



**SELECCIÓN DEL MOTOR Y DISEÑO DE LA RELACIÓN
DE TRANSMISIÓN PARA UN KARTING
PARA COMPETICIÓN INTERUNIVERSITARIA
BASADO EN ANÁLISIS DE DINÁMICA DE VEHÍCULOS**

**SELECTION OF THE ENGINE AND DESIGN
OF THE TRANSMISSION RATIO FOR A KARTING
FOR INTERUNIVERSITY COMPETITION
BASED ON ANALYSIS OF VEHICLE DYNAMICS**

SELECCIÓN DEL MOTOR Y DISEÑO DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN PARA UN KARTING PARA COMPETICIÓN INTERUNIVERSITARIA BASADO EN ANÁLISIS DE DINÁMICA DE VEHÍCULOS

SELECTION OF THE ENGINE AND DESIGN OF THE TRANSMISSION RATIO FOR A KARTING FOR INTERUNIVERSITY COMPETITION BASED ON ANALYSIS OF VEHICLE DYNAMICS

Diego Armando Tacle Humanante¹,
Luis Fernando Buenaño Moyano²,
Ricardo Andrés Lema Tugtaguano³,
Renny Javier Orozco Manya⁴,

¹ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, dtacle1986@hotmail.com

² Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, lfbm334@hotmail.com

³ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, andylema20142015@gmail.com

⁴ Instituto Superior Tecnológico "Carlos Cisneros", Ecuador, rennyormare97@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo se lo realizó en el IST Carlos Cisneros y tiene como objetivo la selección del motor y de las relaciones de transmisión adecuadas para un karting que participa en las competencias nacionales interuniversitarias de kartismo en Ecuador. Se usa un estudio de dinámica de movimiento de vehículos para determinar la fuerza de propulsión, potencia y torque necesarios para mover el monoplaza hasta un máximo teórico de 90 km/h. Con los resultados analíticos se selecciona el motor y las relaciones de transmisión correspondientes. Se ejecutan seis fases en este trabajo para la consecución de resultados de las cuales se obtiene, que se necesita implementar un motor que aporte 3.99 kW de potencia y una relación de transmisión que aporte 19.9 Nm. Se diseña tres relaciones de transmisión acordes a cada tipo de circuito posible: velocidad, mixto y trabado. Finalmente se realizan pruebas cronometradas en el "Kartódromo dos Hemisferios" de la ciudad de Quito concluyéndose que la mejor relación para este tipo de circuito es la intermedia alcanzando un tiempo de vuelta de 72.832 ± 0.013 s.

Palabras clave: Karting, Dinámica vehicular, Motor, Relaciones de transmisión, Competición.

ABSTRACT

The present work was carried out at the IST Carlos Cisneros and its objective is to select the engine and the appropriate transmission ratios for a karting that participates in the national interuniversity karting competitions in Ecuador. A vehicle motion dynamics study is used to determine the propulsion force, power and torque required to move the car up to a theoretical maximum of 90 km / h. With the analytical results the engine and the corresponding gear ratios are selected. Six phases are executed in this work to achieve the results from which it is obtained, that it is necessary to implement an engine that provides 3.99 kW of power

and a transmission ratio that provides 19.9 Nm. Three transmission ratios are designed according to each type of possible circuit: speed, mixed and locked. Finally, timed tests are carried out at the “Kartódromo dos Hemisferios” in the city of Quito, concluding that the best relationship for this type of circuit is the intermediate one, reaching a lap time of 72.832 ± 0.013 s.

Keywords: Karting, Vehicle dynamics, Engine, Gear ratios, Competition.

1. INTRODUCCIÓN

El karting es una excelente escuela y la mejor manera para que los jóvenes aprendan a conducir y competir [1] en particular para el IST Carlos Cisneros, el diseño, construcción de kartings y la participación de los estudiantes en las categorías de competición organizadas a nivel local y nacional han sido una vitrina para que puedan demostrar sus conocimientos y habilidades técnicas dentro del campo automotriz.

Aunque el kart es una máquina de diseño sencillo, el alto grado de competición lo convierte en un deporte de muy alto nivel en el que los profesionales más competentes se enfrentan entre ellos [1]. Los primeros karts conocidos fueron creados por soldados de una base aérea estadounidense, a principios de la década de los 50. Según la historia soldaron sus propios karts a partir de restos de aviones, con el único objetivo de competir entre ellos durante sus días libres [2]. Esto hizo nacer la esencia del mundo del kartismo, la competición a bordo de un vehículo sencillo, sin suspensiones ni diferencial, diseñado básicamente para disfrutar [2].

Actualmente este deporte es regulado por CIK (Comisión Internacional de Karting) creada en 1962 y forma parte de la FIA (Federación Internacional de Automovilismo). Su objetivo principal es garantizar la unidad del mundo del karting, fomentar y desarrollar la práctica de esta disciplina en todo el mundo y desarrollar reglamentos técnicos y deportivos [1].

CIK establece las categorías de competición las cuales se dividen en tres grandes grupos [2]:

1. Automáticos, agrupados bajo la denominación KF
2. Karts con marchas, agrupados bajo la denominación KZ
3. Superkarts, que tienen carrocería completa y que, debido a sus complejas características aerodinámicas, gran potencia y poco peso están destinados a lo más alto de la competición.

