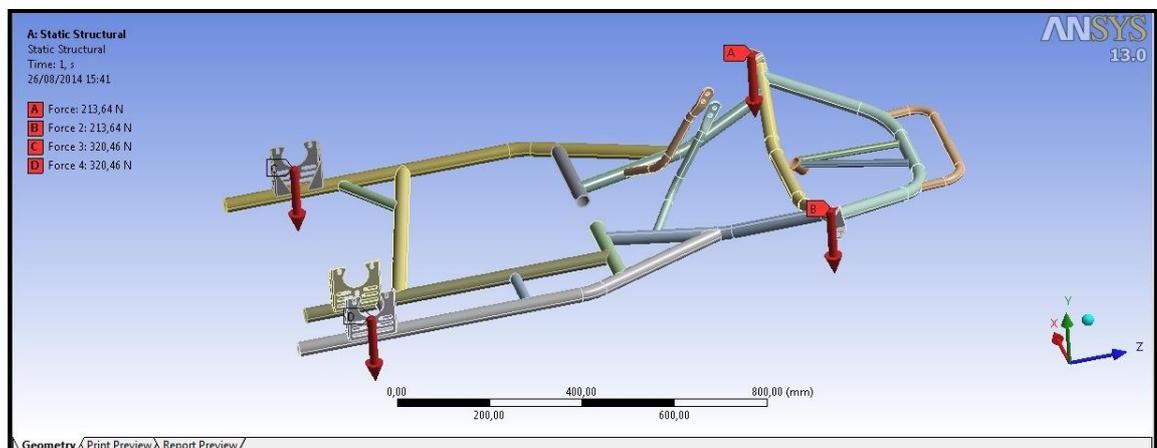
Fuente: Autores.

4.3.2.- Fuerzas que actúan sobre el chasis

Los 109 Kg que soporta el chasis del monoplaza son distribuidos de forma desigual tanto para la parte delantera como para la trasera, es decir, 40% y 60% respectivamente.

De esta forma, la parte delantera del vehículo soporta 65,4 Kg y la trasera 43,6 Kg. Estos pesos son distribuidos en las zonas de apoyo y transformados a Newton, como se muestra en la figura 126:

Figura 126. Fuerzas que actúan sobre el chasis.

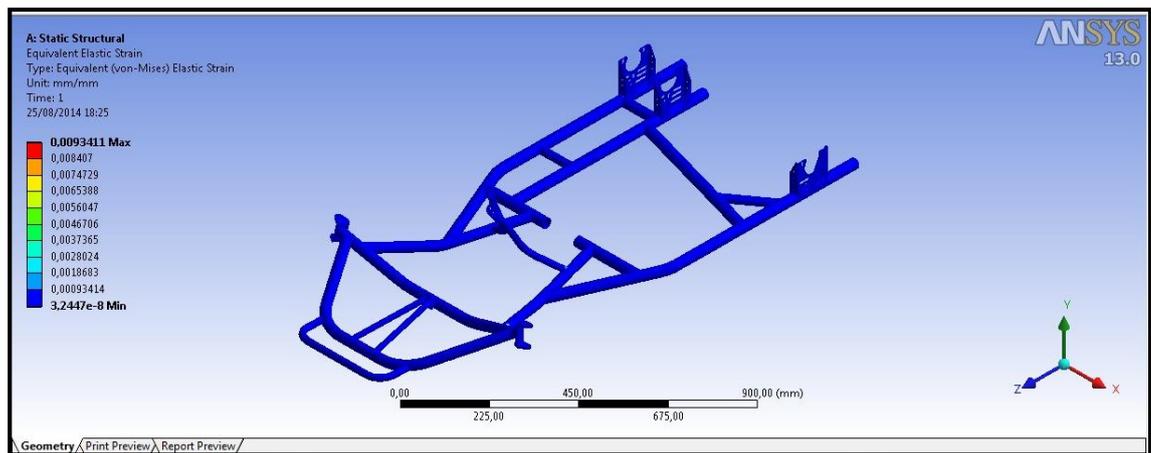


Fuente: Autores.

4.3.3.- Representación del esfuerzo máximo soportado

Esfuerzo prácticamente uniforme en toda la estructura del chasis, respaldado por la figura 127, la cual evidencia la representación de esfuerzos:

Figura 127. Análisis del esfuerzo máximo soportado en el software ANSYS.

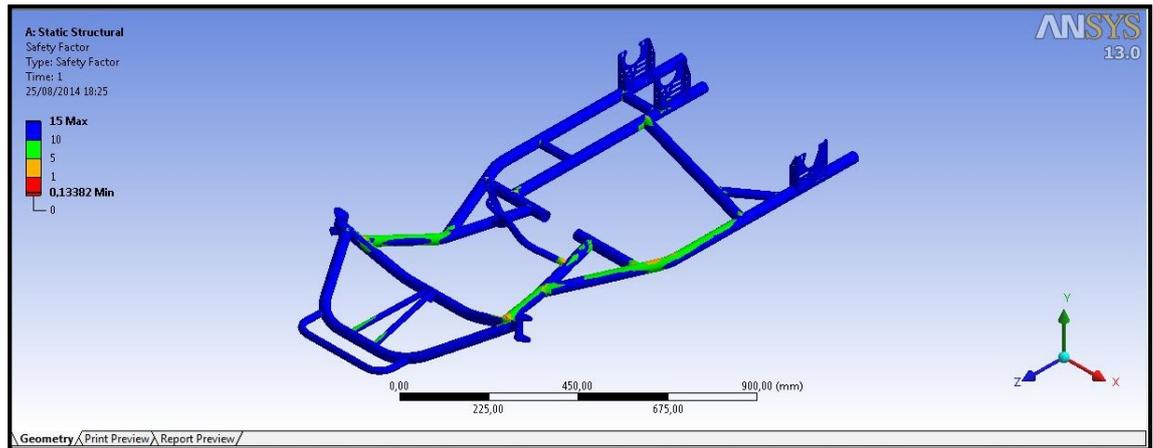


Fuente: Autores.

4.3.4.- Representación del factor de seguridad

Se realiza un análisis del factor de seguridad que tiene el chasis del vehículo, con el fin de visualizar las zonas donde existe mayor probabilidad de falla de acuerdo a las fuerzas ubicadas en los diferentes puntos de la estructura. Las zonas donde se divide menor factor de seguridad son en el espacio del piloto y en el sector izquierdo, tomando en cuenta que esta parte tiene un tubo menos que la zona derecha, por lo tanto sufre en mayor magnitud las fuerzas.