La categoría KF que es en la que se desarrollará este proyecto, tiene la particularidad de que la CIK se percató de que los motores 2T habían llegado al fin de su evolución. Alcanzaban las 20000 r.p.m.,

pero a costa de una vida útil muy corta y unos costes muy elevados, como solución se adopta un único modelo de motor de 125 c.c., para todas las subcategorías KF. Sin embargo esto no deja de ser un paso intermedio hacia una nueva generación de motores de 4T, pues como ya ocurre en el motociclismo estos motores se han impuesto a los de 2T por su mejor rendimiento de combustible y su menor impacto ambiental [2].

En el campo de la técnica automotriz, el kartismo ha logrado atraer a numerosos profesionales automotrices para que den solución a los diversos factores que pueden afectar a este deporte, principalmente ayudando a los equipos y pilotos a adaptarse y cumplir las diferentes normativas que las competiciones adoptan. El IST Carlos Cisneros en este contexto viene participando activamente de este tipo de competiciones centrándose sobre todo en la aplicación técnica y científica de los diferentes conocimientos necesarios para crear este tipo de vehículos.

En particular en el Ecuador a nivel universitario la copa Novacero es un referente. Su reglamentación establece que el peso máximo del monoplaza es de 185 kg y el uso de motores de 4T estacionarios marca Honda [3].

El factor competitivo ha llevado a que varias Universidades e Institutos tecnológicos a nivel local hayan puesto de manifiesto su interés en la construcción de este tipo de vehículos como es el caso del trabajo de titulación realizado en la Universidad Tecnológica Equinoccial [4], en el cual mediante la utilización de las ecuaciones de dinámica vehicular logran establecer las prestaciones que debe tener el motor y la transmisión para construir un kart de entrenamiento con un motor de 12 Kw de potencia, 18 Nm y una relación de transmisión de 3,33:1 que sin embargo penaliza la velocidad final a 50 km/h.

Es importante también destacar el trabajo realizado en la Universidad Carlos III de Madrid [5] en donde se pone de manifiesto que para su diseño de chasis de kart uno de los aspectos iniciales ha sido el uso de la dinámica vehicular, ya que específicamente para el aspecto de diseño de la carrocería, fue importante el establecer las características de prestaciones que debe tener el karting y de esta manera lograr equilibrar variables críticas como lo son el peso del karting o la potencia final del motor.

Es así como luego de considerar estos estudios y proyectos a nivel local e internacional, los cuales guardan relación con el presente trabajo se ha establecido que el objetivo que se plantea es la aplicación de un análisis mediante dinámica vehicular para la selección del motor de combustión interna y el sistema de transmisión de potencia para uno de los kartings institucionales fundamentándose principalmente en la correspondiente justificación teórica y técnica logrando de esta manera ejecutar experimentalmente la validación de las selecciones realizadas.

2. METODOLOGÍA Y MATERIALES

El desarrollo del presente trabajo consistió en primera instancia de apoyarse en un análisis documental, refiriendo trabajos previos realizados a nivel local e internacional y comparando su fundamentación con obras de la bibliografía del ramo para validar los procedimientos. Se ha tomado como referencia trabajos como el de la Universidad Politécnica de Catalunya [6] en el cual sus autores diseñan un kart de pista utilizando cálculos de los diferentes tipos de fuerzas resistentes que se presentan en la dinámica vehicular para la selección del motor.

De igual manera a partir del trabajo [5] de la Universidad Carlos III de Madrid y de la implementación de un kart de la Universidad Tecnológica Equinoccial [4], se ha revisado la metodología de cálculo y selección realizada por estos autores, comparando y validando las ecuaciones utilizadas con las que se proponen en las obras [7]–[9] cuyos autores desarrollan a fondo la aplicación de la dinámica vehicular para el diseño automotriz, y logrando de esta manera establecer la metodología que permita ejecutar la implementación del motor y transmisión del kart para el presente trabajo.

En particular el problema que se plantea tiene que ver principalmente con la selección adecuada del motor y la relación de transmisión para el karting, partiendo de que elementos referentes a chasis y otros componentes del vehículo ya han sido contruidos por los estudiantes del IST Carlos Cisneros.

Usando el método inductivo generalmente utilizado en la ciencia experimental y que consiste en basarse en enunciados singulares, tales como descripciones de los resultados de observaciones o experiencias para plantear enunciados universales [4] se considera que las ecuaciones de dinámica vehicular utilizada en los estudios anteriormente citados en las cuales se basan para construir sus modelos de kart, serán válidas para el presente caso considerando además que el diseño de este tipo de vehículos para competición, se basa también en la aplicación de un reglamento general.

A continuación, se establecen las fases en las cuales este trabajo se desarrolló, buscando un orden y el éxito de la implementación:

- Parámetros de Diseño
- Parámetros Técnicos
- Selección de Motor
- Diseño de Transmisión
- Implementación y adaptación.
- Pruebas

Parámetros de Diseño

Un kart es un vehículo terrestre monoplaza sin techo o cockpit, sin suspensión y con o sin elementos de carrocería, con 4 ruedas no alineadas que están en contacto con el suelo, las dos delanteras ejerciendo el control de la dirección y las dos traseras conectadas por un eje de una pieza, que transmiten potencia. Sus partes principales son: El chasis, los neumáticos y el motor [10].