En general, el factor de seguridad se encuentra por encima de 1, por lo tanto el chasis cuenta con gran resistencia sobre los pesos que ya contenía y sobre los que se le han añadido. Este resultado se observa en la figura 128:

Figura 128.Representación del factor seguridad.

Fuente: Autores.

4.4.- Tiempos de vuelta en circuito.- KERS desactivado

Hasta este punto se ha implementado en su totalidad el sistema de recuperación de energía cinética en el “Go Kart”, como se distingue en la figura 129, con todos sus elementos en funcionamiento, factor que permite empezar con las pruebas reales en el circuito utilizado para la presente investigación.

Figura 129. Pruebas del “Go kart” en el Kartódromo de Loja.

Fuente: Autores.

Este tipo de pruebas establecerán la influencia de la adición de pesos sobre el vehículo, la eficiencia que tenga la transmisión principal modificada y una posterior comparación que se dará con el sistema KERS en funcionamiento.

Esta tabla 22, se muestra los tiempos de vuelta conseguidos en el kartódromo municipal “Ciudad de Loja”:

Tabla 22. Tiempos de vuelta del “Go Kart” .- KERS desactivado.

Numero de vuelta	Tiempo (seg)
1	67,5
2	68,6
3	67,1
4	69,2
5	68,4
6	67,8
7	70,8
8	70,6
9	67,8
10	68,6
11	67,4
12	69,3

Fuente: Autores.

Promedio de tiempo de vuelta:

$$\begin{aligned} \mathbf{T_{promedio}} &= 67,5 + 68,6 + 67,1 + 69,2 + 68,4 + 67,8 + 70,8 + 70,6 + 67,8 \\ &\quad + 68,6 + 67,4 + 69,3 \end{aligned}$$

$$\mathbf{T_{promedio}} = 68,59 \text{ seg}$$

En comparación a lo obtenido en las pruebas realizadas anteriormente, el tiempo promedio de vuelta que realizó el vehículo con el KERS instalado pero sin activación, aumentó con algunos segundos, demostrando que los pesos añadidos al “Go Kart” influyeron notablemente en el desempeño final del monoplaza, ya que se trata de una estructura de competencia pero a su vez pequeña y con un motor de combustión de 6,5 hp.

4.5.- Tiempos de vuelta en circuito.- KERS activado

De todas las pruebas que se han realizado durante la construcción del sistema de recuperación de energía cinética, la siguiente es la que valora cada una de las implementaciones que se han hecho para concluir el KERS.

Los tiempos de vuelta con el sistema en funcionamiento en todas sus fases, tanto en generación de corriente como entrega de potencia, demostrarán la fiabilidad de cada uno de los subsistemas colocados, así como también establecerá las ventajas y desventajas finales que permitirán proponer parámetros de mejora en el sistema construido.

Esta prueba solo tiene comparación con la anterior, es decir, tiempos de vuelta con KERS desactivado. Los primeros tiempos de vuelta, sin ningún peso añadido, serán muy diferentes a los siguientes que se muestran en la tabla 23:

Tabla 23. Tiempos de vuelta del “Go Kart”.- KERS activado.

Numero de vuelta	Tiempo (seg)
1	66,5
2	67,7
3	66,2
4	68,3
5	67,3
6	66,7
7	69,4
8	69,7
9	66,7
10	67,5
11	66,5
12	68,4

Fuente: Los Autores.

Promedio de tiempo de vuelta:

$$\begin{aligned} \mathbf{T_{promedio}} &= 66,5 + 67,7 + 66,2 + 68,3 + 67,3 + 66,7 + 69,4 + 69,7 + 66,7 \\ &+ 67,5 + 66,5 + 68,4 \end{aligned}$$

$$\mathbf{T_{promedio}} = 67,57 \text{ seg}$$

En comparación con el promedio de tiempos de vuelta con el KERS desactivado, el sistema en completo funcionamiento pudo disminuir dicho tiempo en 1,02 segundos, cumpliendo así algunas de las expectativas propuestas al inicio de la construcción del mencionado sistema.

No obstante, estos datos ayudarán a establecer algunos cambios que pueda tener a futuro el sistema de recuperación de energía cinética, con el fin de lograr un mejor desempeño en la pista y así tener un vehículo de competición más eficiente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a pruebas realizadas en banco dinamométrico como en el circuito, se obtuvieron varios parámetros del desempeño del “Go kart”, como tiempos de vuelta (45,50 seg), velocidad máxima (68Km/h), torque (7,2 N.m), potencia (4,5 hp), entre otros. Dichos factores ayudaron a establecer las condiciones reales de las prestaciones del vehículo y en base a eso empezar con el diseño del sistema de recuperación de energía cinética.
Estos valores conseguidos, en comparación con un “Go Kart” de competencia, son relativamente bajos, debido a que se cuenta con un motor de combustión interna que no es el utilizado para las competiciones del karting.
- Con los respectivos diseños y análisis se construyó, seleccionó e implementó el sistema de recuperación de energía cinética en la estructura del “Go Kart”, tomando en cuenta la función de cada uno de los subsistemas y la distribución de pesos que se debe dar en el vehículo para lograr mejor estabilidad, así como garantizar las seguridad activa y pasiva del piloto y el KERS.
- De acuerdo a las pruebas de medición de pesos realizadas con el KERS totalmente implementado en el vehículo, existió una variación en los parámetros finales, es decir, el “Go Kart” fue 9 Kg más pesado que antes de la colocación del sistema, factor que incidió en los tiempos de vuelta finales, ya que el monoplaza alcanzó los 55,50 seg. (ver tabla 1.3) y con el sistema implementado pero sin su accionamiento, llega a 68,59 segundos (ver tabla 4.3). La diferencia es 13,09 segundos más lento. Seguidamente, se obtuvieron tiempos de vuelta con el piloto accionando el KERS, consiguiendo un promedio de 67,57 seg (ver tabla 4.4). En relación con las pruebas anteriores, el tiempo disminuyó en 1,02 seg, siendo el vehículo más rápido y demostrando su aporte de potencia para disminuir los tiempos.
Desafortunadamente fue más lento que en los primeros ensayos (12,07 seg de diferencia), es decir, cuando no existía implementación alguna en el “Go

Kart", lo que indica que este sistema aún no es totalmente factible debido a que el monoplaza ganó peso que al final hizo penalizar en los tiempos finales.