El chasis

De acuerdo con la reglamentación de CIK/FIA [5] es la estructura que ensambla a las partes mecánicas y la carrocería, comprendida cualquier pieza solidaria de dicha estructura. Debe seguir especificaciones de la Tabla 1 para poder ser homologado. Estas medidas se deben cumplir, independientemente de la categoría a la cual se califique.

El chasis que se utiliza para la motorización del kart utiliza un acero tubular, todo el conjunto se encuentra soldado y fijo en sus puntos sin la implementación de articulaciones de cualquier tipo, lo cual cumple con las reglamentaciones de CIK/FIA.

Tabla 1. Dimensiones y especificaciones del chasis según CIK/FIA.

Especificación	Dimensión
Distancia entre ejes	Min. 1010 mm
	Máx. 1070 mm
Vía	Mín. 2/3 de la distancia entre ejes
Largo total máximo	1820 mm sin contar parachoques
Ancho total	Máx. 1400 mm
Alto total	Máx. 650 mm sin contar el asiento

En la Fig. 1, se presenta la construcción del chasis realizado por los estudiantes del IST Carlos Cisneros y en la Fig. 2 el chasis finalizado en el que se implementará el kart, las medidas de construcción se adoptaron para que se cumpla con la reglamentación que se muestra en la Tabla 1.



Fig. 1: Construcción del chasis.



Fig. 2: Estructura del chasis en el que se implementa el Kart.

El motor y la transmisión que se implementará deben adaptarse al chasis diseñado, de acuerdo con [3] deben ser estacionarios de la marca Honda, para lo cual es importante tener en cuenta las

medidas finales obtenidas en el chasis, estas medidas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Medidas del chasis final del karting.

Especificación	Dimensión
Distancia entre ejes	1020 mm
Vía	86.5 mm
Largo total máximo	1600 mm
Ancho total	1290 mm
Alto total	30 mm

Neumáticos

Los neumáticos en el kart son los únicos elementos que pueden estar en contacto con el suelo de acuerdo con la reglamentación. Para el kart en cuestión se utilizarán unos neumáticos para pista de tipo slicks. Según CIK/FIA [10] pueden usarse 2 tamaños de neumáticos, los de 5 pulgadas y 6 pulgadas. Se ha elegido los neumáticos rin 5, cuyas características se muestran en la tabla.

Tabla 3. Características técnicas de los neumáticos elegidos para el karting.

Neumáticos Vega	
Delantera	10 x 4.60 5
Trasera	11 x 7.10 5
Presión en frío	0.60 bar (± 0.05)
Velocidad máxima	180 km/h

Motor

En cuanto al motor la reglamentación de la CIK/FIA establece que para las categorías KF y KZ se usan motores de 2T de 125 c.c. La categoría superkart usa motores con cilindrada 250 c.c. No está permitida la inyección electrónica y el único combustible permitido es la gasolina [10].

La refrigeración se puede realizar por agua con la ayuda de un radiador, y el sistema de escape se debe ubicar por detrás de la posición de conducción del piloto a una altura de 450 mm, desde el suelo hasta su punto más alto, el material con el que se debe construir es acero y será obligatorio que la salida de escape después del silenciador no sea mayor a 30 mm de diámetro [5]. En el caso local la reglamentación de la copa Novacero Interuniversidades [3], establece que se debe usar motores estacionarios de 4T de la marca Honda.

Parámetros Técnicos

En esta sección se establecen los diferentes parámetros técnicos a tomar en cuenta para la selección del motor de combustión interna que integrara el karting. En las competencias nacionales, generalmente se buscan alcanzar velocidades entre 90 o 100 km/h. En el caso de este proyecto el objetivo es alcanzar los 90 km/h por lo que se realizarán los cálculos correspondientes para determinar el motor adecuado que pueda lograr vencer las fuerzas de oposición al movimiento que en la dinámica de vehículos se genera.

En el aspecto de la transmisión el karting que se diseña no tiene caja de cambios, por lo que será crítica la selección de las relaciones de transmisión de acuerdo con el circuito en el que se pretende competir.

Peso

Para la determinación del motor, es indispensable conocer el peso total que este debe mover y ser capaz de alcanzar los 90 km/h, para ello se elabora la Tabla 4 en la que se desglosa el peso máximo de cada componente en kg y se establece la masa total del monoplaza.

Tabla 4. Peso máximo de los elementos que integran el karting.

Elementos	Peso [kg]
Chasis	15.8
Motor	16.1
Otros sistemas	19.5
Piloto	65
Total	116.4

Mediante la ecuación (1) se establece el peso total del vehículo en [N]. [9]

$$W = mg \quad (1)$$

En donde:

W es el peso en [N]
 m es la masa en [kg]
 g es la gravedad en [m/s²]

El cálculo establece que el peso máximo del monoplaza es de 1141.88 N.

Fuerzas tracción-resistencia

Para vencer los esfuerzos resistentes se precisan esfuerzos tractores, generados en la interface neumático-calzada; los cuales actúan, a su vez como reacción a los esfuerzos transmitidos a las ruedas desde el motor, por intermedio del sistema de transmisión [8].

Para el cálculo del karting se utilizará la ecuación fundamental del movimiento longitudinal Ecuación (2) del vehículo, es decir la que se produce siguiendo el eje x. Será preciso evaluar las resistencias que se oponen al movimiento.

$$F_x = F_d + R_x + R_i + R_g \quad (2)$$

En donde:

F_x es la fuerza de tracción [N]
 F_d es la fuerza de resistencia aerodinámica [N]
 R_g es la fuerza de resistencia a la pendiente [N]
 R_x es la fuerza de resistencia a la rodadura [N]
 R_i es la fuerza de resistencia por la inercia [N]

Fuerza de resistencia aerodinámica

Es la resistencia que crea el aire al oponerse a que el vehículo pase a través de él. Los factores que se deben considerar son el tamaño y la forma del vehículo, la velocidad del viento la densidad del aire y su dirección [7]. Para su cálculo se utiliza la ecuación (3).

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho_a A V^2 \quad (3)$$

En donde:

C_d es el coeficiente aerodinámico
 A es el Área frontal aproximada del vehículo [m²]
 ρ_a es la densidad del aire [Kg/m³]
 V es la velocidad del vehículo

Tomando en cuenta estudios previos realizados por otros autores [4] el valor de C_d en este caso se tomará el valor aproximado de 0.8.

El área frontal de acuerdo con [9] se obtiene de forma aproximada, multiplicando el ancho (a) por el alto del vehículo (h) y afectado por un coeficiente de 0.8 considérese la Fig. 3.

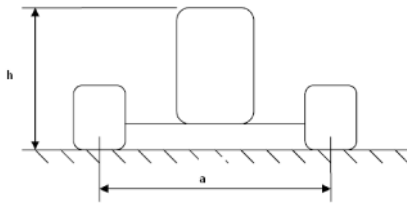


Fig. 3: Dimensiones para el cálculo del área frontal.

Por lo que de acuerdo con la ecuación (4) y los datos obtenidos del kart.

$$A = a * h * 0.8 \quad (4)$$

Se tiene que:

$$A = 0.67 \text{ mm} * 0.85 \text{ mm} * 0.8$$

$$A = 0.59 \text{ m}^2$$

En cuanto a la densidad del aire (ρ_a) de acuerdo con [8] esta se calcula con la ecuación (5).

$$\rho_a = \frac{P}{R * T} \quad (5)$$

En donde:

P es la presión atmosférica [kPa]

T es la temperatura [K]

R es la constante de gases que en este caso se usa $0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

En condiciones normales en la ciudad de Riobamba la presión atmosférica (P) es de 71.02 kPa y el valor de temperatura es de 18°C. Al reemplazar estos valores en la ecuación (5) se tiene que:

$$\rho_a = \frac{71.02}{0.287 * 291.15} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_a = 0.85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Usando la ecuación (3) y reemplazando los valores considerados y condicionando el cálculo para la velocidad máxima a alcanzar que es 90 km/h (25 m/s), se tiene que:

$$Fd = \frac{1}{2} * 0.8 * 0.85 * 0.59 * 25$$

$$Fd = 109.36 \text{ N}$$

Resistencia a la rodadura

Esta fuerza de resistencia se asocia a la interacción entre las ruedas y la calzada, del tipo, perfil y presión de inflado de los neumáticos; su magnitud depende de la masa del vehículo, del coeficiente de rodadura, la gravedad y el ángulo de inclinación de la calzada.

Con la ecuación (6) se determina la resistencia a la rodadura:

$$Rx = fr * mg * \cos \theta \quad (6)$$

En donde:

Rx es la resistencia a la rodadura [N]

fr es el coeficiente de rodadura [-]

m masa del vehículo [kg]

g es el valor de gravedad

θ es la pendiente

Tomando en cuenta que fr para asfalto seco de acuerdo con [7] es 0.014, y para un valor de pendiente máximo de 3% se tiene que:

$$Rx = 0.014 * 116.4 * 9.81 * \cos (3\%)$$

$$Rx = 15.98 \text{ N}$$

En cuanto a la resistencia a la pendiente la ecuación

$$Rg = M * g * \text{seno}(\theta) \quad (7)$$

En donde:

M es la masa [kg]

g es la gravedad [m/s²]

Θ es la pendiente del circuito

La pendiente máxima que el karting debe superar es de 5%, por ende, al reemplazar en la ecuación (7) se tiene que:

$$Rg = 116.4 * 9.81 * \text{seno}(3\%)$$

$$Rg = 34.24 \text{ N}$$

El presente cálculo se considerará en estado estable [11] por lo que la resistencia a la inercia (Ri) se asume como 0.

De acuerdo con la ecuación (2) se establece entonces que:

$$Fx = 109.36 + 15.98 + 34.24$$

$$Fx = 159.58 \text{ N}$$

Fx es la fuerza de tracción que el motor junto con el conjunto de transmisión debe generarse en las ruedas para lograr que el karting alcance un valor máximo de velocidad de 90 km/h.