RECOMENDACIONES

- El motor – generador utilizado en la constitución del sistema KERS fue una adaptación de motor eléctrico y generador de corriente alterna. Sin embargo existen elementos que tienen estas dos funciones en un solo cuerpo, pudiendo ser este más veloz, liviano y eficiente. Por lo tanto se recomienda la inclusión de un motor Brushless de 4 polos, el utilizado en el sistema de recuperación de energía cinética de la fórmula 1.
- Se recomienda utilizar un vehículo de competición de mayores dimensiones y resistencia para la implementación de este sistema, ya que el “Go Kart” es un monoplaza sencillo, el cual se ve muy afectado por la adición de elementos pesados, variando considerablemente su desempeño en pista y alterando los propósitos esperados.
- El embrague de conexión electromagnética utilizado en la transmisión principal consta de un sistema de enclavamiento que al ser accionado es bastante ruidoso y a altas velocidades puede perder eficiencia; por lo tanto se recomienda para mejoras posteriores al sistema, diseñar o acoplar otro sistema de transmisión que pueda evitar los problemas anteriormente mencionados.

BIBLIOGRAFIA

1. - DENTON, Tom. Automobile Electrical and Electronic Systems. 4ta edición. Routledge New York. 2012.
2. SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008.
3. TOCCI, Ronald J.; WIDMER, Neal S.; MOSS, Gregory L. Sistemas digitales principios y aplicaciones. Décima edición. Pearson Educación de México S.A. de C.V. Naucalpan de Juárez, México. 2007.
4. BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. Electrónica teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Octava edición. Pearson Educación de México S.A. de C.V. Naucalpan de Juárez, México. 2003.
5. DORF, Richard C.; SVOBODA, James A.; Sexta edición. Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V. México D.F. 2006.
6. PEREZ, Ander; CARRERA, Vanessa. Calculo y diseño de una transmisión para un Kart partiendo de elementos de una Honda CBR 600F. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación. Pamplona. 2012.
7. FEDERACION ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO DEPORTIVO FEDAK, DELEGADA DEL PODER DEPORTIVO INTERNACIONAL DE LA FIA EN TODO EL TERRITORIO ECUATORIANO. Reglamento general deportivo de karting. Ecuador. 2013.

- 8. FRANCO, Sergio.** Diseño con amplificadores operacionales y circuitos integrados lógicos. Tercera edición. San Francisco State University. Mcgraw-Hill interamericana. México. 2005.
- 9. MORRIS, Alan S.** Principios de mediciones e instrumentación. Pearson Educación. México. 2002.
- 10. PEREZ, Miguel.; ALVAREZ, Juan C.; CAMPO, Juan C.; FERRERO, Javier.; GRILLO, Gustavo J.** Instrumentación electrónica. Editorial Thompson. España. 2008.
- 11. LOZANO RAMIREZ, José.** Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Universidad autónoma de Nuevo León. México. 2000.
- 12. PÉREZ, Ander; ESTREMER, Vanesa.** Cálculo y diseño de la transmisión de un Kart partiendo de elementos de una HONDA CBR 600F. Pamplona. 2012.
- 13. ALONSO, J.M.** Técnicas del automóvil. Equipo eléctrico. Séptima edición. Paraninfo. Madrid 2002.
- 14. HIBBELER, C. Russel.** Estática. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Décima Edición. Pearson. México. 2004.
- 15. HIBBELER, C. Russel.** Dinámica. Ingeniería Mecánica. Décimo segunda Edición. Pearson. México. 2010.

Referencias electrónicas:

1. FORMULA 1 HOME. El retorno del kers. [En línea]:<http://formula1home.wordpress.com/articulos/el-retorno-del-kers/>
[Revisado el 20 de septiembre del 2013].
2. REVE REVISTA EOLICA Y DEL VEHICULO ELECTRICO. El kers o sistema de recuperación de energía cinética de Renault.[En línea]:
<http://www.evwind.com/2009/04/12/el-kers-o-sistema-de-recuperacion-de-energia-cinetica-de-renault/>[Revisado el 22 de septiembre del 2013].
3. MOTOR GIGA. Kart-definición-significado. [En línea]:
<http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/kart-definicion-significado/gmx-niv15-con194576.htm>[Revisado el 10 de Octubre del 2013].
4. SLIDESHARE. Estudio del motor de arranque. [En línea]:
<http://es.slideshare.net/wordpeword/curso-de-electricidad-del-automovil-estudio-del-motor-de-arranque> [Revisado el 15 de Noviembre del 2013].
5. DUDA ELECTRONICA. Corriente continua y corriente alterna [En línea]:
<http://valetron.eresmas.net/Corriente%20continua%20y%20corriente%20alterna.pdf>[Revisado el 2 de Enero del 2014]
6. UZAGUAN. Análisis de un kart de competición y sus componentes [En línea]:<http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUITIZ/2011/5673/TAZ-PFC-2011-125.pdf> [Revisado el 10 de Febrero del 2014].
7. ANADÓN OCHAVO, Raúl; PABÓN MANSILLA, David. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA BARCELONA. Diseño de un kart de pista [En línea]:

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/15463/1/Memoria.pdf>

[Revisado el 10 de Abril del 2014].

8. UTE. Motores generadores y convertidores, transformadores, reactancias [En línea]: http://www.ute.com.uy/servicios_cliente/docs/c-19.pdf [Revisado el 10 de marzo del 2014].
9. MC GRAW HILL EDUCATION. Rectificadores y filtros [En línea]: <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171624.pdf> [Revisado el 15 de Marzo del 2014].
10. UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE FISICA. Trabajo y energía cinética [En línea]: <http://www.fisica.uson.mx/manuales/mecanica/mec-lab11.pdf> [Revisado el 17 de Noviembre del 2013].
11. DOCS.GOOGLE. Clasificación de los aceros [En línea]: https://docs.google.com/file/d/0B52uhpRpNl_5RXN6MEZpckNOOWM/edit [Revisado el 23 de mayo del 2014].
12. ELECTRONILAB. Tienda en línea de componentes electrónicos [En línea]. <http://electronilab.co/wp-content/uploads/2013/07/ATMEGA328-PU.jpg> [Revisado el 5 de diciembre del 2014].
13. ALLDATASHEET. Buscador de características de componentes electrónicos.
[En línea]. <http://www.alldatasheet.com/?gclid=CILFzuJs7wCFVfK7AodHmoAiQ> [Revisado el 6 diciembre del 2013].
14. JUNQUERA, Javier. Universidad de Cantabria, Trabajo y energía (http://personales.unican.es/junquera/JavierJunquera_files/Fisica-1/6.Trabajo_y_energia.pdf).2013. [Revisado el 7 de diciembre de 2013].

15. ANSAL. Aire acondicionado Automotor; Repuestos Automotrices. (<http://mail4.ansal.com.ar/Documentacion/pdfs/356025.pdf>). 2013. [Revisado el 10 de Diciembre de 2013].

16. PEDRASA, Luis Enrique; IBÁÑEZ Luis Arturo, Diseño y fabricación de un motor magnético. (<http://www.energia-libre.info/DOCUMENTOS%20PDF/ARTICULO%20FINAL%20MAE.pdf>) Julio 2012. [Revisado el 11 de Diciembre de 2013].