Potencia

La potencia en rueda será aquella que se obtiene del motor hacia las ruedas, de acuerdo con [7] se calcula utilizando la ecuación (8).

$$Px = Fx * V \quad (8)$$

Utilizando los valores calculados previamente y asumiendo una velocidad máxima de 25 m/s (90 km/h) se tiene que:

$$Px = 159.58 \text{ N} * 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Px = 3989.49 \text{ W}$$

$$Px = 3.99 \text{ kW}$$

Torque

El torque es la fuerza demandada por el vehículo en rueda para que este pueda alcanzar y mantener una velocidad máxima de 90 km/h, debe obtenerse al final de la cadena cinemática de la transmisión. La ecuación (9) se utiliza para el cálculo del torque en rueda.

$$\tau x = Fx * Rd \quad (9)$$

Donde:

Rd es el radio dinámico

De los datos de los neumáticos se obtiene que el diámetro nominal es de 256 mm. El radio nominal es de 128 mm. De acuerdo con [11] el radio dinámico puede considerarse como el 97% del radio nominal, por ende entonces:

$$rdin = 97\% * rnom$$

$$rdin = 124.16 \text{ mm} = 0.12 \text{ m}$$

Aplicando la ecuación (9) se tiene que:

$$\tau x = 159.58 * 0.12$$

$$\tau x = 19.15 \text{ Nm}$$

Selección de motor

De acuerdo con los resultados que se obtienen de la fase de parámetros técnicos se debe considerar un motor que pueda entregar principalmente una potencia de 3.99 kW (5.35 hp), en cuanto al torque en rueda es necesario 19.15 Nm, valor que sin embargo puede alcanzarse a través del diseño de la relación de transmisión hacia el eje propulsor. Luego de la comparación de algunos modelos de motores a través de una comparación de

parámetros técnicos se ha decidido instalar el motor Honda GX 200 Fig. 4 y las especificaciones se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas del motor Honda GX 200.

Modelo GX 200	
Tipo	4 tiempos, gasolina
Cilindrada	196 c.c.
Relación de compresión	8.5:1
Potencia neta	4.3 kW (5.8 HP) a 3600 rpm
Torque máximo	12.4 Nm a 2500 rpm
Sistema de encendido	Transistorizado
Peso	16.1 kg



Fig. 4: Motor Honda GX200.

Diseño de transmisión

Según el reglamento que dicta la CIA/FIA en un kart la transmisión de potencia debe realizarse únicamente a las ruedas traseras pudiendo utilizarse cualquier tipo de sistema de transmisión que se considere adecuado. Debe considerarse que se debe exceptuar la utilización del diferencial [10].

El tipo de transmisión que se utilizó es la transmisión por cadena, para esto es necesario el determinar la relación de transmisión adecuada considerando que se debe aplicar un torque de 19.9 Nm para poder mover el karting con solvencia.

La relación de transmisión debe elegirse de acuerdo al tipo de circuito en donde se realizará la competición [2], y se adecua a los circuitos calificados para la competición en Ecuador a nivel

nacional. Esto ha establecido a que se considere tres tipos de circuito:

- Circuitos de Velocidad
- Circuitos trabados
- Circuitos mixtos

Para el cálculo de la relación de transmisión, se considera la ecuación (10) que se aplica al cálculo de relaciones de transmisión en una amplia variedad de vehículos [12].

$$i = \frac{\text{rueda conducida}}{\text{rueda conductora}} \quad (10)$$

El valor de la relación de transmisión i en competición, mientras más alto sea el factor conseguido tendrá mayor capacidad de arranque en pista, esto debido a la multiplicación de torque que se consigue, sin embargo, la velocidad final que se puede alcanzar será menor, lo que penalizaría las zonas rápidas del circuito. La ecuación (11) explica la relación entre el torque y la relación de transmisión para un vehículo.

$$i = \frac{M_p}{M_M} \quad (11)$$

En donde:

M_p es el torque en el eje propulsor [Nm]
 M_M es el torque que genera el motor [Nm]

En este contexto la versatilidad del karting para estos tres tipos de circuitos debe ser garantizada, por lo que de acuerdo a las recomendaciones de otros autores y la revisión de las relaciones de transmisión más comunes en este deporte se han diseñado tres tipos de relaciones de transmisión adecuados para cada tipo de pista [2].

Relación de transmisión A (i_A)

Esta relación de transmisión será adecuada para circuitos que requieren una velocidad final alta y un arranque moderado.

Aplicando la ecuación (10) y estableciendo que el piñón tenga 12 dientes y la catalina 42, se tiene que:

$$i_A = \frac{42}{12}$$

$$iA = 3.5$$

La relación de transmisión obtenida es de 3.5:1, a continuación, debe asegurarse que el torque para poder mover el karting sea el adecuado en todo momento, para ello y basado en los datos del fabricante del motor se establece tres momentos de variación de torque.

El máximo torque que otorga el motor es de 12.4 Nm a 2500 rpm, se le llamará M_{M1} , el segundo momento que se analizará es cuando el motor entrega su potencia máxima a 3600 rpm, en este contexto el motor entrega un torque al que se le denomina M_{M2} de 11.4 Nm, el tercer momento a analizar es M_{M3} y se trata del torque que el motor es capaz de aportar a la transmisión en ralentí a 1400 rpm, el valor es de 11.74 Nm

Mediante la ecuación (11) se determina el torque en el eje propulsor que se le aplicará al karting, en los tres momentos críticos.

$$M_{p1} = i_A * M_{m1}$$

$$M_{p1} = 3.5 * 12.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p1} = 43.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = i_A * M_{m2}$$

$$M_{p2} = 3.5 * 11.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = 39.9 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = i_A * M_{m3}$$

$$M_{p3} = 3.5 * 11.74 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = 41.09 \text{ Nm}$$

El torque necesario de acuerdo con los cálculos anteriores es de 19.9 Nm lo que con la relación de transmisión iA se satisface adecuadamente el valor solicitado.

Relación de transmisión B (iB)

Esta relación de transmisión será adecuada para circuitos trabados en donde la capacidad de arranque sea fundamental y la velocidad final no sea determinante para la competencia.