17. ALIBABA. Banco Dynocomo 5000. (<http://spanish.alibaba.com/product-free/5000-series-chassis-dynamometer-116020310.html>). 2014. [Revisado el 15 de Diciembre de 2013].

18. WORDPRESS. Energía cinética. (<http://uchihafisico.wordpress.com/tercer-corte/energia/energia-cinetica/>). 2013. [Revisado el 20 de diciembre de 2013].

19. PRADA, Isaac; NOGUEIRA. Conferencia Renault, La fórmula 1 que viene. (<http://www.uned.es/ca-guadalajara/actividades/10-11/JuevesCiencia.11/2011.03.03.Formula0.Conferencia.pdf>). 2011. [Revisado el 26 de Diciembre de 2013].

20. CNICE. Cadena – Piñón, (http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinon.htm). España 2006. [Revisado el 3 de Enero de 2014].

21. TEMPERLEY TRANSMISIONES. Embragues electromagnéticos monodisco con doble flujo magnético. (http://www.transmisionestemperley.com/embragueselectromagneticos_tipoedef.htm) Argentina 2013. [Revisado el 6 de Enero de 2014].

22. NICHESE. Electricidad y automatismos. (<http://www.nichese.com/alterna.html>). 2013. [Revisado el 10 de Enero de 2014].
23. RODRIGUEZ, Julio César. Potencia eléctrica. (<http://potenciaelectricajuli.blogspot.com/>). 2012. [Revisado el 15 de Enero de 2014].
24. INSTITUTO ARAGONÉS DE EMPLEO. VAQUERO HERRERA, Miguel (http://www.aularagon.org/files/espa//ModulosN2/pdfs/Tecnologia_N2.pdf). 2011. [Revisado el 20 de Enero de 2014].
25. MARCKCHANG. KERS en 2011, Que es? Y Tipos de KERS, (<http://lacuevitaf1.blogspot.com/2011/01/f1-el-kers-en-2011-que-es-y-tipos-de.html>). 2011. [Revisado el 20 de Enero de 2014].
26. SAENZ, Gonzalo Alberto; TRESACO, Vidaller Javier. Sistema para la recuperación de la energía cinética durante la frenada en la Fórmula 1. (<http://es.scribd.com/doc/79011776/INPRO-2011-001>). España 2009 – 2010. [Revisado el 22 de Enero de 2014].
27. Mc GRAW-HILL. Rectificadores y filtros, (<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171624.pdf>). 2010. [Revisado el 22 de Enero de 2014].
28. DECELIS, José Carlos. Sistema KERS, (http://www.arpem.com/competicion/formula_uno/glosario/kers.html). 2013. [Revisado el 30 de Enero de 2014].

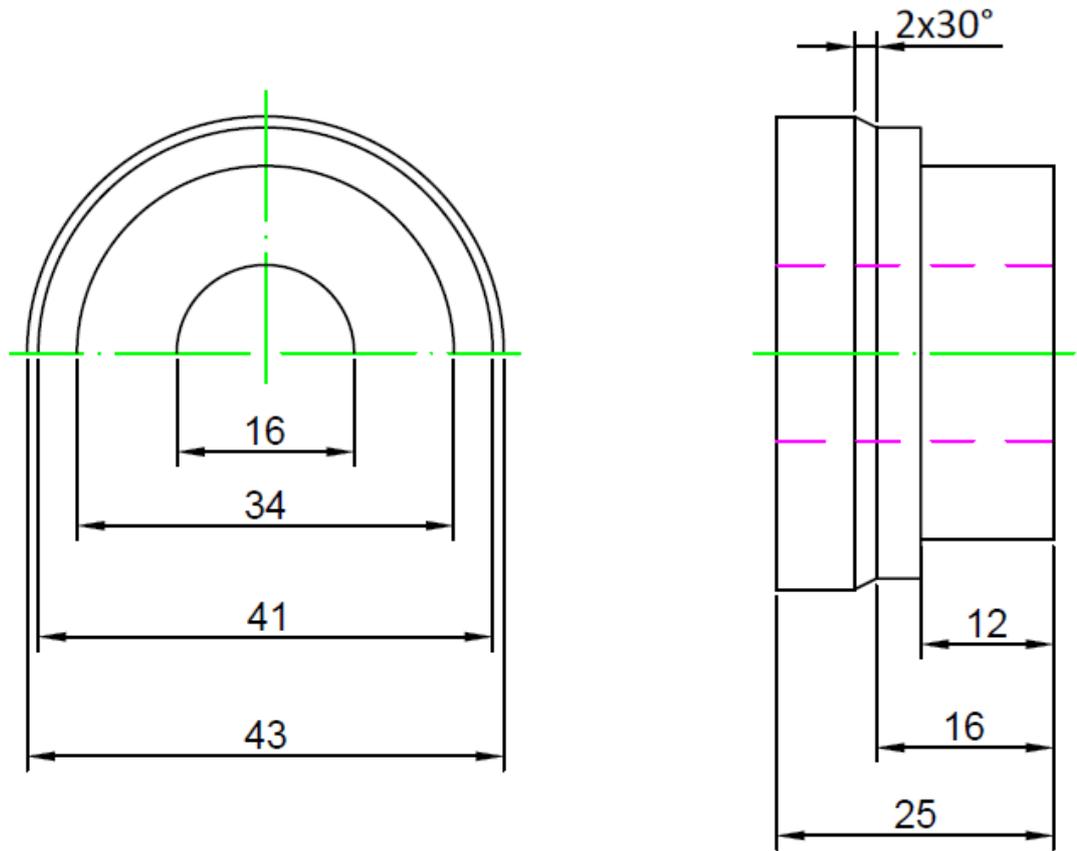
29. TARINGA. La transmisión. (<http://www.taringa.net/posts/autos-motos/11368923/La-caja-de-cambios-de-un-Formula-1.html>). 2011. [Revisado el 3 de Febrero de 2014].

30. WIKIPEDIA. Sistema trifásico. (http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_trif%C3%A1sico). 2014. [Revisado el 5 de Febreo de 2014].

ANEXOS

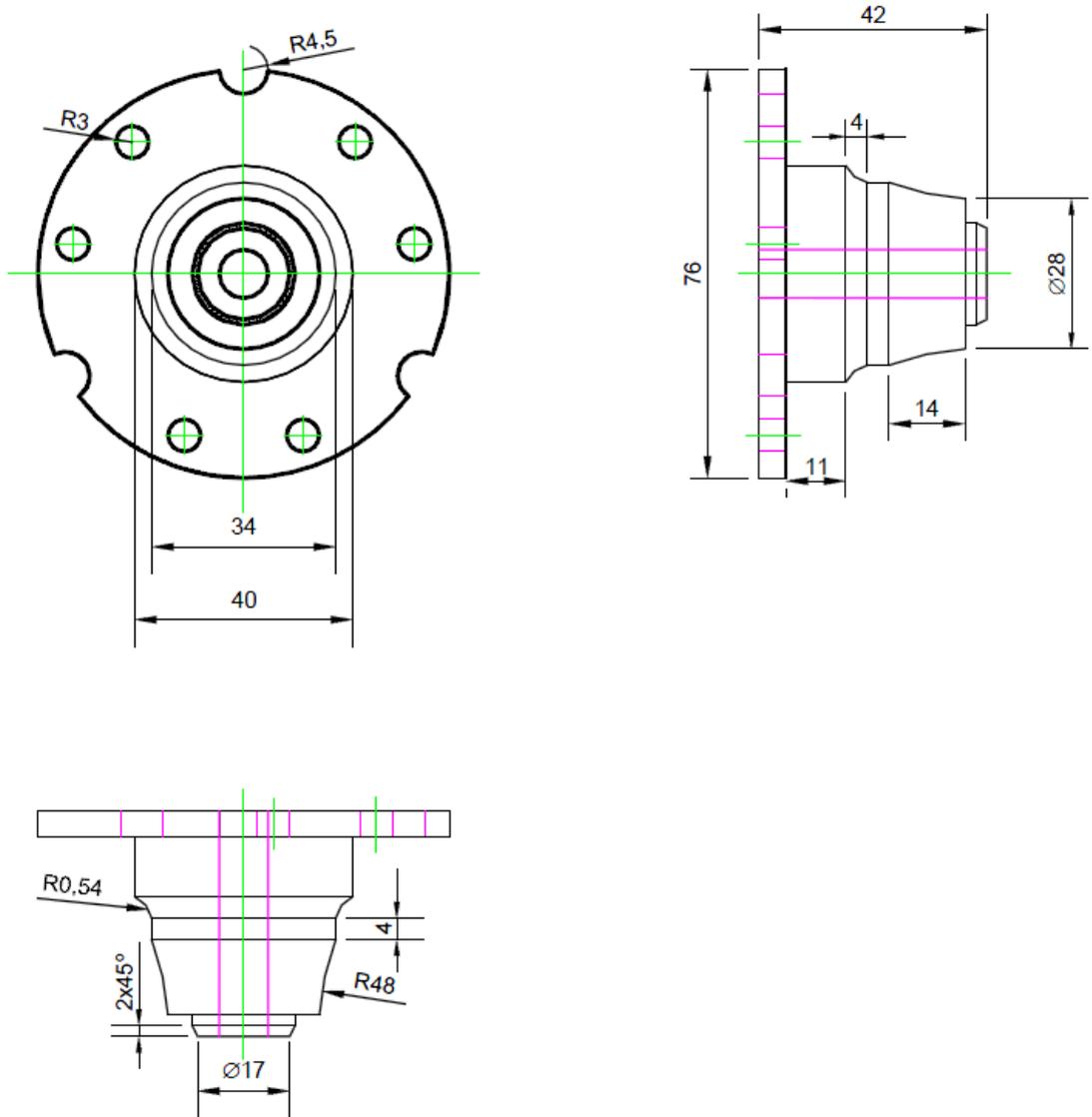
Anexo 1.-

Buje de acople de estator (medidas en mm)



Anexo 2.-

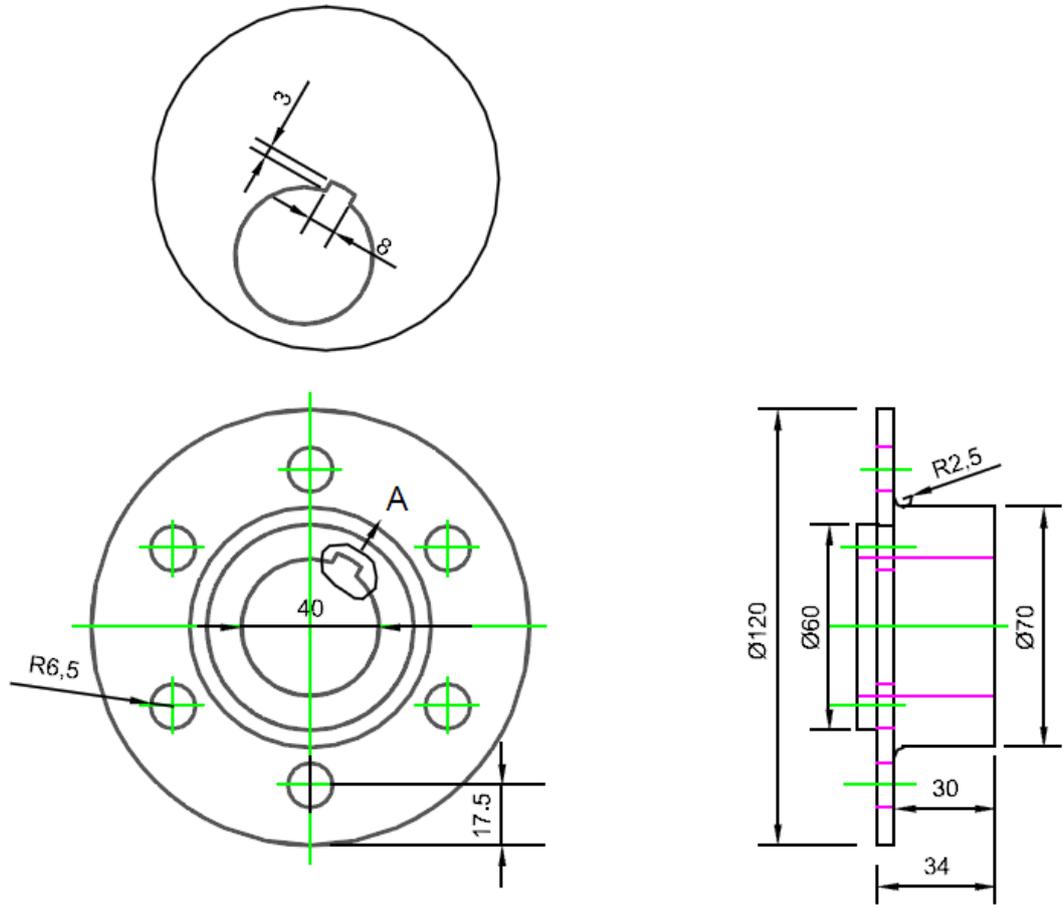
Cubo de rueda de rotor (medidas en mm)