Aplicando la ecuación (10) y estableciendo que el piñón tenga 12 dientes y la catalina 50 dientes, se tiene que:

$$iA = \frac{50}{12}$$

$$iA = 4.17$$

La relación de transmisión obtenida es de 4.17:1

Mediante la ecuación (11) y los torques determinados anteriormente para iA se determina el torque en el eje propulsor que se le aplicará al karting, en los tres momentos críticos.

$$M_{p1} = i_B * M_{m1}$$

$$M_{p1} = 4.17 * 12.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p1} = 51.71 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = i_B * M_{m2}$$

$$M_{p2} = 4.17 * 11.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = 47.54 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = i_B * M_{m3}$$

$$M_{p3} = 4.17 * 11.74 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = 55.18 \text{ Nm}$$

En el caso del torque que se obtiene con la relación iB también puede establecerse que se satisface adecuadamente el valor solicitado.

Relación de transmisión C (iC)

Esta relación de transmisión se ha elegido para circuitos mixtos que tengan una demanda balanceada de la capacidad de arranque y velocidad final.

Aplicando la ecuación (10) y estableciendo que el piñón tenga 12 dientes y la catalina 46 dientes, se tiene que:

$$iC = \frac{46}{12}$$

$$iA = 3.83$$

La relación de transmisión obtenida es de 3.83:1

En este apartado se aplica la ecuación (11) y los torques que se determinó anteriormente para los tres momentos considerados de aporte de torque del motor y se determina el momento en el eje propulsor que se le aplicará al karting.

$$M_{p1} = i_C * M_{m1}$$

$$M_{p1} = 3.83 * 12.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p1} = 47.49 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = i_C * M_{m2}$$

$$M_{p2} = 3.83 * 11.4 \text{ Nm}$$

$$M_{p2} = 43.66 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = i_C * M_{m3}$$

$$M_{p3} = 3.83 * 11.74 \text{ Nm}$$

$$M_{p3} = 44.96 \text{ Nm}$$

En el caso del torque que se obtiene con la relación iC también puede establecerse que se satisface adecuadamente el valor requerido.

Implementación y Adaptación

Una vez establecido el dimensionamiento de la transmisión y seleccionado el motor, se procedió a implementar el karting. Para el montaje de componentes se debe procurar respetar el reglamento de las competencias en las que se compite y se debe adecuar los componentes para que el ensamble sea adecuado. En la Fig. 5 se presenta el plano técnico del motor con las medidas que se debe considerar para su montaje en el chasis.

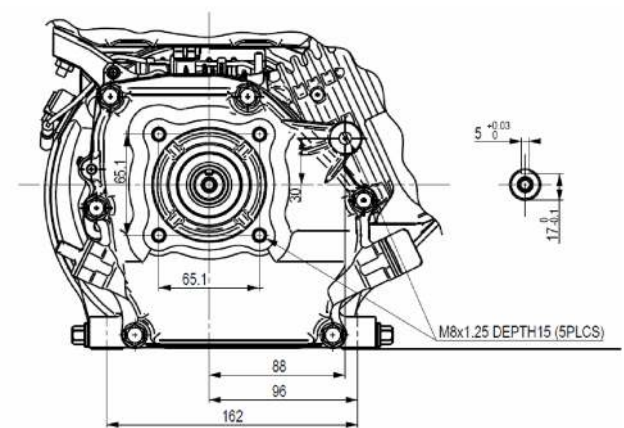


Fig. 5: Plano técnico del motor Honda GX 200

En cuanto a los componentes de la transmisión se mecanizaron las 3 catalinas y los piñones correspondientes a las 3 relaciones de transmisión que se usarán durante las competencias. El material que se usó para su construcción es Nitanyl el cual cumple con la norma DIN ASTM D53455 y posee una resistencia a la tracción de 60 MPa. En la Fig. 6, Fig. 7 y Fig. 8 se aprecia el proceso de mecanización que se siguió para su construcción.

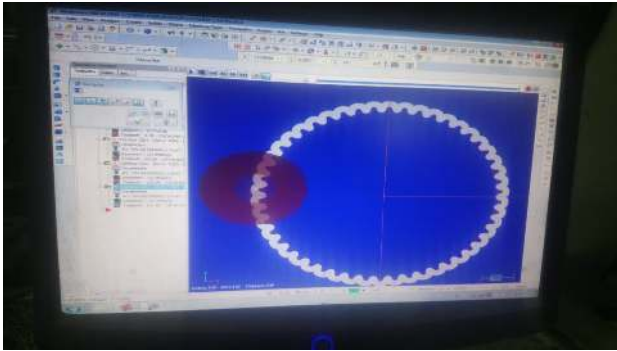


Fig. 6: Diseño de las catalinas.



Fig. 7: Mecanización de la catalina



Fig. 8: Mecanización del porta catalinas.

Con la implementación de una cadena de rodillos ANSI# 50, seleccionada previamente de acuerdo con las características de la transmisión que se implementa, se termina el ensamble del conjunto motor y tren de potencia en el karting y se conecta al eje propulsor, véase la Fig. 9 y Fig. 10.



Fig. 9: Sistema de transmisión instalado.



Fig. 10: Vista frontal de la transmisión.

Pruebas

Una vez finalizado el ensamble de los elementos auxiliares en el chasis Fig. 11 y Fig. 12 se realiza las calibraciones o set up inicial para las pruebas en pista.



Fig. 11: Vista Frontal del karting



Fig. 12: Vista Lateral del karting.

Uno de los escenarios en los cuales se competirán durante la temporada es el autódromo dos hemisferios en la ciudad de Quito ubicado cerca del monumento de la mitad del Mundo. Para las competencias se usa generalmente un trazado mixto de una distancia de 1300 m. El trazado se muestra en la Fig. 13.

Las pruebas que se realizan consisten en evaluar la efectividad de las relaciones de transmisión diseñadas en el presente trabajo y evaluar los tiempos de vuelta que se obtienen de cada uno de ellos. Esto conllevará a validar cual es la adecuada para la configuración de transmisión para la competencia en este kartódromo. Se ha decidido realizar el cronometraje de 10 vueltas considerando que de acuerdo al reglamento de la copa Novacero [3] el mejor tiempo de calificación se obtiene de 10 vueltas.



Fig. 13: Trazado del kartódromo para la competición.

3. RESULTADOS

Prueba de Relación de Transmisión A (i_A)

Las pruebas se realizan con el peso establecido de 116.4 kg, se cronometra 10 vueltas al trazado de la pista con cada una de las relaciones de transmisión diseñadas, se determinará el promedio de vueltas con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados se presentan en la Tabla 6, Tabla 7, y Tabla 8.

Tabla 6. Resultados de la prueba de pista con la relación de transmisión A

Vuelta	Tiempo (s)
V1	76.988
V2	76.985
V3	76.986
V4	76.986
V5	76.987
V6	76.986
V7	76.985
V8	76.984
V9	76.983
V10	76.985
Promedio	76.986
Desv. Estándar	0.001
Intervalo de confianza	0.001

Tabla 7. Resultados de las pruebas de pista con la relación de transmisión B.

Vuelta	Tiempo (s)
V1	74.527
V2	74.524
V3	74.522
V4	74.521
V5	74.525
V6	74.527
V7	74.531
V8	74.533
V9	74.535
V10	75.021
Promedio	74.577
Desv. Estándar	0.156
Intervalo de confianza	0.112

Tabla 8. Resultados de las pruebas de pista con la relación de transmisión C.

Vuelta	Tiempo (s)
V1	72.862
V2	72.859
V3	72.843
V4	72.841
V5	72.832
V6	72.812
V7	72.814
V8	72.818
V9	72.816
V10	72.825
Promedio	72.832
Desv. Estándar	0.018
Intervalo de confianza	0.013

4. DISCUSIÓN

A partir de los resultados presentados anteriormente, se puede establecer que el motor y la transmisión cumplen adecuadamente con los criterios de selección pues de acuerdo con los datos de las pruebas experimentales, estos componentes del kart son capaces de mover el vehículo y ser competitivos.

En la Tabla 9 se presentan los resultados a considerar en el análisis.

Tabla 9. Tiempo de vuelta finales para cada relación de transmisión.

Relación de transmisión [-]	Tiempo [s]
iA (3.5:1)	76.986 ± 0.001
iB (4.17:1)	74.577 ± 0.112
iC (3.83:1)	72.832 ± 0.013

En el circuito del kartódromo 2 hemisferios de la Fig. 6, existen 3 curvas rápidas, 3 curvas trabadas, y 2 rectas de velocidad, por lo que es un circuito del tipo mixto. La capacidad de arranque y la velocidad final son importantes para lograr buenos resultados en la competición. El motor Honda que se ha implementado es capaz de aportar 4.3 kW de potencia dotándole de la solvencia suficiente para lograr un buen desempeño en el karting

desarrollado pues de acuerdo con los cálculos realizados se necesita 3.99 kW para alcanzar una velocidad máxima de 90 km/h, siendo este el límite de diseño del presente proyecto.

Considerando el torque necesario para mover el karting, en este caso 19.9 Nm, las tres relaciones de transmisión aportan el torque necesario ya que son capaces de aportar torque a partir de los 39.9 Nm a partir de cualquier zona de funcionamiento del motor, y considerando las características de los circuitos que se usan en competencias nacionales, se establece que estos torques son adecuados para este karting principalmente debido a que la capacidad de arranque está asegurada para cualquier tipo de circuito.

Del análisis de la Tabla 9, se puede establecer que, justamente para el circuito dos hemisferios considerado de tipo mixto, la relación de transmisión que mejor desempeño tiene es la tipo C, relación que se ha considerado como un valor intermedio de las tres que se ha seleccionado para este karting. El tiempo de vuelta a este circuito de 1300 m se da en 72.832 ± 0.013 s, logrando que el karting pueda ser competitivo en condiciones de pista. En cuanto a las otras 2 relaciones, se puede validar que la tipo A que tiene mayor capacidad velocidad final da los peores resultados con 76.986 ± 0.112 s debido a la penalización en las zonas trabadas del circuito en donde la capacidad de arranque es fundamental. La relación tipo B obtiene 74.577 ± 0.112 s, el resultado en comparación con la tipo A es evidente, debido a la capacidad de arranque que puede alcanzar solventando la penalización por la velocidad final que sufre en las zonas rápidas, convirtiéndose en una alternativa con respecto a la tipo C, relación que sin duda resulta ser la mejor elección para este circuito.