Anexo 3.-

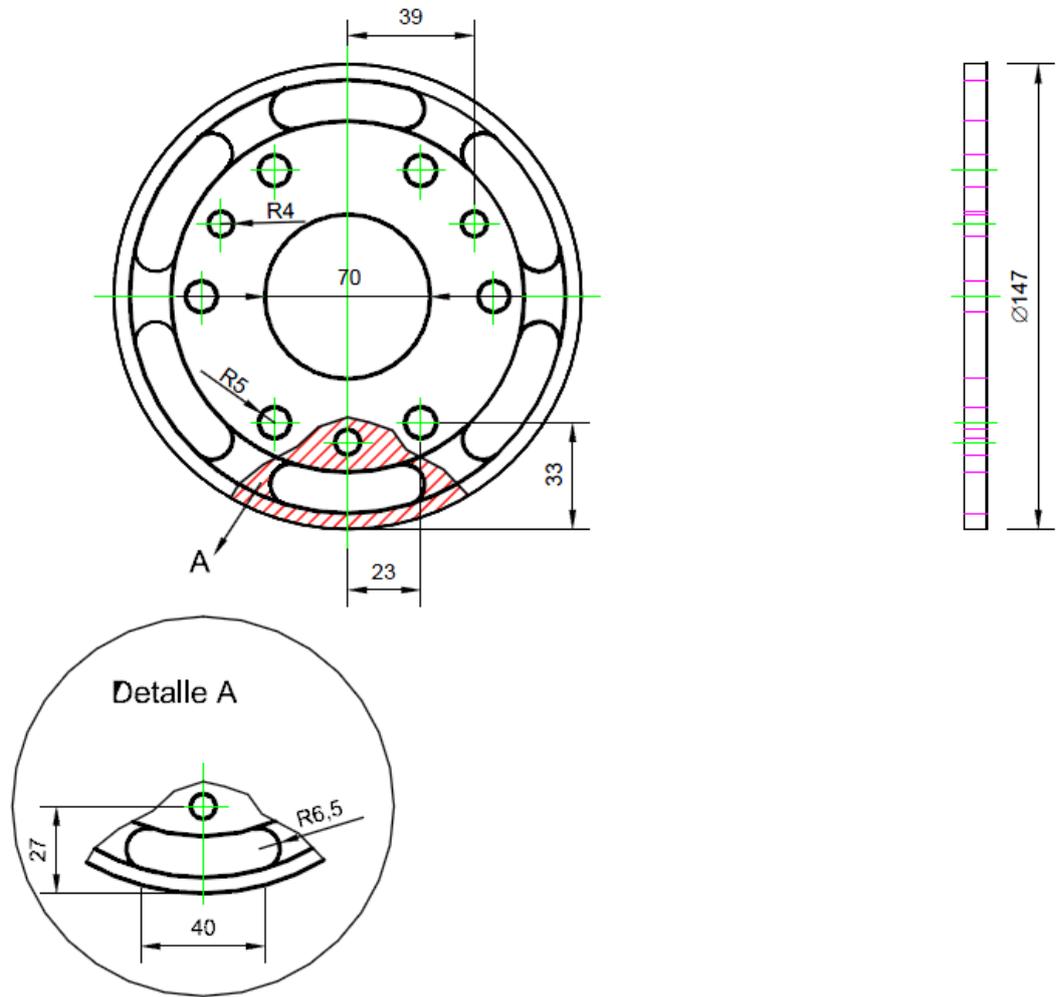
Cubo de eje

Detalle A



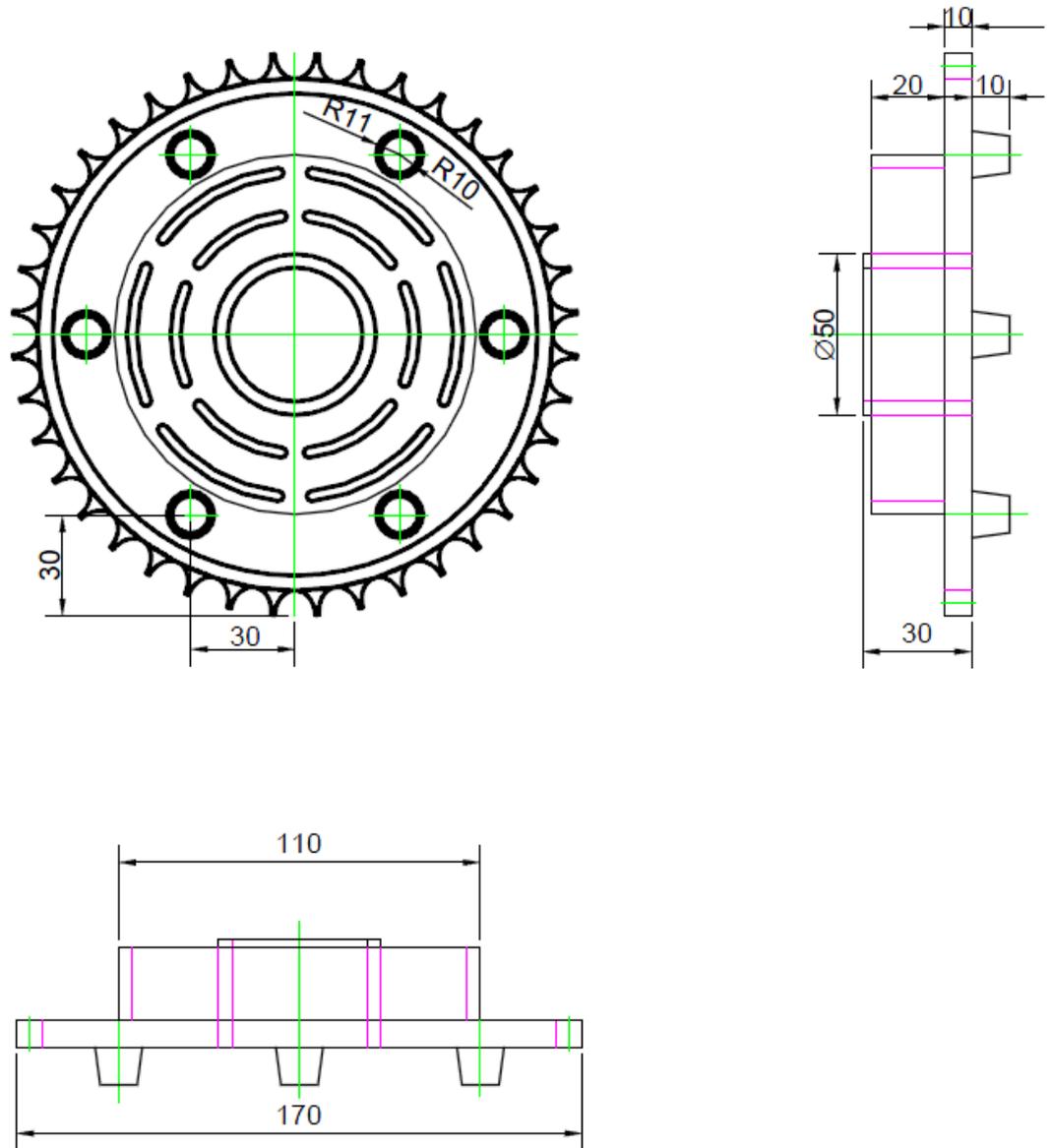
Anexo 4.-

Plato de transmisión



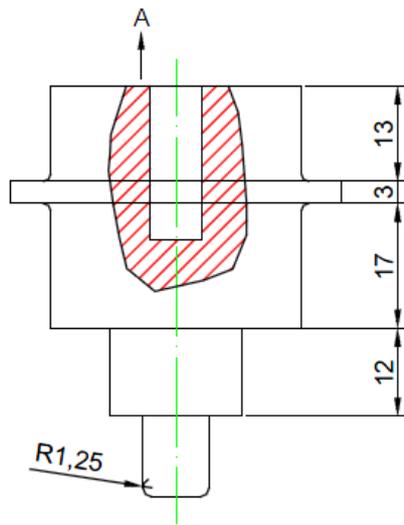
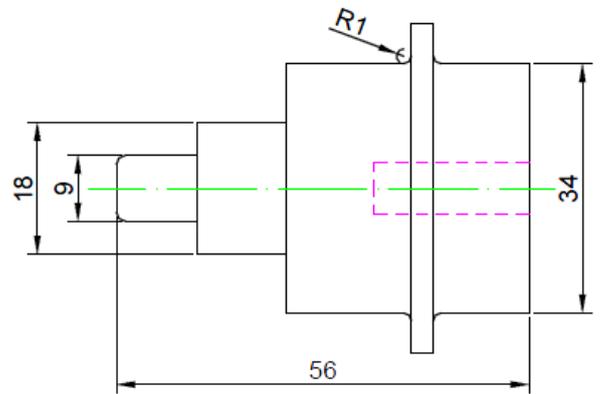
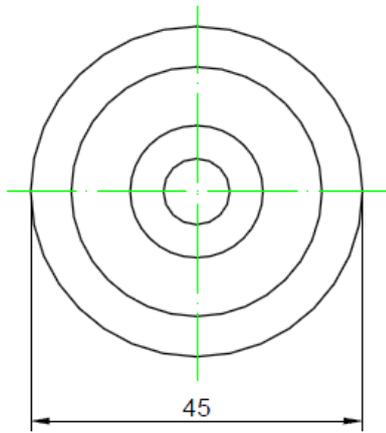
Anexo 5.-

Engrane porta bobina

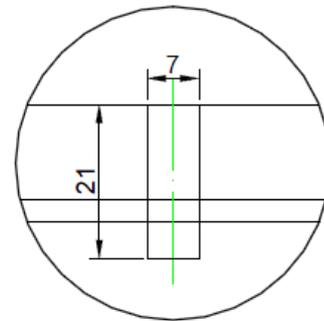


Anexo 6.-

Cubo de rueda (transmisión secundaria)

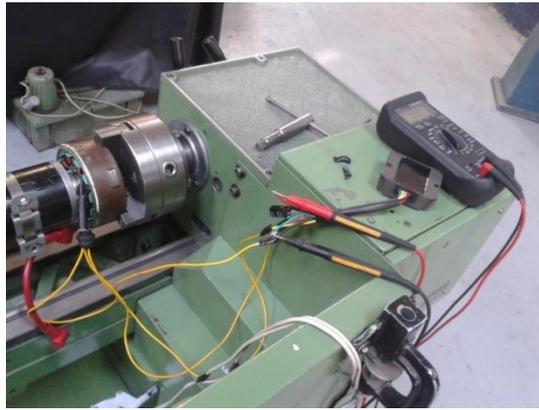


Detalle A



Anexo 7.-

Imágenes procesos de construcción sistema KERS



Prueba de generación de corriente eléctrica continua en tornos de la Universidad del Azuay



“Go Kart” con KERS implementado



Vehículo en instalaciones del Kartódromo municipal “Ciudad de Loja”

Anexo 8.-

Especificaciones para cadenas de acero eslabonadas para motocicleta

Cadenas de eslabón tipo:**25H – 270H – 420 – 420H – 428 – 428H – 520 – 520H – 530 – 530H**

Denominación	Paso (Distancia entre eje de los pines)	Diametro del Diente	Ancho entre placas interiores	Diametro del Pin	Longitud del Pin	Diametro externo eslabon	Espesor de la placa del eslabón	Resistencia a la tracción
	P	d1	b1	d2	L	h2	T	KN
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
25H	6.35	3.3	3.18	2.31	8.88	6.0	1.0	4.9