El desarrollo de mejores prototipos es importante para el equipo de trabajo, ya que en competencia mientras mejores puedan ser los tiempos de vuelta el asegurar buenas posiciones en la parrilla será fundamental. Este desarrollo solo se podrá conseguir si se intervienen también en el diseño de los demás componentes del kart. A partir de la aplicación de la dinámica vehicular la cual para el presente proyecto fue fundamental para la selección del motor y la relación de transmisión, también es clave para el diseño del chasis y la carrocería, ya que mediante optimización de los diseños se puede disminuir el peso del vehículo

impactando directamente en los resultados de la fuerza de tracción F_x para la selección del motor.

De igual manera el mejoramiento de los perfiles aerodinámicos en el karting también puede afectar el resultado de F_x por lo que se plantea además para futuros proyectos realizar nuevas implementaciones centrándose en apartados como el peso, el diseño y la aerodinámica del vehículo.

Finalmente es importante considerar el que esta esta investigación puede adentrarse además a la selección de motores eléctricos en lugar de motores de combustión interna ya que el principio de selección al basarse en la determinación de la fuerza de tracción F_x , puede aplicarse perfectamente los motores eléctricos y enfocar el desarrollo de estos prototipos a contribuir en la investigación del mejoramiento del rendimiento de vehículos eléctricos, y sus baterías

5. CONCLUSIÓN

Luego de aplicar el estudio con la ecuación fundamental para el movimiento de vehículos (2), se establece que para el karting de peso 116.4 kg, la fuerza de empuje necesaria para moverlo a una velocidad máxima de 90 km/h y una pendiente máxima de 3%, es de 159.58 N.

El estudio analítico desvela que para alcanzar los parámetros técnicos con los que se desea dotar al karting que en este caso el límite de diseño es alcanzar los 90 km/h, la potencia necesaria a aplicar es de 3.99 kW, esto permitió seleccionar y validar la potencia del motor Honda GX200 el cual aporta 4.3 kW a 3600 rpm y permite alcanzar las prestaciones establecidas.

En cuanto al torque necesario, a través de la ecuación (9) y con los neumáticos disponibles cuyo radio dinámico es de 0.12 m se ha calculado que al karting se le debe aportar como mínimo un torque de 19.9 Nm, torque que se consigue a través de las relaciones de transmisión debido a que el motor aporta un torque máximo de 12.4 Nm a 3600 rpm, en ralentí aporta 11.74 Nm a 1400 rpm y a máxima potencia se consigue 11.4 Nm a 3600 rpm.

La particularidad de los circuitos de competición tales como el kartódromo dos hemisferios de la ciudad de Quito, así como el torque solicitado luego de la fase de cálculo (19.9 Nm) ha determinado que

luego de una investigación documental se establezcan 3 relaciones de transmisión: A (3.5:1) ideal para circuitos de velocidad, B (4.17:1) establecida para circuitos trabados y C (3.83) para circuitos equilibrados o mixtos. Cualquiera de las tres puede asegurar el funcionamiento del kart ya que en la peor condición pueden aportar par a partir de los 39.9 Nm.

La realización de pruebas validó las selecciones realizadas en este estudio, ejecutadas en el autódromo 2 hemisferios se demuestra que para este circuito mixto el mejor tiempo de vuelta se consigue con la relación de transmisión tipo C, establecida como una relación intermedia de las tres seleccionadas, alcanzando un tiempo de vuelta de 72.832 ± 0.013 s, tiempo que le permite al karting ser competitivo bajo las condiciones de diseño establecidas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Karting | Federation Internationale de l'Automobile". <https://www.fia.com/es/events/karting/season-2019/karting> (consultado dic. 06, 2020).
- [2] A. Copa Maseda, *Los Secretos del Karting. Manual para la puesta a punto del chasis.*, Primera. España, 2014.
- [3] Novacero, "Reglamento técnico Copa Interuniversitaria NOVACERO". 2019.
- [4] E. A. Cervantes Panchi, "Implementación y adaptación de un motor a gasolina de 125 cc al sistema de transmisión del Go Kart de la Carrera de Ingeniería Automotriz". Quito, 2017.
- [5] S. A. Diego, "Diseño y análisis de un chasis de kart de competición.", Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [6] R. Anadón Ochavo y D. Pabón Mansilla, "Diseño de un kart de pista.", Universidad Politécnica de Catalunya, 2012.
- [7] F. Aparicio Izquierdo, C. Vera Álvarez, y V. Díaz López, *Teoría de Los Vehículos Automoviles*, Segunda. Madrid, 2001.
- [8] M. Cascajosa, *Ingeniería de vehículos: Sistemas y cálculos*, Segunda., vol. 76, núm. 3. México: Alfaomega, 2005.
- [9] P. Luque, D. Álvarez, y C. Vera, *Ingeniería del automóvil. Sistemas y comportamiento dinámico: sistemas y ...* - ALVAREZ MANTARAS, DANIEL, LUQUE RODRÍGUEZ, PABLO, VERA, CARLOS - Google Libros, Primera. Paraninfo, 2008.

- [10] CIK/FIA, "Karting Technical Regulations". Paris, France, 2020.
- [11] T. D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", *Fundam. Veh. Dyn.*, 1992, doi: 10.4271/r-114.
- [12] H. Kindler y H. Kynast, *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*, Octava. Barcelona: Editorial Reverté, S.A., 1986.