270H	8.5	5	4.75	3.28	13.15	8.45	1.8	9.9
420	12.7	7.77	6.25	3.96	14.9	12.0	1.5	16.2
420H	12.7	7.77	6.25	3.96	15.0	12.0	1.55	17.4
428	12.7	8.51	7.75	4.45	16.7	11.8	1.6	18.9
428H	12.7	8.51	7.75	4.45	18.7	11.8	2.03	20.8
520	15.875	10.16	6.25	5.08	17.5	15.09	2.03	26.7
520H	15.875	10.16	6.25	5.08	18.9	15.09	2.42	28.1
530	15.875	10.16	9.4	5.08	20.7	15.09	2.03	26.7
530H	15.875	10.16	9.4	5.08	22.1	15.09	2.42	28.2

Fuente:<http://es.scribd.com/doc/219082877/Cadenas-Para-Moto-Catalogo> [Ref. 05 de abril del 2014]**Anexo 9.-****Clasificación de servicio**

CLASIFICACION DE SERVICIO	EQUIPO MOTRIZ		
	Motor combustión interna Transmisión Hidráulica	Motor Eléctrico o Turbina	Motor combustión interna Transmisión Mecánica
Carga estable	1	1	1.2
Carga choque moderado	1.2	1.3	1.4
Carga choque pesado	1.3	1.5	1.7
<p>Compensar añadiendo 0.2 al Factor de Servicio en cualquiera de los siguientes casos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ejes múltiples. Añadir 0.2 por cada eje. 2. Relaciones de velocidades mayores de 7.0 3. Cargas pesadas con arranques y paros constantes. 4. Condiciones de altas temperaturas, condiciones abrasivas inusuales o circunstancias que reduzcan la lubricación o que no permitan los procedimientos recomendados de lubricación. 			

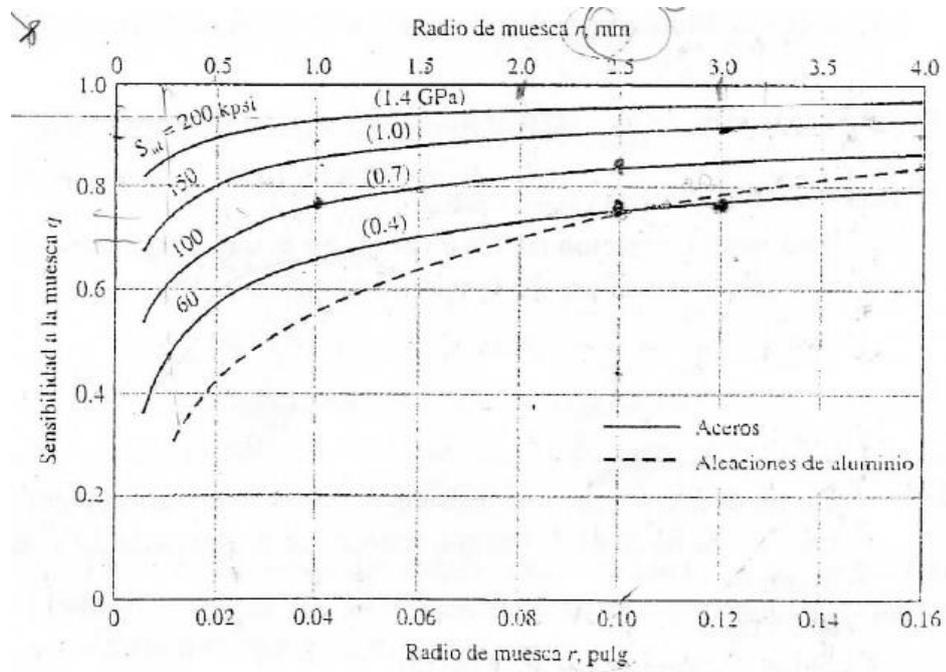
Clasificación de servicio

Fuente: LOZANO RAMIREZ, José. Diseño de elementos flexibles para la transmisión de potencia mecánica mediante el uso de la computadora. Universidad autónoma de Nuevo León. México. 2000.

}

Anexo 10.-

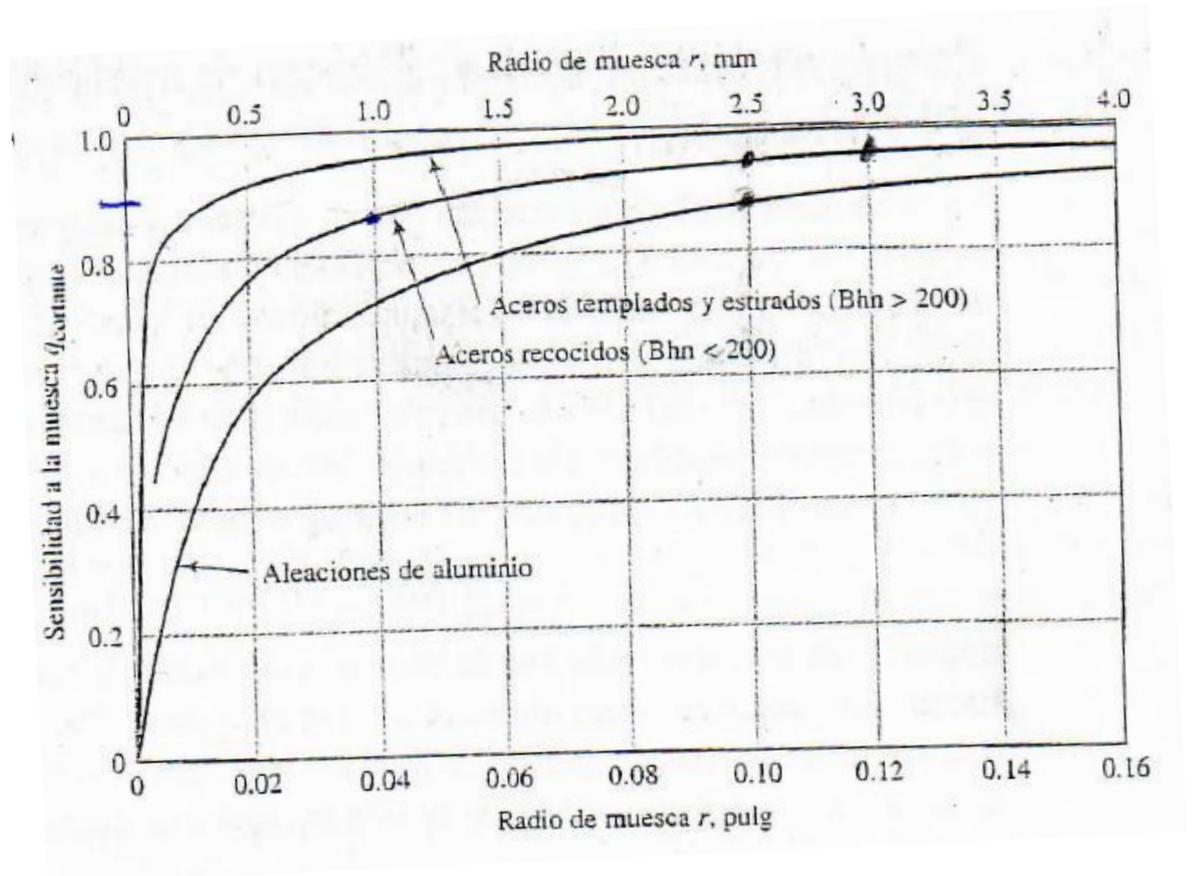
Sensibilidad de la muesca



Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008. Pag.287

Anexo 11.-

Sensibilidad de la muesca en materiales sometidos a torsión



Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008. Pag 288

Anexo 12.-

Resistencia a la fatiga S_e

$$S_e' = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008.Pag. 280

Anexo 13.-

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgar (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin.

Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008.Pag. 280

Anexo 14.-

Factor de tamaño Kb

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008.Pag. 280.

Anexo 15.-

Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero

Temperatura °C	S_T/S_{RT}	Temperatura °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex. México 2008.Pag. 283.

Anexo 16.-

Factores de confiabilidad K_e

Confiabilidad %	Variación de transformación z	Factor de confiabilidad K_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica 8va edición traducida al español. Ingramex.

México 2008.Pag. 285.